

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Modellen onder de loep

Analyse en beoordeling van modellen
en methoden voor de bepaling van de
luchtkwaliteit langs snelwegen

Rapport

Delft, december 2003

Opgesteld door: H. (Hans) Erbrink (KEMA)
J.P.L. (Joost) Vermeulen (CE)
L.J. (Rens) Kortmann (CE)



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

H. (Hans) Erbrink (KEMA), J.P.L. (Joost) Vermeulen (CE) en L.J. (Rens) Kortmann (CE)

Modellen onder de loep

Analyse en beoordeling van modellen en methoden voor de bepaling van de luchtkwaliteit langs snelwegen

Delft, CE en Arnhem, KEMA 2003

Luchtkwaliteit / Autowegen / Modellenonderzoek / Analyse

Publicatienummer: 05.4579.15

Verspreiding van CE-publicaties gebeurt door:

CE

Oude Delft 180

2611 HH Delft

Tel: 015-2150150

Fax: 015-2150151

E-mail: publicatie@ce.nl

Oprachtgever: Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Joost Vermeulen

© copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

CE is onderverdeeld in vijf secties die zich richten op de volgende werkterreinen:

- economie
- energie
- industrie
- materialen
- verkeer & vervoer

Van elk van deze secties is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij CE tel: 015-2150150. De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl

Voorwoord

Voor u ligt een rapport dat een overzicht en analyse geeft van de verschillen, overeenkomsten en voor- en nadelen van de meest gangbare Nederlandse computermodellen om de luchtkwaliteit rond snelwegen te bepalen. Het rapport is vervaardigd in het kader van het Vooronderzoek Innovatieprogramma Luchtkwaliteit.

De inhoud van deze rapportage is samengesteld door KEMA. CE heeft als onafhankelijke partij er op toegezien dat de synthese en conclusies van de analyse zo evenwichtig mogelijk zijn opgesteld. Daarnaast is in de loop van het project commentaar gevraagd bij TNO-MEP, RIVM en ECN, alle partijen die, net als KEMA, ruime ervaring hebben met verspreidingsmodellen en er zelf één of meerdere ontwikkeld hebben.

Deze rapportage hoort bij het rapport 'Weg wijzer bij knelpunten' dat oplossingsrichtingen biedt voor het verbeteren van de luchtkwaliteit rond snelwegen, in het bijzonder voor die situaties waarin overschrijdingen van de normen uit het besluit Luchtkwaliteit bestaan of verwacht worden. Die rapportage is hoofdzakelijk door CE opgesteld.

De totstandkoming van dit rapport is intensief begeleid door een commissie bestaande uit:

Dhr. L. Schlösser	Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Min. V&W
Mw. J. Veurman	Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Min. V&W
Mw. S. Houtman	Ministerie van V&W, DGP
Mw. I. Schrauwen	Ministerie van V&W, DGP
Dhr. D. Metz	Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Min. V&W
Dhr. P. van Breugel	Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Min. V&W
Mw. S. van den Berg	Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Min. V&W
Dhr. C. Kampfraath	Ministerie van V&W, DGG
Dhr. H. Nugteren	Ministerie van V&W, RWS-HK
Dhr. H. Verspoor	Ministerie van VROM, DGM
Dhr. A. Hoen	RIVM, Natuur en Milieu Planbureau
Dhr. R. van den Brink	RIVM, Natuur en Milieu Planbureau

Wij danken de leden van de begeleidingscommissie voor hun inspanningen.

Daarnaast zijn wij veel dank verschuldigd aan Joost Wesseling en Menno Keuken van TNO-MEP, Karel van Velze van het RIVM en Alex Vermeulen van ECN voor het becommentariëren van conceptteksten en beantwoorden van inhoudelijk vragen.

Inhoud

Synthese	1
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond van dit rapport	9
1.2 Doel van dit deelrapport	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Modelbeschrijvingen	11
2.1 Modellen en criteria	11
2.2 Functionaliteit	12
2.3 Credibility	12
2.4 Onzekerheid in de uitkomsten	13
2.5 Gebruikersvriendelijkheid	16
2.6 Economische aspecten	17
2.7 Invoergegevens	17
2.7.1 Recente en verouderde invoergegevens.	18
2.7.2 Meteorologie	18
2.7.3 Achtergrondconcentraties	19
2.7.4 Verkeersintensiteit en –snelheden	20
2.7.5 Aandeel vrachtverkeer en soort vrachtverkeer	20
2.7.6 Emissiekarakteristieken van het verkeer	22
2.7.7 Omgevingsfactoren	22
2.7.8 Gegevens omtrent obstakels	22
2.7.9 Prognostische berekeningen	23
2.8 Modeluitvoer	23
3 VLW model	25
3.1 Functionaliteit	25
3.2 Credibility	26
3.3 Onzekerheid	26
3.4 Gebruikersvriendelijkheid	27
4 CAR II	29
4.1 Functionaliteit	29
4.2 Credibility	30
4.3 Onzekerheid in de uitkomsten	31
4.4 Gebruikersvriendelijkheid	35
4.5 Economische aspecten	36
5 TNO Verkeersmodel	39
5.1 Functionaliteit	39
5.2 Credibility	40
5.3 Onzekerheid in de uitkomsten	41
5.4 Gebruikersvriendelijkheid	44
5.5 Economische aspecten	44
6 TNO HEAVEN model	47
6.1 Functionaliteit	47
6.2 Credibility	48
6.3 Onzekerheid in de resultaten	48
6.4 Gebruikersvriendelijkheid	52
6.5 Economische aspecten	52

7	URBIS	55
	7.1 Functionaliteit	55
	7.2 Credibility	56
	7.3 Onzekerheid in de resultaten	56
	7.4 Economische aspecten	60
8	NNM+	63
	8.1 Functionaliteit	63
	8.2 Credibility	64
	8.3 Onzekerheid in de resultaten	64
	8.4 Gebruikersvriendelijkheid	68
	8.5 Economische aspecten	68
9	Buitenlandse modellen	71
	9.1 Doelstelling	71
	9.2 Buitenlandse modellen	71
	9.3 Discussie	73
	9.4 Aanbevelingen	75
	Referenties	77

Synthese

Introductie

In dit hoofdstuk geven we een synthese van de analyse van zes Nederlandse modellen voor het bepalen van de luchtkwaliteit langs snelwegen:

- Het Voorspellingsstelsel Luchtkwaliteit Wegtracés (VLW);
- CAR-II;
- Het TNO-verkeersmodel (TNO-VM);
- Het Heaven-model van TNO (TNO-HM);
- Urbis (air);
- NNM+ (KEMA-STACKS).

Hiertoe presenteren we eerst een samenvatting van de belangrijkste voor- en nadelen van de zes behandelde modellen. Uit de samenvatting trekken we conclusies op hoofdlijnen. We gaan vervolgens in op twee eigenschappen van de laatste vijf modellen¹: de geschiktheid voor specifieke wegkenmerken (schermen e.d.) en de modelonzekerheden. Ook vatten we de performance in relatie tot buitenlandse modellen kort samen. Ten slotte schetsen we kort de betekenis van deze studie voor het beleid.

Samenvatting voor- en nadelen van modellen

VLW

Het Voorspellingsstelsel Luchtkwaliteit Wegtracés (VLW) is ontworpen voor Rijkswaterstaat om Milieu Effect Rapportage (MER) studies te verrichten. Tevens wordt beoogt het systeem in te zetten voor de rapportage t.b.v. het Besluit luchtkwaliteit (Blk). Ten tijde van het schrijven van dit rapport wordt het systeem onderworpen aan een revisie, waardoor geen actuele versie beschikbaar is. Daarom behandelen we het systeem hier alleen op hoofdlijnen.

Het systeem is gebaseerd op het TNO-VM model (zie hieronder) en is recentelijk, in een aparte versie (VLW-NNM), aangepast aan de modelconcepten van het Nieuw Nationaal Model (NNM). De gebruiker kan kiezen tussen twee rekenmethoden: een klassenmodel (vergelijkbaar met TNO-VM) en een rekenmethode die vergelijkbaar is met het NNM. Als uitvoer geeft het de jaargemiddelde concentraties. Empirische gegevens of een speciale module kunnen worden gebruikt om ook uur-gemiddelde waarden te berekenen. Beide types uitvoer worden gebruikt voor toetsing aan het Blk. Het systeem maakt berekeningen voor een breed scala van situaties, zoals verhoogde wegligging en het gebruik van schermen en wallen.

CAR-II

Dit model is een screeningsmodel voor de luchtkwaliteit in relatie tot verkeer. Het model berekent de concentraties van verschillende stoffen (bijv. NO₂, PM₁₀) als functie van de verkeersintensiteit, emissies, achtergrond concentraties, etc.

¹ Het VLW-model is momenteel in revisie en daarom niet verder in de analyse meegenomen.

De belangrijkste positieve eigenschap van het model is dat het een eenvoudig en zeer goed toegankelijk model is. In verband met het doorrekenen van knelpunten merken we beperkingen van CAR-II op:

- 1 Gedifferentieerde maatregelen kunnen minder goed worden doorgekend. Het model rekent namelijk met empirische relaties voor toestandsclusters. Daardoor is het model minder geschikt voor het bepalen van effecten van specifieke maatregelen. We geven twee voorbeelden:
 - a Vanwege de rekenmethode (het model berekent direct alleen jaargemiddelde concentraties) is het moeilijk om de effecten te berekenen van maatregelen die slechts een gedeelte van de dag werken. Zo kan het effect van snelheidsbeperking in de spits alleen worden benaderd door de in gevoerde emissiefactoren naar rato te reduceren. Echte tijdsgeïntegreerde output levert dit echter niet op.
 - b Het effect van een aantal aanpassingen aan de weg kan niet worden berekend (geometrie van schermen; bebouwing; hoogte/diepte van de weg; tunnels, etc.). Het model biedt hier geen mogelijkheden voor.
- 2 Er bestaan twee voorname bronnen van modelonzekerheden:
 - a CAR berekent, net als sommige andere modellen, alleen de jaargemiddelden van de concentraties van diverse stoffen. De uurgemiddelden (en percentielwaarden) worden door CAR-II indirect bepaald via empirische relaties op basis van historische data. Deze relaties kunnen voor een specifiek knelpunt afwijken en zodoende onzekerheid introduceren.
 - b Het model houdt geen rekening met de oriëntatie van wegen ten opzichte van de windrichting, waardoor gemakkelijk een onzekerheid van 10 à 20% in de uitkomsten ontstaat.

TNO-VM

Het TNO-verkeersmodel is een gedetailleerd verkeersmodel, deels gebaseerd op algoritmes uit de fysica, deels op empirisch bepaalde relaties. Het model is in eerste instantie gevalideerd met windtunnelexperimenten, maar heeft bovendien zijn waarde bewezen in binnen- en buitenlandse praktijkstudies. Vanwege een verouderd meteo-algoritme (de invloed van het weer op de verspreiding van de emissies) is het model echter niet meer helemaal in lijn met de huidige stand der wetenschap. Het TNO-verkeersmodel bevat zowel een klassenversie als een uur-voor-uur versie.

De twee belangrijkste positieve eigenschappen van dit model zijn:

- 1 Geschikt voor situaties rond verschillende soorten wegen (dus ook snelwegen).
- 2 Geschikt voor het doorrekenen van effecten van maatregelen zoals schermen, wallen, verhoogde/verlaagde ligging.
- 3 Doorrekenen van obstakels is goed gevalideerd middels windtunnelexperimenten.

De beperkende eigenschappen zijn:

- 1 Percentielwaarden worden indirect afgeleid van jaargemiddelden (zie ook CAR en URBIS).
- 2 Het gebruik van een verouderd meteo-model maakt dat het model niet meer up to date is in vergelijking met andere (internationale) modellen. Voor de korte afstand is dit niet erg, voor grotere afstanden leidt dit tot extra onzekerheid in de resultaten.



TNO-HM

Het Heaven Model (HM) van TNO is een gedetailleerd verkeersmodel. Het is in grote lijnen vergelijkbaar met TNO-VM. De belangrijkste drie verschillen zijn:

- 1 De toepassing van een up-to-date meteo-model uit het Nieuw Nationaal Model (NNM).
- 2 De berekening van uurgemiddelden i.p.v. jaargemiddelden (TNO-VM). Hierdoor kunnen ook de effecten worden berekend van maatregelen die maar op een gedeelte van de dag werken.
- 3 Het rekening houden met de invloed van andere bronnen dan verkeer (bijv. industrie).

Andere positieve eigenschappen zijn dezelfde als van het TNO-VM. Als negatieve eigenschap voor het doorrekenen van rijksverkeerswegen kan opgemerkt worden dat de omzetting van NO naar NO₂ wordt gedaan via empirische relaties, die zijn opgesteld voor gemiddelde condities. Specifieke maatregelen langs rijkswegen (eigen turbulentie, schermen en andere obstakels) voldoen waarschijnlijk niet aan de gemiddelde formulering. Dit geldt niet als er gerekend wordt met de NNM-chemie (mits aangepast voor lijnbronnen). Het is overigens de vraag hoe zwaar dit argument moet wegen: er zijn geen praktijkaanwijzingen dat dit tot ernstige afwijkingen leidt.

URBIS (air)

URBIS combineert bestaande modellen (CAR-II, NNM) om de kwaliteit van stedelijke leefomgeving te bepalen (screeningsmodel). URBIS-air is de module die de luchtkwaliteit berekent. Het model is uitermate geschikt om de globale effecten van emissiescenario's binnen stedelijke gebieden door te rekenen voor lokale milieuverkenningen (globale effecten van veranderingen in verkeersemissies, scheepvaart, industrieën). Voor het doorrekenen van knelpunten langs snelwegen in complexe omgevingen is dit wellicht een positieve eigenschap: meerdere bronnen kunnen worden meegenomen.

Verkeerswegen worden doorgerekend door middel van de klassenversie van het NNM. Daarbij worden rijkswegen als puntbronnen gehanteerd waarmee de NNM-chemie niet meer goed werkt. Als minder positieve eigenschappen merken we verder op dat:

- 1 De functionaliteit voor de effecten van schermen en gebouwen ontbreekt, er is alleen een soort eerste orde benadering van een obstakel opgenomen.
- 2 Het een screeningsmodel voor regio's is, en daardoor minder goed kan worden toegesneden op specifieke situaties zoals maatregelen voor snelwegen.
- 3 De uurgemiddelden, zoals in twee voorgaande modellen (CAR-II en TNO-VM), afgeleid worden uit de jaargemiddelden d.m.v. empirie.

NNM+ (KEMA-STACKS)

Het NNM+ is opgezet voor het berekenen van vliegtuigemissies op en rond vliegvelden en is door KEMA aangepast tot een researchmodel voor verkeersemissies. Dit model maakt geen gebruik van empirisch bepaalde relaties, maar werkt uitsluitend met fysische en chemische vergelijkingen. Als positieve eigenschap volgt hieruit dat uurgemiddelden van concentraties kunnen worden berekend (direct geschikt voor toetsing aan Besluit luchtkwaliteit en bepaling van effecten van maatregelen die slechts een gedeelte van de dag werken). In gemiddelde omstandigheden is de onzekerheid in de resultaten ongeveer even hoog als die van andere modellen (30%). Als negatieve eigenschappen noemen we:

- 1 In complexe situaties loopt de onzekerheid op tot 50%. Dit is vergelijkbaar met de maximale onzekerheden van CAR en URBIS, maar hoger dan die van TNO-VM en TNO-HM. Met 'complexe situaties' wordt de

Met opmaak:
opsommingstekens en
nummering

aanwezigheid van bebouwing en tunnels bedoeld. In veel knelpunten is sprake van intensieve bebouwing langs snelwegen. Het model is dus minder geschikt voor berekeningen aan deze knelpunten.

- 2 Het model is in veel mindere mate gevalideerd aan praktijkstudies (metingen aan de snelweg) en windtunnelmetingen dan andere modellen.

Conclusies op hoofdlijnen

Op grond van de modelbeschrijvingen (hoofdstuk 3 t/m 8) trekken we op hoofdlijnen conclusies met betrekking tot de geschiktheid van de modellen voor het doorrekenen van knelpunten:

- 1 Om verschillende maatregelen met elkaar te kunnen vergelijken verdienen modellen waarvan de verschillende onderdelen transparant en gevalideerd zijn en bovendien in lijn met de huidige inzichten omtrent dispersiemodellering (TNO-HM, NNM+ (KEMA-STACKS)) de voorkeur boven screeningsmodellen (CAR-II, URBIS). TNO-VM neemt hierin een aparte positie in, omdat het model waarschijnlijk het meest gevalideerd is, goede routines heeft voor allerlei obstakels, maar geen echt uur-voor-uur model is en minder in lijn is met de Europese harmonisaties.
- 2 Gebaseerd op de mogelijkheid om direct uurgemiddelde waarden te kunnen bepalen krijgen de modellen TNO-HM en NNM+ (KEMA-STACKS) de voorkeur boven de andere drie modellen. Het bepalen van uurgemiddelden is namelijk belangrijk voor het beoordelen van maatregelen die tot doel hebben de $\text{NO}_2/\text{PM}_{10}$ -concentraties tijdens bepaalde perioden van de dag te reduceren (bijvoorbeeld tijdens de spits). Dat de modellen minder of niet zijn gevalideerd is voor de doelstelling van het (V)IPL (bepalen van effecten van maatregelen) minder van belang. Het gaat immers om het reductie-effect van maatregelen, het absolute niveau van de concentraties is daarbij even minder belangrijk.
- 3 Het is moeilijk de geschiktheid te beoordelen op basis van de onzekerheid in de resultaten. De typische onzekerheden van alle modellen vertonen namelijk een grote gelijkenis. Wel variëren de onzekerheden van sommige modellen (CAR-II, URBIS en NNM+ (KEMA-STACKS)) meer dan die van andere (TNO-VM, TNO-HM) wanneer ze in verschillende situaties gebruikt worden. De laatste twee hebben dus een constantere onzekerheid in verschillende situaties.

Geschiktheid voor specifieke wegkenmerken (schermen e.d.)

De modellen die zijn bestudeerd zijn zeer verschillend van kwaliteit en functionaliteit. Goede submodellen voor effecten van maatregelen vinden we bij:

- TNO-VM (vrijliggende wegen verkeerswegen, tunnels, geluidschermen en wallen, gebouwen in de directe omgeving, files);
- TNO-HM (vrijliggende wegen verkeerswegen, tunnels, geluidschermen en wallen, gebouwen in de directe omgeving, files);
- NNM+ (vrijliggende wegen verkeerswegen, geluidschermen en wallen, files).

Deze modellen kunnen dus inzoomen op de genoemde specifieke wegkenmerken.

Modellen uit de categorie screeningsmodellen zijn:

- URBIS (voor integrale luchtkwaliteitsverkenningen en beschrijvingen in hele regio's);
- CAR-II (voor specifieke verkeerssituaties in steden).



Tabel 1 geeft een samenvatting van de modelprestatie voor specifieke situaties. Eén of meer + tekens geven een goede prestatie aan (hoe meer, hoe beter). Een – teken duidt op een slechte prestatie. 0 is een gemiddelde prestatie.

Tabel 1 Modelprestatie voor specifieke situaties variërend van – (slecht) tot ++ (zeer goed)

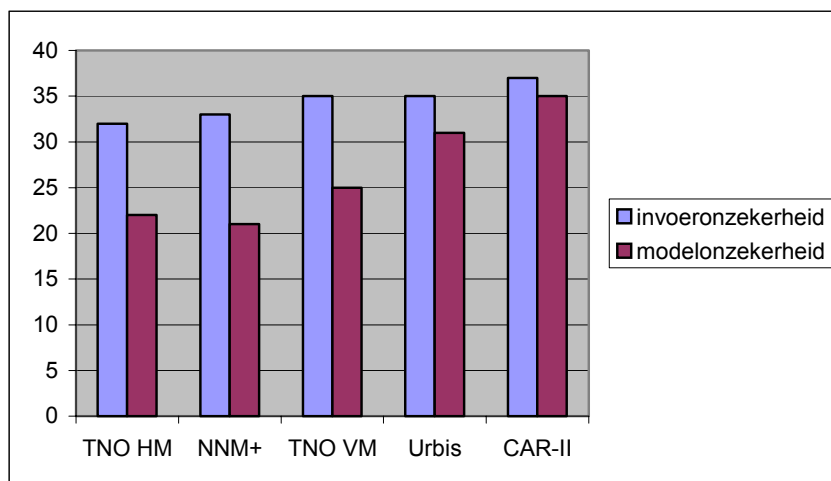
	Vrij liggende weg	Schermen en wallen	Verhoogde/verlaagde weg (incl tunnels)	Gebouwen	Stagnerend Verkeer (files etc)
CAR-II	+	–	–	+	–
TNO-VM	++	++	++	++	0
TNO-HM	++	++	++	++	++
URBIS	0	–	–	–/0	0
NNM+	++	++	+/-	–	++

Onzekerheden

Ondanks de grote verscheidenheid in de modellen is de onzekerheid van alle modellen niet sterk uiteenlopend, indien we kijken naar de praktijkprestaties in de 'real world'. De verschillen in modelkwaliteit worden gemaskeerd door:

- de soms overheersende achtergrondconcentraties die bij elk model een zelfde onzekerheid introduceren. Deze concentraties en hun onzekerheden worden namelijk ongewijzigd opgeteld bij de modeluitvoer;
- de onzekerheid in met name de emissiefactoren van de voertuigen op de weg. Emissiefactoren worden gebruikt als invoer voor de modellen. Grote onzekerheden in emissiefactoren leiden dus tot grote onzekerheden in de modeluitvoer, ongeacht het model.

Figuur 1 Overzicht van de modelonzekerheid (uitgedrukt in procenten van de berekende jaargemiddelde concentraties), uitgesplitst naar onzekerheid ten gevolge van invoerparameters en onzekerheid ten gevolge van de wijze van modellering



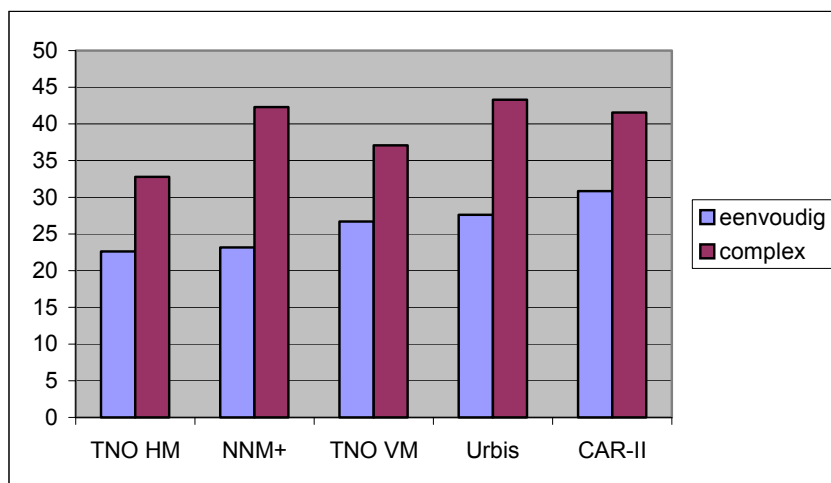
Figuur 1 toont de berekende onzekerheden in de modelresultaten, uitgesplitst naar onzekerheid ten gevolge van invoerparameters en onzekerheid ten gevolge van de wijze van modellering. In de berekening gebruiken we de geschatte onzekerheden die in de tabellen bij de modelbeschrijvingen (hoofdstuk 4 t/m 8) met grijs zijn gearceerd. Dit betreft wegen met schermen, meerdere rijbanen, files en verhoogde wegligging. NB: de onzekerheid ten gevolge van tunnels en bebouwing is niet meegenomen in de berekening. Dit betekent dat modellen die hier minder goed mee omgaan (CAR, URBIS, NNM+) mogelijk een hogere modelonzekerheid bezitten dan hieronder is aangegeven. Bij alle modellen is de linker kolom hoger dan de rechter kolom. Uit deze resultaten leiden we af dat de onzekerheid in de invoergegevens (verkeersintensiteit, emissiefactoren, meteorologie, etc.) de modelonzekerheid overtreft en bepalend is voor de totale onzekerheid in de modeluitvoer.

