

## **Colofon**

Het platform toedelings- en simulatiemodellen (PLATOS) is een samenwerkingsverband tussen modelontwikkelaars en -gebruikers in Nederland, dat moet leiden tot een geïntegreerd en samenhangend pakket van verkeersmodellen waarmee de effecten van verkeersbeheersingsmaatregelen vooraf kunnen worden bepaald.

### **Leden van PLATOS zijn:**

DHV Milieu en Infrastructuur BV  
Goudappel Coffeng  
TNO Inro  
Rijkswaterstaat, Directie Oost-Nederland  
Rijkswaterstaat, Directie Zuid-Nederland  
CapGemini Nederland BV  
AGV Adviesgroep voor Verkeer en Vervoer  
Adviesdienst Verkeer en Vervoer  
Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek  
Grontmij Verkeer en Infrastructuur  
Universiteit Twente, Faculteit Technologie & Management  
Transpute

### **Titel**

Leidraad validatiestudies toedelings- en simulatiemodellen.

### **Voor meer informatie over Platos of meer exemplaren van dit rapport kunt u contact opnemen met Projectbureau PLATOS:**

Secretariaatsadres:  
Projectbureau PLATOS  
Ir. C.J. Abeelen  
Koninginnegracht 23  
2514 AB Den Haag  
Telefoon 070-4260050  
Fax 070-4260051  
E-mail: [platos@oag.nl](mailto:platos@oag.nl)  
[www.oag.nl/platos](http://www.oag.nl/platos)

### **Redactie**

AGV Adviesgroep voor verkeer en vervoer, Nieuwegein  
Ir. P.R.L. Eradus  
Drs. O.G.P. Tool  
Telefoon 030-6048914  
Fax 030-6045211  
E-mail [agv@agv-advies.nl](mailto:agv@agv-advies.nl)  
rapportnummer 1-571\2137

### **Oplage**

50 exemplaren

© PLATOS

Platform toedelings- en simulatiemodellen  
7 januari 2000

## Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>2</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2 Theoretisch kader valideren verkeersmodellen</b>	<b>3</b>
2.1 Begrippenkader modellering en simulatie	3
2.2 Classificatie van verkeersmodellen	5
2.3 Modellen en deelmodellen	7
2.4 Generieke en situationele processen	7
<b>3 Kalibratie en validatie</b>	<b>9</b>
3.1 Inleiding	9
3.2 Doel van kalibratie en validatie	10
3.3 Kalibratie- en validatietechnieken	12
3.3.1 Algemene methoden	12
3.3.2 Statistische methoden	13
3.3.3 Gevoeligheidsanalyse	14
3.3.4 Modelanalyse	16
3.4 Tactische aspecten bij simulatie	16
<b>4 Werkproces validatiestudies</b>	<b>18</b>
4.1 Inleiding	18
4.2 Waar een validatiestudie aan moet voldoen	19
4.3 Globale aanpak of protocol validatiestudie	20
4.4 Beoordeling en controle validatiestudie	21
4.4.1 Beoordeling validatie externe factoren	21
4.4.2 Beoordeling validatie aan de hand van vergelijking modeluitkomsten met de metingen	22
4.4.3 Hoe kan een validatiestudie gecontroleerd of geaudit worden ?	24
<b>5 Data-aspecten en -vereisten voor validatiestudies</b>	<b>25</b>
5.1 Inleiding	25
5.2 Inhoudelijke en statistische eisen aan data	25
5.3 Documentatie	26
5.3.1 Documentatie data	26
5.3.2 Documentatie metingen	27
<b>6 Literatuur</b>	<b>28</b>

## Bijlagen

1. Begrippentabel	
2. Gedetailleerde omschrijving data ten aanzien van de verkeersafwikkeling	
3. Datasets	
4. Contactpersonenlijst	
5. CD-rom	

# Voorwoord

Voor u ligt de Leidraad validatiestudies toedelings- en simulatiemodellen. Deze leidraad is het eerste concrete product van PLATOS, het Platform Toedelings- en Simulatiemodellen. PLATOS is het samenwerkingsverband van overheden, adviesbureaus en kennisinstituten op het gebied van toedelings- en simulatiemodellen.

Het project Leidraad validatiestudies toedelings- en simulatiemodellen is als PLATOS spoor-2 project uitgevoerd. Dit houdt in dat het project een samenwerkingsproject is, waaraan meerdere PLATOS-leden bijdragen in de vorm van een inhoudelijke of financiële bijdrage.

Voor deze leidraad zijn de inhoudelijke bijdragen geleverd door (in alfabetische volgorde):

- AGV Adviesgroep voor verkeer en vervoer: ir. P.R.L. Eradus en drs. O.G.P. Tool;
- DHV Milieu en Infrastructuur BV: dr. Y.-S. Chen;
- Goudappel Coffeng: ir. H. Palm;
- Grontmij: ing. R. van Haasteren;
- Adviesdienst Verkeer en Vervoer: ir. H. Taale en ing. M.A.L. van Egeraat;
- Rijkswaterstaat, Directie Oost-Nederland: ir. R.G.M.M. Vermijs;
- TNO Inro: ir. R. van Katwijk;
- Technische Universiteit Delft: ir. M. de Leeuw.

Daarnaast is door Rijkswaterstaat, Adviesdienst verkeer en vervoer een financiële bijdrage geleverd voor de redactie en coördinatie van de werkzaamheden. Deze werkzaamheden zijn door AGV uitgevoerd.

De adresgegevens van bovengenoemde organisaties zijn opgenomen in bijlage 4. Voor inhoudelijke informatie over de leidraad kunt u zich tot de contactpersonen richten. Opmerkingen of reacties op de leidraad kunt u richten aan het PLATOS-secretariaat.

# 1 Inleiding

## **Inleiding**

In Nederland (en daarbuiten) wordt veelvuldig gebruik gemaakt van (dynamische) modellen om de effecten van verkeerskundige maatregelen te berekenen. De resultaten van studies met deze modellen worden gebruikt voor de besluitvorming over de verkeerskundige maatregelen. Echter, de gebruikte modellen zijn lang niet altijd gevalideerd. Dat wil zeggen: het is niet bekend hoeveel waarde aan de uitkomsten gehecht mag worden. De uitkomsten kunnen overeenkomen met de werkelijkheid, maar daarvan ook sterk afwijken.

Het valideren van modellen is een complex proces, waarvoor bovendien specifieke meetdata nodig is. Om de validatie van modellen te bevorderen en te stroomlijnen is door PLATOS de Leidraad validatiestudies toedelings- en simulatiemodellen ontwikkeld. De leidraad is vormgegeven als een boekwerk (handboek met achtergronden, aanbevelingen voor validatieprocedures en validatietechnieken). Ook zijn beschikbare datasets verzameld, beschreven en bij elkaar op de bij deze leidraad behorende CD-ROM geplaatst.

## **Doel leidraad**

Het doel van deze leidraad is om een handreiking te geven voor het uitvoeren van validatiestudies voor verkeersmodellen, met name dynamische toedelings- en simulatiemodellen. De validatie van verkeersmodellen is nog in ontwikkeling, het is dan ook niet de bedoeling met deze leidraad hierover het laatste woord te geven. Veeleer willen wij een aanzet geven tot het kwantificeren van validatie: hoe goed zijn de resultaten van het onderhavige model onder de gegeven omstandigheden. Naast de inhoudelijke kant willen we ook de formele kant ontwikkelen. We willen een procedure voor validatiestudies geven om tot een uniforme aanpak te komen, zodat validatiestudies beoordeeld en vergeleken kunnen worden. Daarmee is in feite aangegeven voor wie deze leidraad bedoeld is, namelijk voor zowel gebruikers als ontwikkelaars van verkeersmodellen.

## **Leeswijzer**

De globale indeling van de leidraad is als volgt. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van het theoretisch kader van validatie voor verkeersmodellen. Hierin komen de belangrijkste begrippen aan de orde, zoals verificatie, kalibratie en validatie. Waar nodig worden deze precies gedefinieerd. Verder komen diverse classificaties van modellen aan bod met het oog op de diverse validatiemethoden. Hoofdstuk 3 behandelt kalibratie en validatie in meer detail. In hoofdstuk 4 komt het werkproces aan de orde, hier worden de inhoudelijke en formele aspecten samengenomen tot een werkwijze of protocol voor validatiestudies. In hoofdstuk 5, tenslotte, komen de dataverensten aan de orde. Hierin wordt beschreven aan welke inhoudelijke en statistische eisen de data moeten voldoen. Daarnaast wordt beschreven hoe de data gedocumenteerd moeten worden, opdat ook derden deze op juiste wijze kunnen interpreteren en gebruiken.

## 2 Theoretisch kader valideren verkeersmodellen

### **Inhoud:**

- *begrippen, definities en samenhang;*
- *classificatie van verkeersmodellen;*
- *modellen en deelmodellen;*
- *generieke en situationele processen.*

### 2.1 Begrippenkader modellering en simulatie

#### **Inleiding**

Het taalgebruik van modelleers is in de praktijk niet altijd eenduidig. Er ontstaat regelmatig spraakverwarring. In het hierna volgende worden de gebruikte begrippen samenhangend gedefinieerd en omschreven.

Het hierna volgende is voor het belangrijkste deel overgenomen uit “Good Modelling Practice” (zie [literatuurlijst nr. 13]). In de bijlage is de bijbehorende begrippenlijst opgenomen.

#### **Het begrippenkader van modelleren en simuleren**

Het woord *model* wordt gebruikt als verzamelbegrip voor ‘representaties van essentiële aspecten van een systeem, waarbij kennis gepresenteerd wordt in een bruikbare vorm’. Hiermee wordt veelal een programma in de computer (een *modelprogramma*) bedoeld met bijbehorende invoer. Het woord ‘model’ kan echter ook slaan op wat opmerkingen op papier, een wiskundige formulering, een schema of figuur die het systeem afbeelden. Een *systeem* is daarbij een deel van de werkelijkheid (los van de rest) dat bestaat uit *entiteiten* met hun onderlinge relaties (processen) en met een beperkt aantal relaties met de werkelijkheid buiten het systeem. Een *model* is een afbeelding van een systeem als het de structuur van het systeem (entiteiten en relaties) beschrijft. Een systeem wordt wel aangeduid met objectstelsel als er een model van wordt gemaakt. *Modelleren* is dan het construeren van een model van een systeem, maar dit begrip wordt ook wel gebruikt voor het werken met een model. *Simuleren* is een vergelijkbare term en wordt meestal gebruikt voor ‘iets met het model op een computer te doen’. Het begrip wordt echter ook wel breder gebruikt voor ‘het nabootsen van het systeem op de computer’ (dus het geheel).

Dit nabootsen van de werkelijkheid betekent vrijwel altijd dat er een aantal aannames moet worden gedaan die het model eenvoudiger, maar ook minder realistisch maken. Maar dit vereenvoudigen maakt het model wel beter hanteerbaar. Een andere aanname die het model vereenvoudigt, maar minder realistisch maakt, komt voort uit de afbakening van het systeem. De wisselwerking tussen het gemodelleerde systeem en de omgeving is vaak complexer dan wordt aangenomen.

Om modellen weer te geven kunnen allerlei representaties worden gebruikt: gewone taal, figuren, wiskunde, enzovoort. *Wiskundige formuleringen* zijn de wiskundige vertaling van het conceptuele model. Voorbeelden van wiskundige formuleringen zijn: algebraïsche vergelijkingen, differentievergelijkingen, gewone differentiaalvergelijkingen, partiële differentiaalvergelijkingen, *neurale netwerken*, statistische modellen en combinaties hiervan.

Een model is *dynamisch* als het veranderingen in de tijd beschrijft en *stationair* of *statisch* als dat niet zo is. Een wiskundig model heeft één of meer *onafhankelijke variabelen* en één of meer *afhankelijke variabelen*. Een dynamisch model heeft tenminste de tijd als onafhankelijke variabele. Als er sprake is van een ruimtelijk model dan is tenminste één ruimtelijke dimensie ook een onafhankelijke variabele. Bij een dynamisch 3D-model is er sprake van vier onafhankelijke variabelen: de tijd en de drie ruimtelijke dimensies.

Dynamische modellen op basis van een ‘harde’ niet-stochastische representatie heten *deterministische modellen*: de kennis van het gemodelleerde systeem ligt vast in het model en herhaald draaien van het model levert dezelfde uitkomsten op. Een model heeft (net als het systeem waar het een afbeelding van is) een modelstructuur (toestandsvariabelen en relaties die beschreven worden met hulpvariabelen) en een modelgedrag (wat doet het model langs de as of de assen van de onafhankelijke variabelen: hoe verandert de uitkomst van een model in de tijd en/of hoe verandert het langs de ruimtelijke as(sen)). De tegenhanger van het deterministisch model is het (pseudo) *stochastische model*: het modelgedrag wordt bepaald door variatie of toevalskansen in grootheden. Herhaald draaien van het model levert afwijkende resultaten op, die in het algemeen eveneens als een verdeling rond een waarde zijn te beschouwen.

Niet-wiskundige representaties van een model worden vaak *conceptuele modellen* genoemd: de structuur is beschreven, maar de onderdelen van het model en de relaties zijn niet (allemaal) kwantitatief gemaakt. De wiskundige vergelijkingen in een model kunnen worden opgelost langs analytische weg (waardoor er voor elk punt in het domein een exacte waarde kan worden afgeleid) of langs numerieke weg (waardoor voor elk punt in het domein de exacte waarde numeriek benaderd wordt).

De entiteiten in een wiskundig model worden gerepresenteerd met behulp van één of meer *toestandsvariabelen* en relaties tussen de entiteiten met behulp van *hulpvariabelen*. De toestandsvariabelen bepalen de toestand van het model. Veranderingen in toestandsvariabelen worden beschreven met behulp van (partiële) differentiaalvergelijkingen. Hulpvariabelen worden beschreven via algebraïsche vergelijkingen of er wordt direct een waarde aan toegekend (input). Vergelijkingen kunnen gebruik maken van toestandsvariabelen, hulpvariabelen, *parameters* (constant in de tijd), of andere *onderdelen van het model*.

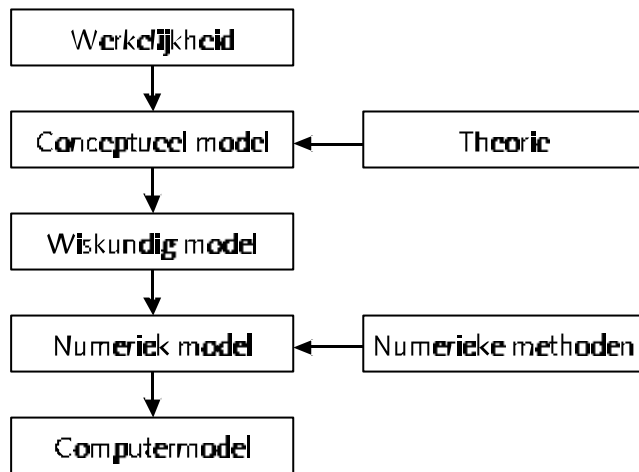
Het conceptuele model wordt omgezet in een model op de computer door gegevens in te voeren in een *modelprogramma* (een wiskundig formulering in de vorm van een computerprogramma, bedoeld om modellen mee te bouwen door middel van het invoeren van gegevens). Hiervoor moeten er keuzes gemaakt worden die onder meer te maken hebben met de *schematisering* van ruimte en tijd. Naast de gevolgen van deze keuzes over de *discretisatie* moeten er ook systeemgegevens worden aangeboden aan of opgenomen in het modelprogramma waarmee het model gebouwd wordt. De controle of een model goed op de computer is gezet heet *verificatie*.

Nadat een model op de computer is gezet, is het vaak nodig om de overeenkomst tussen model en systeem beter op elkaar af te stemmen, of preciezer gezegd om het modelgedrag beter overeen te laten komen met het systeemgedrag. Dit heet *kalibreren* en het wordt uitgevoerd door parameterwaarden te veranderen en vervolgens de modeluitkomsten met veldmetingen te vergelijken. Hierbij wordt vaak gebruik gemaakt van *optimalisatietechnieken*. Met dezelfde technieken die gebruikt worden bij een kalibratie kan soms (als het model niet te ingewikkeld is en het systeem goed gekend door metingen) het model *geïdentificeerd* worden, dat wil zeggen dat eenduidige waarden van alle parameters en andere kalibratiefactoren gevonden worden. Om te bepalen welke onzekere factoren tijdens de kalibratie moeten worden aangepast om de betere overeenstemming te bewerkstelligen kan gebruik gemaakt worden van een *gevoeligheidsanalyse*. Na afloop van de kalibratie kunnen de resterende verschillen worden onderzocht en de resterende onzekerheid in de modelvoorspellingen gekwantificeerd in een *betrouwbaarheidsanalyse*. Behalve kalibratie kan ook validatie plaatsvinden. *Validatie* houdt zich bezig met de vergelijking van de modeluitkomsten (de resultaten van de onzekerheidsanalyse) met een onafhankelijke, dat wil zeggen een niet bij de kalibratie gebruikte, set waarnemingen, aan het echte systeem om te bepalen of het model het systeem(gedrag) goed beschrijft.

Het geheel aan handelingen en acties die betrekking hebben op het modelleren en simuleren om hiermee een bepaald probleem op te lossen noemen we het *modelproject*.

## Samenhang op basis van het begrip ‘model’.

*Figuur 1: Representaties van een model*



Figuur 1 laat zien wat de verwantschap is tussen de verschillende representaties van een model. Het conceptuele model wordt ontwikkeld op basis van kennis over het systeem. Op basis van dit concept wordt een wiskundige formulering opgesteld. Die kan analytisch of numeriek worden opgelost. In het laatste geval wordt op basis van het systeem een aantal keuzes gemaakt om het wiskundige model numeriek na te bootsen (discretisatie) en er worden numerieke algoritmen aan gekoppeld om de discretisatie in de tijd te verzorgen. Het dan ontstane geheel wordt verder opgewerkt tot een modelprogramma en tot slot tot een model op de computer door er de juiste invoer in te stoppen.

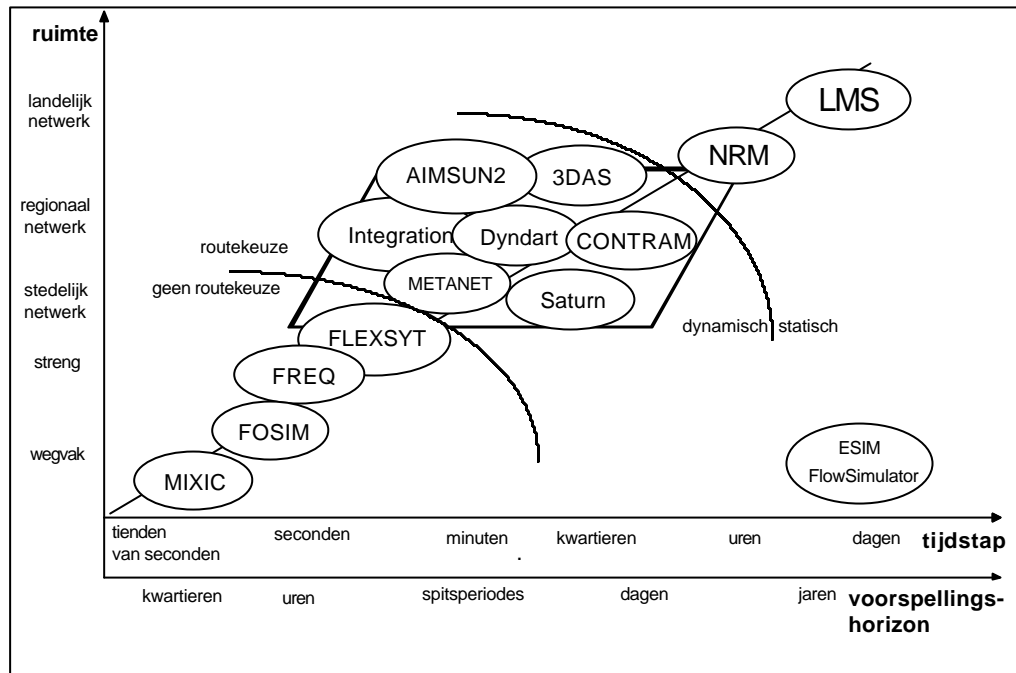
## 2.2 Classificatie van verkeersmodellen

Voorafgaande paragraaf definieerde en omschreef een aantal begrippen die voor het modelleren van systemen veel gebruikt worden. Ook voor verkeersmodellen kunnen deze begrippen gehanteerd worden. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt nog een aantal andere aspecten besproken die voor verkeersmodellen relevant zijn, te weten de classificatie van verkeersmodellen, de samenhang tussen modellen en deelmodellen en het onderscheid naar generieke en situationele processen.