Naast een uitsplitsing naar onzekerheid ten gevolge van invoer- en modelparameters is tevens uitgesplitst naar 'eenvoudige' en 'complexe' situaties (zie hoofdstuk 2). De resultaten zijn weergegeven in Figuur 2². Hierin is aangenomen dat de bijdragen van het verkeer en de achtergrond aan de totale concentratie op het knelpunt gelijk zijn. Uit deze resultaten maken we op dat grote bandbreedtes bestaan in de onzekerheden in de uitvoer van modellen. Sommige modellen hebben een kleine onzekerheid wanneer ze worden toegepast in eenvoudige situaties, maar tonen een grote variatie in de uitvoer wanneer ze een complex knelpunt doorrekenen.

Ten slotte merken we op dat voor de analyse een gemiddelde verkeerssituatie is aangenomen. Er bestaan echter grote verschillen tussen de situaties op verschillende knelpunten (denk bijvoorbeeld aan het aandeel vrachtverkeer, de emissies van dit vrachtverkeer door aanwezigheid van bepaalde distributiecentra of industriegebieden, het rijgedrag ter plaatse, etc.). Het is dus van belang om bij het doorrekenen van een specifiek knelpunt de specifieke gegevens te gebruiken.

² Nadrukkelijk willen we erop wijzen dat de gegeven onzekerheden indicatief zijn! Voor nauwkeuriger schattingen zijn grondiger onzekerheidsanalyses nodig.

Figuur 2 Overzicht van de *totale* modelonzekerheid (uitgedrukt in procenten van de berekende jaargemiddelde concentraties), uitgesplitst naar onzekerheid modellen in 'eenvoudige' en 'complexe' situaties. Aangenomen is een verdeling 50/50 in de bijdragen van het verkeer en de achtergrond op de totale concentratie



Performance ten opzichte van buitenlandse modellen

De performance van de hierboven besproken modellen is vergeleken met die van buitenlandse modellen (H9). Hiervoor zijn de meest dominante modellen in verschillende landen kort besproken. Op basis hiervan concluderen we dat, ten opzichte van buitenlandse modellen, de Nederlandse modellen

- 1 Vergelijkbaar van zijn kwaliteit, maar de basis van de diverse modellen loopt sterk uiteen, evenals het toepassingsgebied.
- 2 Wat minder toegesneden zijn op stedelijke gebieden. De indruk bestaat dat er in het buitenland meer is gedaan om de modellen met name meer complexe situaties (street canyons) te kunnen laten doorrekenen (met name in Duitsland: CFD modellen, en Groot Brittannië). Voor snelwegen bestaan in het buitenland weinig of geen betere modellen dan in Nederland.
- 3 Minstens even goed gevalideerd zijn. De indruk bestaat dat validatie van verkeersmodellen nergens meer uitgebreid heeft plaatsgevonden en dat Nederland (met name TNO) op dit punt in de voorhoede is te vinden.

Betekenis voor het beleid

De analyses en vergelijkingen in dit rapport hebben de volgende betekenissen voor het beleid:

- 1 In eenvoudige situaties voldoen alle vijf onderzochte modellen aan de vereisten van het Besluit luchtkwaliteit m.b.t. de modelonzekerheden: de totale onzekerheid is voor alle modellen rond de 30% of lager. In complexe situaties lopen de onzekerheden in alle modellen op tot boven de 30%. Op basis van deze analyse kan echter geen harde conclusie worden getrokken ten aanzien van het al of niet gebruikt mogen worden voor toetsing van een situatie aan het Besluit, daarvoor is een grondiger onzekerheidsanalyse nodig.

- 2 Om de betrouwbaarheid van bestaande modellen te verbeteren moet voornamelijk aandacht besteed worden aan:
 - a De invoer, bijvoorbeeld betrouwbare prognoses in de emissiefactoren (denk aan verbetering van emissiemodellen zoals VERSIT).
 - b De validatie van modellen, bijvoorbeeld m.b.v. buitenlandse datasets.
 - c Het doorrekenen van complexe situaties.



1 Inleiding

1.1 Achtergrond van dit rapport

Deze notitie is opgesteld in het kader van het Vooronderzoek Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (VIPL) en beschrijft de resultaten van de activiteiten in fase 2 van het VIPL: de analyse en beoordeling van modellen en meetmethoden voor het bepalen van de luchtkwaliteit langs snelwegen.

Het VIPL moet een antwoord bieden op de beleidsvragen die momenteel leven over monitoring en voorspelling van luchtkwaliteit, maatregelen ter verbetering van luchtkwaliteit en de relatie tussen verkeer en gezondheid. De drie belangrijkste vragen zijn hierbij:

- 1 Wat is de betrouwbaarheid van de verschillende methoden van luchtonderzoek (modellen en metingen) en wat zijn de belangrijkste onzekerheden en de consequenties daarvan voor het eindresultaat?
- 2 Welke maatregelen om de luchtkwaliteit langs snelwegen te verbeteren bestaan er en wat zijn de kosten en effecten (op emissies, concentraties, gezondheid, geluid, verkeersdoorstroming, verkeersveiligheid) van deze maatregelen?
- 3 Wat zijn de gezondheidseffecten van een tijdelijke normoverschrijding, bijvoorbeeld door uitstel van de EU-luchtkwaliteitseis voor NO₂ van 2010 naar 2015?

Deze notitie gaat in op de eerste vraag en neemt de meest gangbare modellen en methoden onder de loep die gebruikt worden voor de bepaling van de luchtkwaliteit.

1.2 Doel van dit deelrapport

Het doel van deze notitie is inzicht te verschaffen in de betrouwbaarheid, nauwkeurigheid, beperkingen en onzekerheden van gangbare Nederlandse modellen en meetmethoden voor de bepaling en voorspelling van de luchtkwaliteit rond verkeerswegen.

Dit is nodig om de waarde van de resultaten van die methodieken te kunnen beoordelen en voor het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit aanbevelingen te kunnen doen welke onderdelen (zowel in de opzet van de methodiek als in de invoergegevens) verbeterd moeten worden om de resultaten en prognoses betrouwbaarder te maken.

Het vermogen van de methodieken om de afzonderlijke bronbijdragen alsmede de effecten van maatregelen (op NO₂ en PM₁₀) voldoende onderscheidend te kunnen bepalen heeft onze speciale aandacht. Dit geeft namelijk, naast de informatie over onzekerheidsbronnen en betrouwbaarheid, belangrijke argumenten voor de keuze van de te hanteren methodiek voor de doorrekening van de maatregelpakketten.

We bereiken de bovenstaande doelstelling door:

- het op overzichtelijke wijze in kaart te brengen en presenteren van de relevante gegevens over methodiek, betrouwbaarheid en onzekerheden van meet- en rekenmethoden, en vervolgens;
- het maken van een analyse en beoordeling van de waarde van de verschillende meetmethoden en modellen voor het beleid, en de Neder-

landse aanpak van het bepalen van de luchtkwaliteit rond verkeerswegen te vergelijken met die in het buitenland.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 behandelt de manier waarop de modellen worden beschreven. Daarna volgt de beschrijving van de individuele modellen in hoofdstukken 3 tot en met 8. Uiteindelijk wordt een breed scala van bestaande buitenlandse modellen kort behandeld in hoofdstuk 9.



2 Modelbeschrijvingen

2.1 Modellen en criteria

In dit hoofdstuk worden beschrijvingen van dispersiemodellen voor verkeer gegeven. Het betreft de volgende modellen:

- 1 VLW-model.
- 2 CAR-II.
- 3 TNO verkeersmodel.
- 4 TNO Heaven model (uitbreiding van NNM).
- 5 URBIS.
- 6 Nieuw Nationaal Model (NNM+).

De modelbeschrijvingen worden gestructureerd weergegeven, waarbij beoordelingscriteria leidend zijn. Deze criteria zijn bedoeld om antwoord te kunnen geven op de volgende vragen:

- Welk model is het meest geschikt om te gebruiken in het doorrekenen van de effecten van maatregelen(pakketten)?
- Wat is meer in het algemeen de kwaliteit van de modellen en de nauwkeurigheid ervan voor toepassing bij rijksverkeerswegen?

De beschrijvingen van de modellen doen we aan de hand van dezelfde criteria als die bij de kwalitatieve vergelijkingen zijn gegeven, aangevuld met een paragraaf over functionaliteit. De beschrijving van de functionaliteit is nodig om aan te geven waar het model voor bedoeld is en welke situaties er mee doorgerekend kunnen worden en welke uitvoer en dan gegeven wordt. Er bestaan immers eenvoudige (screenings) modellen, die snel een globaal antwoord geven op de vraag wat de bijdrage van verkeer is in bepaalde situaties. Maar er zijn ook research modellen, die veel complexer zijn, en waarmee veel gedetailleerder gerekend kan worden. Deze modellen vergen meestal meer inspanning, hands-on ervaring en zijn niet vrij beschikbaar.

Om bovenstaande vragen te kunnen beantwoorden zijn de criteria in gedeeld in vijf categorieën:

- 1 Functionaliteit.
- 2 Credibility (betrouwbaarheid of bewezen geschiktheid).
- 3 Onzekerheid in de resultaten.
- 4 Gebruikersvriendelijkheid.
- 5 Economische aspecten.

De modellen zullen beschreven worden, gebruikmakend van deze criteria. Elk criterium zal worden geconcretiseerd in enkele aspecten. Deze aspecten komen terug in een factsheet per model. De onzekerheid van modellen wordt als dusdanig belangrijk beschouwd dat per model een schatting wordt gemaakt van de onzekerheid. Dit doen we door de onzekerheid ten gevolge van invoerparameters en ten gevolge van modelparameters en –processen apart te beschouwen. Door deze onzekerheden (als varianties) op te tellen wordt een totale onzekerheid voor de uitvoer gegeven per model en in tabelvorm. Dit maakt het mogelijk om de kwaliteit van de modellen te enigerlei mate beoordelen en dus te vergelijken. Tenslotte zullen we enkele buitenlandse modellen beschouwen en bezien in hoeverre de Nederlandse modellen zich wat kwaliteit betreft verhouden tot deze buitenlandse modellen. Daarbij zullen we modellen uit ons omliggende landen kort bezien.

We zullen nu eerst de criteria toelichten en aangeven welke aspecten we hierbij beschouwen.

2.2 Functionaliteit

Dit omvat het doel, het toepassingsgebied en dus de reikwijdte van het model. Hiermee kan een beoordeling gegeven worden in hoeverre het model door de ontwikkelaars bedoeld is voor toepassing op rijkswegen, welke specifieke omstandigheden ermee doorgerekend kunnen worden en hoe de uitkomsten geïnterpreteerd moeten worden. Indien het model niet bedoeld is voor rijkswegen is de vraag of het er wel voor toepasbaar zou kunnen zijn.

Het toepassingsgebied betreft zowel de verspreidingsaspecten van het model als ook de gemodelleerde chemie. Nu zal de wijze waarop de verspreiding wordt gemodelleerd vanuit de belangrijkste invloed hebben. Alleen voor NO₂ is de wijze van vorming uit NO_x natuurlijk wel van groot belang (NO₂ wordt immers slechts voor enkele procenten geëmitteerd door verkeer en voor de rest gevormd in de atmosfeer).

2.3 Credibility

Credibility betekent letterlijk de geloofwaardigheid van het model. Met deze term willen we in dit rapport de aspecten trachten te vangen, die complementair zijn aan de min of meer kwantificeerbare factoren die de onzekerheid bepalen.

Met de term credibility willen we het resultaat aangeven van de review van modellen buiten validatie om. Een belangrijke manier om een beeld te krijgen van de geloofwaardigheid van een model is om de modelconcepten en de invoergegevens te laten beoordelen door een of meerdere deskundige(n). Hierbij geeft de deskundige een beoordeling over de rekenwijzen in relatie tot de toepassing en de gebruikte invoergegevens. Een voordeel hiervan is de deskundige een totaalbeeld kan geven van de modelonzekerheid, een nadeel ervan is de subjectiviteit (gekwantificeerde onzekerheden met computertechnieken en meetcampagnes zijn overigens ook behept met subjectieve elementen).

Rekenmodellen zijn immers beperkte beschrijvingen van de werkelijkheid, waarbij de ontwikkelaars in meer of mindere mate zich inspannen om aan te tonen dat het model een redelijk goede weergave van die werkelijkheid is. Het is onmogelijk om een allesomvattende objectieve test te definiëren waarmee de kwaliteit van het model wordt bewezen. Daarom worden er allerlei acties ondernomen om de geloofwaardigheid van een model te onderbouwen. Dit geschiedt dan door:

- het model te publiceren en zo voor te leggen aan collega-deskundigen. Hun reacties hierop geven aanwijzingen of de modelbenadering een gezonde aanpak is of niet;
- het model op onderdelen te vergelijken met meetcijfers. Voor verkeersmodellen kan dat zijn dat de NO₂-vorming uit NO_x apart gevalideerd is of dat de aanwezigheid van obstakels naast de weg met windtunnelmetingen zijn getoetst;
- het model op de einduitkomsten te vergelijken met metingen. Dit wordt in de praktijk het meeste gedaan, omdat men het vertrouwen in de werking van het model bij voorkeur baseert op de nauwkeurigheid van de einduitkomsten. Modellen kunnen echter maar voor een heel beperkt aantal situaties vergeleken worden met meetcijfers en voor andere toe-



passingen moet men dan aannemen dat er goede keuzen zijn gemaakt in de modelopzet;

- het model op bepaalde relevante onderdelen met een 'deskundig oog' te evalueren. Belangrijk is dat een model niet alleen in bepaalde situaties de juiste resultaten geeft, maar dat deze resultaten ook om de juiste redenen worden geproduceerd. Er zijn immers vele modules in een model aanwezig waardoor de kans aanwezig is dat fouten in de ene module gecompenseerd worden met fouten in een andere module. Hierdoor kunnen andere specifieke situaties verkeerde resultaten geproduceerd worden, waarop het model niet is getoetst. De verkeersmodellen worden daarom kort geëvalueerd op de volgende onderdelen:
 - Hoe wordt de dispersie beschreven?
 - Hoe wordt de meteorologie in het model verwerkt?
 - Op welke wijze wordt rekening gehouden met NO₂-vorming uit NO?
 - Op welke wijze wordt rekening gehouden met meerdere rijstroken en rijbanen?
 - Zijn de modelbeschrijvingen in lijn met de stand-der-wetenschap, zoals in de Europese harmonisatie naar voren wordt gebracht?
 - Op welke wijze wordt rekening gehouden met de rijnsnelheid van het verkeer (en daarmee samenhangende turbulentie of file vorming)?
 - Op welke wijze wordt de verkeersintensiteit in het model verwerkt (dagcyclus, weekcyclus)?
 - Op welke wijze worden obstakels langs weg verdisconteerd (schermen, gebouwen en beplantingen)?
 - Is er een mogelijkheid om tunnels, verhoogde of verlaagde wegligging door te rekenen?
 - Hoe worden bestaande concentratieniveaus in de resultaten opgenomen?
 - Hoe worden concentraties ten gevolge van andere bronnen verrekend?

Veel van deze aspecten hebben ook te maken met de functionaliteit van het model. Door de functionaliteit niet mee te nemen in de beoordeling van de modellen voorkomen we dubbeltellingen.

- de mate van bewezen gebruik. Een model dat recent is ontwikkeld zal door weinigen zijn getoetst en in orde bevonden. Een model dat jarenlang zijn waarde heeft bewezen door praktijktoepassingen zal bij velen een gevoel hebben achtergelaten dat het voor bepaalde situaties behoorlijke antwoorden geeft en voor andere situaties niet correct werkt. Zodoende ontstaat er een zekere gebruiksconsensus over de kwaliteit van het model;
- de robuustheid van het model. Een model is robuust als het niet te gevoelig is voor invoergegevens die men toch niet nauwkeurig weet. Een te grote gevoeligheid voor onzekere parameters resulteert immers in inconsistentie in de uitkomsten, waardoor het vertrouwen in de modelresultaten afneemt.

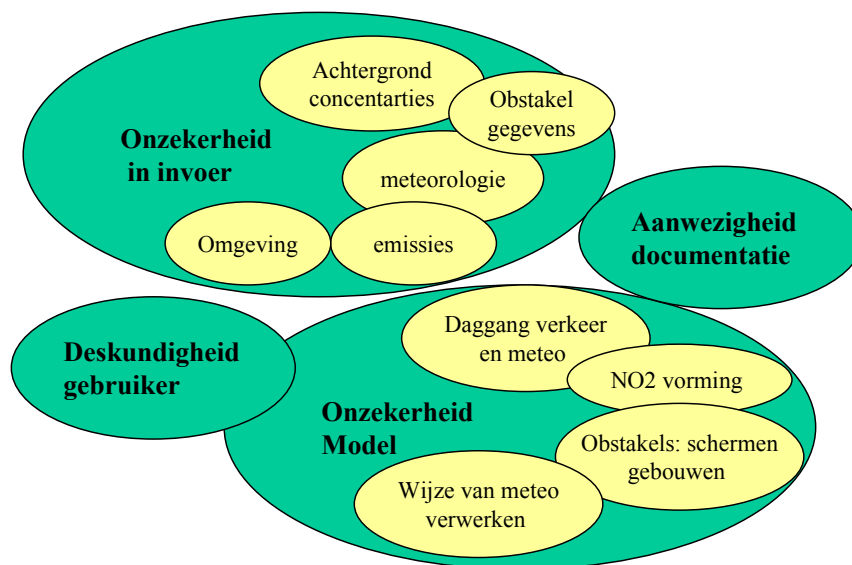
2.4 Onzekerheid in de uitkomsten

De onzekerheid definiëren we als de mate van variatie in de uitkomsten ten gevolge van aspecten die redelijkerwijs niet door de gebruiker zijn te beïnvloeden: onbekende factoren die de grootte van invoerparameters bepalen en onbekende processen die in het model niet zijn meegenomen of bekende processen die vereenvoudigd zijn weergegeven (Figuur 3).



Dit aspect is van wezenlijk belang voor het bepalen van de geschiktheid van een model voor toepassing op verkeerssituaties. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden in de uitvoer (uurgemiddelde of jaargemiddelde concentraties), en in de oorzaken van de onnauwkeurigheid (invoer: emissies, meteorologie en omgevingsparameters, of modelparameters en/of vereenvoudigingen). Dit geeft richting aan het werken aan betere invoergegevens (bijvoorbeeld emissiegegevens) of verbeteren van de modelopzet (bijvoorbeeld het inbrengen de mogelijkheid om meerdere rijbanen te kunnen doorrekenen).

Figuur 3 De onzekerheid in de uitkomsten wordt door veel factoren bepaald. In deze studie zijn per model hiervoor overzichten gemaakt, zodat de modelkwaliteit beoordeeld kan worden



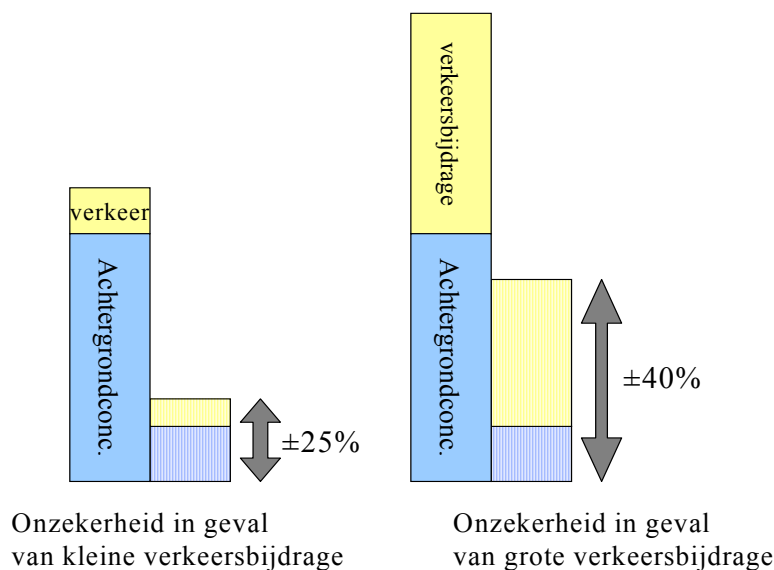
Onnauwkeurigheid definiëren we als de mate van variatie in de uitkomsten ten gevolge van aspecten die redelijkerwijs WEL door de gebruiker zijn te beïnvloeden, zoals het samennemen van wegsegmenten, die ook afzonderlijk doorgerekend kunnen worden.

Vaak treft men getalsmatige informatie aan omtrent de onzekerheid in uitkomsten, bijvoorbeeld 15%, zonder dat wordt aangegeven wat dat percentage aangeeft (wat staat in de teller en wat staat in de noemer). Dat schept soms verwarring. De onzekerheid wordt in dit rapport gegeven als de *variatiecoëfficiënt*: de standaarddeviatie van de mogelijke afwijkingen gedeeld door de gemiddelde waarde, uitgedrukt in procenten. Een onzekerheid van 10% betekent dan dat 70% van de meetcijfers niet meer dan 10% van de gemiddelde waarde afwijkt en dat 95% niet meer dan 20% afwijkt. Met deze parameter kunnen onzekerheden ten gevolge van verschillende bronnen bij elkaar opgeteld worden om zodoende een schatting te maken van de totale onzekerheid van de uitkomsten een model.

Modellen zijn slechts in beperkte mate vergeleken met metingen. Dat geldt zeker voor *modelonderdelen*. Daarom is het erg lastig om een goed onderbouwde schatting te geven van de modelonzekerheid ten gevolge van modelonderdelen en zelfs van de einduitkomsten. In rapportages wordt de onnauwkeurigheid doorgaans afgeleid van meetcampagnes, waarbij alle in-

voergegevens goed bekend zijn en waarbij de uitkomsten soms op een optimistische wijze worden weergegeven (bijvoorbeeld: situaties met windstil weer worden weggelaten, het model wordt eerst aangepast om beter rekening te houden met de lokale omstandigheden alvorens de resultaten te publiceren). Het is een goed uitgangspunt om gerapporteerde onzekerheden te zien als de ondergrens van de onzekerheden van de uitkomsten van het model. Voor verkeersmodellen geldt in algemene zin, dat de validatie uitermate beperkt is en op zichzelf onvoldoende basis vormt om de onzekerheid ervan af te leiden. Vergelijking met praktijkmetingen zijn beperkt, tijdgebonden, en niet objectief (de modelontwikkelaar valideert zijn eigen model). Voorts is het belangrijk te realiseren dat er een wezenlijk verschil bestaat in validatie in windtunnelexperimenten en validatie in de praktijk ('real world'). In de windtunnel worden geen onzekerheden meegenomen ten gevolge van emissies, meteorologie, ruwheidsfactoren en dergelijke. Bovendien kunnen gebouwen daarin netjes gemodelleerd zijn (geen erkers, liftschachten en zo). Deze zullen dus altijd aan optimistische kant zijn. 'Real world' validaties bemeten meestal de totale concentratie: dus de achtergrond plus bronbijdrage. De hier besproken modellen berekenen steeds alleen de bronbijdrage en tellen die bij de achtergrond op. Daardoor komen de uitkomsten redelijk met metingen overeen, zonder dat de modellen de bronbijdrage echt goed behoeven te berekenen (zie Figuur 4). We zullen in de presentatie van onzekerheden hiermee rekening houden.

Figuur 4 In validatiestudies scoren modellen beter in situaties met een lage bronbijdrage dan in situaties met een hoge bronbijdrage. Blauw: achtergrondconcentratie; gearceerd blauw: de onzekerheid hierin. Geel: berekende bronbijdrage; gearceerd: de onzekerheid daarin



We zullen de onzekerheid in deze rapportage getalsmatig weergeven. Dat heeft zeker niet de pretentie dat de schattingen van de onzekerheden redelijk nauwkeurig zijn. In veel gevallen gaat het om een 'best expert-guess'. Zoals door bijvoorbeeld door Annema (2003) of TNO (2003) is aangegeven is een expert beoordeling vaak belangrijk als aanvulling op de validaties met praktijkmetingen. Het voordeel ervan is dat een totaalbeeld wordt verkregen van het model, als nadeel ervan kan de subjectiviteit genoemd worden.

Deze beoordeling vindt plaats door de invloed van een onzekerheidsbron te vertalen naar een onzekerheidsmarge. De volgende typering wordt daarbij als leidraad gehanteerd:

- geen invloed 0%
- geringe invloed 5%
- merkbare invloed 10%
- matige invloed 15%
- grote invloed 20%
- zeer grote invloed $\geq 25\%$

Zoals in Figuur 4 is aangegeven is de verhouding tussen de achtergrondconcentratie en de bronbijdrage van grote invloed op de onzekerheid. Ook van grote invloed is over welke situatie men een uitspraak doet over de onzekerheid van het model. Voor een eenvoudige situatie (vrij liggende weg zonder schermen, geen verhoogde of verlaagde wegligging, zonder files) zijn modeluitkomsten minder onzeker dan voor complexe situaties. Daarom zullen we bij het aangeven van modelonzekerheid bandbreedtes hanteren voor:

- de hele range van verhoudingen achtergrond – bijdrage van het wegverkeer;
- voor twee verkeerssituaties: eenvoudig (vrij liggende weg zonder obstakels) en complex (verkeersweg met schermen, obstakels, files, verhoogde ligging en enige bebouwing).

Bij het optellen van de onzekerheid in achtergrond en bijdrage van verkeerswegen kunnen verschillende wegen gevolgd worden. Er is voor gekozen om de varianties van achtergrond en bronbijdragen naar ratio van de bijdrage achtergrond en bronbijdrage bij elkaar op te tellen³.

Modelonzekerheid is lastig te kwantificeren. Wij zullen dat doen middels bovenstaande richtlijn, aangevuld met data uit validatiestudies. De resulterende onzekerheidsmarges zijn indicatief! Cijfers uit validatiestudies geven minder houvast dan aangenomen wordt! Onzekerheid in modellen zal hier als bandbreedte gegeven worden: afhankelijk van bron/achtergrond-ratio en voor eenvoudige tot complexe situaties (zie omschrijving hierboven).

De hier gehanteerde methodiek leidt tot de schatting van bovenwaarden in onzekerheidspercentages (zie voetnoot). Echter, gezien signalen uit RIVM dat er meer (of grotere) onzekerheden in verkeersemissies zijn dan hier meegenomen zijn, is voor deze 'bovenwaardemethodiek' gekozen.

2.5 Gebruikersvriendelijkheid

De gebruikersvriendelijkheid van het model wordt bepaald door:

- de bewerkelijkheid van de invoer (preprocessing). Een model waarbij erg veel moeite gedaan moet worden om de invoer te genereren is minder gebruikersvriendelijk dan wanneer men kan volstaan met het invoeren van 1 getal. Dit hangt samen en is soms complementair aan de as-

³ Een alternatief zou kunnen zijn om niet de varianties, maar de standaarddeviaties te wegen en dan na kwadrateren bij elkaar op te tellen. Dit veronderstelt *onafhankelijkheid* tussen bronbijdragen en achtergrondbijdrage. De in deze studie gehanteerde werkwijze veronderstelt juist *afhankelijkheid*. Zowel voor het een als voor het andere is wat te zeggen. Voor de emissies, meteorologie en verspreidingsprocessen zullen in zowel de berekening van de bronbijdrage als voor achtergrond ten dele dezelfde getallen zijn gebruikt, dus afhankelijk zijn, maar ruimtelijk gezien zullen bronbijdragen en achtergrond juist onafhankelijk van elkaar zijn.



pecten genoemd onder credibility. Immers indien een model met weinig omstandigheden rekening houdt, is de werking gebruikersvriendelijk, maar de resultaten minder betrouwbaar;

- de bewerkelijkheid van de uitvoer (postprocessing). Een model waarbij erg veel moeite gedaan moet worden om de uitvoer te bewerken zodanig dat de resultaten overzichtelijk gepresenteerd kunnen worden, is minder gebruikersvriendelijk dan wanneer men kan volstaan met een druk op de knop. Dit aspect zegt feitelijk niets over het model zelf, maar alles over de omgeving waarin gewerkt moet worden;
- de runtijden van het model voor een typische berekening. In de praktijk is het uitvoeren van berekeningen aan een verkeersweg een iteratief proces, waarbij men eerst via proefberekeningen wil inschatten wat ruwweg het niveau van de concentraties is, waarna men 'serieuze' berekeningen uitvoert. Wachttijden op resultaten zijn dan belangrijk;
- de aanwezigheid van een handleiding en aanverwante documentatie (zoals een handreiking om goede keuzen te maken bij de invoerparameters).

2.6 Economische aspecten

Economische aspecten betreffen met name:

- de kosten van het verkrijgen van het model;
- de kosten voor onderhoud en updates van het model;
- de beschikbaarheid van het model;
- het bedrijf dat het model beheert en onderhoudt (mate van deskundigheid en continuïteit);
- de runtijden van de berekeningen (tijd kost geld);
- de geheugenruimte/omvang van de berekeningen (nieuwe computers nodig, Cray, ...).

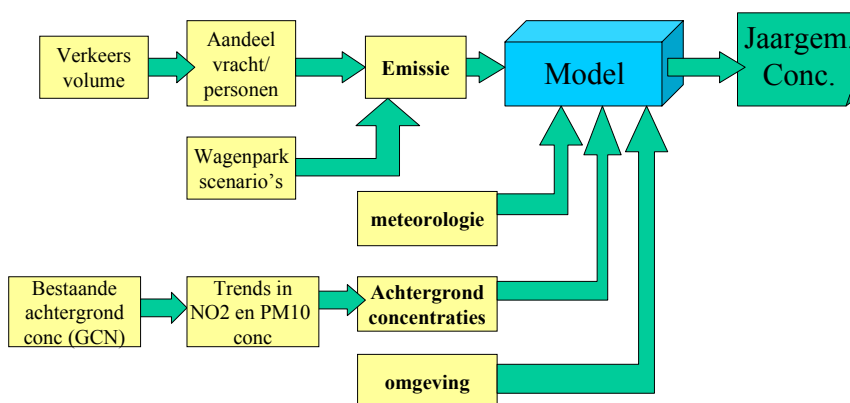
2.7 Invoergegevens

De onzekerheid in de uitvoer van modellen (de berekende concentraties) wordt niet alleen door de modelkwaliteit bepaald maar zeker ook door de invoer parameters. Voor verkeersmodellering kennen we de volgende invoergegevens die op de een of andere manier in de modellen nodig zijn ten einde de huidige en/of toekomstige kwaliteit van de luchtkwaliteit te kunnen bepalen:

- meteorologie;
- achtergrondconcentraties van NO₂, ozon en PM₁₀ (om de belangrijkste te noemen);
- verkeersintensiteit en –snelheden op de wegvakken (inclusief de rijdynamic);
- aandeel vrachtverkeer en soort vrachtverkeer (licht – zwaar);
- emissiekarakteristieken van het verkeer;
- omgevingsfactoren (ruwheid, bodemgesteldheid);
- gegevens omtrent obstakels in de onmiddellijke nabijheid van de wegen.

Om berekeningen voor toekomstprognoses te kunnen maken moeten op basis van actuele gegevens schattingen voor de toekomst (bijvoorbeeld 2010) gemaakt worden. Dit geldt met name voor de verkeersemisies en voor de dan heersende achtergrondconcentraties (zie Figuur 5).

Figuur 5 Diverse invoergegevens dragen bij aan de onzekerheid in de modeluitkomsten



In deze paragraaf zullen we hier kort op ingaan alvorens de modellen en hun onzekerheden te beschrijven. Voor de meeste modellen geldt dat deze invoer nodig is en ook daadwerkelijk gevraagd wordt bij het uitvoeren van berekeningen. Indien bij een model deze invoer niet/of op een lager niveau gevraagd wordt, zal dat bij het model worden vermeld.

2.7.1 Recente en verouderde invoergegevens.

Belangrijk is te realiseren dat we hier spreken over de onzekerheid in recente invoergegevens. Verouderde gegevensbestanden zullen dan tot extra fouten in de resultaten leiden.

In praktijk is dit met name voor CAR van belang: omdat dit model breed beschikbaar is en al langere tijd ingezet kan worden, zullen er verschillende versies van in gebruik zijn. Jaarlijks wordt er een update van dit model beschikbaar gesteld met geactualiseerde achtergrondgegevens en – indien nodig – emissiegegevens. Zo bevat CAR-II versie 2003 aangepaste voertuigemissies, op basis van de nieuwste schattingen van RIVM, die anders zijn dan tabellen die in de handleiding (februari 2002) staan afgedrukt.

Voor alle andere modellen geldt dat deze (behoudens enkele uitzonderingen) in beheer zijn van de ontwikkelaars. Deze zullen hun gegevens zeker jaarlijks en waarschijnlijk per project actualiseren op basis van de vraagstellingen waar ze dan mee geconfronteerd worden. Deze actualisatie worden niet in publicaties of handleidingen vermeld en zijn dus moeilijker te achterhalen; in de meeste gevallen wordt dit in de projectrapportages wel vermeld.

2.7.2 Meteorologie

Meteorologische gegevens variëren in Nederland met name in de richting noord/west naar zuid/oost. Indien twee stations voor de meteorologische invoer worden gebruikt is de invloed ervan op berekende concentraties 30% voor lage bronnen (zie Figuur 6). Voor hoge bronnen, >50 m, is er geen groot verschil. Dit is vastgesteld bij de ontwikkeling van het Nieuw Nationaal Model (TNO, 1996). Daarnaast maakt het uit hoe de gegevens worden geïnterpreteerd. De keuze van de wijze waarop het effect van de lokale omgeving bij het meteorostation wordt verwerkt geeft een onzekerheid van rond 10%. De jaarlijkse variatie door fluctuaties in het weer is ook in deze grootte orde (10%, TNO, 1996b). De invloed van de keuze van de meteorologie (station en tijdsperiode) is dus minimaal 10%, oplopend tot 30%, gemiddeld

20%. Dit wordt bevestigend door analyses van RIVM (2002), waarbij wordt geconcludeerd dat NO₂-concentraties in een gunstig jaar (door meteo) 10% lager en bij een ongunstig jaar 10% hoger liggen. ROM Rijnmond (2003) berekent het effect van verschillende perioden waarover de meteorologie wordt genomen als maximaal -23% en +19% ten opzichte van het gemiddelde. Een standaardafwijking van 10% is dus heel aannemelijk. Indien de meteorologie is gekwantificeerd in Pasquill klassen of anderszins is geclassificeerd, zonder gebruik te maken van Monin-Obukhov parametrisatie, dan stellen we de onzekerheid op 15%.

Figuur 6 De invloed van een tweedeling in meteostations is maximaal 30% op de berekende concentraties



2.7.3 Achtergrondconcentraties

Vanaf het jaar 2002 worden historische concentraties in Nederland gegeven door RIVM in de vorm van de GCN's (generieke concentraties in Nederland). Dit omvat een gedetailleerd bestand met alle relevante luchtverontreinigende stoffen (in ieder geval de AMvB stoffen) met een groot ruimtelijk oplossend vermogen. Daarmee is een einde gekomen aan de reeds lang heersende vraag van welk 'achtergrond' station er concentratiegegevens gebruikt moesten worden, waarmee dan verspreidingsberekeningen konden worden uitgevoerd. De nauwkeurigheid van deze GCN's bepaalt mede de nauwkeurigheid van de einduitkomsten van alle verspreidingsmodellen. In een beschrijving van de GCN's (RIVM, 2002) is daarin aangegeven dat de onzekerheid voor jaargemiddelde NO₂-concentraties 2,5 – 3,0 µg/m³ bedraagt, voor ozon 2,5 – 5,5 µg/m³. Er moet voor NO₂ rekening gehouden worden met een onnauwkeurigheid van 25% in de achtergrondconcentraties die door het RIVM verstrekt worden (ROM Rijnmond, 2003). Dit getal lijkt wat aan de hoge kant, maar een onzekerheid van 10% in GCN en 20% in de overige achtergrondconcentraties schattingen lijkt reëel. Voor PM₁₀ wordt geen onnauwkeurigheid genoemd, maar de onzekerheid zal duidelijk groter zijn dan bij NO₂, al was het al maar vanwege het geringe aantal meetstations dat gebruikt kan worden (ten opzichte van bijvoorbeeld NO_x en ozon) voor de ruimtelijke interpolaties. De onzekerheid in de PM₁₀-concentraties

lijkt daarmee een ondergrens van $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te hebben. De onzekerheid in de jaargemiddelde meetwaarden van PM_{10} alleen al is ongeveer 10% (Jaaroverzicht luchtkwaliteit 2001 van het RIVM; bijlage F). We nemen voor NO_2 daarom een onzekerheid van 12% (het midden houdend tussen 9-13 voor GCN's) en voor PM_{10} 20%. Deze getallen gelden dan als gemiddelden over Nederland. Voor urbane gebieden – waar sterkere gradiënten in de heersende concentraties optreden – zullen de schattingen een grotere onzekerheid kennen, met name vanwege het beperkte oplossend vermogen van de emissiebestanden die worden gehanteerd voor het berekenen van de achtergrondconcentraties. De hier genoemde getallen moeten gezien worden als een ondergrens.

Wat de GCN's betreft zij nog opgemerkt dat door de methodiek sprake is van dubbeltelling. De GCN's zijn berekend met verrekening van alle bronnen in het betreffende gebied. Dus ook de verkeersbronnen. Daardoor is sprake van enige dubbeltelling omdat de invloed van de verkeersweg al in de bestaande concentraties is opgenomen. Deze dubbeltelling is bekend, maar wordt in vrijwel alle gevallen als verwaarloosbaar beschouwd. In situaties waarin meerdere drukke verkeerswegen lokaal de luchtkwaliteit beïnvloeden, kan de dubbeltelling echter significant zijn. Zo is voor de situatie in Nieuwegein berekend dat deze dubbeltelling (A2, A27 en A12) voor NO_2 gemiddeld ongeveer $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt. Voor een enkele verkeersweg is deze dubbeltelling in de ordegrootte van 1 à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (<5%).

Alles overwegende geldt dat een onzekerheid van 15% in de achtergrondconcentraties als minimumwaarde heel aannemelijk is.

2.7.4 Verkeersintensiteit en –snelheden

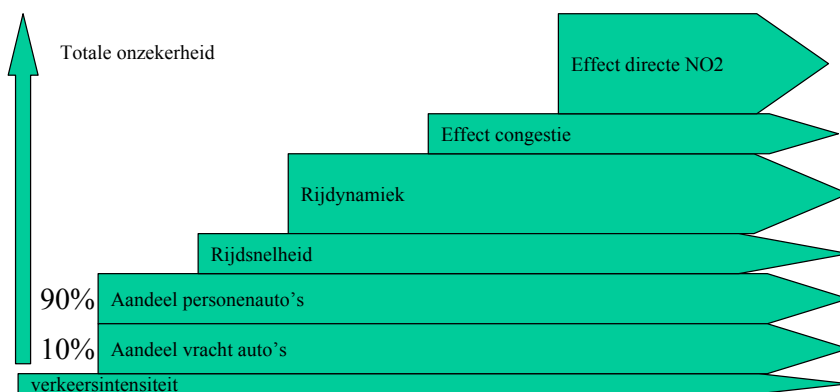
De onzekerheid in de bepalingen van verkeersintensiteiten lijkt op het eerste gezicht niet zo groot te zullen zijn. Het venijn zit echter niet in het aantal voertuigen (per etmaal), dat redelijk goed met tellingen vastgesteld kan worden, maar in de onderverdeling in categorieën personenverkeer, licht vrachtverkeer en zwaar vrachtverkeer. Dit zal in navolgende besproken worden. De cijfers voor de verkeersintensiteiten zelf lijkt geen relevante bron van bron onzekerheid te bevatten. Voor met name geluidsstudies (ten behoeve van het thema verstoring) wordt voor rijksverkeerswegen de verkeersintensiteit goed gemonitord. In RIVM, 2000b wordt gesteld dat 'voor het rijkswegennet zijn goede geactualiseerde telgegevens van rijkswaterstaat beschikbaar, het is daarmee voor wat de verkeersintensiteiten een van de meest betrouwbare bestanden, waarmee de ontwikkeling van de geluidsbelasting door het verkeer op rijkswegen nauwgezet kan worden bijgehouden'. We veronderstellen dat de verkeersintensiteitsgetallen geen significante bijdrage aan de onzekerheid bevat (voor prognoses kan dit heel anders zijn). De precieze *gemiddelde* snelheid heeft een gering effect op de emissie niveaus: dit blijkt uit de in CAR gehanteerde emissiegetallen bij verschillende snelheden.

2.7.5 Aandeel vrachtverkeer en soort vrachtverkeer

De onderverdeling in categorieën personenverkeer, licht vrachtverkeer en zwaar vrachtverkeer is duidelijk meer een probleem. Omdat de emissiefactoren aan deze categorieën worden gekoppeld is dit een belangrijk gegeven. Bovendien is de snelheidsdynamiek van wezenlijk belang voor de werkelijke emissies, zoals uit recent onderzoek naar voren komt.



Figuur 7 De onzekerheid in de verkeersemissies is een optelsom van onzekerheid in verkeersintensiteit, aandeel personenauto's en vrachtauto's, (gemiddelde) rijdsnelheid, rijdynamiek, effect files en effect directe uitstoot van NO₂



Het aandeel vrachtverkeer ligt in Nederland rond de 10%. Lokaal treden grote afwijkingen van dit gemiddelde op. Maar de emissies van vrachtverkeer liggen een factor 10 of meer hoger dan van personenverkeer (per kilometer). Omtrent de onzekerheid van emissies van vrachtverkeer is een nauwkeurige telling van het vrachtverkeer is dus belangrijker dan het totale aantal auto's. Omtrent de omvang van deze onzekerheidsbron is weinig bekend, hoewel onderkend wordt dat het belangrijk is een stukje deaggregatie door te voeren bij het vrachtwagenpark (Annema, 2003). Al met al is de conclusie dat de onzekerheid in emissieschattingen met name ten gevolge van vrachtverkeer een (te) hoge mate van onzekerheid herbergen.

De onzekerheid in de eindresultaten ten gevolge van een te ruwe classificatie en/of aandeel van het vrachtverkeer ligt in de orde van 10 à 20% in de eindresultaten.

Uit een contra-expertise van CE naar de luchtkwaliteit bij Ypenburg (CE, 2001) blijkt dat er voor eenzelfde doelstelling sterk verschillende percentages van met name zwaar verkeer aangenomen kunnen worden. Een verschil van 8 en 12% voor zwaar verkeer wordt daarbij genoemd. Dit werkt in de emissiecijfers voor een verkeersweg door met een percentage van ruwweg 10%. Voor Ypenburg zijn specifieke studies uitgevoerd, maar voor andere wegvakken zal de onnauwkeurigheid in dit soort gegevens niet kleiner zijn. Daarbij komt nog dat binnen de categorie vrachtverkeer er nog flinke verschillen mogelijk zijn. Uit een studie van de Gemeente Amsterdam komt naar voren dat er een groot schil kan zijn tussen vrachtwagens met en zonder aanhangwagen. De gemeente concludeert dat er een toename is van het aandeel zwaar verkeer van 35% naar 50% in een periode van 20 jaar. Het aandeel zwaar vrachtverkeer rond de stad bedroeg 20% (binnen de categorie vrachtverkeer). 'Normale' vrachtwagens worden gedefinieerd als voertuigen zwaarder dan 3,5 ton met maximaal twee assen, alle overige vrachtverkeer is zwaar verkeer. Zwaarder vrachtverkeer heeft evenredig hoger uitstoot van NO_x en PM₁₀. Het effect van de onzekerheid van het aandeel vrachtverkeer stellen we daarom op 10%.

2.7.6 Emissiekaracteristieken van het verkeer

Er bestaat een groot verschil tussen de gestandaardiseerde emissiebepalingen in het laboratorium en de werkelijke emissies in praktijksituaties. Bij moderne wagens wordt de emissie in praktijk steeds meer bepaald door snelheidsveranderingen dan door de gemiddelde rijsnelheid. Emissie-kentallen zijn tot voor kort afgeleid van laboratorium testmetingen, die een praktijksituatie simuleren. Uit een studie van TNO (2001) blijkt dat NO_x -emissies in werkelijke ritten (gemeten met in-car meetapparatuur) ruim 50% kan afwijken van de lab-metingen. Op de InfoMil site is vermeld dat het effect van meer of minder fileverkeer leidt tot 20-40% in de verkeersemisatie. Annema (RIVM, 2003) stelt dat de onzekerheid in de emissieschattingen van het Nederlandse verkeer momenteel onvoldoende bekend zijn. Uit de beschouwing worden aanwijzingen gegeven voor het effect van wisselend rijgedrag op de totale emissie: rond 10% (uit buitenlandse bronnen). De onzekerheid in de totale emissie voor NO_x voor verkeer wordt geschat op ongeveer 15% (ruwe schatting, inclusief de onzekerheid voor het aandeel vrachtverkeer). Voor personenverkeer schatten we de invloed hiervan op de eindresultaten op 10%. De gemiddelde rijsnelheid is ook een invoerparameter, er zijn aanwijzingen dat de invloed hiervan gering is (5%).

2.7.7 Omgevingsfactoren

Hiermee wordt met name de terreinruwheid van de omgeving bedoeld. Andere mogelijke modelparameters (bodemvochtigheid en dergelijke) spelen een kleinere rol.

De ruwheid is echter voor locale verspreiding van luchtverontreiniging een factor van betekenis. In oudere modellen (TNO-VM, CAR en oude Nationaal Model) was de gevoeligheid van het model voor deze parameter niet groot. Op basis van nieuw inzicht, die in de moderne modellen is verwerkt, spreekt een groter invloed van de terreinruwheid, afhankelijk van de bronhoogte van 10% (hoge bron) tot 30% voor een lage bron. Daarom is in de handreiking Nieuw Nationaal Model (te vinden op de InfoMil internetsite) veel aandacht besteed aan het geven van adviezen voor het kiezen van een juiste terreinruwheid. Voor onze doelstelling (onzekerheid in modellen inschatten) is een onzekerheid voor het effect van de terreinruwheid van 15% een goede middenwaarde, echter heel dicht bij de weg is de invloed ervan beperkt (10%), omdat die van obstakels, schermen en de eigen turbulentie van het verkeer belangrijker zal zijn.

2.7.8 Gegevens omtrent obstakels

Niet alle modellen zijn in staat om de effecten van obstakels in de onmiddellijke nabijheid van rijkswegen te verrekennen. Het effect wordt grotendeels bepaald door de specifieke geometrie van de obstakels, met name indien het gebouwen betreft. Hiervoor is bijna geen goede modelformulering meer te geven, die redelijk nauwkeurig de concentraties rond de gebouwen kan berekenen. Dit is getracht ten behoeve van het nieuwe Nationaal Model in kaart te brengen (KEMA, 1997), in deze studie wordt een maximaal haalbare nauwkeurig voor jaargemiddelden van een factor 2 genoemd bij aanwezigheid van 2 of 3 gebouwen. In feite zijn alleen numerieke methoden (CFD: Computational Fluid Dynamics) of windtunnelstudies toegesneden op dit soort problemen. Alleen met deze technieken kan een nauwkeurigheid beter dan een factor 2 wellicht bereikt worden.



2.7.9 Prognostische berekeningen

Voor een toekomstig jaar worden de onzekerheidsmarges wat groter, met name vanwege:

- de onzekerheid in de dan heersende achtergrond concentraties;
- de verkeersemisseries in de toekomst;
- de verkeersintensiteitsgegevens.

De onzekerheid in de dan heersende achtergrond concentraties

Dit aspect is het minst moeilijk te kwantificeren. Op basis van economische groei modellen en emissie reducerende maatregelen in de toekomst kunnen uitspraken gedaan worden omtrent de achtergrondconcentraties in 2010. De onzekerheid hierin is niet zo groot, omdat de economische groei over een periode van 10 jaar volgens verschillende modellen leidt tot vrijwel dezelfde emissies en dus concentratieniveaus. De extra onzekerheid ten gevolge van de schatting van achtergrondconcentraties zal dus gering zijn: in deze studie nemen we aan dat de onzekerheid in 2010 toeneemt van 15% (voor nu) naar 20%.

De verkeersemisseries in de toekomst

Deze invoergegevens zijn minder zeker te voorspellen. Dit heeft ten dele te maken met de leemten in kennis die er nu zijn en ten dele met de scenario's van brandstofontwikkeling (LPG/benzine, diesel) en de wijze waarop de nieuwe emissie-eisen voor voertuigen geïmplementeerd zullen worden. Het is bekend dat motorfabrikanten toewerken naar het voldoen aan de emissie-eisen die hiervoor zijn ontwikkeld. Theoretisch kan in praktijk de situatie zich voordoen dat de motoren voldoen aan deze testen, maar in praktijk helemaal geen verbetering in emissies laten zien. Er is onvoldoende bekend over de onzekerheid in de voertuigemissies (Annema, 2003), voor onze onzekerheidsschattingen nemen we aan dat de onzekerheid in de voertuigemissies voor het jaar 2010 twee keer zo groot zijn ten opzichte van de huidige emissies (20% voor personenvoertuigen en 30% voor vrachtauto's).