### Indeling naar ruimte en tijdschaal

Op dit moment is een groot aantal verkeersmodellen beschikbaar die elk op hun eigen specifieke toepassingsgebied inzetbaar zijn. In figuur 2 is een aantal in Nederland vaak genoemde en toegepaste modellen ingedeeld op twee aspecten: ruimte en tijd, waarbij voor het laatstgenoemde aspect onderscheid is gemaakt tussen de *rekeningstap* (in welke eenheid rekent het model) en de *voorspellingshorizon* (over welke periode doet het model een uitspraak).

**Figuur 2: Classificatie van modellen naar ruimte en tijd**



Natuurlijk zijn de overgangen in bovenstaande figuur (bijvoorbeeld tussen stedelijk netwerk en regionaal netwerk, tussen kwartieren en uren) vaak vloeiende overgangen. Wel blijkt dat er een duidelijke relatie is tussen beide uitgezette aspecten: hoe uitgebreider het netwerk, des te langer de tijdstap en voorspellingshorizon. Ook andere indelingen van de modellen, naast de indeling in 'ruimte' en 'tijd', zijn mogelijk. Zo is er een indeling te maken in real-time modellen en off-line modellen, in statische en dynamische modellen, in micro-, meso- en macroscopische modellen.

**Indeling naar schaalniveau**

Een andere indeling is die van de "Leidraad modelstudies verkeersbeheersingsmaatregelen" [literatuurlijst nr. 17]. Daarbij worden de modellen ingedeeld naar schaal- en detailniveau. Voor het schaalniveau worden de niveaus 'lokaal', 'streng' en 'netwerk' onderscheiden, voor het detailniveau de niveaus 'verkennd' en 'gericht'. Het laatstgenoemde onderscheid is vooral belangrijk voor modelstudies.

Voor validatiestudies lijkt de beste indeling te bestaan uit twee aspecten, namelijk het schaalniveau en het modelleringsniveau. Met schaalniveau worden de drie niveaus 'lokaal', 'streng' en 'netwerk' bedoeld. Bij *lokaal niveau* kan gedacht worden aan een kruispunt, rotonde of wegvak met aan- en afvoerende wegen. *Strengniveau* heeft betrekking op een autosnelwegtraject met meerdere toe- en afritten of een aantal kruispunten dat achter elkaar ligt. Een *netwerk* is alles wat groter is. Het aspect 'routekeuze' wordt dan belangrijk.

**Indeling naar modelleringsniveau**

Bij modellering kunnen drie niveaus onderscheiden worden: 'microscopisch', 'mesoscopisch' en 'macroscopisch'. Een *microscopische* modellering wordt hier gedefinieerd als een modellering waarbij voertuigen op elkaar reageren. Bij een *mesoscopische* modellering wordt voor sommige aspecten op voertuigniveau gekeken (inhaalgedrag), maar voor de verkeersafwikkeling op een macroscopisch niveau. *Macroscopische* modellen tenslotte beschouwen het verkeer als een continue stroom en berekenen de verkeersafwikkeling met behulp van meer of minder ingewikkelde formules (vaak gebaseerd op de theorie van vloeistof- of gasstromen).



Indien we de in figuur 2 getoonde modellen op deze twee aspecten indelen, ontstaat de volgende tabel:

**Tabel 1 Classificatie naar schaalniveau en modelleringsniveau**

	<b>Microscopisch</b>	<b>mesoscopisch</b>	<b>Macroscopisch</b>
<b>lokaal</b>	FOSIM MIXIC	FLEXSYT-II-	ESIM
<b>streng</b>	AIMSUN2 FOSIM	DYNDART FLEXSYT-II- INTEGRATION	FlowSimulator FREQ METANET
<b>netwerk</b>	AIMSUN2	CONTRAM DYNDART INTEGRATION	3DAS METANET QBLOK (LMS) SATURN TRIPS (NRM)

### 2.3 Modellen en deelmodellen

Voor wat betreft deelmodellen kan gesteld worden dat elk deelmodel op dezelfde manier ingedeeld kan worden als de volledige modellen, maar het voert te ver om dat hier te doen. Wel is het zo dat deelmodellen vaak in een andere cel terecht komen dan het model waarin ze zitten. Zo zal het inhaalgedrag van een model als INTEGRATION gevalideerd moeten worden op een microscopisch en lokaal niveau. Het model als geheel is echter een mesoscopisch model dat op strengen netwerkniveau wordt toegepast.

De validatie van deelmodellen zal op dezelfde wijze moeten gebeuren als de gewone modellen. Het beste is om een model als geheel te valideren. Dat neemt niet weg dat ook afzonderlijke deelmodellen gevalideerd kunnen worden. Het is echter zo dat de validiteit van een deelmodel nog niets zegt over de validiteit van het complete model, zelfs indien alle deelmodellen gevalideerd zijn. Bij een compleet model zijn namelijk niet alleen de deelmodellen zelf belangrijk, maar ook de wisselwerking tussen de verschillende deelmodellen.

### 2.4 Generieke en situationele processen

Tijdens de verkeersafwikkeling vinden allerlei (deel)processen plaats. Deze processen hebben te maken met het besturen van voertuigen en interacties tussen bestuurders en hun omgeving. De omgeving van bestuurders bestaat uit andere bestuurders (voertuigen), de infrastructuur waarop het verkeersproces zich afspeelt en de voor bestuurders waarneembare wereld daarbuiten.

Een deel van de processen die zich tijdens de verkeersafwikkeling op een zeker stuk infrastructuur voltrekken zijn situatie onafhankelijk, ofwel overdraagbaar op andere delen van de infrastructuur op andere plaats en tijdstip. Als voorbeeld noemen we volgen en rijstrookwisselen. Ook processen die worden verklaard uit voertuigkarakteristieken zijn situatie onafhankelijk. We noemen deze processen *generiek*.

Naast generieke processen onderscheiden we *situationele* processen. Deze processen zijn sterk gerelateerd aan de situatie: plaats en/of tijd waarop zij zich voltrekken. Te noemen zijn: regelprocessen bij verkeerslichten en de invloed van het alignement van de weg op voertuigsnelheden (bochten, hellingen).

Bij simulatie van de verkeersafwikkeling spelen zowel generieke als situationele processen een rol. De wijze waarop onderscheid kan worden gemaakt tussen beide procestypen is sterk gerelateerd aan de wijze waarop het verkeersproces is gemodelleerd. Bij microscopische simulatiemodellen (modellering van individuele voertuigen) zijn bestuurders- en voertuiggebonden eigenschappen de basis voor generieke processen. Bij macroscopische simulatiemodellen is dat het verband tussen snelheid, intensiteit en dichtheid.

Veel generieke processen zijn door een gebruiker van een simulatiemodel doorgaans alleen indirect te beïnvloeden. Zo zijn de individuele processtappen en de afhandelingsvolgorde in de modellering van de wijze van bijvoorbeeld volgen en strookwisselen in de programmatuur ingebakken. Door middel van coëfficiënten in de procesregels kan men soms nog invloed uitoefenen op de wijze waarop de modellering effectief is. Vaak ontbreekt echter gedetailleerde kennis die nodig is om dit goed te kunnen doen.

# 3 Kalibratie en validatie

**Inhoud:**

- *verificatie;*
- *gevoeligheidsanalyse;*
- *kalibratie en validatie, verschillen en samenhang;*
- *methoden, algemeen, statistisch, modelanalyse.*

## 3.1 Inleiding

In het algemeen zal een model een aantal zogenaamde modelparameters bevatten. De waarden van een deel van de modelparameters zullen afhangen van de situatie waarop het model toegepast gaat worden, maar een ander deel zal betrekking hebben op de generieke processen. Met één of meer *kalibratie* stappen proberen we waarden voor de modelparameters te schatten. Hieraan vooraf gaat een *verificatie* slag van het model, maar we zullen aannemen dat dit al heeft plaatsgevonden en ons concentreren op kalibratie en *validatie*.

Voor kalibratie gebruiken we meestal statistische methoden om zodanig parameterwaarden te kiezen dat de modelresultaten, binnen de grenzen opgelegd door onzekerheden (meetfouten en dergelijke), optimaal aansluiten bij metingen aan een bepaalde situatie. Bij validatie kunnen we over het algemeen gebruiken maken van dezelfde statistische methoden om aan de hand van een steekproef uit een hele klasse van situaties, een mate van betrouwbaarheid aan het model toe te kennen. Daarnaast zijn er nog diverse andere aanvullende methoden om een model te valideren.

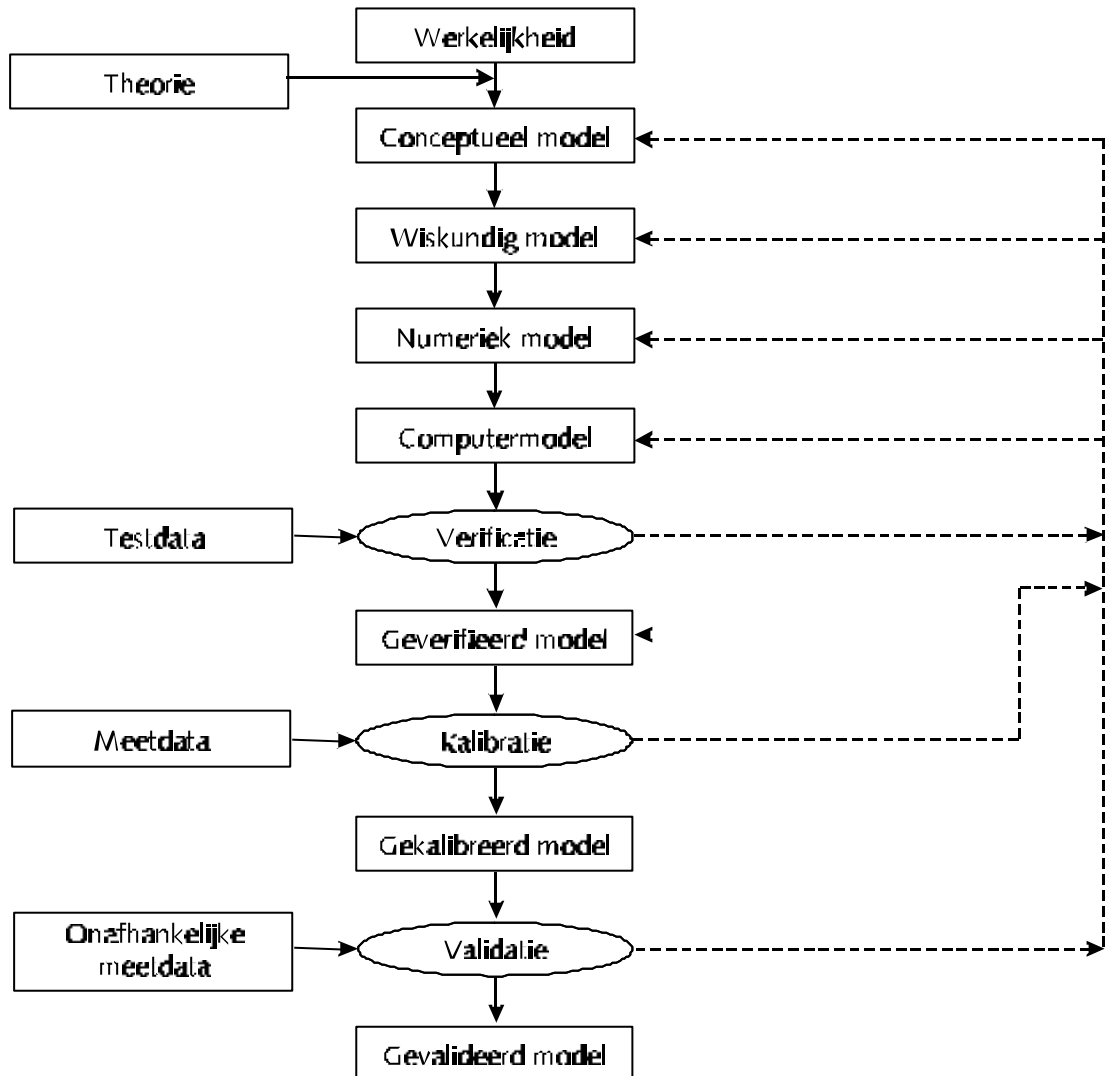
Wat betreft modellen die bestaan uit gekoppelde deelmodellen moet, zoals eerder opgemerkt het gehele model gevalideerd worden. Toch lijkt het verstandig de deelmodellen eerst apart te valideren.

Tot slot van deze inleiding merken we wellicht ten overvloede nog op dat een validatiestudie, hoe zorgvuldig ook uitgevoerd, nooit een absolute uitspraak over de kwaliteit van het model kan doen. Aangezien de metingen die we voor een validatiestudie gebruiken, door verschillende oorzaken, altijd van meetfouten voorzien zijn, zijn we, voor een kwantitatieve uitspraak, aangewezen op statistische methoden. Hoewel we met een analyse van de verschillen tussen modelresultaten en metingen allerlei nuancerings kunnen aanbrenge, is het eindresultaat toch een getal tussen nul en een, dat de mate van betrouwbaarheid van het model aangeeft. Het is aan ons om te bepalen wat we “voldoende betrouwbaar” vinden.

In de volgende paragraaf wordt het schema met de verschillende fases in het proces van modelontwikkeling beschreven. Onderdeel hiervan zijn de validatie en de kalibratie van het simulatiemodel. In de derde paragraaf wordt een aantal (statistische) technieken besproken, die bij de kalibratie en validatie toegepast kunnen worden.

### 3.2 Doel van kalibratie en validatie

*Figuur 3: Schematisch overzicht modelontwikkeling*



Het gehele proces van modelontwikkeling wordt schematisch weergegeven in figuur 3. Uitgangspunt in dit stadium is dat een model gecontroleerd is op logische consistentie en op correcte wijze is geïmplementeerd als “computermodel”. We veronderstellen dus dat verificatie van het model, soms ook wel interne validatie genoemd, inmiddels heeft plaatsgevonden. Wij onderscheiden nu kalibratie en validatie van het model. We definiëren kalibratie en validatie als volgt:

*Onder **kalibratie** verstaan we ruwweg het model afstemmen op een specifieke situatie, door nog vrij te kiezen parameters in een nader te bepalen zin, optimale waarden te geven. Hiermee is het model nog niet gevalideerd, het is alleen voor een specifieke situatie, binnen de mogelijkheden van het model, optimaal op die situatie afgestemd. De waarden van sommige parameters zullen vooral door de specifieke situatie bepaald worden, terwijl anderen in de generieke modelstructuur zitten. Hierbij spelen dus zowel generieke als situationele processen een rol.*

***Validatie** gaat veel verder. Hierbij willen we nagaan of het model een aantal geselecteerde aspecten van de situaties die we willen beschrijven zowel kwalitatief als kwantitatief goed weergeeft. We gebruiken hiervoor een onafhankelijke set data, die niet tijdens de kalibratie is gebruikt. We willen uiteindelijk een maat voor de betrouwbaarheid van het model voor een hele klasse van situaties. Daarmee krijgen we dus een zeker vertrouwen in de juistheid van de voorspellingen van het model.*

De meerwaarde van een validatiestudie van een model ligt in het feit dat duidelijk wordt welke aspecten, van hetgeen gemodelleerd wordt, in welke situaties goed beschreven worden. Hieruit volgt wanneer het model wel en niet gebruikt moet worden om er een betrouwbare uitspraak mee te kunnen doen. Bovendien kan een nadere analyse van de afwijkingen die geconstateerd worden in situaties waar het model niet zo goed voldoet, waardevolle informatie geven over hoe en op welk niveau het model verbeterd zou kunnen worden.

Een analyse van de modeluitkomsten en de metingen in de validatie stap kan dan aanleiding zijn het model op ieder niveau te wijzigen. Dit is in het schema aangegeven met de onderbroken lijnen. In het algemeen is hiervoor geen recept te geven. In het onderstaande geven we een aantal mogelijkheden voor aanpassing van het model, per niveau.

- Op het laagste niveau, de kalibratiestap, kunnen andere of meer modelparameters meegenomen worden dan in eerste instantie door de gevoeligheidsanalyse gesuggereerd wordt. Welke dat zouden moeten zijn, kan eventueel met een, op de situatie toegesneden, nieuwe gevoeligheidsanalyse worden bepaald.
- Op het niveau van het computermodel, kan bijvoorbeeld de gebruikte nauwkeurigheid (rekenen met meer cijfers) vergroot worden of kan er een aanpassing in de tijdstapgrootte gemaakt worden. Dit zal ten koste gaan van de efficiëntie van het model.
- Het numerieke model kan het wiskundige model onvoldoende goed benaderen door zowel de algemene opzet als door de keuze van de numerieke methode. Binnen deze laatste is meestal ook nog keus in bijvoorbeeld “stapgrootten” en in geval van iteratief bepaalde oplossingen, aantallen “iteratieslagen” en “stopcriteria”. Net als bij het vorige punt, moeten efficiëntie en nauwkeurigheid hierbij tegen elkaar worden afgewogen.
- Het wiskundig model zal het conceptuele model, misschien zelfs kwalitatief, niet precies beschrijven, zodat ook hier de methode aangepast of gewijzigd moet worden.
- Tenslotte kan zelfs blijken dat het conceptuele model aanpassing behoeft, omdat afhankelijkheden van grootheden niet juist gemodelleerd zijn, of omdat de theorie gewijzigd moet worden.

Tijdens de processtappen wordt er gebruik gemaakt van een aantal technieken om inzicht te krijgen in het gedrag van het model en om te toetsen of bepaalde gerealiseerde grootheden uit de simulatie afwijken van de waarden in de praktijk. We onderscheiden hier 5 methoden:

- Numerieke methoden, voornamelijk gebruikt bij de omzetting van het wiskundige model naar het numerieke model (zie figuur 3);
- Algemene methoden, voornamelijk gebruikt bij de verificatie, kalibratie en validatie;
- Statistische methoden, voornamelijk gebruikt bij de kalibratie en validatie;
- Gevoeligheidsanalyse, voornamelijk gebruikt bij de kalibratie en validatie;
- Modelanalyse, voornamelijk gebruikt bij de verificatie en daarnaast kan deze analyse ook bij de validatie en kalibratie gebruikt worden.