De verkeersintensiteitsgegevens

Hierover is weinig bekend, maar zeker is dat de verkeersintensiteitsgegevens voor 2010 duidelijk onnauwkeuriger zullen zijn dan voor historische jaren. We kiezen als rekenwaarde 10% (voor historische berekeningen is dit op 0% gesteld).

2.8 Modeluitvoer

In dit rapport besteden we aandacht aan de kwaliteit van de modelvoorspellingen. We richten ons daarbij op de uitvoerparameters die het Besluit Luchtkwaliteit vereist (jaargemiddelden en overschrijdingskansen). Alle modellen geven deze uitvoer naar behoren. Deze wijze waarop deze uitvoer wordt gepresenteerd is geen onderdeel van de studie. Wel wordt vermeld in hoeverre een model in staat is de bijdrage van verkeersbronnen separaat als uitvoer te presenteren.



3 VLW-model

3.1 Functionaliteit

Het Voorspellingssysteem Luchtkwaliteit Wegtracévarianten (VLW) model is in de jaren negentig ontwikkeld voor Rijkswaterstaat. Daarbij is het TNO verkeersmodel als leidraad genomen en wel zodanig dat het VLW-model voor rijkswegen dezelfde functionaliteit verkreeg als het toenmalige TNO Car Special versie 4.5. In grote lijnen heeft het VLW-model dezelfde functionaliteit als het TNO-VM. Belangrijke verschillen komen voort uit het feit dat het VLW in de periode 1994-2003 geen verdere verspreidingstechnische ontwikkeling heeft doorgemaakt, terwijl het TNO-VM voor allerlei situaties is uitgebreid met enkele modules.

VLW is oorspronkelijk net als het TNO-VM een lange-termijn klassenmodel, dat uitgaat van de neutrale atmosferische situaties en dus feitelijk aanneemt dat de atmosferische stabiliteit geen relevant effect heeft op de turbulentie en dus op de dispersie. Daarmee is het werkingsgebied van het model beperkt tot maximaal enkele honderden meters (afhankelijk van de terreinruheid: hoe minder ruw het terrein hoe korter de afstand).

Principieel worden alleen jaargemiddelden berekend. Door gebruik te maken van empirische relaties tussen jaargemiddelden en hogere percentielen (dus ook de overschrijdswaarden die het Besluit Luchtkwaliteit noemt) kunnen hiervan afgeleide hogere percentielen berekend worden; uurgemiddelde waarden worden niet berekend.

Componenten:

- NO_x;
- NO₂;
- SO₂;
- CO;
- C_xH_y;
- benzeen;
- fijn stof (aerosolen);
- benzo-a-pyreen;
- lood;
- zwarte rook.

(Voor alle componenten kan een achtergrondconcentratie of –windroos gedefinieerd worden, het is overigens ook mogelijk om eigen nieuwe stoffen te definiëren)

Situaties:

- vrijliggende weg;
- weg met aan eenzijde bebouwing;
- weg met aan beide zijden bebouwing;
- verhoogde wegen, verlaagde wegen;
- viaducten;
- tunnelmonden;
- geluidsschermen en geluidswallen;
- enkele gebouwen.

Voorts kan er rekening gehouden worden met bomen langs de weg (met behulp van een zogenaamde bomenfactor (1, 1.25 of 1.50: 3 categorieën). De bijdragen van meerdere verkeerswegen kunnen bij elkaar opgeteld wor-

den. Combinatie met andere brontypen is niet met het model als zodanig mogelijk.

Verkeerstypen:

- personenverkeer en vrachtverkeer (diverse klassen);
- een onbeperkt aantal snelheidsklassen;
- er wordt rekening gehouden met de eigen turbulentie door verkeer.

Tijdshorizon:

Er kunnen historische, actuele en prognostische (2005, 2010) berekeningen worden uitgevoerd.

3.2 Credibility

Het VLW-model leunt sterk op de kwaliteiten van het TNO-VM. De publicatie ervan beperkt zich tot interne rapporten. Bij ECN is in 2001 een project in gang gezet om het VLW-model te harmoniseren met de modelconcepten van het Nieuw Nationaal Model (NNM) en te komen tot een uur-bij-uur rekenwijze. Deze gemoderniseerde versie van het model (VLW-NNM) is in het recente verleden in het Kader van het Besluit Luchtkwaliteit direct toegepast. Daarbij bleken de gemodelleerde niveaus van VLW-NNM significant hoger dan metingen, het VLW-Klassenmodel en het TNO-VM. Naar aanleiding van de problemen met de uitkomsten van het VLW-model is een onderzoek gestart naar de oorzaken van de verschillen (InfoMil, 2002) waarbij berekeningsresultaten zijn vergeleken met enerzijds uitkomsten van andere modellen en anderzijds met meetresultaten. De nieuwe versie bleek in ieder geval drie onvolkomenheden in de broncode bevatten te die de overschattingen geheel verklaren.

Bij RWS DWW wordt momenteel heroverwogen welke modelversie (Klassenmodel, NNM) het beste kan worden uitgebouwd tot een degelijk geaccepteerd model dat aanvaardbare uitkomsten produceert. Ten tijde van het schrijven van dit rapport is dat proces nog niet afgerond. In het rekenhart kan eenvoudig tussen beide rekenwijzen gewisseld worden.

3.3 Onzekerheid

De klassenmodel variant van VLW is gebaseerd op de beschrijving van het TNO-VM (zie hoofdstuk 5). De onzekerheid in de uitkomsten is daarom vergelijkbaar met die van het TNO-VM.

In een zeer recente testvergelijking van het VLW-klassenmodel versie 1.2 en de versie 2.2 (met de uur-bij-uur module) in klassemmodel-modus met reken-cases uit 1994 is gebleken dat het model voor die cases nog identieke resultaten produceert (Vermeulen, 2003). De resultaten van deze (voor de praktijk representatieve) cases wijken hooguit enkele procenten af van die van het TNO-VM in 1994. Het TNO-VM heeft in de periode na 1994 nog een verdere ontwikkeling doorgemaakt (mondelinge mededeling J. Wesseling). Inmiddels heeft de recente vergelijking van VLW met het TNO-VM geleid en zal verder leiden tot een betere harmonisatie tussen de resultaten van het TNO-VM en VLW. Dit proces zal naar verwachting in december 2003 afgerond worden.



3.4 Gebruikersvriendelijkheid

Het VLW-model is een operationeel model, maar is niet commercieel beschikbaar. Er wordt mee gerekend door en in opdracht van Rijkswaterstaat (dienst DWW), waarbij er maatwerk wordt geleverd. Dat maakt het model voor externe gebruikers op dit moment onbereikbaar. Een goede transparante beschrijving van de modelbenadering en toegepaste parametrisaties is voorhanden voor de versie 1.2 (TNO, 1992) en er is een uitgebreide gebruikershandleiding en documentatie voor systeembeheer.

RWS-DWW heeft een rekenschil laten ontwikkelen die het rekenhart van VLW via GIS koppelt aan de eigen wegvak- en verkeersprestatiegegevens en zal deze schil in de toekomst verder ontwikkelen.

Aanvullend op het rekenhart zijn diverse tools beschikbaar om bijvoorbeeld de berekeningen in het kader van de rapportage voor het Besluit Luchtkwaliteit uit te voeren.

Het eigenlijke rekenhart is een flexibel inzetbare rekenbibliotheek in de vorm van een Windows 32-bit DLL die alleen resultaten levert indien deskundigen de invoer verzorgen en de uitvoer omzetten of indien door speciaal te schrijven toepassingen de invoer/uitvoer verzorgd wordt.

Het VLW model is afgeleid van het TNO verkeersmodel met als doel het model voor MER studies (waarin tracévarianten) in te zetten. Het model ondergaat momenteel een review proces om de resultaten op een geactualiseerd en goed niveau te brengen. Er is daarom voor gekozen de beschrijving van het VLW in dit hoofdstuk minder gedetailleerd uit te werken dan de andere modellen.



4 CAR-II

4.1 Functionaliteit

CAR-II is een verbeterde versie van CAR-I en heeft in hoofdzaak dezelfde functionaliteit als CAR-I. De functionaliteit omvat vooral stedelijke gebieden. Het is een screeningsmodel, niet bedoeld voor nauwkeurige berekeningen, maar (volgens opgave van de ontwikkelaars) voldoende voor de rapportage die het Besluit Luchtkwaliteit vereist. Berekeningen van 5 m tot 30 m afstand van de weg-as zijn mogelijk, behalve indien het een vrij liggende weg betreft, dan is een afstand van 300 m mogelijk. Dit maakt toepassing op rijkswegen in principe mogelijk tot 300 m (maar voor schermen en wallen zijn geen voorzieningen), hoewel door TNO erop gewezen wordt dat CAR niet geschikt is voor het uitvoeren van luchtkwaliteitsstudies aan snelwegen (zie bijvoorbeeld TNO, 2003a, pp 10). Alleen globale indicatieve berekeningen worden voor dit doel als haalbaar aangemerkt.

CAR berekent jaargemiddelden en alle grens- en plandremmelwaarden die nodig zijn voor rapportage ten behoeve van het Besluit Luchtkwaliteit. Er kan rekening gehouden worden met bomen langs de wegen, met eenzijdige of tweezijdige bebouwing langs de weg. Ook kruispunten van wegen kunnen doorgerekend worden. Er wordt geen rekening gehouden met de wisselende hoeken tussen windrichting en wegoriëntatie: alle berekeningen gaan uit van afstanden loodrecht op de weg-as. Daarmee wordt dus geen rekening gehouden met cumulatie van concentraties ten gevolge van bovenwinds gelegen segmenten van dezelfde weg.

Principieel worden alleen jaargemiddelden berekend. Door gebruik te maken van empirische relaties tussen jaargemiddelden en hogere percentielen (dus ook de overschrijdingswaarden die het Besluit Luchtkwaliteit noemt) kunnen hiervan afgeleide hogere percentielen berekend worden; uurgemiddelde waarden worden niet berekend.

Componenten:

- NO_x;
- NO₂;
- SO₂;
- CO;
- benzeen;
- fijn stof;
- benzo-a-pyreen.

In feite betreft het alleen de AMvB stoffen, die doorgerekend kunnen worden (naast inert).

Situaties (5 wegtypen):

- vrijliggende weg;
- weg met aan een zijde bebouwing (3 dichtheidsklassen);
- weg met aan beide zijden bebouwing.

Voorts kan er rekening gehouden worden met bomen langs de weg (met behulp van een zogenaamde bomenfactor (1, 1.25 of 1.50: 3 categorieën).

Verkeerstypen:

- personenverkeer en vrachtverkeer (3 klassen vrachtverkeer);
- 5 snelheidsklassen (13, 19, 26, 44 en 100 km/u).

Tijdshorizon:

Er kunnen historische en prognostische (2005, 2010) berekeningen worden uitgevoerd.

CAR-II wordt in praktijk vooral gebruikt voor binnenstedelijke situaties. Als zodanig is het model het complement van TNO-VM. Deze laatste wordt met name voor rijkswegen toegepast.

4.2**Credibility**

Zowel CAR-I als CAR-II zijn gepubliceerd in internationale gremia. In het buitenland wordt CAR eveneens gebruikt, omdat het een toegankelijk en gebruikersvriendelijk model is. Daarmee kan gesteld worden dat er zekere mate van acceptatie bestaat, ondanks of wellicht mede dankzij de eenvoudige modelaanpak. Dit heeft te maken met het feit dat het model meerdere malen met metingen is vergeleken en daarbij redelijk tot goed scoort, indien er gekeken wordt naar jaargemiddelden. CAR wordt in hoge mate bepaald door generieke empirische relaties. Dit geldt met name voor:

- dispersie: jaargemiddelde concentraties worden niet volgens een verspreidingsmodel berekend maar afgeleid van empirische relaties met de afstand tot de weg-as die volgen uit metingen. Dit komt het realiteitsgehalte ten goede; de relaties gelden voor de totale concentraties (achtergrond plus alle broninvloeden), er is geen garantie dat de relaties ook gelden voor afzonderlijke brongroepen. Er wordt niet uur-voor-uur gerekend, zodat maatregelen die aangrijpen op bepaalde uren van de dag minder goed kunnen worden doorgerekend. Voor jaargemiddelden hoeft dit overigens geen bezwaar te zijn;
- NO₂-vorming uit NO en ozon. Aangenomen wordt dat er een verhouding bestaat tussen NO_x, oxidant (NO₂ plus ozon) en NO₂. Er is geen afstandsafhankelijkheid tot de weg. Afhankelijkheid van temperatuur en zoninstraling zijn niet meegenomen. Jaargemiddelde NO₂-concentraties worden afgeleid uit jaargemiddelde NO_x en ozonconcentraties voor een bepaalde windsector;
- percentielwaarden en uurgemiddelde concentraties. Ook deze worden berekend middels empirische relaties tussen jaargemiddelden en uurgemiddelden concentraties.

De hoge mate aan empirie vereist ijking. Dit is wat de verdunning bij rijkswegen betreft, gedaan door ijking aan het TNO-VM. Dan bereikt CAR-II een nauwkeurigheid van ±30% voor historische berekeningen (InfoMil, 2003). De methode veronderstelt dat de gehanteerde empirische relaties niet afhankelijk zijn van de afstand tot de bron (de weg dus) en van brontypen. Dat maakt CAR-II tot een 'Lumpsum model': het geeft resultaten voor het geheel, maar de separate onderdelen behoeven niet afzonderlijk goed te werken. Dat maakt dat de onzekerheid voor berekeningen voor niet-gemiddelde (afwijkende) situaties in de regel groter zal zijn.

CAR is niet geschikt voor het aangeven van verschillen in geometrie van schermen en gebouwen naast wegen (de categorisering laat weinig variatie toe).



4.3 Onzekerheid in de uitkomsten

In diverse publicaties wordt een onnauwkeurigheid van $\pm 30\%$ gemeld voor historische berekeningen (ROM Rijnmond, 2003, die verwijst naar TNO-rapport R2003/086; TNO, 2003, InfoMil, 2003 RIVM, 2000 tabel 11). Voor het gemiddelde van alle jaargemiddelden (dus gemiddeld over alle locaties) zal CAR-II in het algemeen geen bias vertonen, want het model is gekalibreerd op meetgegevens uit het LML. Deze onzekerheid is dan inclusief de onzekerheid in voortvloeiend uit de achtergrondconcentraties en de onzekerheid in emissies en verkeersintensiteiten. Deze schatting vergelijken we met onze analyse op basis van:

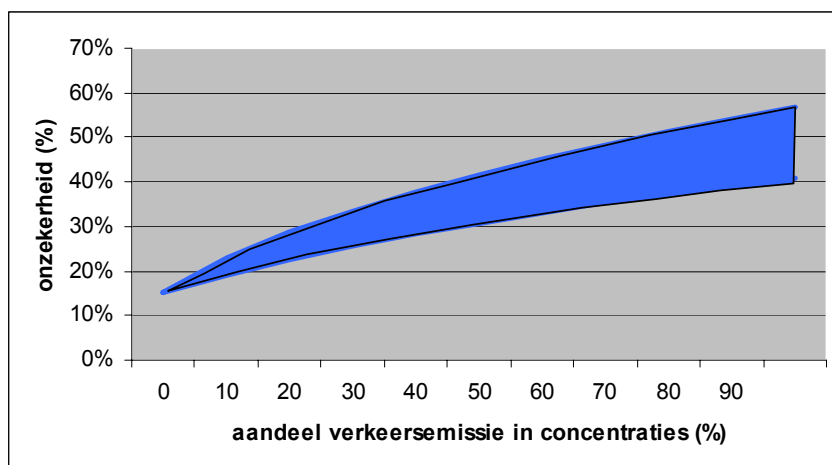
- onzekerheid in de invoer;
- onzekerheid door de wijze van modellering.

Verdere gegevens omtrent de onzekerheid ten gevolge van de invoerparameters en modelparameters zijn gegeven in Tabel 2. Daaruit concluderen we dat de overall onnauwkeurigheid van het CAR-II voor jaargemiddelden ligt in de orde van grootte van 40 à 45%. Voor complexe situaties zal het model minder scoren. De grotere onzekerheid in de uitkomsten in onze analyse ten opzichte van het in de literatuur te vinden onzekerheid is als volgt te verklaren. De 30% onzekerheid geldt voor de vergelijking meting – modeluitkomsten, inclusief de bestaande achtergrond. Indien de berekende concentraties voor 80% uit achtergrond concentraties bestaat (die een onzekerheid van wellicht 15% bevat), dan zal de onzekerheid van de lokale bronbijdrage duidelijk hoger zijn, dan de somuitkomst van 30% en is daarmee in lijn met onze hogere schatting die meer de bronbijdrage betreft.

Onzekerheid in de uitkomsten van CAR-II berekeningen is 30% (relatief eenvoudige situaties) voor de totaal-uitkomst. De onzekerheid in de berekening voor de bronbijdragen kan duidelijk hoger zijn en is in deze studie op 40 à 55% geschat, afhankelijk van de verhouding achtergrond bronbijdrage en van de complexiteit van de situatie.

De onzekerheid in de uitkomsten hangt dus mede af van de berekende bijdrage van de lokale verkeersbron (zie Figuur 8).

Figuur 8 Geschatte onzekerheid in de eindresultaten afhankelijk van de bronbijdrage aan de totale concentratie. Voor eenvoudige situaties (onderste curve) tot complexe situatie (bovenste curve), voor historische berekeningen



Tabel 2 Overzicht van geschatte onzekerheden in de uitkomsten van CAR-II

ONZEKERHEID	CAR - II			
		opmerking	Effect op onzekerheid	2010
Invoergegevens				
Verkeersgegevens	Verkeersintensiteit	1 waarde (n/etmaal)	0%	10%
	Emissies personenverkeer	1 waarde	10%	20%
	Emissies vrachtverkeer	1 waarde	20%	30%
	Rijsnelheid	1 waarde (geen files etc.)	5%	
	Wegtype	3 klassen	5%	
Achtergrond en meteorologie	Achtergrondconcentraties	GCN's jaargemiddelden	15%	
	Meteorologie		15%	
	Aantal meteo-stations	6	5%	
Omgeving	Kenmerken van obstakels	Bomenfactor aanwezig (3 waarden)	10%	
	Kenmerken van gebouwen	2 klassen voor L/B	20%	
	Ruwheidinvloeden	1 waarde zit impliciet in verdunningsfactoren	Afhankelijk van afstand tot de weg: 5-25% (10% nominaal)	
Onzekerheid tgv invoerparameters(zonder achtergrond)			32%	44%
Modelparameters				
Weggegevens	Aantal rijbanen	1	5%	
	Files en aantal rijstroken	Geen	15%	
	Invloed wegoriëntatie	Altijd loodrecht op windrichting	10%	
	Verhoogde en verlaagde wegligging	Geen	10%	
	Tunnels	Geen	30%	
	Verkeersintensiteit over een etmaal	1 waarde	10%	
Omgevingsparameters	Bomen en bossen	Via bomenfactor (3 waarden)	5%	
	Schermen en wallen	geen	20%	
	Naastliggende gebouwen	2 klassen voor L/B (afstand weg as en gebouwhoogte)	20%	
Dispersie	Dispersie	Empirische relaties	10%	
Chemie	NO ₂ -vorming	Empirische relaties	10%	
	Percentielen en overschrijdingsconcentraties	Afgeleid uit jaargemiddelde middels empirische relaties	15%	
	Wijze van lijnbronmodellering	Empirische relaties	5%	
Onzekerheid t.g.v. modellering (grijze velden) (zonder achtergrond)			26%	

1) De onzekerheid wordt vermeld voor die aspecten die grijs zijn gearceerd.

Toelichting, invoerparameters

Verkeersgegevens

Wegtype op zich is eenduidig gedefinieerd, maar tussenvormen dwingen toch het maken van een keus voor de een dan wel voor de andere. De keuze voor een bepaalde categorie is belangrijk en bepaalt mede de uitkomst van de berekeningen. Een verschil in categorie zal voor verkeerswegen echter weinig uitmaken (5%).

Omgeving

Kenmerken van obstakels: bedoeld worden hier bomen (andere obstakels zoals schermen en wallen zitten niet in CAR-II methodiek), deze bomenfactor varieert van 1, 1,25 tot 1,50. Omdat een goede eenduidige keus van deze bomenfactor moeilijk te geven is, en deze factor rechtstreeks doorwerkt in de eindresultaten leidt dit tot een onzekerheid van ruwweg van 10%. Ken-

merken van gebouwen: gebouwenmerken kunnen alleen als blokvormen worden opgegeven. Welke maten men dan kiest is ingegeven door persoonlijke voorkeuren: welke hoogte men neemt bij huizenrijen, schuine daken etc. en welke wegbreedte men kiest bij verspringende gebouwen. De invloed van deze keuzen is relatief groot (20%). De onzekerheid die het model genereert, is een ander aspect (zie hieronder).

Toelichting modelparameters

Verkeersgegevens

Aantal rijbanen: of er 1 dan wel meerdere rijbanen afzonderlijk gemodelleerd worden beïnvloedt de kwaliteit van het eindresultaat. Eén rijbaan betekent dat mogelijke verschillen in verkeersintensiteit en verschillende afstanden tot het receptorpunt niet meegenomen worden in de modelberekening. Het effect ervan wordt als gering gezien, men heeft immers desgewenst de mogelijkheid om de rijbanen als twee wegen te definiëren.

Verhoogde en verlaagde wegligging worden niet gemodelleerd in CAR. Het effect ervan is minder dan van de aanwezigheid van schermen.

Tunnels

Indien deze aanwezig zijn, betekent dit een dominant effect.

Files en aantal rijstroken

Worden niet gemodelleerd in CAR, hoewel er emissie-correctiefactoren opgegeven kunnen worden voor files (die men zelf dient te kiezen). Het effect van rijstroken is gering (minder dan van rijbanen) en van het effect van files is dat de emissies van NO_x met 10% à 20% kunnen toenemen (TNO, 2001).

Invloed wegoriëntatie

Hiermee wordt in het model geen rekening gehouden, terwijl het waarschijnlijk is dat dit wel invloed heeft. Van andere modellen is bekend, dat indien de weg in de richting van de hoofdwindrichting is gericht, dit concentratieverhogend werkt. Het effect ervan is niet goed bekend, gevoeligheidsanalyses kunnen hierbij inzicht geven, maar vallen buiten het ebstek van deze studie. Het effect ervan is voor de uitkomsten van CAR zeker niet meer te verwaarlozen.

De verkeersintensiteit wordt gegeven als 1 waarde per etmaal. Voor alle modellen die geen rekening houden met de daggang van verkeersintensiteit zal gelden dat dit een merkbare invloed heeft op de eindconcentraties.

Omgevingsparameters

Schermen en wallen: worden niet gemodelleerd in CAR. Dit is vooral van belang voor rijkswegen, indien men toch rekent met CAR in die situaties, is het effect echter wel groot op korte afstanden maakt een scherm als gauw 20 of 30% verschil in de concentratiebijdrage.

Bomen en bossen

Deze worden met een correctiefactor verrekend in het model, dit is onafhankelijk van de afstand tot de weg-as en alleen van toepassing op wegtype 1 of 2. De afstandonafhankelijkheid is niet waarschijnlijk, het effect ervan wordt overigens als klein ingeschat. De wijze van correctie is een pragmatische.

Naastliggende gebouwen: deze hebben uiteraard een grote invloed op de concentraties, waarschijnlijk zelfs dominant. Voor alle modellen die rekening



kunnen houden met gebouwen wordt een onzekerheid voor de einduitkomsten van 20% gehanteerd, anders 30%.

Dispersie

Deze parameter is uitaard van groot belang. In CAR is hieraan beperkt aandacht besteed, zo is er geen invloed van de atmosferische stabiliteit, geen ruweheidsinvloed en geen initiële dispersie door de turbulentie rond de voertuigen. Door de verdunningsfactor af te leiden van het TNO-VM is dit deels afgevangen en voor korte afstanden bij wegtype 1 afdoende. Voor de overige wegtypen zijn andere parameters bepalend en heeft de wijze van dispersie niet zo'n invloed.

NO₂-vorming, Invloed ozonconcentraties

Alleen voor NO₂ van belang. In CAR is dit opgepakt door de jaargemiddelde ozonconcentraties als maatgevend te kiezen. De NO₂-vorming wordt berekend via (gemiddelde) empirische relaties die zijn afgeleid van het landelijk meetnet. Dit geeft slechts ten dele inzicht in de omzetting van lokaal geëmitteerd NO. Locale merkbare afwijkingen zullen daarom onvermijdelijk zijn. Bovendien is de omzettingsgraad afhankelijk van de afstand tot de weg-as, zoals bekend is uit metingen en exercities met andere modellen. De empirische relaties zullen maken dat het effect ervan wordt gecompenseerd. Voor NO₂ geldt sowieso dat alle onzekerheden worden gedempt, omdat van de emissie slechts de helft wordt omgezet in NO₂ op korte afstanden. Het effect ervan wordt daarom, ondanks de eenvoudige parametrisatie als klein ingeschat (10%).

Wijze van lijnbronmodellering

In CAR wordt geen lijnbronconcept toegepast. Het effect hiervan is dat het lijnbronkarakter in andere parameters moet worden versleuteld. Voor rijkswegen wordt verwacht dat dit een merkbare invloed zal hebben.

Voor situaties waar CAR specifiek voor bedoeld is (binnen stedelijk gebied, duidelijk street-canyon situaties en kruispunten, geen rijkswegen) is de onzekerheid volgens deze schatting rond 35%. Voor meer complexe situaties (maar geen tunnels) loopt dit op tot 40% voor jaargemiddelden.

Onzekerheid voor prognostische berekeningen

Zoals in paragraaf 2.7.9 is aangegeven is de extra onzekerheid een gevolg van met name de emissieschattingen en de achtergrondconcentraties. De onzekerheid neemt dan toe van 32% naar 44% voor jaargemiddelden (voor alleen de bronbijdragen).

Conclusie

De onzekerheid in CAR-II uitkomsten bij een verdeling van de bijdragen achtergrond/bronbijdragen van 50/50% bedraagt 30% à 40% voor de totale concentratieberekeningen, afhankelijk van de complexiteit van de situatie. De onzekerheid neemt voor prognoses voor 2010 toe met 7 procentpunten voor jaargemiddelden. Onzekerheid in invoerparameters is dominant.

4.4

Gebruikersvriendelijkheid

CAR-II is gratis te downloaden van de InfoMil website. Documentatie, handleiding en beschrijvingen zijn alle beschikbaar. Het model is dan ook bedoeld voor een grote doelgroep van gebruikers bij gemeenten en provincies en adviesbureaus. Aan alle aspecten ten aanzien van de gebruikersvriende-

lijkheid is aandacht besteed. Hoewel de CAR-II versie gebruik maakt van een groot GCN-bestand, is dit voor de gebruiker afgeschermd.

CAR-II geeft alle informatie in tabelvorm, die nodig is voor de rapportage in het kader van het Besluit Luchtkwaliteit. Daarbij worden overschrijdingen van de grenswaarden en plandrempels gegeven, werkelijke concentratieniveaus die bij het gedefinieerde aantal uurgemiddelde of 24-uurgemiddelde overschrijdingen zijn opgetreden worden niet gegeven. Grafische uitvoer wordt niet gegeven. Achtergrondconcentraties (op basis van GCN's: generieke concentraties in Nederland) en verkeersbijdragen worden direct gegeven. Optelling van andere bronnen bij deze concentraties is met CAR-II niet mogelijk. De uitvoer van CAR-II is geheel toegesneden op wat het Besluit Luchtkwaliteit vereist.

4.5 Economische aspecten

Werken met het model vereist een minimum aan inwerktijd, runs zijn snel uitgevoerd, de kosten voor het verkrijgen, installeren en opstarten zijn gering. De kosten aspecten van CAR-II zijn zonder meer gunstig te noemen.



Factsheet CAR-II

Criteria	Kwalitatieve beoordeling	Weging geschiktheid
Functionaliteit: – verkeersmodel – chemie – reikwijdte	– ja – minimaal aanwezig – 5 tot 30 (snelwegen: 300) m	
Credibility: – ontwikkeld door – ontwikkeld in – gepubliceerd – dispersie – meteorologie – chemie – geometrie wegen – rijnsnelheidsaspecten – verkeerssamenstelling – verkeersintensiteit – gebouwen en obstakels – tunnels, verhoogde/verlaagde weglegging – achtergrondconcentraties – combinatie met andere bronnen Robuustheid Bewezen gebruik	– TNO, RIVM en VROM – 1985 – in nationaal en internationale bladen – o.b.v. eenvoudige empirie – 6 regio's, eenvoudige meteoklassen – o.b.v. eenvoudige empirie – loodrechte profielen, 1 rijbaan – 5 snelheden, standaard turbulentie effect – drie type voertuigen – 1 getal per jaar – beperkt (5 klassen), bomenfactor (3 waarden) – geen – GCN's – empirische benadering voor sommatie NO ₂ – goed – veelvuldig	
Onzekerheid in de resultaten Uurgemiddelden Jaargemiddelden: (achtergrond/bron 50/50) Ten gevolge van invoer Ten gevolge van modelparameters Overall onzekerheid	32% 26% 30 à 40%	
Gebruikersvriendelijkheid Bewerkelijkheid invoer Bewerkelijkheid uitvoer Runtijden Beschikbaarheid documentatie	Gering Gering Laag Vrij toegankelijk en volledig	
Economische aspecten De ontwikkelingskosten Aanschafkosten Kosten voor onderhoud en updates Beschikbaarheid van het model Integriteit ontwikkelaars Runtijden en computerbehoefte	– – – Vrij beschikbaar op internet Leading scientists in grote instituten Gering	

De kracht van het CAR model ligt in zijn eenvoud en toegankelijkheid. Gecombineerd met goede invoergegevens voor verkeersemisies en achtergrond concentraties is het een uitstekend rekenmiddel voor het screenen van de luchtkwaliteit in stedelijke omgeving. Hoewel het model zeker geen hoge nauwkeurigheid scoort (bronbijdrage), kan het in vergelijkingen met metingen toch relatief goed scoren. Als screeningsmodel wordt het veelvuldig toegepast, evenals voor rapportages in het kader Besluit luchtkwaliteit.



5 TNO Verkeersmodel

5.1 Functionaliteit

Het TNO verkeersmodel (TNO-VM) dateert uit de jaren tachtig, waar het is opgebouwd rond met name windtunnelexperimenten. Daarna is er aan de uitvoerkant (GIS) veel toegevoegd en zijn er incidenteel modules voor weg-aanpassingen toegevoegd.

Het TNO-VM is met name bedoeld voor (rijks)verkeerswegen. Het TNO-VM berekent voor een groot aantal wegvakken de concentraties langs wegen uit. In tegenstelling tot CAR wordt hierbij gebruik gemaakt van meer gedetailleerde dispersie algoritmes op basis van het gaussisch pluimmodel, waarbij een lijnbron wordt benaderd door een groot aantal puntbronnen. Er zijn voorzieningen voor een aantal wegtypen, obstakels langs de wegen, de eigen turbulentie van verkeer, verhoogde of verlaagde ligging van de weg. Dat maakt dat het model tot grotere afstanden kan rekenen dan CAR-II. Het model is gekoppeld aan grote bestanden die de gegevens bevatten van het Nederlandse wegennet, verkeersemisseries en achtergrondconcentraties. Evenals CAR-II wordt gebruik gemaakt van de GCN database voor de achtergrondconcentraties. Er kan gerekend worden met dwarsprofielen (vergelijkbaar met CAR-II) maar ook met anderszins gekozen receptorpunten, hetgeen toepassing flexibeler maakt.

Componenten

- NO_x;
- NO₂;
- SO₂;
- CO;
- benzeen;
- fijn stof;
- benzo-a-pyreen;
- lood;
- KWS;
- CO₂;
- zwarte rook.

Situaties

- vrij liggende weg;
- weg met aan een zijde bebouwing;
- weg met aan beide zijden bebouwing;
- verhoogde wegen, verlaagde wegen;
- viaducten;
- geluidsschermen en geluidswallen.

Voorts kan er rekening gehouden worden met bomen langs de weg (met behulp van een zogenaamde bomenfactor (1, 1.25 of 1.50: 3 categorieën). De bijdragen van meerdere verkeerswegen kunnen bij elkaar opgeteld worden. Combinatie met andere brontypen is niet met het model als zodanig mogelijk.

Verkeerstypen

- personenverkeer en vrachtverkeer (diverse klassen);
- snelheid naar keuze;
- er wordt rekening gehouden met de eigen turbulentie door verkeer.

Combinatie met andere brontypen is niet met het model als zodanig mogelijk.

Tijdshorizon

Er kunnen historische en prognostische berekeningen worden uitgevoerd. Omdat het model alleen gerund wordt bij TNO kan er door de ontwikkelaars gemakkelijk worden ingegrepen in de werking van de programmatuur om uitkomsten op maat te genereren.

5.2 Credibility

Het model is in vele consultancy rapporten en deelpublicaties gerapporteerd en heeft derhalve een zekere status en acceptatie in de wereld van verspreidingsmodellen. Het is geen vooruitstrevend researchmodel omdat zowel de fysica als de chemie eerder pragmatisch dan wetenschappelijk up-to-date genoemd kunnen worden. Echter, in Nederland is TNO-VM het meest gevalideerde model voor verkeerssituaties dat er is.

- dispersie: jaargemiddelde concentraties worden volgens een verspreidingsmodel berekend op grond van geclassificeerde meteorologie, gebaseerd op de Pasquill stabiliteitbepaling. Deze methode is verouderd (mede om deze reden is in 1995 besloten het oude nationaal Model te verbeteren). De afstand tot waar gerekend kan worden wordt beperkt door de wijze waarop de dispersie is gemodelleerd: de atmosfeer wordt als neutraal opgevat. Dit kan voor korte afstanden, op grotere afstanden (> enkele honderden meters) gaat dit grotere afwijkingen veroorzaken. Versturende invloeden van schermen, geluidswallen, verhoogde en verlaagde wegligging en door gebouwen zijn in het verleden uitvoerig middels windtunnelexperimenten onderbouwd en dat maakt het model geschikt voor de effecten op jaargemiddelden van deze versturende objecten;
- er wordt standaard niet uur-voor-uur gerekend, zodat maatregelen die aangrijpen op bepaalde uren van de dag minder goed kunnen worden doorgerekend. Indien gewenst kan het model voor knelpunten in de zogenaamde 'korte termijn mode' (uur voor uur) worden gebruikt. Voor jaargemiddelde hoeft dit overigens geen bezwaar te zijn;
- NO₂-vorming uit NO en ozon. Aangenomen wordt dat er een verhouding bestaat tussen NO_x, oxidant (NO₂ plus ozon) en NO₂. Er is geen afstandsafhankelijkheid tot de weg. Afhankelijkheid van temperatuur en zoninstraling zijn niet meegenomen. Jaargemiddelde NO₂-concentraties worden afgeleid uit jaargemiddelde NO_x en ozonconcentraties voor een bepaalde windsector. De methodiek is vergelijkbaar met die in CAR-II;
- percentielwaarden en uurgemiddelde concentraties. Percentielwaarden en andere uurgemiddeld-gerelateerde waarden (zoals het Besluit Luchtkwaliteit vereist) worden middels empirische relaties van het jaargemiddelde afgeleid. Dat maakt dat de percentielen en jaargemiddelden wellicht als lump-sum concentraties goed berekend worden, maar dat afzonderlijke deeleffecten binnen de jaargemiddelden minder goed tot uiting komen.

Het model is veel gedetailleerder dan CAR-II. In feite kan CAR-II beschouwd worden als een vereenvoudigde versie van het TNO-VM. TNO-VM heeft een



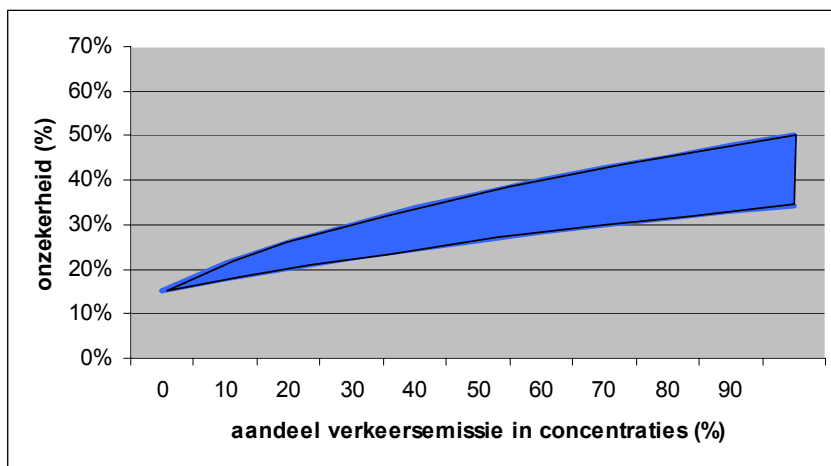
onzekerheid in de uitkomsten van $\pm 15\%$ (20% voor NO_2) voor historische berekeningen, (TNO, 2003b, TNO, 2003c). In tegenstelling tot bij CAR gelden deze percentages voor alleen de bronbijdragen in vergelijkingen met windtunnelmetingen en dus betreft dit de onzekerheid exclusief de effecten van onzekerheid in emissies, verkeersintensiteit en meteorologie (bovendien kan gesteld worden dat een windtunnel ook een - weliswaar nauwkeurig - model is). In full-scale vergelijkingen scoort het model (veel) minder (RIVM, 2000, TNO, 2003d). Afwijkingen tussen gemeten en berekende bijdragen liggen dan gemakkelijk 50% van elkaar. Dit is dan vooral op de invoer terug te voeren.

TNO-VM is geschikt voor het aangeven van verschillen in geometrie van schermen en gebouwen naast wegen. Het optellen van meerdere verkeersbronnen levert geen problemen op; in het optellen van andere dan verkeersbronnen wordt met TNO-VM niet voorzien, daarvoor is maatwerk nodig.

5.3 Onzekerheid in de uitkomsten

Wesseling (TNO rapport R2003/213) geeft als onnauwkeurigheid in de uitkomsten van het TNO-VM een waarde van 15% voor NO_x en 20% voor NO_2 (CE, 2000, Luchtkwaliteit langs de Nederlandse wegen) op. Deze onzekerheid is nog exclusief de onzekerheid in de achtergrondconcentraties en exclusief de onzekerheid in emissies en verkeersintensiteiten. Een verifieerbare dataset van metingen en modelberekeningen ontbreekt. Verdere gegevens omtrent de onzekerheid ten gevolge van de invoerparameters en modelparameters zijn gegeven in Tabel 3.

Figuur 9 Geschatte onzekerheid in de eindresultaten afhankelijk van de bronbijdrage aan de totale concentratie. Voor relatief eenvoudige situaties (onderste curve) tot complexe situatie (bovenste curve), voor historische berekeningen



Tabel 3 Overzicht van geschatte onzekerheden in de uitkomsten van TNO verkeersmodel

ONZEKERHEID	TNO Verkeersmodel			
		Opmerking	Effect op onzekerheid	2010
Invoergegevens				
Verkeersgegevens	Verkeersintensiteit	1 waarde /etmaal	0%	10%
	Emissies personenverkeer	Meerdere typen	10%	20%
	Emissies vrachtverkeer	Div waarden (ook files etc.)	15%	30%
	Rijsnelheid	Op maat	5%	
	Wegtype	Op maat	5%	
Achtergrond en meteorologie	Achtergrondconcentraties	GCN's jaargemiddelden	15%	20%
	Meteorologie	Pasquill klassen	15%	
	Aantal meteo-stations	Variabel	5%	
Omgeving	Kenmerken van obstakels	Geen bomenfactor	10%	
	Kenmerken van gebouwen	Meerdere waarden	20%	
	Ruwheidinvloeden	5 klassen	10%	
Onzekerheid tgv invoerparameters(zonder achtergrond)			29%	44%
Model				
Weg gegevens	Aantal rijbanen	Meerdere	5%	
	Files en aantal rijstroken	Op maat	5%	
	Invloed wegorientatie	12 windrichtingsklassen	5%	
	Verhoogde en verlaagde wegligging	Geen	5%	
	Tunnels	Verlaagd wegdeel 50%	10%	
	Verkeersintensiteit over een etmaal	1 waarde	5%	
Omgevings parameters	Bomen en bossen	Meerdere waarden	5%	
	Schermen en wallen	Meerdere vormen mogelijk	15%	
	Naastliggende gebouwen	Gedetailleerd	20%	
Dispersie	Dispersie	Empirische relaties	10%	
Chemie	NO ₂ -vorming	Empirische relaties	10%	
	Percentielen en overschrijdingsconcentraties	Afgeleid uit jaargemiddelde middels empirische relaties	15%	
	Wijze van lijnbronmodellering	Groot aantal puntbronnen	5%	
Onzekerheid t.g.v. modellering (grijze velden) (zonder achtergrond)			19%	

1) De onzekerheid wordt vermeld voor die aspecten die grijs zijn gearceerd.

Toelichting, invoerparameters

Verkeersgegevens

De verkeersgegevens zijn globaal behept met dezelfde mate van onzekerheid als bij CAR-II. Een belangrijk verschil is dat emissies van vrachtverkeer beter gemodelleerd kunnen worden omdat het model de mogelijkheid heeft hier specifiek op in te zoomen.

Omgeving

Kenmerken van obstakels: bedoeld worden hier bomen; in TNO-VM is geen bomenfactor aanwezig.

Kenmerken van gebouwen

Gebouwkenmerken kunnen alleen als blokvormen worden opgegeven. Welke maten men dan kiest is ingegeven door persoonlijke voorkeuren: welke hoogte men neemt bij huizenrijen, schuine daken etc. en welke wegbreedte



men kiest bij verspringende gebouwen. De onzekerheid die het model genereert, is van een andere orde (zie hieronder).

Toelichting modelparameters

Verkeersgegevens

Aantal rijbanen: deze kunnen naar wens worden ingevoerd. Het lijkt onwaarschijnlijk dat hierdoor een meer dan geringe onzekerheid door wordt geïntroduceerd.

Verhoogde en verlaagde wegligging en de aanwezigheid van schermen alsmede geluidswallen kunnen redelijk gedetailleerd worden gemodelleerd (vergelijkbaar met die in TNO-HM) op basis van vele windtunnelmetingen. De onzekerheid ten gevolge van deze modules is enigszins af te leiden van uit TNO, 2003b. De verschillen tussen metingen (windtunnel!) en berekeningen liggen in de orde van 25%. In aanmerking nemende dat voor een vrij liggende weg de onzekerheid 15% bedraagt en dat deze elementen die de onzekerheden veroorzaken onafhankelijk van elkaar zijn, dan blijft voor het effect van schermen 15% - 20% over.

Tunnels

Indien deze aanwezig zijn, betekent dit een dominant effect. In het TNO-VM worden tunnelmonden opgevat als verlaagde stukken weg (50 m lengte) waaruit de halve emissie van het ondertunnelde stuk vrijkomt. Er is geen reden om aan te nemen dat de onzekerheid anders zal zijn dan bij gewone verlaagde wegvakken, dit zal in de regel gering zijn.

Files en aantal rijstroken

Kunnen worden gemodelleerd in TNO-VM waardoor (in tegenstelling tot CAR) de bijdrage aan de onzekerheid gering is.

Invloed wegoriëntatie

Dit wordt impliciet meegenomen door de puntbron-benadering van het wegsegment.

De verkeersintensiteit wordt gegeven als 1 waarde per etmaal. Voor alle modellen die geen rekening houden met de daggang van verkeersintensiteit zal gelden dat dit een merkbare (maar geen grote) invloed heeft op de eindconcentraties.

Omgevingsparameters

Schermen en wallen: worden gedetailleerd gemodelleerd. Een restonzekerheid van 15% hiervan wordt aangenomen.

Bomen en bossen

Deze worden met een correctiefactor verrekend in het model, dit is onafhankelijk van de afstand tot de weg-as.

Naastliggende gebouwen

Deze hebben uiteraard een grote invloed op de concentraties, waarschijnlijk zelfs dominant. Windtunnelexperimenten (met blokvormige gebouwen) hebben veel inzicht opgeleverd. Het is ondanks dat niet waarschijnlijk dat gebouwen nauwkeurigheid gemodelleerd kunnen worden. Voor alle modellen die rekening houden met gebouwen wordt een onzekerheid voor de einduitkomsten van 20% gehanteerd, anders 30%.

Dispersie

Deze parameter is uitaard van groot belang. Door dispersiecurves in te bouwen, is dit op een efficiënte wijze uitgewerkt, echter alleen voor neutrale omstandigheden met allerlei initiële verdunningseffecten die voor de korte afstand dominant zullen zijn.

Chemie: invloed ozonconcentraties

Aleen voor NO₂ van: gebruik wordt gemaakt van een achtergrondwindroos (jaargemiddelden per windrichtingssector).

Wijze van lijnbronmodellering

Hoewel geen echt lijnbronmodel is toegepast, maar een puntbronbenadering, wordt ingeschat dat dit slechts een beperkte invloed zal hebben.

De onzekerheid in de berekende jaargemiddelde concentraties bedraagt voor NO₂ ruim 25% oplopend tot ruim 35% voor complexere situaties. Dit is onnauwkeuriger dan door auteurs wordt opgegeven. De reden is dat de onnauwkeurigheid meestal ten opzichte van windtunnelmetingen wordt opgegeven. Daarmee wordt een deel van de onzekerheidsbronnen uitgeschakeld. In praktijk is de onzekerheid groter vanwege de onzekerheid in de diverse invoerparameters, NO omzetting etc).

Onzekerheid voor prognostische berekeningen

Zoals in paragraaf 2.7.9 is aangegeven is de extra onzekerheid een gevolg van met name de emissieschattingen en de achtergrondconcentraties. De onzekerheid neemt dan met 10 procentpunten toe voor jaargemiddelden.

De onzekerheid in uitkomsten van TNO-VM bij een verdeling van de bijdragen achtergrond/bronbijdragen van 50/50% bedraagt 27% à 37% voor de totale concentratieberekeningen, afhankelijk van de complexiteit van de situatie. De onzekerheid neemt voor prognoses voor 2010 toe met 10 procentpunten voor jaargemiddelden. Onzekerheid in invoerparameters is dominant.

5.4 Gebruikersvriendelijkheid

TNO-VM is een research model, dat wil zeggen dat het model niet commercieel beschikbaar is. Er wordt mee gerekend in opdracht van klanten, waarbij er steeds maatwerk wordt geleverd. Dat maakt het model voor externe gebruikers onbereikbaar. Een goede transparante beschrijving is momenteel slechts deels voorhanden, maar gebruikershandleidingen of –documentatie is niet beschikbaar.

5.5 Economische aspecten

De ontwikkelingskosten van het model zijn relatief hoog (hoewel in vergelijking met buitenlandse modellen dit nog meevalt), onderhoud en gebruik van het model zijn moeilijk in te schatten; alle werkzaamheden zullen doorgaans als maatwerk worden uitgevoerd. Het model is in principe niet verkrijgbaar voor derden. Runtijden voor enkelvoudige problemen (1 weggedeelte) zijn kort, grote aantallen wegsegmenten (>10.000) duren 1 tot enkele uren. In principe werkt het model op een gewone PC, de preprocessing en de post-processing vergen de inbreng van deskundigen.



Factsheet TNO Verkeersmodel

Criteria	Kwalitatieve beoordeling
Functionaliteit: <ul style="list-style-type: none"> - verkeersmodel - chemie - reikwijdte 	<ul style="list-style-type: none"> - ja - standaard eenvoudige empirie, semi uur-voor-uur met NNM chemie (omzetting wordt met semi-uur specifieke algoritmen berekend) - 5 kilometer
Credibility: <ul style="list-style-type: none"> - ontwikkeld door - ontwikkeld in - gepubliceerd - dispersie - meteorologie - chemie - geometrie wegen - rijsnelheidsaspecten - verkeersintensiteit - verkeerssamenstelling - obstakels en gebouwen - tunnels, verhoogde/verlaagde weglegging - achtergrondconcentraties - combinatie met andere bronnen Robuustheid Bewezen gebruik	<ul style="list-style-type: none"> - TNO - 1980-1992 - in nationaal en internationale bladen - o.b.v. Gaussisch pluimmodel - 15 regio's, eenvoudige meteoklassen - o.b.v. eenvoudige empirie - meervoudig puntbromodel, meerdere rijbanen en -stroken - meerdere snelheden, wel turbulentie effect - 1 getal per jaar, in de standaardversie, evt. uurlijkse intensiteit in de korte-termijn versie - in principe onbeperkt - uitgebreid - aanwezig - GCN's - alleen overig verkeer - goed - veelvuldig
Onzekerheid in de resultaten Uurgemiddelden Jaargemiddelden: (achtergrond/bron 50/50) Ten gevolge van invoer Ten gevolge van modelparameters Overall onzekerheid	 29% 19% 27-37%
Gebruikersvriendelijkheid Bewerkelijkheid invoer Bewerkelijkheid uitvoer Runtijden Beschikbaarheid documentatie	simpel (leest direct uit dump van xls file) simpel kort beperkt toegankelijk
Economische aspecten De ontwikkelingskosten Aanschafkosten Kosten voor onderhoud en up-dates Beschikbaarheid van het model Integriteit ontwikkelaars Runtijden en computerbehoefte	<ul style="list-style-type: none"> - - - In principe niet commercieel verkrijgbaar Leading scientists in grote instituten Redelijk

TNO Verkeersmodel is een veelzijdig model, dat met name voor verkeerswegen ingezet wordt. De functionaliteit is veel breder dan bij CAR II en is opgezet en getoetst aan de hand van vooral windtunnel experimenten. De nauwkeurigheid in vergelijking met windtunnelmetingen is 15%, in praktijk 25-35% (bij 50/50% verhouding voor bron/achtergrond), afhankelijk van de complexiteit van de situatie. De onzekerheid neemt voor prognoses voor 2010 (en eenvoudige situaties) toe met 10 procentpunten voor jaargemiddelden.