De laatste 4 methoden worden in paragraaf 3.3 uitgebreid behandeld.

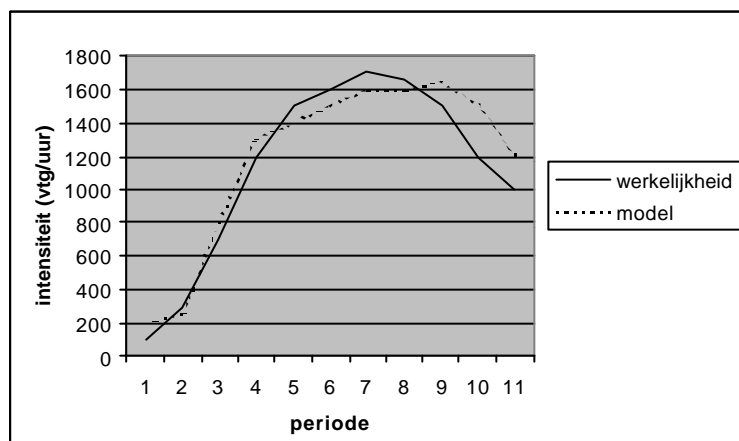
### 3.3 Kalibratie- en validatietechnieken

#### 3.3.1 Algemene methoden

Als eerste stap in het validatieproces kan een aantal eenvoudige controles al een inzicht geven in de kwaliteit van het model. Hierbij valt te denken aan de volgende punten:

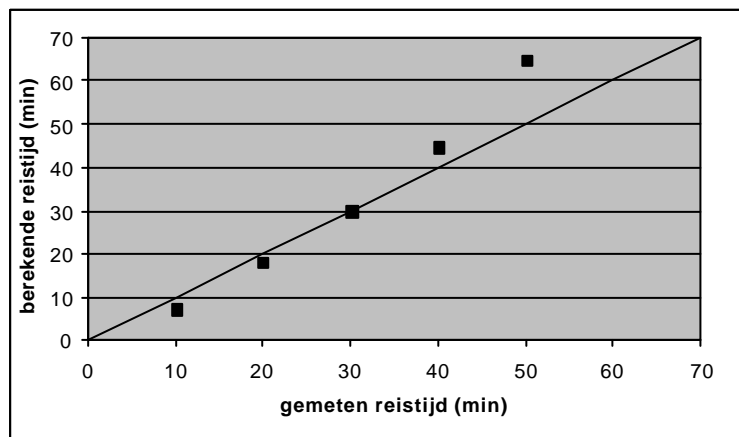
- Zijn de modelresultaten op zich *redelijk*? Dit niet alleen voor de globale resultaten van het model, maar ook voor deelmodellen zoals bijvoorbeeld individuele wegvakken of zones. Hierin kan nog onderscheid gemaakt worden naar kwantitatief en kwalitatief redelijk. We illustreren dit aan de hand van een tweetal voorbeelden. Als eerste bekijken we een vergelijking van gemeten en via simulatie verkregen verkeersintensiteiten, zie figuur 4.

*Figuur 4: Vergelijking werkelijk en berekende intensiteiten gedurende simulatieperiode*



- Duidelijk blijkt dat het onderhavige model de situatie kwalitatief goed beschrijft. Wel wordt de maximale intensiteit in het model later bereikt dan in werkelijkheid. In figuur 5 worden gemeten en berekende reistijden vergeleken. Aan de grafiek is goed te zien dat de langere reistijden door het model wat overschat worden.

*Figuur 5: Gemeten versus berekende reistijden*



- Reageert het model op een *logische* manier op veranderingen in parameters? Als in een model dat openbaar vervoer bevat, de tarieven verdubbeld of gehalveerd worden, zal dit een afname respectievelijk toename in openbaar vervoer gebruik te zien moeten geven. Een kwantitatief aspect hierbij is dat de reactie van het model in verhouding moet zijn met de verandering van de parameter.
- Is het model *gevoelig voor onzekerheden*? Parameters zullen nooit precies bekend zijn, maar we willen niet dat deze onzekerheden door het model *buitenproportioneel* vergroot worden. Hierbij moet wel bedacht worden dat dit bij sommige parameterwaarden onvermijdelijk kan zijn als in het model bifurcaties of catastrofes optreden [literatuurlijst nr. 1, 4].
- Is het model gevoelig voor de keuze van *startwaarden*? Voor startwaarden, met name in dynamische modellen, geldt dat we niet willen dat kleine veranderingen tot buitensporig grote veranderingen in de modelresultaten leiden. In het bijzonder niet als het om startsituaties gaat die in de praktijk als gelijkwaardig gelden. Echter, juist in dynamische modellen, zijn er omstandigheden waar kleine veranderingen in startwaarden grote gevolgen kunnen hebben: het vlindereffect van Lorenz [literatuurlijst nr. 4].

### 3.3.2 Statistische methoden

#### Steekproeven

Om statistische methoden te gebruiken hebben we voor zowel kalibratie als validatie een representatieve steekproef nodig. Het verschil is echter dat we voor kalibratie een steekproef voor een situatie gebruiken, waar we voor validatie eerst een steekproef uit de klasse van situaties waarvoor we het model willen valideren. Het nemen van steekproeven is een “specialisme” apart [literatuurlijst nr. 5]. De veronderstelling die ten grondslag ligt aan alle verdere statistische uitspraken is dat de steekproef “*random*” is, dat wil zeggen dat de kans van optreden van de genomen steekproef even groot is als die van iedere andere. Als hieraan niet voldaan is, hebben verdere uitspraken een wankelende basis. De betrouwbaarheid van uitspraken neemt in eerste instantie verder toe naarmate de steekproef groter is, maar meer gegevens leiden niet automatisch tot grotere nauwkeurigheid. Zie bijvoorbeeld [literatuurlijst nr. 6], voor optimale steekproef keuze. De keuze van de steekproef is een tactisch aspect bij de simulatie, dat in paragraaf 3.4 behandeld wordt.

Voor de statistische verwerking is het verder van belang te weten hoe de gedane metingen verdeeld zijn. Geen twee metingen van een grootheid zullen, ten gevolge van allerlei onbekende oorzaken, hetzelfde resultaat opleveren. Dit noemen we toevallige fouten, deze zijn verantwoordelijk voor de spreiding in metingen en deze volgen een zekere verdeling. Veel grootheden volgen de zogenaamde “*normale*” verdeling. Echter, juist voor verkeersmodellen relevante grootheden, bijvoorbeeld tellingen van passerende voertuigen, volgen de zogenaamde “*Poisson*” verdeling. Voor het latere valideren van het model is het van belang deze verdeling te kennen. Bovendien moet de steekproef hierop gecontroleerd worden, zie ook paragraaf 5.1.

#### Methoden

In het kalibratieproces willen we de modelparameters voor een gegeven situatie optimaal kiezen. Aangezien in het algemeen de parameterafhankelijkheid niet expliciet bekend is, zijn we ook hier aangewezen op numerieke methoden. Nu kunnen we de parameterwaarden schatten door de verschillen tussen de modelresultaten en de metingen uit de steekproef te minimaliseren, maar dan gaan we voorbij aan de onzekerheid die in de metingen zit ten gevolge van toevallige fouten. Deze geven ook een onzekerheid in de parameterwaarden. Daarom wordt meestal een zogenaamde “maximum likelihood” functie gebruikt. Deze geeft de kans op een modeluitkomst bij gegeven parameterwaarden. Door deze kans te maximaliseren verkrijgen we de meest *waarschijnlijke* waarden voor de parameters. Hieruit volgt in principe ook een verdeling voor de pa-

parameterwaarden. Met een “goodness-of-fit” maat kunnen we de kwaliteit van de kalibratie nog kwantificeren.

Tijdens het validatieproces willen we een maat geven voor de kwaliteit van een model, niet alleen voor een situatie, maar voor een hele klasse van situaties. Daartoe hebben we twee soorten steekproeven nodig. Ten eerste moeten we een steekproef van situaties uit de gehele klasse nemen. Bijvoorbeeld voor een kruispuntenmodel nemen we eerst een steekproef van kruispunten over heel Nederland. Vervolgens nemen we dan voor ieder kruispunt uit voornoemde steekproef, een steekproef van metingen. Deze gebruiken we dan voor de validatie. Het zal waarschijnlijk nodig zijn om het model voor ieder kruispunt apart eerst nog te kalibreren. Daarvoor moeten we dan wel een andere steekproef van metingen nemen, dan die we voor de validatie willen gebruiken.

Voor de validatie en kalibratie zijn er nu verschillende mogelijkheden. Een aanpak verloopt via zogenaamde betrouwbaarheidsintervallen. Bij iedere gemeten grootte hoort een verdeling, die in het algemeen een gemiddelde en een zogenaamde standaardafwijking heeft. Dan is er een gebied rond het gemiddelde waar, zeg 90%, van de metingen in vallen. Als nu de modelresultaten ook in dat gebied vallen, zeggen we dat het model met de metingen overeenkomt.

Een aanpak die hier op lijkt test de kans hypothese dat het model juist is, in de zin dat de modelresultaten met grote kans dicht bij de gemeten waarden liggen. Vaak wordt hiervoor een 95% kans grens gehanteerd. Daarbij is de kans dat het model ten onrechte als onjuist beoordeeld wordt 5%. Er bestaan echter vele manieren om een maat te geven voor het verschil tussen metingen en modelresultaten.

Een veel gebruikte maat is de “Mean Square Error” (*MSE*), die als volgt is gedefinieerd:

$$MSE = \frac{\sum (Y_w - Y_m)^2}{N}$$

Hierin zijn  $Y_w$  en  $Y_m$  respectievelijk de waargenomen en de berekende waarden en  $N$  is het aantal waarnemingen. Als we aannemen dat de waarnemingen normaal verdeeld zijn, dan is *MSE* verdeeld volgens  $\chi^2$ , we spreken daarom in dit verband wel van de *chi-kwadraattest*. We verwachten dat het gemiddelde van *MSE* 1 is. In plaats van deze *absolute* fout, kunnen we ook naar de *relatieve* fout kijken, die echter weer anders verdeeld is.

Naast de hierboven genoemde tests zijn er nog vele anderen. Bijvoorbeeld tests voor meer dan een grootte tegelijk, waarbij nog gezocht kan worden naar verdere verbanden. Evenzo zijn er tests om verschillende modellen met elkaar te vergelijken, om uit te maken of het ene model, gegeven een steekproef, significant beter met de waarnemingen overeenstemt dan het andere. Voor deze meer gespecialiseerde tests verwijzen we naar de literatuur, [literatuurlijst nr. 19, 20].

### 3.3.3 Gevoeligheidsanalyse

Veelal zal een model een groot aantal parameters bevatten. Om het kalibratie en validatie proces overzichtelijk te houden kan het daarom nuttig zijn om eerst via een *gevoeligheidsanalyse* uit te maken welke parameters, of combinaties daarvan, het meest van invloed zijn op het model.



Aangezien in het algemeen niet verwacht mag worden dat het model analytisch oplosbaar is, zullen we voor een gevoeligheidsanalyse ook weer aangewezen zijn op numerieke methoden. Deze vallen in twee categorieën. De eerste, waarbij door de parameters rond bepaalde waarden te variëren de afgeleide van het model naar parameters geschat wordt is, lokaal van aard. De ‘Monte Carlo’ methode is globaal van aard. Hierbij worden ‘random’ waarden voor de parameters gekozen en vervolgens geeft een vergelijking van de parameterwaarden en de modeluitkomsten een idee van de afhankelijkheid.

Enige voorzichtigheid is hierbij geboden, zowel voor dynamische als statische modellen. De modeluitkomsten kunnen op tamelijk ingewikkelde manier van parameterwaarden afhankelijk zijn, terwijl daar, met name bij lokale methoden, weinig van blijkt. Het kan gemakkelijk gebeuren dat in twee gebieden van parameterwaarden de modeluitkomsten nauwelijks van die waarden afhangen, terwijl de modeluitkomsten drastisch veranderen als de parameterwaarden van het ene gebied naar het andere gevarieerd worden. Deze verschijnselen staan bekend onder de namen *bifurcaties* voor dynamische en *catastrofen* [literatuurlijst nr. 1] voor statische modellen. Diverse methoden voor de gevoeligheidsanalyse tijdens de kalibratie en validatie zijn gegeven in [literatuurlijst 2, 9]. Zoals eerder opgemerkt, onderscheiden we lokale en globale methoden:

### **Locale methoden**

- *een analytische gevoeligheidsanalyse*: als de modelvergelijkingen analytisch kunnen worden opgelost is het effect van veranderende factoren (bijvoorbeeld parameters) op de modeluitkomsten direct te berekenen en grafisch uit te zetten;
- *afzonderlijk variëren van een aantal als onafhankelijk veronderstelde factoren*: bij deze aanpak wordt telkens één factor tegelijk veranderd. Het belangrijkste nadeel van deze methode is dat de effecten van interacties tussen de factoren worden verwaarloosd;
- *klassieke gevoeligheidsanalyse*: rond de instelwaarden van de factoren wordt het model gelijkaardigd, waardoor op ieder tijdstip en voor iedere toestandsvariabele de afgeleide naar een factor in één enkele modelrun kan worden bepaald en zo de gevoeligheid van het model eenvoudig kan worden bepaald. Deze methode is alleen bruikbaar als de factoren maar weinig mogen afwijken van de instelwaarde en het resultaat zal sterk afhangen van de gekozen instelwaarde. Een ander nadeel is dat interacties tussen factoren worden verwaarloosd;
- *‘Response Surface’ Methode*: hierbij wordt een metamodel gemaakt van het model. Dit metamodel is lineair in de coëfficiënten en bestaat vaak uit een eerste of tweede orde Taylorreeksbenadering. In het eerste geval worden geen interacties tussen de factoren meegenomen en in het tweede geval wel. Het metamodel moet overigens nog wel worden gevalideerd, bijvoorbeeld door kruisvalidatie.

### **Globale Methodes**

- *‘Monte Carlo’ analyse*: hierbij worden alle te variëren factoren tegelijkertijd gevarieerd (getrokken uit hun statistische verdeling), dus niet systematisch. Er moeten relatief zeer veel runs worden gedaan en na afloop wordt met behulp van lineaire regressie het verband tussen de modeluitkomsten en de factoren bepaald. In tegenstelling tot de klassieke gevoeligheidsanalyse hoeven er van tevoren geen aannames over de lineariteit te worden gemaakt. Een beperking van het aantal simulatieruns kan worden verkregen door het gebruik van proefopzetten, zie [literatuurlijst 9].
- *‘Regionalized Sensitivity Analysis’*: door het model een behoorlijk aantal keren (Monte Carlo) te runnen en de runs te verdelen in acceptabel en onacceptabel kunnen twee empirische verdelingsfuncties worden verkregen, waarna de verschillen tussen de verdelingen kunnen worden gebruikt om een maat voor de gevoeligheid te schatten.

### 3.3.4 Modelanalyse

Met name voor dynamische modellen, zijn er methoden om het wiskundig model zelf te analyseren. Het dynamische gedrag van dergelijke modellen kan bijzonder complex zijn, maar theoretisch bestaat er inmiddels een vrij groot (maar zeker nog niet compleet) overzicht van wat er mogelijk is. Het startpunt van een dergelijke analyse is bij voorkeur heel simpel dynamisch gedrag: namelijk dat waarbij de toestand van het model niet in de tijd verandert, een stationaire toestand. Bijvoorbeeld een constante verkeersstroom. Hierbij speelt de parameterafhankelijkheid een belangrijke rol, want deze toestand en de *stabiliteit* ervan hangen daar van af. Zo'n toestand heet stabiel als het model, bij een kleine verstoring, na verloop van tijd weer in zijn oorspronkelijke toestand terug keert.

Het begin van de analyse bestaat er nu uit een of meer modelparameters te variëren en na te gaan wat de invloed op de stabiliteit van de stationaire toestand is. Als deze zijn stabiliteit verliest kan het model “overspringen” naar een andere stationaire toestand, of zelfs naar een ander type toestand. Een parameterwaarde waarbij dat gebeurt heet een “bifurcatiewaarde”. Het op deze manier opsporen van bifurcatiewaarden geeft inzicht in welke modelparameters belangrijk zijn en in welk waarden gebied. Bovendien wordt hiermee duidelijk in welke toestanden het model in het algemeen kan verkeren.

Opnieuw zijn hiervoor numerieke methoden nodig aangezien het in het algemeen onmogelijk is deze bifurcatiewaarden langs analytische weg te bepalen. Dit gebied van (numerieke) bifurcatie analyse, zelf weer een onderdeel van het onderwerp dynamische systemen, is te omvangrijk om hier verder in detail te bespreken, maar kan een waardevolle aanvulling zijn op de modelsimulaties, zie ook [literatuurlijst nr. 4].

### 3.4 Tactische aspecten bij simulatie

In deze paragraaf behandelen we kort een aantal tactische aspecten die bij simulatie een belangrijke rol kunnen spelen. De effecten van deze aspecten kunnen een grote invloed hebben op de uitkomsten van de toetsen. Een aantal van de hieronder staande aspecten en de statistische methoden erbij zijn te vinden in [literatuurlijst 9].

Bij de kalibratie en validatie wordt voornamelijk gekeken naar de output van het simulatiemodel. Belangrijk is het om te kijken naar de veronderstelde *onderliggende statistische verdeling* bij een toets. Bij een groter aantal waarnemingen kan vaak bij benadering de normale verdeling gebruikt worden, bij een kleiner aantal waarnemingen moet enige voorzichtigheid in acht te worden genomen. Als tijdens de kalibratie of validatie het simulatiemodel niet goed genoeg wordt bevonden kan ook worden gekeken naar de input van het model, bijvoorbeeld de veronderstelde (stochastische) verdelingen. Met statistische methoden kan getoetst worden of er een goede aanpassing van de waargenomen verdeling bij een theoretische verdelingsfunctie is gevonden. Deze technieken kunnen ook worden gebruikt bij de analyse van de verdeling van de output van de simulatie.

Van tevoren moet worden gekeken of er sprake is van een *terminating of non terminating model* en of er tijdens de simulaties een *steady state* optreedt. Er moet bepaald worden of bijvoorbeeld de aanloop naar de steady state moet worden meegenomen in de bepaling van de simulatiegrootheden. Een belangrijk aspect hierbij is de *lengte van de simulatierun* oftewel het *aantal subruns*. De lengte van de subruns dient dusdanig lang te worden gekozen dat er geen correlatie tussen de subruns aanwezig is. De methode voor een toetsing hiervan is gegeven in [literatuurlijst 9]. Mocht er correlatie tussen de subruns bestaan, dan dient de subrunlengte aangepast te worden. Voor aankomst- en vertrekprocessen kan er gebruikt gemaakt worden van *renewal analysis*.

Vaak zijn niet alleen het gemiddelde en de variantie belangrijk, maar ook de kwantielen van een verdeling, bijvoorbeeld de waarde waarbij 90% van de waarnemingen onder of boven ligt. De verdelingsfunctie is dan belangrijk. Daarnaast bestaan er verschillende technieken om de variantie te reduceren. Hierbij dient wel in acht te worden genomen dat voor de bepaling van het metamodel andere schattingsmethoden gebruikt dienen te worden.