6 TNO HEAVEN model

6.1 Functionaliteit

Het TNO Heaven model (TNO-HM) is recent ontwikkeld op basis van het Nieuw nationaal Model concept. Elementen uit het TNO-VM zijn hieraan toegevoegd om de verstoringen rond de verkeerswegen in rekening te kunnen brengen. Het is met name toegepast in het HEAVEN project. Dit Europese project beoogde een bijna real-time informatie systeem op te zetten om emissies, immissies en geluid ten gevolge van verkeer als decision support systeem op te zetten. Het is als pilot in 6 Europese steden geïmplementeerd. TNO heeft een versie van het NNM gebruikt om de immissies te berekenen op enkele locaties rond de A13.

Het TNO-HM berekent de concentraties langs wegen uit als uurgemiddelden. Daarmee verschilt het sterk van het TNO-VM, dat in principe jaargemiddelden berekent. In tegenstelling tot TNO-VM wordt hierbij gebruik gemaakt van een meer moderne vorm van dispersie algoritmes, die in lijn zijn met de recente inzichten in dispersietheorie. Dit geldt ook voor de afhandeling van de meteorologie, die overeenstemt met de consensus afspraken in het NNM. De wijze van implementatie van het lijnbronmodel is vergelijkbaar met NNM+. Er zijn voorzieningen voor een aantal wegtypen, obstakels langs de wegen, de eigen turbulentie van verkeer, verhoogde of verlaagde ligging van de weg. Vanwege het feit dat er van het NNM wordt uitgegaan geeft het voordeel dat andere bronnen (diffusie emissies zoals ruimteverwarming en industrieën) gemakkelijk integraal in de berekeningen kunnen worden opgenomen. Evenals CAR-II en TNO-VM wordt gebruik gemaakt van de GCN database voor de achtergrondconcentraties. Er kan gerekend worden met dwarsprofielen maar ook met anderszins gekozen receptorpunten, hetgeen toepassing flexibeler maakt.

Componenten

- NO_x;
- NO₂;
- SO₂;
- CO;
- benzeen;
- fijn stof;
- benzo-a-pyreen;
- lood;
- KWS;
- CO₂;
- zwarte rook.

Situaties

- vrijliggende weg;
- weg met aan een zijde bebouwing;
- weg met aan beide zijden bebouwing;
- verhoogde wegen, verlaagde wegen;
- viaducten;
- geluidsschermen en geluidswallen.

De bijdragen van meerdere verkeerswegen kunnen bij elkaar opgeteld worden. Combinatie met andere brontypen is mogelijk.

Verkeerstypen

- personenverkeer en vrachtverkeer (diverse klassen);
- willekeurige snelheden voor voertuigen;
- er wordt rekening gehouden met de eigen turbulentie door verkeer.

Tijdshorizon

Er kunnen historische en prognostische berekeningen worden uitgevoerd.

6.2 Credibility

Een groot gedeelte van het model bestaat uit het NNM. Over deze formuleringen bestaat al consensus, nationaal als internationaal, zodat dit de credibility sterk ten goede komt.

Het model is gerapporteerd in het kader van het HEAVEN project. Een presentatie ervan is gegeven op een conferentie; verder is het model nog niet vaak nog toegepast. Het is echter gebaseerd op geaccepteerde fysische inzichten en kan derhalve op een zekere status en acceptatie in de wereld van verspreidingsmodellen rekenen. Voor de NO naar NO₂ omzetting zijn diverse mogelijkheden beschikbaar:

- dispersie: uurgemiddelde concentraties worden berekend met een gaussisch verspreidingsmodel op grond van uurgemiddelde meteorologie, gebaseerd op de Monin-Obukhov-theorie. Deze theorie wordt in heel Europa gezien als state-of-the-art en is in lijn met het Nieuw Nationaal Model. Versturende invloeden van schermen, geluidswallen, verhoogde en verlaagde wegligging en door gebouwen zijn conform het TNO-VM ingebouwd. In dit model wordt hier het lijnbronmodel (rotating segments) toegepast;
- NO₂-vorming uit NO en ozon. Standaard wordt aangenomen dat er een verhouding bestaat tussen NO_x, oxidant (NO₂ plus ozon) en NO₂. De methodiek is vergelijkbaar met die in CAR-II en TNO-VM. Als alternatief kan uur-voor-uur gerekend worden, waarbij de puntbronbenadering van NNM met bijbehorende NO₂-vorming kan worden gehanteerd;
- percentielwaarden en uurgemiddelde concentraties. Percentielwaarden worden afgeleid van berekende uurgemiddelde waarden en behoeven voorts geen veronderstellingen meer om berekend te kunnen worden. Ook de aantallen overschrijdingen van uurgemiddelden, 24-uurgemiddelden en 8-uurgemiddelden (zoals het Besluit Luchtkwaliteit dat voorschrijft) worden automatisch op een correcte manier berekend.

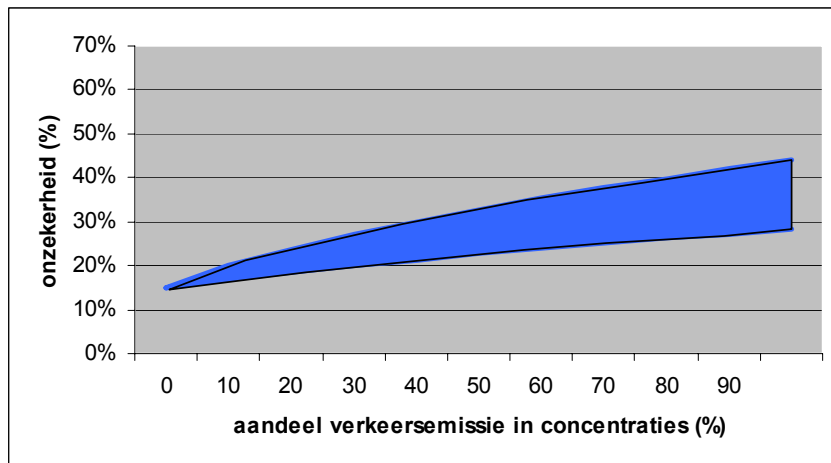
TNO-HM is geschikt voor het doorrekenen van verschillen in geometrie van schermen en gebouwen naast wegen. Het optellen van meerdere verkeersbronnen levert geen problemen op; in het optellen van andere dan verkeersbronnen wordt met TNO-VM niet voorzien.

6.3 Onzekerheid in de resultaten

Er is relatief weinig materiaal voorhanden om de onzekerheid te schatten. De gepresenteerde validatie (Wesseling, 2003) geldt voor een beperkte meteo-subset. De onzekerheid in de schattingen van de verkeersbijdrage voor jaargemiddelden leiden we daarom af van theoretische beschouwingen. De details van de onzekerheidsschattingen zijn gegeven in Tabel 4.



Figuur 10 Geschatte onzekerheid in de eindresultaten afhankelijk van de bronbijdrage aan de totale concentratie. Voor eenvoudige situaties (onderste curve) tot complexe situatie (bovenste curve)



Tabel 4 Overzicht van geschatte onzekerheden in de uitkomsten van TNO Heaven

ONZEKERHEID		TNO Heaven model		
		Opmerking	Effect op onzekerheid	2010
Invoergegevens				
Verkeersgegevens	Verkeersintensiteit	Uurwaarden	0%	10%
	Emissies personenverkeer	Maatwerk	10%	20%
	Emissies vrachtverkeer	Maatwerk	15%	30%
	Rijsnelheid	Maatwerk	5%	
	Wegtype	Op maat	5%	
Achtergrond en meteorologie	Achtergrondconcentraties	GCN's jaargemiddelden	15%	Verwijderd: '
	Meteorologie	Monin Obukhov parameterisatie conform NNM	10%	
	Aantal meteo-stations	Variabel	5%	
Omgeving	Kenmerken van obstakels	Meerdere waarden	5%	
	Kenmerken van gebouwen	Variabel	20%	
	Ruwheidinvloeden	Verrekend in dispersie	10%	
Onzekerheid tgv invoerparameters(zonder achtergrond)			24%	41%
Wijze van modellering				
Weggegevens	Aantal rijbanen	Onbeperkt	0%	
	Files en aantal rijstroken	Maatwerk	5%	
	Invloud wegoriëntatie	Gedifferentieerd aanwezig	5%	
	Verhoogde en verlaagde wegligging	Mogelijk	5%	
	Tunnels	Conform TNO-VM	0%	
	Verkeersintensiteit over een etmaal	Uurwaarden	5%	
Omgevingsparameters	Bomen en bossen	Meerdere waarden	5%	
	Schermen en wallen	Meerdere vormen mogelijk	15%	
	Naastliggende gebouwen	Gedetailleerd	20%	
Dispersie	Dispersie	Conform NNM	10%	
Chemie	NO ₂ -vorming	Diverse mogelijkheden	5%	
	Invloed ozonconcentraties	Via uurgemiddelden	5%	
	Percentielen en overschrijdingsconcentraties	Afgeleid uit uurgemiddelde concentraties	5%	
	Wijze van lijnbronmodellering	Segmented lijnbron	5%	
	Onzekerheid t.g.v. modellering (grijze velden) (zonder achtergrond)			14%

1) De onzekerheid wordt vermeld voor die aspecten die grijs zijn gearceerd.

Toelichting, invoerparameters

Verkeersgegevens

De verkeersgegevens zijn globaal behept met dezelfde mate van onzekerheid als bij de andere modellen.

Omgeving

Kenmerken van gebouwen: Gebouwkenmerken kunnen in beperkte vorm worden opgegeven. De nauwkeurigheid die het model genereert voor deze complexe situaties moet ook hier niet te hoog worden ingeschat. Afwijkingen tot een factor twee zijn mogelijk. De ruwheid wordt hier meegewogen door de effecten ervan op wind en turbulentie te berekenen zoals ook in het Nieuw nationaal Model. De onzekerheid hierdoor is daarom nog slechts gering.



Toelichting modelparameters

Verkeersgegevens

Aantal rijbanen: deze kunnen naar wens worden ingevoerd. Het lijkt ook hier onwaarschijnlijk dat hierdoor een meer dan geringe onzekerheid door wordt geïntroduceerd.

Veel modelonderdelen die obstakels betreffen zijn vergelijkbaar met TNO-VM en hebben dus een vergelijkbare onzekerheid.

Invloed wegoriëntatie: door het rotating wegsegment model (gesegmenteerde lijnbronmodel) is deze factor goed meegenomen in de berekeningen.

De verkeersintensiteit wordt gegeven als uurwaarden. Ten opzichte van het TNO-VM is dit een sprong voorwaarts. Hierdoor wordt het mogelijk om effecten die in de tijd belangrijk zijn (files in de ochtend uren, verkeer in nachtelijke uren) specifiek mee te wegen in de berekeningen. Dit biedt ook een opening om de chemie (reactie met ozon, die een sterke daggang vertonen) te realistisch te modelleren.

Omgevingsparameters

Schermen en wallen: worden redelijk goed gemodelleerd. Toch zijn dit lastig te modelleren situaties: schermen wijken af van de ideale vormen en de precieze plaats ervan heeft invloed.

Dispersie

Wordt gemodelleerd conform het Nieuw Nationaal Model. Hierdoor is het mogelijk om de meteorologische processen uur-voor-uur door te rekenen en is het niet meer nodig terug te vallen op benaderende en meer onnauwkeurige methoden.

Chemie

Invloed ozonconcentraties: De NO₂-vorming wordt middels empirische benaderingen berekend vergelijkbaar met TNO-VM. Als alternatief is de NNM methodiek inzetbaar.

Wijze van lijnbronmodellering

Hier wordt een segmented lijnbronmodel is toegepast, waardoor de oriëntatie van de weg in relatie met de windrichting uur-voor-uur nauwkeurig wordt doorgerekend.

De onzekerheid in de berekende jaargemiddelde concentraties bedraagt voor NO₂ 23 - 33% (bij achtergrond/bronbijdragen verhouding van 50/50%). Ondanks de gedetailleerde modellering is de winst in onzekerheid dus beperkt. Dit is vooral te wijten aan de onzekerheid in de invoer. Voor meer complexe situaties (gebouwen en schermen) maakt een gedetailleerde meteo-module of lijnbronbenadering weinig uit, daar telt de modellering van de verspreiding rond de obstakels als belangrijkste factor.

Onzekerheid voor prognostische berekeningen

Zoals in paragraaf 2.7.9 is aangegeven is de extra onzekerheid een gevolg van met name de emissieschattingen en de achtergrondconcentraties. De onzekerheid neemt dan toe van ongeveer 23% naar 34% voor jaargemiddelden (bij 50/50 bron/achtergrond ratio en eenvoudige situaties).

De onzekerheid in uitkomsten van TNO-HM bij een verdeling van de bijdragen achtergrond/bronbijdragen van 50/50% bedraagt 23% à 33% voor de totale concentratieberekeningen, afhankelijk van de complexiteit van de situatie. De onzekerheid neemt voor prognoses voor 2010 toe met 11 procentpunten voor jaargemiddelden. Onzekerheid in invoerparameters is hier dominant.

6.4 Gebruikersvriendelijkheid

Het model is niet beschikbaar voor derden, het is een research model. Het model is voor externe gebruikers momenteel onbereikbaar. Een goede transparante beschrijving is momenteel niet voorhanden maar omdat het model een synthese is van TNO-VM en NNM is de inhoud ervan redelijk bekend. Het model is sinds kort beschikbaar en voorsnog ingezet voor een beperkt aantal projecten. Het model levert alleen optimale resultaten indien deskundigen de invoer verzorgen en de uitvoer interpreteren.

6.5 Economische aspecten

De ontwikkelingskosten van het model zijn relatief laag omdat het is opgebouwd uit bestaande modules in TNO-VM en NNM. Over onderhoud en gebruik van het model is moeilijk een goed oordeel te geven. Het model is in principe wel verkrijgbaar voor derden, maar in praktijk worden alleen geselecteerde partners of klanten van dit systeem voorzien. Runtijden zijn kort (minuten) omdat het de actuele situatie moet kunnen volgen. In principe werkt het model op een gewone PC, de preprocessing en de postprocessing vergen de inbreng van deskundigen, over kosten van onderhoud is weinig bekend.

Het TNO-HM is goed toegesneden op het doorrekenen van wegensituaties. Het is direct mogelijk andere dan verkeersbronnen mee te modelleren. De modelonzekerheid is klein ten opzichte van de onzekerheid in de invoer. Toegepast als real-time model in smog situaties. Runtijden voor jaargemiddelden en veel bronnen zijn betrekkelijk lang. De onzekerheid neemt toe van ongeveer 23% (historische berekeningen) naar 34% voor prognoses voor 2010 voor jaargemiddelden (bij een 50/50% bron/achtergrond verhouding).

Factsheet TNO Heaven model (TNO-HM)

Criteria	Kwalitatieve beoordeling	Weging geschiktheid
Functionaliteit: – verkeersmodel – chemie – reikwijdte	– ja – standaard empirisch, evt met NNM-chemie – 25 kilometer	
Credibility: – ontwikkeld door – ontwikkeld in – gepubliceerd – dispersie – meteorologie – chemie – geometrie wegen – rijsnelheidsaspecten – verkeersintensiteit – verkeerssamenstelling – obstakels en gebouwen – tunnels, verhoogde/verlaagde weglegging – achtergrondconcentraties – combinatie met andere bronnen Robuustheid Bewezen gebruik	– TNO – 2001 – incidenteel en in HEAVEN verband – o.b.v. Monin Obukhov parametrisatie – meerdere stations, state-of-the-art – conform TNO-VM of met NNM-chemie – geen beperkingen – geen beperkingen, eigen turbulentie verrekend – uurwaarden mogelijk – maatwerk, geen beperkingen – veel variaties mogelijk – conform TNO-VM – GCN's – integraal mogelijk – goed (vgl met NNM) – incidenteel	
Onzekerheid in de resultaten Jaargemiddelden: (achtergrond/bron 50/50) Ten gevolge van invoer Ten gevolge van modelparameters Overall onzekerheid	 24% 14% 23-33%	
Gebruikersvriendelijkheid Bewerkelijkheid invoer Bewerkelijkheid uitvoer Runtijden Beschikbaarheid documentatie	Matig tot intensief Matig iets langer dan TNO-VM Allen samenvattende modeldocumentatie	
Economische aspecten De ontwikkelingskosten Aanschafkosten Kosten voor onderhoud en up-dates Beschikbaarheid van het model Integriteit ontwikkelaars Runtijden en computerbehoefte	– – – In principe niet commercieel verkrijgbaar Leading scientists voor milieu modellen Redelijk	



7 URBIS

7.1 Functionaliteit

URBIS is een integraal reken- en presentatie pakket, ontwikkeld door TNO om in stadsgebieden de kwaliteit van de leefomgeving integraal te kunnen weergeven: luchtkwaliteit, geluid, externe veiligheid en gezondheidseffecten. URBIS combineert diverse bestaande modellen (eventueel na enige aanpassingen om ze geschikt te maken voor de specifieke stedelijke omgeving) en brengt de uitvoer ervan samen in een GIS omgeving. Het is bij uitstek een goed instrument voor lokale milieu verkenningen, omdat er scenario's mee doorgerekend kunnen worden en op een overzichtelijke manier worden gepresenteerd.

Het model is vrij recent opgezet en incidenteel toegepast en getest.

Indien we het model voor luchtkwaliteit van URBIS (URBIS air) vergelijken met het TNO-VM: dan blijkt URBIS air een meer globaal model te zijn, waarin enkele vereenvoudigingen zijn aangebracht om de rekentijden hanteerbaar te houden.

URBIS berekent de achtergrond geheel verschillend ten opzichte van andere modellen: URBIS berekent de achtergrond door gebruik te maken van databases met emissies uit onder andere het Milis bestand. Daardoor zijn de resultaten van URBIS niet behept met dubbel telling. Indien men TNO-VM voor Rijnmond gebied toepast, dan zijn de rekentijden lang op een PC, daarom zijn in URBIS veel vereenvoudigingen aangebracht.

In URBIS zijn schermen en gebouwen niet meegenomen. Om dit op te vangen is voor de DCMR studie aangenomen dat er altijd minimaal één gebouw tussen een snelweg en de receptor staat.

Nauwkeurigheid URBIS: uit een vergelijking met het LML (geïnterpoleerde data) blijkt URBIS plus of min 10 procent van de LML-jaargemiddelde concentraties af te kunnen wijken (dit betreft de overall concentratie, niet de verkeersspecifieke situaties, zie TNO 2003a).

Emissies ten gevolge van schepen is een probleem: Met name voor PM₁₀ zijn de schattingen in het verleden te laag gebleken (factor 2 à 5, in URBIS wordt dit gecorrigeerd)

Uit de overzichten van DCMR (Lucht in cijfers, 2001) blijkt dat wegverkeer en scheepvaart in het Rijnmond gebied voor een even groot aandeel in de NO_x-emissie zorgen.

URBIS is geen specifiek rijksverkeerswegen model, rijksverkeerswegen worden binnen dit modelsysteem met een gecombineerde NNM (klassenversie) / CAR-achtige (brontermen) methodiek doorgerekend en wordt voor rijkswegen expliciet als een screeningsmodel beschouwd.

Componenten:

- NO₂;
- benzeen;
- fijn stof;
- benzo-a-pyreen;
- alles wat de klant wil.

Situaties

Het stedelijke gebied wordt doorgerekend met een combinatie van CAR-II en NNM. Het NNM is hierbij vereenvoudigd tot een soort source-receptortabel, CAR-II is uitgebreid met een module om kruispunten te kunnen doorrekenen (effect van stoplichten is hier niet te verwaarlozen). De

achtergrond die bij de stadsinvloed opgeteld moet worden, wordt verkregen door informatie uit andere bronnen: effecten van omliggende gemeenten en van de rest van Nederland worden via pragmatische methodieken opgeteld bij de emissies van de bronnen in de regio.

Tijdshorizon

Er kunnen historische en prognostische berekeningen worden uitgevoerd.

7.2

Credibility

Het Model is incidenteel toegepast en in consultancy rapporten gerapporteerd. Omdat URBIS gebruik maakt van bestaande modellen, kan de credibility afgeleid worden van de kwaliteit van deze onderliggende modellen: CAR-II en NNM (klassenversie). Voor dit laatste is de dispersie enigszins vereenvoudigd en voor NO₂ wordt gebruik gemaakt van empirische relaties zoals die ook in CAR-II voorkomen (naast de NNM-chemie). Dat maakt het model geschikt voor globale verkenningen, maar – zoals ook door de ontwikkelaars wordt aangegeven – voor nauwkeurige berekeningen die inzoomen op specifieke verkeerssituaties dient een ander model te worden toegepast. Het model lijkt daarmee op een grotere schaal en voor meer elementen dezelfde functie te vervullen als CAR-II het voor uitsluitend verkeer doet. Voor het geheel aan concentraties (lump-sum) is het model geschikt door detailstudies, vanwege de bepaalde mate van aggregatie in de modelbenadering, minder. Vanwege het belang van overzichtelijke presentaties is vooral aandacht besteed aan de uitvoer en koppelingsmogelijkheden met bestaande bestanden en grafische technieken:

- dispersie: jaargemiddelde (of andere tijdsgemiddelden) concentraties worden berekend volgens interpolatietabellen voor voorgedefinieerde broncategorieën. Dit is gedaan met het oog op de veelheid van bronnen om de rekentijden te beperken. Depositie en andere verdwijntermen zijn niet meegenomen;
- NO₂-vorming uit NO en ozon. Een ingewikkelder schema methode als in CAR-II is opgenomen: een eenvoudig empirisch verband tussen NO₂, NO_x en ozon. Als alternatief kan de NNM-chemie ingezet worden;
- percentielwaarden en uurgemiddelde concentraties. Het model berekent in principe alleen jaargemiddelde concentraties;
- de bijdragen van bronnen van buiten het gebied is een lastig punt in dit type modellen. Gebruik van de GCN's is niet mogelijk omdat alle bronnen al in de GCN-waarden zijn opgenomen, zodat er dan een aanzienlijke dubbeltelling plaatsvindt. Een zo'n groot aantal bronnen als in de Rijnmond levert een niet te verwaarlozen bijdrage aan de lokale concentraties. De gekozen aanpak is pragmatisch maar gezien de door de opstellers gegeven onnauwkeurigheid (10%) ook effectief. Het grote voordeel (naast de grafische overzichten) bestaat uit het integrale karakter van de milieu-impact, die gegeven wordt. Net als bij CAR is de grotere onzekerheid een minpunt; binnen het gegeven kader is het de vraag of betere schattingen mogelijk zijn.