## 4 Werkproces validatiestudies

### **Inhoud:**

- *eisen aan validatiestudie, inhoudelijk en procedureel;*
- *controle validatiestudie;*
- *beoordeling validatiestudie.*

### 4.1 Inleiding

Na de definitie van validatie, de plaats van validatie in het modelontwikkelingsproces en de in hoofdstuk 3 besproken technieken behandelen we in dit hoofdstuk het werkproces van de validatie. Dit hoofdstuk bevat een leidraad voor de beschrijving en documentatie van het gehele validatieproces. Voor een goede beschrijving van het gehele validatieproces is een werkplan nodig waarin procedurele inhoudelijke stappen aan bod komen. In paragraaf 4.3 herhalen we de stappen (die al eerder in figuur 3 naar voren zijn gekomen) en de mogelijke keuzes per stap. Paragraaf 4.4 gaat dieper in op de beoordeling van validatiestudie. In figuur 6 is een checklist met de stappen en aandachtspunten uit de volgende paragrafen opgenomen.

***Figuur 6: Checklist validatiestudies***

Procedure aspecten:
<input type="checkbox"/> Werkverdeling en verantwoordelijkheden
<input type="checkbox"/> Proceseisen
<input type="checkbox"/> Onderscheid deelstappen
<input type="checkbox"/> Onderscheid basismomenten
<input type="checkbox"/> Documentatie
Inhoudelijke aspecten:
<input type="checkbox"/> Niveau/aspecten validatie
<input type="checkbox"/> Geldigheidsgebied validatie
<input type="checkbox"/> Kwalitatieve criteria
<input type="checkbox"/> Kwantitatieve criteria
<input type="checkbox"/> Steekproef
<input type="checkbox"/> Tactische aspecten
Stappen in validatiestudies
<input type="checkbox"/> Te valideren aspecten
<input type="checkbox"/> Keuze meest relevante parameters
<input type="checkbox"/> Keuze steekproeven
<input type="checkbox"/> Kalibratie op testsituaties
<input type="checkbox"/> Validatie op onafhankelijke data
<input type="checkbox"/> Analyse
Beoordeling en controle validatiestudie
<input type="checkbox"/> Beoordeling validatie externe factoren
<input type="checkbox"/> Toetsing geschiktheid locatie
<input type="checkbox"/> Data-inwinning
<input type="checkbox"/> Beoordeling validatie door vergelijking modeluitkomsten met de metingen
<input type="checkbox"/> Toetsingscriteria
<input type="checkbox"/> Bandbreedtes
<input type="checkbox"/> Gewichtsfactor per criterium
<input type="checkbox"/> Controle/audit validatiestudie
<input type="checkbox"/> Werkplan
<input type="checkbox"/> Deelstappen

## 4.2 Waar een validatiestudie aan moet voldoen

Het werkplan geeft een overzicht van de eisen die worden gesteld aan de uit te voeren validatiestudie. Deze eisen kunnen worden onderverdeeld naar inhoudelijke en procedurele aspecten. Het werkplan heeft tot doel om het proces zo effectief en efficiënt mogelijk te laten verlopen en inhoudelijk een kwalitatief goede evaluatie te krijgen. Daarnaast geeft het een duidelijk overzicht van de beslismomenten.

Alvorens een validatiestudie te starten moet een invulling worden gegeven aan de onderstaande inhoudelijke en procedurele aspecten:

### Procedurele aspecten:

1. *Werkverdeling en verantwoordelijkheden*  
Het werkplan moet een duidelijke werkverdeling kennen: wie doet wat ?. Naast een verdeling van het werk moeten de verantwoordelijkheden worden vastgesteld: wie voert de validatie uit, wie controleert en wie keurt goed. De werkverdeling en de verantwoordelijkheden moeten schriftelijk worden vastgelegd en aan iedere deelnemer van de validatie worden uitgereikt.
2. *Proceseisen*  
Eisen ten aanzien van het te hanteren model, de te hanteren versies en methodieken moet schriftelijk worden vastgesteld in het werkplan en bij alle deelnemers van de validatie bekend zijn.
3. *Duidelijk onderscheid deelstappen*  
Alle deelstappen, die later in deze leidraad zijn aangegeven, moeten duidelijk worden onderscheiden. Iedere stap moet worden afgerond, goedgekeurd en worden vastgesteld door de betreffende verantwoordelijke partijen alvorens gestart kan worden met de volgende stap. De goedkeuring moet bij voorkeur schriftelijk zijn vastgelegd en bij alle deelnemers van de validatie bekend zijn.
4. *Duidelijk onderscheid beslismomenten*  
Alle belangrijke beslismomenten (te hanteren uitgangspunten, methodieken, e.d.) moeten duidelijk worden onderscheiden. Ieder beslismoment moet worden goedgekeurd en vastgesteld door de betreffende verantwoordelijke partijen alvorens de werkzaamheden na deze beslismomenten uit te voeren. De goedkeuring moet bij voorkeur schriftelijk te zijn vastgelegd en bij alle deelnemers van de validatie bekend zijn.
5. *Documentatie*  
Alle inhoudelijke keuzes en vooronderstellingen waarop het model gebaseerd is moeten overzichtelijk gedocumenteerd zijn. Dit geldt evenzeer voor de bij kalibratie en validatie gebruikte data; welke data zijn gebruikt voor kalibratie en welke voor validatie. Van belang zijn verder onder andere meetmethode, -apparatuur, -omstandigheden en dergelijke. Zie ook paragraaf 5.2, over data vereisten en bijlage 2 en 3 over datadocumentatie.

### Inhoudelijke aspecten:

1. *Het niveau van de validatie*  
Aangeven op welke aspecten het model gevalideerd moet worden. Bijvoorbeeld een toedelingmodel voor snelwegennet met aangekoppeld onderliggend wegennet, maar met als doel de verkeersintensiteiten op het snelwegennet te modelleren. Dan kan er voor gekozen worden het model alleen met betrekking tot de toedeling van het snelwegennet te valideren.

2. *Geldigheidsgebied*  
Aangeven voor welke klasse van situaties het model gevalideerd moet worden. Bijvoorbeeld een model voor een snelwegennet met opritten zonder toeritdosering niet vergelijken met metingen van situatie waar toeritdosering een belangrijke invloed heeft. Naast plaats speelt ook de tijd een rol. Van een spitsmodel voor de gemiddelde doordeweekse dag mogen we niet verwachten dat het overeenkomt met metingen gedaan tijdens vakantie spitsperiode als er een heel ander verkeersaanbod is.
3. *Kwalitatieve criteria*  
Aan welke kwalitatieve criteria moet het model voldoen. Een dynamisch snelwegenmodel moet bijvoorbeeld op de juiste trajecten files kunnen voorspellen en op een logische manier reageren op DVM-maatregelen.
4. *Kwantitatieve criteria*  
Het zojuist genoemde snelwegenmodel moet bijvoorbeeld files op de juiste plaats en tijd, met de juiste lengte kunnen voorspellen. Het kan zijn dat dit niet op iedere plaats en tijd verlangd wordt, zie ook punt 2. Voor juist voorspellen moet ook een criterium gegeven worden: aangeven binnen welke marges een voorspelling juist gevonden wordt.
5. *Tactische aspecten*  
Voordat de simulatie gestart wordt en data wordt ingewonnen, moet nagedacht worden over een aantal tactische aspecten bij de simulatie. Hierbij kan gedacht worden aan steekproefomvang, aantal runs, zie onder andere paragraaf 3.4.
6. *Steekproef*  
Aan de hand van de vorige punten kan bepaald worden hoe, op welke plaats en tijd, een of meer steekproeven genomen moeten worden om het model te valideren. De steekproef moet gecontroleerd zijn op uitschieters en normaliteit.

### 4.3 Globale aanpak of protocol validatiestudie

#### Stappen in validatiestudies

Of we nu van doen hebben met microscopische of macroscopische simulatiemodellen, al dan niet toepasbaar op netwerkniveau, globaal gaan we bij validatie steeds uit van dezelfde stappen:

1. *Te valideren aspecten van het model*  
Bepaal welke voor welke aspecten en daarmee overeenkomende grootheden het model gevalideerd moet worden en voor welke klasse(n) van situaties.
2. *Keuze van meest relevante parameters*  
Maak op grond van een gevoeligheidsanalyse een keuze voor de modelparameters die bij kalibratie gevarieerd gaan worden. Onderscheid daarbij parameters in generieke en situationele deelprocessen van het model. De eersten kunnen idealiter globaal gekozen worden, terwijl de laatsten voor iedere situatie opnieuw met een kalibratie stap een waarde moeten krijgen.
3. *Keuze van steekproeven*  
De praktijksituaties waaraan men een model toetst zijn gerelateerd aan het beoogde werkingsgebied van een simulatiemodel. Voor netwerkmodellen zal men het minder belangrijk achten of de simulatieresultaten bij een enkel kruisingsvlak exact overeenkomen met praktijkmetingen. Dit type modellen gebruikt men veeleer om netwerkeffecten in beeld te brengen als routekeuze en totale wachttijdverliezen. Men zal dus vooraf moeten vaststellen welke eisen men aan een model stelt. Vervolgens kiest men testsituaties met data waarmee men de prestaties specifiek op het werkingsgebied kan toetsen. Het zal duidelijk zijn dat een simulatiemodel de benodigde testgegevens in een bruikbaar formaat moet kunnen genereren.

#### 4. *Kalibratie van het model op testsituaties*

Door middel van gegevens van een testsituatie (wegvakken, verkeersvolumes, situatiespecifieke modelparameters) maken we een modelvertaling van de praktijk. Vervolgens brengen we de simulatieresultaten zo goed mogelijk in overeenstemming met meetgegevens van de onderhavige testsituatie. Daarvoor gebruiken we statistische methoden zoals beschreven in paragraaf 3.3.2.

#### 5. *Validatie van het model*

Nu het model gekalibreerd is voor alle situaties die zich in de steekproef voordoen, kan het model met de steekproeven vergeleken worden. Middels statistische tests blijkt dan of de modelresultaten, binnen zekere foutenmarges, overeenstemmen met de metingen.