7.3

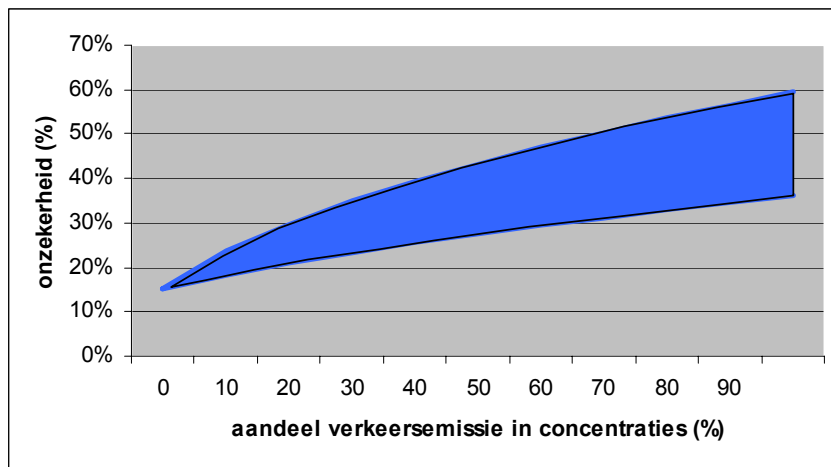
Onzekerheid in de resultaten

In het enige ons bekende document waarbij een vergelijking is gemaakt tussen gemeten en berekende concentraties (TNO, 2003a), blijkt voor NO₂ en voor PM₁₀ de overeenkomst heel redelijk te zijn, rond 10%. Door het grote aantal bronnen treedt wellicht een zekere mate van uitmiddeling op, waardoor het overall resultaat prima is. Dit geldt dus voor de gross-concentratie; wat de onzekerheid in de berekeningen van de afzonderlijke bronbijdragen

is, valt moeilijk te zeggen en is lastig uit de gerapporteerde data af te leiden. Indien we de achtergrond op de vermelde meetstations terugrekenen, komen we op lage schattingen van de achtergrond (15-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor NO_2), bij de gemelde verkeersbijdragen (66 en 51%), het lijkt of de bijdrage van verkeer te hoog wordt ingeschat of dat de achtergrond wordt onderschat. Voor het doel waarvoor URBIS is opgezet (verkennende studies voor de milieukwaliteit) is dit resultaat echter uitstekend te noemen.

Voor de bijdragen van verkeersemisies gaan we af op de meer theoretische benadering, zoals ook voor TNO-VM en TNO-HM is gedaan. Het resultaat is gegeven in Tabel 5. Hierbij moet opgemerkt worden dat URBIS niet voor een enkelvoudig rijksweg/receptorpunt bedoeld is, maar voor het genereren van gebiedsoverzichten.

Figuur 11 Geschatte onzekerheid in de eindresultaten voor verkeerswegen afhankelijk van de verkeersbijdrage aan de totale concentratie. Voor eenvoudige situaties (onderste curve) tot complexe situatie (bovenste curve)



Tabel 5 Overzicht van geschatte onzekerheden voor verkeerswegen in de uitkomsten van URBIS

ONZEKERHEID	TNO URBIS model			
		opmerking	Effect op onzekerheid	2010
Invoergegevens				
Verkeersgegevens	Verkeersintensiteit	gedifferentieerd	0%	10%
	Emissies personenverkeer	gedifferentieerd	10%	20%
	Emissies vrachtverkeer	gedifferentieerd	15%	30%
	Rijsnelheid	div waarden (ook files etc.)	5%	
	Wegtype	op maat	5%	
Achtergrond en meteorologie	Achtergrondconcentraties	complexe schatting	15%	20%
	Meteorologie	via source-receptor matrices	10%	
	Aantal meteo-stations	variabel	5%	
Omgeving	Kenmerken van obstakels	geen	15%	
	Kenmerken van gebouwen	eigen submodule (1 vervangingsgebouw), vrij ruw	20%	
	Ruwheidinvloeden	conform NNM	10%	
Onzekerheid tgv invoerparameters(zonder achtergrond)			29%	44%
Wijze van modellering				
Weggegevens	Aantal rijbanen	1	5%	
	Files en aantal rijstroken	geen	10%	
	Invloed wegoriëntatie	aanwezig	5%	
	Verhoogde en verlaagde wegligging	geen	10%	
	Tunnels	geen	30%	
	Verkeersintensiteit over een etmaal	1 waarde	10%	
Omgevingsparameters	Bomen en bossen	Meerdere waarden (CAR)	5%	
	Schermen en wallen	geen	20%	
	Naastliggende gebouwen	1 vervangingsgebouw	20%	
Dispersie	Dispersie	enkele mogelijkheden	10%	
Chemie	NO ₂ -vorming	empirische relaties	10%	
	Percentielen en overschrijdingsconcentraties	afgeleid uit jaargemiddelde middels empirische relaties	15%	
	Wijze van lijnbronmodellering	puntbronbenadering	10%	
	Onzekerheid t.g.v. modellering (grijze velden)			
	Onzekerheid t.g.v. modellering (grijze velden) (zonder achtergrond)		22%	

1) De onzekerheid wordt vermeld voor die aspecten die grijs zijn gearceerd.

Toelichting, invoerparameters

Verkeersgegevens

De verkeersgegevens zijn globaal behept met dezelfde mate van onzekerheid als bij de andere modellen. In URBIS is de CAR-benadering voor wegen gevolgd, zodat de meeste onzekerheden die voor CAR gelden ook hier van toepassing zijn.

Omgeving

Kenmerken van gebouwen: afzonderlijke gebouwen kunnen niet worden ingevoerd, daar is het model niet voor bedoeld.



Toelichting modelparameters

Verkeersgegevens

In URBIS is de CAR-benadering voor binnenwegen gevolgd en voor rijksverkeerswegen de NNM-lassenmodelbenadering met CAR-invoer voor verkeersgegevens, zodat de meeste onzekerheden die voor CAR gelden ook hier van toepassing zijn.

Omgevingsparameters

Schermen en wallen: worden niet gemodelleerd.

Dispersie:

De source receptor relaties gelden niet voor verkeerswegen, daarvoor wordt de CAR-benadering gehanteerd of de NNM-lassenmethode.

Chemie en wijze van lijnbronmodellering

Conform CAR.

De onzekerheid in de berekende jaargemiddelde concentraties varieert voor NO₂ rond verkeerswegen van 28-44% (bij 50/50 bron/achtergrond ratio en eenvoudige situaties), afhankelijk van de complexiteit van de situatie. De reden hiervan is dat URBIS niet voor afzonderlijke wegen bedoeld is. Voor de effecten van alle bronnen, middelen de verschillende benaderende rekenwijzen elkaar waarschijnlijk uit. De integraal berekende concentraties komen redelijk overeen met gemeten waarden. Daarbij moet opgemerkt worden dat er te weinig vergelijkingen met metingen te zijn uitgevoerd om al te stellige uitspraken te doen. In het algemeen geldt dat over de onzekerheid van URBIS te weinig bekend is om hier goed onderbouwde uitspraken over te doen. De onzekerheid voor verkeerswegen zal minder zijn dan bij de specifieke verkeersmodellen.

Onzekerheid voor prognostische berekeningen

Zoals in paragraaf 2.7.9 is aangegeven is de extra onzekerheid een gevolg van met name de emissieschattingen en de achtergrondconcentraties. De onzekerheid neemt dan toe van 28% naar ruim 37% voor jaargemiddelden (bij 50/50 bron/achtergrond ratio en eenvoudige situaties).

De onzekerheid in uitkomsten van URBIS bij een verdeling van de bijdragen achtergrond/bronbijdragen van 50/50% bedraagt 28% à 44% voor de totale concentratieberekeningen, afhankelijk van de complexiteit van de situatie. De onzekerheid neemt voor prognoses voor 2010 toe met 8 procentpunten voor jaargemiddelden. Onzekerheid in invoerparameters is hier dominant.

Gebruikersvriendelijkheid

URBIS is ontworpen om een gebruiksvriendelijk programma te leveren in een uitstekende GIS omgeving. Omdat het is opgezet rond bestaande modellen en databases zijn de kosten ervan relatief laag. De beschikbaarheid van het model is beperkt, omdat het een complex model is, dat alleen door ervaren deskundigen op gebied van luchtkwaliteit gehanteerd kan worden. De invoer en uitvoerstructuur is goed georganiseerd, zodat het model transportabel is naar andere gemeentes. Typische runtijden van dit model bedragen enkele uren.

7.4 Economische aspecten

Hoewel de ontwikkelingskosten relatief laag zijn, is de aanschaf van URBIS in zijn geheel duur. In praktijk zal men niet het gehele pakket willen hebben draaien, maar gedeelten ervan of alleen de resultaten van het model willen kunnen bewerken en op een flexibele manier willen kunnen presenteren. Dit vergt in praktijk toch maatwerk, zodat het - vanwege de complexiteit - toch een relatieve dure exercitie is. Met de postprocessor URBIS View kan de uitvoer worden geplot in GIS omgeving, de kosten hiervoor zijn enkele tienduizenden Euro's. Een uitgebreide run bijvoorbeeld het gehele Rijnmond gebied vergt een runtijd van 5 uren.

URBIS is een integraal milieumodel voor stedelijke regio's. Voor specifieke verkeersmodellering van rijkswegen bevat het model te weinig gedetailleerde modules. De onzekerheid in de uitkomsten voor rijksverkeerswegen is geschat op 28-44% (bij een verhouding van 50/50% voor bron/achtergrond).



Factsheet URBIS

Criteria	Kwalitatieve beoordeling	Weging geschiktheid
Functionaliteit: <ul style="list-style-type: none"> - verkeersmodel - chemie - reikwijdte 	<ul style="list-style-type: none"> - regionaal screeningsmodel - enkele varianten - regio's 	
Credibility: <ul style="list-style-type: none"> - ontwikkeld door - ontwikkeld in - gepubliceerd - dispersie - meteorologie - chemie - geometrie wegen - rijnsnelheidsaspecten - verkeerssamenstelling - verkeersintensiteit - obstakels en gebouwen - tunnels, verhoogde/verlaagde weglegging - achtergrondconcentraties - combinatie met andere bronnen Robuustheid Bewezen gebruik	<ul style="list-style-type: none"> - TNO - 1999-2003 - incidenteel nationaal - o.b.v. NNM-klassenmodel - meerdere stations, state-of-the-art - enkele varianten - NNM voor snelwegen, overigens CAR-methodiek - CAR-methodiek - overeenkomstig CAR: 3 typen - etmaal gemiddelden - minimaal 1 gebouw tussen bron en receptor - geen - emissies bestanden doorrekenen - integraal - goed - incidenteel 	
Onzekerheid in de resultaten Uurgemiddelden Jaargemiddelden: (achtergrond/bron 50/50) Ten gevolge van invoer Ten gevolge van modelparameters Overall onzekerheid	 29% 22% 28-44%	
Gebruikersvriendelijkheid Bewerkelijkheid invoer Bewerkelijkheid uitvoer Runtijden Beschikbaarheid documentatie	Intensief Matig tot intensief 1 dag voor 2M receptoren Beperkt toegankelijk	
Economische aspecten De ontwikkelingskosten Aanschafkosten Kosten voor onderhoud en up-dates Beschikbaarheid van het model Integriteit ontwikkelaars Runtijden en computerbehoefte	<ul style="list-style-type: none"> - - - Binnen consultancy opdrachten Leading scientists in grote instituten Redelijk op moderne PC 	



8 NNM+

8.1 Functionaliteit

NNM+ is afgeleid van het Nieuw Nationaal Model en oorspronkelijk opgezet voor het doorrekenen van vliegtuigemissies in combinatie met verkeerswegen en overige bronnen (diffuse emissies en industrieën).

Emissies door verkeer op rijkswegen kunnen niet met de standaardversie van het Nieuwe Nationaal Model worden doorgerekend. Dit is in de beschrijving van het model (het Paarse Boekje) duidelijk aangegeven. De achterliggende reden hiervoor is dat het NNM geen rekening houdt met:

- het lijnbronkarakter van een verkeersweg, met name op de NO₂-vorming;
- de emissiekarakteristieken van verkeer;
- de eigen turbulentie gegenereerd door het wegverkeer;
- de aanwezigheid van geluidsschermen;
- de wijze waarop het geëmitteerde NO naar NO₂ wordt omgezet in de atmosfeer.

Voor het modelleren van deze aspecten bestaat geen nationale consensus. Bovenstaande aspecten zijn in NNM+ wel gemodelleerd, zodat voor rijksverkeerswegen de concentraties ten gevolge van verkeer berekend kunnen worden. Daarmee sluit de modelopzet aan bij de consensus van NNM: NNM+ omvat dus de consensus van het NNM, aangevuld met een KEMA ontwikkeling binnen STACKS, waarbij verkeerswegen zijn gemodelleerd, inclusief geluidsschermen. Het model is recent (2001) voor verkeerswegen geschikt gemaakt; zowel voor inerte stoffen en voor NO₂ rijkswegen nu integraal met andere bronnen doorgerekend kunnen worden.

Componenten

- NO_x;
- NO₂;
- SO₂;
- CO;
- benzeen;
- fijn stof;
- benzo-a-pyreen.

Situaties

- vrij liggende weg;
- geluidsschermen en geluidswallen.

Voorts kan er rekening gehouden worden met bomen langs de weg, deze worden verrekend door een zero-displacementhoogte op te geven, afhankelijk van de bomenhoogte en -dichtheid. De bijdragen van meerdere verkeerswegen kunnen bij elkaar opgeteld worden. Combinatie met andere brontypen is met het model integraal mogelijk. Meerdere rijbanen en rijstroken kunnen gedefinieerd worden en de verkeersintensiteit kan per uur opgegeven worden. Gebouwen langs wegen en toepassing binnen stedelijke gebieden zijn niet mogelijk.

Verkeerstypen

- personenverkeer en vrachtverkeer (diverse klassen);
- 5 snelheidsklassen (conform de CAR-indeling);
- er wordt rekening gehouden met de eigen turbulentie door verkeer.



Combinatie met andere brontypen is integraal mogelijk.

Tijdshorizon

Er kunnen historische en prognostische berekeningen worden uitgevoerd. Omdat het model alleen gerund wordt bij KEMA kan er door de ontwikkelaars gemakkelijk worden ingegrepen in de werking van de programmatuur om uitkomsten op maat te genereren.

8.2 Credibility

Het NNM is meerdere malen gepubliceerd in internationale gremia. NNM+ is alleen incidenteel gerapporteerd in consultancy rapportages.

NNM+ wordt in hoge mate bepaald door de fysische en chemische processen in detail te beschrijven. Er wordt geen gebruik gemaakt van empirische relaties. Dit geldt met name voor:

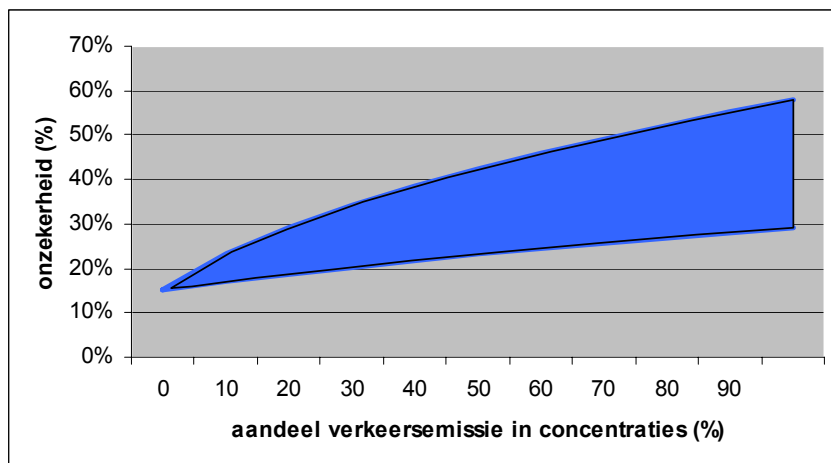
- dispersie: Voor verkeerswegen is in NNM+ het model uitgebreid voor lijnbronnen, waarbij de inmenging van de omgevingslucht (met ozon in geval van ozon) zo goed mogelijk wordt beschreven. Daarbij wordt weer uitgegaan van instantane concentraties. Bij lijnbronnen is alleen nog de verdunning in de verticale richting van belang (randeffecten daargelaten, hoewel deze in NNM wel worden meegenomen). Vanwege de lijnbronbenadering conform NNM wordt rekening gehouden met andere wegsegmenten die bovenwinds zijn gelegen. Lange weggedeelten worden opgeknipt in hanteerbare deelsegmenten;
- NO₂-vorming uit NO en ozon. De NO₂/NO_x-verhouding wordt berekend op 'neushoogte' (1,5 m). Bij lijnbronnen is de inmenging van ozon daarvoor minder dan bij puntbronnen en zal de verhouding NO₂/NO_x lager zijn. Deze inmenging van ozon in de pluim wordt hiermee zo goed mogelijk ingecaluleerd. Er wordt daarbij rekening gehouden – in geval van meerdere rijbanen en rijstroken – met het verminderd beschikbaar zijn van ozon in de benedenwindse rijbanen en – stroken;
- percentielwaarden en uurgemiddelde concentraties. Deze worden berekend door eerst alle uurgemiddelden concentraties ten gevolge van de diverse bronnen te sorteren. Er ontstaat automatische de juiste bepaling van de percentielwaarden en andere overschrijdingskansen;
- voor het berekenen van de concentraties ter zijde van de weg op korte afstanden kan het van belang zijn om rekening te houden met de turbulentie die het verkeer zelf veroorzaakt. Dit is in NNM+ geïmplementeerd met functies waarin de windsnelheid en de windrichting van belang zijn. Het effect van bossen wordt verrekend door het windprofiel uit te breiden met een displacement-hoogte, waardoor het windprofiel opgetild wordt met deze hoogte. Dit is een gebruikelijke werkwijze in verspreidingsmodellen.

NNM+ is vanwege de gedetailleerde beschrijving van verkeersbanen en obstakels geschikt voor het aangeven van verschillen in geometrie van schermen en wallen naast wegen (er is geen categorisering toegepast) buiten de bebouwde kom. Het is niet geschikt gemaakt voor streetcanyons of voor situaties waarbij gebouwen direct naast de wegen zijn gesitueerd.

8.3 Onzekerheid in de resultaten

NNM+ is nauwelijks vergeleken met metingen. Dat maakt dat we van theoretische beschouwingen zullen uitgaan conform de methodiek die we voor de andere modellen hebben gevolgd.

Figuur 12 Geschatte onzekerheid in de eindresultaten voor verkeerswegen afhankelijk van de verkeersbijdrage aan de totale concentratie. Voor eenvoudige situaties (onderste curve) tot complexe situatie (bovenste curve)



Tabel 6 Overzicht van geschatte onzekerheden in de uitkomsten van NNM

ONZEKERHEID	NNM+			
		opmerking	Effect op onzekerheid	2010
Invoergegevens				
Verkeersgegevens	Verkeersintensiteit	Uurwaarden	0%	10%
	Emissies personenverkeer	1 waarde	10%	20%
	Emissies vrachtverkeer	Maatwerk	15%	30%
	Rijsnelheid	Maatwerk	5%	
	Wegtype	Maatwerk	5%	
Achtergrond en meteorologie	Achtergrondconcentraties	GCN's jaargemiddelden	15%	20%
	Meteorologie	Conform NNM	10%	
	Aantal meteo-stations	2 stations	10%	
Omgeving	Kenmerken van obstakels	Via zero displacement	5%	
	Kenmerken van gebouwen	Variabel	20%	
	Ruwheidinvloeden	Verrekend in dispersie		
Onzekerheid t.g.v. invoerparameters(zonder achtergrond)			26%	42%
Wijze van modellering				
Weggegevens	Aantal rijbanen	Onbeperkt	0%	
	Files en aantal rijstroken	Onbeperkt	5%	
	Invloed wegorientatie	Gedetailleerd	5%	
	Verhoogde en verlaagde wegligging	Via initieel sigma-z	5%	
	Tunnels	Niet mogelijk	30%	
	Verkeersintensiteit over een etmaal	Uurwaarden mogelijk	5%	
Omgevings parameters	Bomen en bossen	Via zero displacement	5%	
	Schermen en wallen	Meerdere vormen mogelijk	15%	
	Naastliggende gebouwen	Niet mogelijk	30%	
Dispersie	Dispersie	State-of-the-art	10%	
Chemie	NO ₂ -vorming	NNM-chemie aangepast voor lijnbronnen	5%	
	invloed ozonconcentraties	Conform NNM	5%	
	Percentielen en overschrijdingsconcentraties	Conform NNM	5%	
	Wijze van lijnbronmodellering	Conform NNM	5%	
	Onzekerheid t.g.v. modellering (grijze velden)			14%

1) De onzekerheid wordt vermeld voor die aspecten die grijs zijn gearceerd.

Toelichting, invoerparameters

Verkeersgegevens

De verkeersgegevens zijn globaal behept met dezelfde mate van onzekerheid als bij de andere modellen.

Omgeving

Kenmerken van gebouwen: gebouwinvloed kan niet toegepast worden in combinatie met verkeerswegen.

De ruwheid wordt hier meegewogen door de effecten ervan op wind en turbulentie te berekenen zoals ook in het Nieuw nationaal Model. De onzekerheid hierdoor is daarom nog slechts gering.



Toelichting modelparameters

Verkeersgegevens

Aantal rijbanen: deze kunnen naar wens worden ingevoerd. Het lijkt ook hier onwaarschijnlijk dat hierdoor een meer dan geringe onzekerheid door wordt geïntroduceerd.

De wijze van modellering is de van uur-tot-uur methode; voor deze parameters gelden vergelijkbare onzekerheden als voor TNO-HM.

Invloed wegoriëntatie

Door het rotating wegsegment model (gesegmenteerde lijnbronmodel) is deze factor goed meegenomen in de berekeningen.

De verkeersintensiteit wordt gegeven als uurwaarden. De chemie (reactie met ozon, die een sterke daggang vertonen) wordt ook basis van uurwaarden doorgerekend.

Omgevingsparameters

Scheren en wallen: worden redelijk goed gemodelleerd middels het verhogen van de initiële dispersie en het aanpassen van de bronhoogte. De onzekerheid is vergelijkbaar met die in TNO-VM.

Naastliggende gebouwen: niet gemodelleerd.

Dispersie

Wordt gemodelleerd conform het Nieuw Nationaal Model. Hierdoor is het mogelijk om de meteorologische processen uur-voor-uur door te rekenen en is het niet meer nodig terug te vallen op benaderende en meer onnauwkeurig methoden.

Chemie

Invloed ozonconcentraties: De NO₂-vorming wordt berekend middels een chemische module die rekening houdt met in-pluim chemie en instantane concentraties.

Wijze van lijnbronmodellering

Hier wordt een 'echt' lijnbronmodel is toegepast, waardoor de oriëntatie van de weg in relatie met de windrichting uur-voor-uur nauwkeurig wordt doorge-rekend.

De onzekerheid in de berekende jaargemiddelde concentraties bedraagt voor NO₂ ruim 23% oplopend tot 42% voor complexere situaties. Indien gebouwen in de directe omgeving staan neemt de onzekerheid snel toe. Ondanks de gedetailleerde modellering is de winst in onzekerheid dus beperkt. Dit is vooral te wijten aan de onzekerheid in de invoer.

Onzekerheid voor prognostische berekeningen

Zoals in paragraaf 2.7.9 is aangegeven is de extra onzekerheid een gevolg van met name de emissieschattingen en de achtergrondconcentraties. De onzekerheid neemt dan toe van ongeveer 23% naar 34% voor jaargemiddelden (bij een verhouding van 50/50% voor bron/achtergrond bijdrage), afhankelijk van de complexiteit van de situatie.

8.4 Gebruikersvriendelijkheid

Het model is niet beschikbaar voor derden, het is een research model. Het model is voor externe gebruikers momenteel onbereikbaar. Beschrijvingen zijn alleen beschikbaar in consultancy rapportages. Het model levert alleen resultaten indien deskundigen de invoer verzorgen en de uitvoer interpreteren. De uitvoer van het model is geheel in lijn met de eisen van het Besluit Luchtkwaliteit en identiek aan de uitvoer van het NNM.

8.5 Economische aspecten

De ontwikkelingskosten van het model zijn relatief laag doordat het is afgeleid van het NNM. Onderhoud en gebruik van het model zijn derhalve relatief goedkoop. Het model is in principe wel verkrijgbaar voor derden, maar zulks op aanvraag. Runtijden zijn vergelijkbaar met die van NNM (in de STACKS versie), dat willen zeggen enkele minuten voor eenvoudige berekeningen tot enkele uren indien er vele bronnen doorgerekend moeten worden over meerdere jaren. In principe werkt het model op een gewone PC, de preprocessing en de postprocessing vergen de inbreng van deskundigen.



Factsheet NNM+

Criteria	Kwalitatieve beoordeling
Functionaliteit: <ul style="list-style-type: none"> - verkeersmodel - chemie - reikwijdte 	<ul style="list-style-type: none"> - nee, aangepaste NNM voor verkeerswegen - conform NNM, uitgebreid voor verkeer - tot 25 km
Credibility: <ul style="list-style-type: none"> - ontwikkeld door - ontwikkeld in - gepubliceerd - dispersie - meteorologie - chemie - geometrie wegen - rijsnelheidsaspecten - verkeerssamenstelling - verkeersintensiteit - obstakels en gebouwen - tunnels, verhoogde/verlaagde weglegging - achtergrondconcentraties - combinatie met andere bronnen Robuustheid Bewezen gebruik	<ul style="list-style-type: none"> - KEMA - 2001 - niet - state-of-the art - meerdere stations, state-of-the-art - o.b.v. NNM - geen beperkingen - 5 snelheden, eigen turbulentie verrekend - maatwerk: geen beperkingen - uurwaarden - schermen en wallen, geen gebouwen - geen - GCN's - integraal mogelijk met andere bronnen - goed (vgl met NNM) - incidenteel voor verkeer
Onzekerheid in de resultaten Uurgemiddelden Jaargemiddelden: Ten gevolge van invoer Ten gevolge van modelparameters Overall onzekerheid	26% 14% 23-42%
Gebruikersvriendelijkheid Bewerkelijkheid invoer Bewerkelijkheid uitvoer Runtijden Beschikbaarheid documentatie	Matig Gering Laag tot matig Beperkt in consultancy rapporten
Economische aspecten De ontwikkelingskosten Aanschafkosten Kosten voor onderhoud en updates Beschikbaarheid van het model Integriteit ontwikkelaars Runtijden en computerbehoefte	- - - Binnen consultancy opdrachten Leading scientists in groot instituut Beperkt

NNM+ heeft als grote voordelen de compatibiliteit met NNM en de mogelijkheid om uur-voor-uur te rekenen met fysisch-chemische submodules zonder fitparameters, die onbekende effecten moeten verrekenen. NNM+ is echter nauwelijks gevalideerd en koppeling met gebouwinvloed naast wegen behoort nog niet tot de mogelijkheden. De onzekerheid neemt voor prognoses voor 2010 toe van ongeveer 23% naar 34% voor jaargemiddelden (bij 50/50 bron / achtergrond ratio en eenvoudige situaties).



9 Buitenlandse modellen

9.1 Doelstelling

Om een indruk te krijgen hoe de Nederlandse modellen zich verhouden tot de modellen die in het buitenland worden gebruikt, wordt in dit hoofdstuk een korte beschrijving van enkele buitenlandse modellen gegeven. De doelstelling hiervan is de vraag te beantwoorden: 'welke lessen kunnen we voor de toekomst van het bepalen van de luchtkwaliteit rond Nederlandse rijkswegen trekken?' De modellen worden zeker niet in detail beschreven.

Voor de buitenlandse modellen geven we een beschouwing van de wijze waarop de verkeersmodellering in het buitenland is uitgewerkt. De bedoeling hiervan is om de beoordeling van de gangbare Nederlandse modellen in perspectief te kunnen plaatsen, zodat aangegeven kan worden in welke mate we in Nederland voorop dan wel achterlopen. Dit is van belang omdat 'Brussel' in toenemende mate beoordeelt in hoeverre de Nederlandse inspanningen op gebied van verkeersmodellering en verkeersemisseries van niveau zijn en dus positief beoordeeld kunnen worden. Onder andere de volgende vragen komen daarbij aan de orde:

- Zijn buitenlandse modellen betrouwbaarder?
- Kunnen buitenlandse modellen meer verkeerssituaties aan?
- Zijn buitenlandse modellen beter gevalideerd?

In het navolgende worden enkele buitenlandse modelontwikkelingen kort besproken en worden daaruit aanbevelingen gegeven voor de Nederlandse modellenpraktijk.

9.2 Buitenlandse modellen

Groot Brittannië

In Groot Brittannië bestaat een goed ontwikkelde structuur voor atmosferische verspreidingsmodellen. Het bekendste model is ADMS (atmospheric dispersion modelling system), dat in praktijk de status van Nationaal Model heeft. Het is een complex model dat gebaseerd is op moderne fysische inzichten en veelvuldig is gepubliceerd en gevalideerd. Voor verkeerswegen zijn er versies uitgebracht onder de 'ADMS Urban' vlag. Het model kan lijnbronnen doorrekenen op een uur-voor-uur methodiek, waarbij voor de omzetting van NO naar NO₂ een beperkt reactieschema wordt gebruikt. Voor Londen worden luchtkwaliteitskaarten gemaakt voor het jaar 2005 en 2010 met ADMS. Het wordt binnen deze studie vergeleken met twee andere modellen NETCEN en het ERG model. Beschrijvingen van deze modellen zijn niet voorhanden. Wel wordt gerapporteerd (binnen de Air Quality Expert Group) dat de modellen dezelfde trends vertonen, maar dat de verschillen aanzienlijk zijn. (situatie november 2002). In vergelijkingen met metingen langs wegen zien we dat de verschillen (maandgemiddelden) in de orde van grootte van 10% à 20% (Huang et al, 2002).

Naast ADMS worden ook gebruikt: CAR international (van TNO, als screeningsmodel). AEOLIS is een model met meer diepgang (een uur-voor-uur model, dat maandgemiddelden kan berekenen). Emissiefactoren moeten door gebruikers opgegeven worden, en verkeersintensiteiten kunnen uur-voor-uur worden opgegeven.

Denemarken

Denemarken kent een lange historie van modelleren, met name in het Riso instituut en NERI. Door dit laatste instituut is het Operational Street Pollution Model (OSPM) opgezet, dat een combinatie is van een gaussisch pluimmodel en een relatief eenvoudig box-model voor de street canyon (met recirculatie). Het is een uur-voor-uur model dat rekening houdt met NO-NO₂-O₃ chemie en met verblijftijden van de verontreinigingen. Ook door het verkeer gegenereerde turbulentie wordt meegenomen. Het model is vooral geschikt voor straten met onregelmatige bebouwing aan een zijde of aan beide zijden. Niet geschikt voor kruispunten en locaties ver weg van de weg.

Frankrijk

Frankrijk heeft geen grote historie op gebied van dispersie-modellering. Maar de modellering die gehanteerd wordt is behoorlijk complex. Dat geldt voor modellen op zowel meso- als microschaal. Het microschaal model CHENSI is hier een voorbeeld van: een model gebaseerd op de Navier Stokes vergelijkingen (Fluid Dynamics). Het model wordt gebruikt voor street canyons. Voor rijkswegen is dit niet bedoeld en eigenlijk ook niet als een regulair model voor veelvoudige berekeningen (het draait op een Cray!).

Duitsland

In Duitsland is veel aandacht besteed aan computational fluid dynamics (CFD) modellering. Het interessante hiervan is dat hierbij ook getracht is naar een PC versie toe te werken, die door derden gebruikt kan worden. Een dergelijk model is MISKAM, een driedimensionaal CFD model, dat toegepast kan worden in stedelijke omgeving, met diverse gebouwvormen. DASIM is een vergelijkbaar stromingsmodel, dat vaak gebruikt wordt.

Het MISKAM model kan gekoppeld worden met een model dat emissies van verkeer berekent (gegeven de positie en kenmerken van de verkeersstromen). De uitvoer van veel MISKAM runs zijn gebruikt om een eenvoudiger model te voeden met voorberekende dispersiewaarden: PROKAS_B. Ook dit model PROKAS is voor straten in steden bedoeld en verondersteld wordt dat de atmosfeer neutraal is (dat wil zeggen de turbulentie wordt gegenereerd door de gebouwen en niet door thermische effecten van de atmosfeer zelf). Rijkswegen zijn niet de hoofddoelstelling van deze modelvorm. Als screeningsmodel wordt in Duitsland wel MluS-92 toegepast (aanbevolen door het ministerie van transport). Het is in hoge een soort regressiemodel waarbij empirische relaties zijn samengebracht voor de effecten van type straat, aantal rijbanen, helling van de straat (!), jaargemiddelde windsnelheid en dergelijke. Daar waar het niet toepasbaar is (kruispunten, afwijkende windrichtingsverdelingen (valleien), dicht bebouwd gebied) wordt PROKAS aanbevolen.

IMMIS beoogt dezelfde doelstelling als PROKAS te hebben en wordt vaak gebruikt. Over de kwaliteiten van de afzonderlijke modellen is niets gevonden. Uit een modeleringsonderzoek uitgevoerd in een straat in Hannover bleek 90% van de berekende jaargemiddelde NO₂-waarden minder dan 10% af te wijken, de resultaten voor NO_x waren merkwaardiger wijze veel minder evenals voor roet en benzeen (Bächlin, Müller en Lohmeijer). In Duitsland zijn meer datasets voor straten bekend, die gebruikt kunnen worden voor modelvalidatie exercities. Voor rijkswegen zijn we niets tegengekomen.

De indruk bestaat dat er in Duitsland veel werk verzet wordt om de emissies van verkeer goed in te schatten en in modellen op hun impact door te rekenen.



Oostenrijk

In Oostenrijk is een decision support systeem beschikbaar (verkrijgbaar bij TRAQS), waarin meerdere modellen en databases zijn samengebracht. De modellen betreffen gaussische en euleriaanse (voor industriële bronnen) modellen voor allerlei componenten, een fotochemisch box model en desgewenst een uitgebreidere 3D versie. Dit model lijkt sterk op het URBIS model van TNO, over de nauwkeurigheid is niets gevonden. Vanuit Oostenrijk is het project SATURN gerapporteerd (Sturm, 2000), dat als doel had om de methode voor urbane emissie-inventarisaties te harmoniseren. Het gaat buiten de scope van dit rapport hierop in te gaan, maar het kan interessant zijn hiervan lering te trekken.

Noorwegen

Het AirQUIS systeem beoogt voor urbane gebieden een berekeningsomgeving te bieden waar de concentraties relevante stoffen mee berekend kunnen worden. Dit systeem bestaat uit meteorologische modellen, emissiemodellen en dispersiemodellen, kortom een set van modellen en databases, waarmee een heel gebied mee kan worden doorgerekend. Onderdeel van dit systeem is het model Contilink, dat nabij wegen de concentraties bepaalt. Het model is in de meeste Noorse steden geïmplementeerd. Het model lijkt wat functionaliteit betreft sterk op URBIS. Voor puntbronnen is hier een puff-trajectory model ingebouwd. Dit is in principe een goede methode om industriële bronnen door te rekenen, hoewel de kwaliteit weer afhangt van de wijze waarop de dispersie plaatsvindt. Dit is ons niet bekend. De verkeersmodule is het meest complexe submodel in AirQUIS.

USA

Vooraf in Californië is gewerkt aan modelontwikkelingen en dan vooral voor highways. Het meest geaccepteerde model is het Californian Linesource model (CALINE), waarvan intussen een stuk of 5 versies bestaan, CALINE4 is het momenteel het door EPA aanbevolen model. De basis van het model is niet zo recent: het stamt uit de jaren zeventig en bevat dus ook de dispersie-inzichten van die tijd (vergelijkbaar met TNO-VM). Het heeft wel veel modules voor allerlei obstakels, verlaagde wegen, bruggen, parkeerplaatsen etc. De dispersie in dit model is gebaseerd op Pasquill classificatie van de atmosfeer, initiële turbulentie door verschillende bronnen (bijvoorbeeld rij-snelheid) wordt gemodelleerd. Het model vertoont overeenkomsten met het TNO-VM. Om de emissies te bepalen heeft EPA een emissiemodel gemaakt (MOBILE4), dat op maat de emissies van een voertuigpark (aandeel vrachtauto's soort brandstof), een jaartal (1960-2020!) en een omgeving (kruispunten, laagland, hooggelegen locatie etc)

Behalve dit model worden HIWAY2 en ROADWAY door de EPA aanbevolen als rekenmodellen voor snelwegen. Een goede literatuur review is gegeven door Dorling (2001, <http://www.uea.ac.uk/env/appetise/review>, verslag van het APPETISE project). HIWAY2 en ROADWAY stammen uit de jaren 1980-1990, zijn gaussische modellen waarbij de weg wordt opgedeeld in (lijnbron) wegsegmenten, die vervolgens numeriek worden doorgerekend (dat wil zeggen, er is geen analytische oplossing voor de lijnbrondispersie toegepast).

9.3

Discussie

Er is een toenemend aantal dispersiemodellen voor wegen beschikbaar. Vooral in Groot Brittannië en Duitsland is veel werk verzet om te komen tot goede invoerbestanden, gedetailleerde modelmodules en last-but-not-least goed verzorgde uitvoer. Het is belangrijk dat de kwaliteit van het model in

balans blijft met de kwaliteit van de uitvoer. In deze korte beschouwing is het niet mogelijk hier gefundeerde uitspraken over te doen, maar naar de toekomst toe kan dit een aandachtspunt zijn.

Modellen dienen natuurlijk realistische resultaten te geven en dat moet blijken uit validatiestudies. Ook in andere landen is hiervoor aandacht. Het is aanbevelingswaardig vaker gebruik te maken van buitenlandse datasets die met veel zorg zijn opgezet. Deze kunnen een welkome aanvulling zijn op de in Nederland beschikbare datasets en vice versa.

Modellen moeten ook om de juiste redenen de goede resultaten geven, dat wil zeggen door het juist beschrijven van die processen die tot het resultaat leiden. Het moet niet zo zijn dat modellen worden geijkt en met fitparameters kloppend gemaakt worden aan de realiteit. Dat maakt dan wel dat de historische uitkomsten in lijn met de metingen zijn, maar als de vraag beantwoord moet worden welke nieuwe maatregelen we moeten nemen om de situatie te verbeteren, dan kunnen deze modellen te kort schieten, of sterker zelfs: tot niet-effectieve verkeersmaatregelen te kunnen leiden.

Uitstapje naar een mogelijk voorbeeld

Ten aanzien van de omzetting van NO naar NO₂ is eigenlijk nog veel onduidelijk. In de meeste modellen worden empirische formules toegepast, afgeleid van bepaalde praktijksituaties. En er lijkt geen reden hiervan af te wijken. Voor rapportages is dat wellicht ook zo. Toch zou gebruik van deze modellen beleidsmakers op een verkeerd spoor kunnen zetten. Omzetting naar NO₂ geschiedt door aanwezigheid en inmenging van ozon. Uit onderzoek blijkt dat de mate van menging erg belangrijk is voor de omzettingssnelheid van NO en ozon naar NO₂. In de empirische formules is deze menging impliciet opgenomen. Indien er maatregelen genomen worden die de menging sterk verbetert of juist vermindert, zal de berekende NO₂ anders zijn dan wat in werkelijkheid gebeurt. In theorie is het zo mogelijk dat door het plaatsen van schermen wel de NO_x wordt verlaagd, maar door betere menging de omzettingssnelheid naar NO₂ juist wordt verhoogd en de maatregel niet effectief meer is. Inzicht in de rol en mate van menging kan helpen deze effecten beter te voorspellen. Het is echter de vraag hoe zwaar dit argument moet wegen: er zijn geen praktijkadviezen dat dit aspect tot ernstige afwijkingen leidt.

Daarom is het verstandig om de modellen - voor zover de toepassing ervan het doorrekenen van maatregelen betreft - zeker in lijn te laten zijn met de Europese harmonisatie die sinds een klein decennium is opgestart. Daar is uit naar voren gekomen dat de modellen minimaal de inzichten van de moderne natuurkunde ten aanzien van de atmosferische grenslaag moeten bevatten en dat zij aan bepaalde (internationaal geaccepteerde en beschikbare) datasets zijn getest en akkoord bevonden. Voor verkeerssituaties is zo'n dataset niet beschikbaar. Validaties aan datasets zijn wel te vinden (hoewel beperkt): bijvoorbeeld het ADMS model in Groot-Brittannië. Op Europees niveau is hier dus ook nog wat huiswerk te doen. Het gebruik van modellen als het TNO-verspreidingsmodel of het NNM+ (die op enkele punten veel gelijkenis met elkaar vertonen) zou daarom aangemoedigd moeten worden voor situaties waar (toekomstige) verkeersmaatregelen genomen (moeten) worden die ingrijpen op bepaalde uren van de dag (spitsstroken, toeritbeperkingen, etc). Voor het rapporteren van de luchtkwaliteit over historische jaren is elk model voldoende mits voldaan wordt aan de eis van nauwkeurigheid. Hierbij is het immers niet van belang te weten wat de onderverdeling is van de berekende concentraties over diverse bronntypen en wat de afzonderlijke invloeden zijn van lokale maatregelen. Met andere woorden: voor toekomstvoorspellingen is het beter om 'advanced' modellen te gebruiken. Daarvan



wordt verwacht dat zij niet alleen de juiste resultaten geven, maar deze ook om de juiste redenen geven.

De ontwikkeling van CFD modellen in Duitsland is gunstig omdat het inzicht geeft in complexe situaties. Bovendien kan dit leiden tot vergelijkingsmateriaal voor deze complexe situaties. Europese samenwerking is dan zeer wenselijk. Op bescheiden schaal bestaat deze er al, zoals blijkt uit vergelijkende studies (Ketzel et al, 2000). Voor het overige blijkt dat de Nederlandse modellen op het Europese speelveld goed zijn opgezet en bij vergelijkingen met metingen redelijk scoren. Ook buitenlandse modellen hebben een relatieve grote mate van onzekerheid.

Terugkijkend naar de vraagstellingen:

- 1 Zijn buitenlandse modellen betrouwbaarder? Nee, de modellen zijn vergelijkbaar wat kwaliteit betreft, maar de basis van de diverse modellen loopt sterk uiteen, evenals het toepassingsgebied. Dit is vooral gebaseerd op een (vluchtige) inhoudelijke beschouwing van de modellen, niet op vergelijkingen van prestaties in praktijksituaties.
- 2 Kunnen buitenlandse modellen meer verkeerssituaties aan? De indruk bestaat dat er met name in stedelijke gebieden in het buitenland meer is gedaan om de modellen meer complexe situaties (street canyons) te kunnen laten doorrekenen (met name in Duitsland: CFD modellen, en Groot Brittannië). Voor snelwegen bestaan in het buitenland weinig of geen betere modellen dan in Nederland.
- 3 Zijn buitenlandse modellen beter gevalideerd? De indruk bestaat dat validatie van verkeersmodellen nergens uitgebreid heeft plaatsgevonden (in de literatuur worden maar beperkte publicaties aangetroffen) en dat Nederland (met name TNO) op dit punt in de voorhoede is te vinden.

Met opmaak:
opsommingstekens en
nummering

9.4 Aanbevelingen

- voor het doorrekenen van de effecten van maatregelen: stimuleer het gebruik en de ontwikkeling van 'advanced' modellen in plaats van modellen die sterk op empirie leunen. Voor de rapportages in het kader van het Besluit luchtkwaliteit kunnen beide soorten modellen ('advanced' en empirische) gebruikt worden, mits voldaan wordt aan de nauwkeurigheidseis (30%);
- in het buitenland bestaat veel aandacht voor een meer gedetailleerde modellering van de (verkeers-)emissies. Uit onzekerheidsschattingen blijken verkeersemissies een grote bron van onzekerheid te zijn. Besteed daarom meer aandacht aan emissiemodellen als preprocessor voordat de immissies berekend worden;
- bezie in hoeverre er gebruik gemaakt wordt van buitenlandse datasets om modellen te valideren. De indruk bestaat dat hiervan weinig gebruik wordt gemaakt;
- bezie in hoeverre de harmonisatie binnen Europa zich verder kan uitstrekken tot verkeersmodellen. De indruk bestaat dat individuele landen erg met eigen ontwikkeling bezig zijn en (te) weinig van elkaars expertise gebruik maken;
- houdt GIS postprocessing en inhoudelijke modelkwaliteit in balans. Tracht te voorkomen dat met de uitvoerkwaliteit een te hoge nauwkeurigheid wordt gesuggereerd.



Referenties

Annema, J.A., 2003. *De onzekere emissieschattingen in de sector verkeer, een korte beschouwing*.

CE, 1999. *Optiedocument stedelijke luchtkwaliteit*. CE publicatienummer 99.4632.15, CE, Delft.

CE, 2000. *Luchtkwaliteit langs het Nederlandse snelwegennet in 2010*. CE publicatienummer 00.4720.19, CE, Delft.

CE, 2001. *Luchtkwaliteit bij Ypenburg. Een contra-expertise van TNO-rapportage*. CE, Delft, juni 2001.

Herremans, H., Breugel, P. van, Keuken, M., Teeuwisse, S., Wesseling, J., 2003. Luchtverontreiniging bij wegen. In: *Arena*, mei 2003, nummer 3 jaargang 9.

InfoMil, 2003a. *Het effect van snelheid en ritdynamiek van het verkeer op de luchtkwaliteit langs autosnelwegen*, InfoMil Notitie www.infomil.nl.

InfoMil, 2003b. *Verslag workshop verspreidingsmodellen* 16 april 2003.

M. Ketzler, P. Louka, P. Sahm, E. Guilloteau, J.-F. Sini en N. Moussiopolis. *Intercomparison of numerical urban dispersion models – part II: street canyon in Hannover, Germany*. 3rd urban air quality conference – Loutraki 19-23 maart 2000.

KEMA, 1997. *Haalbaarheidsstudie korte afstandsmodellen luchtkwaliteit in stedelijk gebied*. KEMA rapport 64941-KST 97-3233.

RIVM, 1999. *Metten, rekenen en onzekerheden. De werkwijze van het RIVM-Milieuonderzoek*, RIVM rapport 408129005.

RIVM, 2002. *Realisering EU-NO₂ normen in Nederland. Implementatie 1e EU-dochterrichtlijn*. RIVM rapport 725601006/2002.

RIVM, 2002b. *Generieke concentraties Nederland (GCN)*, K. van Velze, J. Aben, H. van Jaarsveld, 24 mei 2002, RIVM notitie.

RIVM, 2000b. *Informatiestructuur landelijk beeld verstoring*. RIVM rapport 725201.202, augustus 2000.

RIVM, 2000. *Bijdragen aan het colloquium 'verkeer, Milieu en Techniek'*. 29 juni 2000, RIVM, Bilthoven. RIVM rapport 773002016, oktober 2000.

RIVM, 1998. *Mobile emission factor determination through ambient air monitoring MEDAM project*. RIVM rapport 723301008.

RIVM, 2000. *Metingen van luchtverontreiniging aan de A28 bij Zwolle in de periode van 18 oktober t/m 4 november 1999*. RIVM rapport 609023.003.

ROM Rijnmond, 2003. *Masterplan Luchtkwaliteit*. Rapportage Inventarisatie, 23 mei 2003 (definitief concept).

TNO, 2003a. *URBIS Rotterdam Rijnmond; A pilot study*. TNO rapport R2003/245.

TNO, 2003b. *An intercomparison of the TNO traffic models, field data and wind tunnel measurements*. TNO rapport R2003/207.

TNO, 2003c. *Luchtkwaliteit rond het Nederlandse wegennet in 2002; toelichting op de berekeningen*. TNO rapport R2003/213, mei 2003.

TNO, 2001. *Emissions and congestion – estimation of emissions on road sections and the Dutch motorway network*. Executive summary. TNO rapport 01.OR.VM.044/NG.

TNO, 1999. *Emissieprofielen van snelwegverkeer vastgesteld in de Drecht-tunnel (1999)*. TNO-MEP rapport R99/410

TNO, 2002. *Handleiding bij software pakket CAR-II*. TNO-MEP rapport R2002/106.

TNO, 1996, Projectgroep Revisie nieuw Nationaal Model, projectdocument RNM 16-3, d.d. 20 september 1996.

TNO, 1996, *Projectgroep Revisie nieuw Nationaal Model*, projectdocument RNM 14-9, d.d. 20 juni 1996.

TNO, 1992. *Beschrijving van de Rekenprocedures ten behoeve van de ge-automatiseerde versie het Voorspellingssysteem Luchtkwaliteit Wegtrace varianten (VLW-systeem)*. TNO rapport IMW – R92/267.

Vermeulen A., 2003. Persoonlijke communicatie.

Wesseling, J.P., Visser, G.Th., Bultjes, P. en Balster, F., 2003. A comparison of new wind tunnel measurements, field data and numerical calculations. In: *Proceedings of PHYSMOD2003, international workshop on physical modeling of flow and dispersion phenomena*, 3-5 September 2003, Prato, Italië.

W. Bachlin, W.J. Muller, A. Lohmeyer. *Ringvergleich von Modelanwendungen beim Immissionsprognosen, ein neuer Beitrag zur Qualitätssicherung*.