#### 6. *Analyse van de validatie en, indien nodig, aanpassen van het model*

Als blijkt dat het gesimuleerde verkeersbeeld niet passend te krijgen is met gemeten verkeerssituaties, dan kan men er voor kiezen het model op een of meer van de niveaus, zoals weergegeven in figuur 3, te wijzigen. Op het laagste niveau kiest men bijvoorbeeld andere waarden voor de parameters in de generieke processen en op het hoogste niveau wordt zelfs het conceptuele model veranderd. Hoe hierin een keuze gemaakt moet worden is afhankelijk van een groot aantal factoren, zie hiervoor paragraaf 3.2.

### 4.4 **Beoordeling en controle validatiestudie**

De validatie kan worden beoordeeld vanuit twee perspectieven. Enerzijds kan de validatie worden beoordeeld aan de hand van de kwaliteit van de onderdelen die direct samenhangen met de validatie: de externe factoren, zoals de geschiktheid van de locatie, de kwaliteit van de data-inwinning, e.d. Anderzijds kan de beoordeling plaatsvinden aan de hand van een vergelijking tussen metingen van de reële situatie en de resultaten van de modeluitkomsten aan de hand van de toetsingscriteria (de daadwerkelijke validatie van het model). Hieronder worden de twee genoemde perspectieven nader uitgewerkt.

#### 4.4.1 **Beoordeling validatie externe factoren**

##### **Toetsing geschiktheid locatie**

Om te controleren of de simulatieresultaten goed overeenstemmen met de metingen van een situatie, zullen eerst eisen/criteria die in het werkplan staan aan de meetlocatie moeten worden getoetst. Essentieel is of gedurende de meetperiode de gestelde eisen/criteria gemeten zijn c.q. situaties zich hebben voorgedaan. Een goede locatie is essentieel voor het valideren van het model. Enerzijds dient de praktijksituatie als een vergelijkingsmateriaal, maar daarnaast ook als invoer voor het model.

Toetsingscriteria voor de geschiktheid van een locatie kunnen zijn:

- autosnelweg / onderliggend wegennet / streng / netwerk;
- DVM-maatregelen, verkeerslichten;
- aanwezigheid van een bottleneck;
- filevorming: aanwezigheid van file op een meetdag, veroorzaakt door een bottleneck en niet door externe factoren als weerbeeld, incidenten, evenementen en dergelijke;
- mogelijkheid tot het bepalen van een HB-matrix;
- mogelijkheid tot het bepalen van rijtijden;
- de aanwezigheid van (MONICA- en/of MARE) meetlussen ten behoeve van de data-inwinning.

Indien de locatie voldoet aan alle toetsingscriteria kan daadwerkelijk uitsluitsel worden gegeven of de beoogde situatie geschikt is als bron voor validatiegegevens.

### **Data-inwinning**

Data-inwinning van de praktijksituatie heeft een tweeledig doel: in eerste instantie als de te vergelijken situatie, maar ook als invoer voor het model. Een juiste data-inwinning is voor een validatie dus zeer belangrijk. Daarnaast moet in de praktijksituatie het gewenste c.q. beoogde verkeersbeeld optreden. De data-inwinning moet eveneens worden getoetst of deze betrouwbaar genoeg is voor de validatiestudie.

Toetsingscriteria voor de data-inwinning kunnen zijn:

- optreden van het gewenste c.q. beoogde verkeersbeeld (geen ongevallen, vakantieperiode, extra druk of extra rustig, extreme weersomstandigheden, evenementen, en dergelijke);
- bij veldwerk;
  - juiste criteria gemeten;
  - juiste grootheden gemeten
  - juiste doorsnede gemeten;
- bij gebruik van MARE en/of MONICA-lussen; functioneren van de lussen;
  - alle gewenste data in de juiste vorm en grootheden/eenheden;
  - inwinning van alle gewenste doorsneden;
  - verkeersaanbod stroomopwaarts op enige afstand van de staart van de congestie (dus geen file-intensiteiten gemeten).

Indien de data-inwinning voldoet aan alle vooraf opgestelde toetsingscriteria kan uitsluitsel worden gegeven of de verkregen data gebruikt kan worden als validatiedata.

#### **4.4.2 Beoordeling validatie aan de hand van vergelijking modeluitkomsten met de metingen**

Het doel van een validatiestudie is een uitspraak te doen over de betrouwbaarheid van de uitkomsten van het te valideren model voor de gesimuleerde verkeerssituatie. De validatie behelst een vergelijking van metingen van een reële situatie met de resultaten van de modellering van dezelfde situatie. De meetgegevens van de modellering en de metingen moeten worden bewerkt op een zodanige wijze dat de uiteindelijke meetresultaten op dezelfde wijze kunnen worden geïnterpreteerd als de simulatieresultaten.

De validatie vindt plaats aan de hand van een vergelijking van de modelresultaten met de resultaten van de metingen. Beide situaties worden getoetst aan de hand van de volgende toetsingscriteria:

1. de in het werkplan genoemde *toetsingscriteria*  
De te hanteren toetsingscriteria zijn sterk afhankelijk van de te valideren situatie. Te denken valt aan de criteria verkeersaanbod, snelheden, rijtijden, bezettingsgraden, en dergelijke;
2. de in het werkplan genoemde *bandbreedtes*  
Van de aangegeven toetsingscriteria moet vervolgens de bandbreedtes per criteria worden opgegeven. De bandbreedte betreft een definiëring van de grenzen waarbinnen de modeluitkomst van de werkelijk gemeten waarde mag afwijken;



### 3. *gewichtsfactor per criterium*

Daarnaast moet per criterium een gewichtsfactor worden gespecificeerd om een onderscheid te maken naar importantie. Een afwijking van de modeluitkomst van het criterium 'verkeersaanbod per type voertuig' ten opzichte van de opgestelde bandbreedtes kan bijvoorbeeld veel zwaarder worden gewogen dan een afwijking van de modeluitkomst van het criterium 'rijtijden' ten opzichte van de opgestelde bandbreedte.

De toetsingscriteria moeten bij voorkeur eenheden zijn die twee- of driedimensionaal zijn. Tweedimensionale criteria zijn criteria waarbij een grafiek kan worden uitgezet op twee assen. Voorbeelden van tweedimensionale criteria zijn:

- 'verloop in de tijd van de intensiteiten, in motorvoertuigen per uur',  $I(t)$ , waarbij de intensiteit op een bepaalde wegdoorsnede op de verticale en de tijd op de horizontale as worden uitgezet. Zodoende kunnen de gemeten intensiteiten worden vergeleken met de intensiteiten uit de modeluitkomsten;
- 'verloop in de tijd van de snelheden, in kilometers per uur',  $V(t)$ , waarbij de snelheid op een bepaalde doorsnede op de verticale en het verloop in de tijd op de horizontale as worden uitgezet. Zodoende kunnen de gemeten snelheden worden vergeleken met de snelheden uit de modeluitkomsten;
- 'intensiteit-snelheidsdiagrammen',  $IV(t)$ , waarbij de snelheid op een bepaalde doorsnede op de verticale en de intensiteit op zeker moment op de horizontale as worden uitgezet. Zodoende kunnen de gemeten intensiteiten en snelheden worden vergeleken met de intensiteiten en snelheden uit de modeluitkomsten.

Voordeel van het gebruik van tweedimensionale criteria is dat de resultaten van de modeluitkomsten en de metingen van de reële situatie in één grafiek kunnen worden weergegeven. In dezelfde grafiek kan de bandbreedte worden weergegeven. Groot voordeel is dat direct zichtbaar is gemaakt of de modeluitkomsten binnen de vastgestelde bandbreedte blijven.

Driedimensionale criteria zijn criteria waarbij in een grafiek op de horizontale x-as en verticale y-as twee criteria kunnen worden opgenomen, uitgezet tegen een derde grootte. Een voorbeeld van een driedimensionale criterium is de zogenaamde vlekkenkaart. De vlekkenkaart geeft het verloop van de snelheid, gerekend over de weg en in de tijd. Een vergelijking tussen de modeluitkomsten en de praktijksituatie is echter minder eenvoudig dan bij de vergelijking van tweedimensionale criteria: het is immers niet mogelijk om een bandbreedte te definiëren.

Toetsingscriteria kunnen zijn:

- intensiteitenverloop;
- snelheidsverloop;
- intensiteit-snelheidsverhouding, bezettingsgraad-intensiteitverhouding en bezettingsgraad-snelheidsverhouding (basisdiagrammen);
- snelheidsonderdrukking in bottleneck / Capaciteit bottleneck (Kaplan Meier);
- toedelingstechniek / wegvakbelasting;
- bezettingsgraad in %;
- rijtijden;
- wegvakbelasting / benutting wegvak ( $I/C$ -verhouding);
- wachtrijlengte;
- reactietijd voor acceleratie;
- reactietijd voor deceleratie;
- strookwisseltactiek;
- verdeling voertuigtypes over rijstroken;

(vervolg toetsingscriteria)

- verliestijden;
- voertuigverliesuren;
- HB-matrix;
- voertuigtype-distributie;
- wenssnelheden.

#### 4.4.3 Hoe kan een validatiestudie gecontroleerd of geaudit worden ?

Het belangrijkste aspect bij een controle of audit van het validatieproces is de reproduceerbaarheid van de gevolgde procedures. Bij de controle/audit van de validatiestudie moeten worden geanalyseerd of de volgende werkzaamheden / beslismomenten zijn uitgewerkt, vastgesteld en vastgelegd:

- Er moet een *werkplan* opgesteld zijn
  1. Het werkplan moet voorzien zijn van een duidelijke werkverdeling;
  2. Het werkplan moet voorzien zijn van de verdeling van de verantwoordelijkheden: wie voert de validatie uit, wie controleert en wie keurt goed.
  3. De werkverdeling en de verantwoordelijkheden moeten schriftelijk zijn vastgelegd en aan iedere deelnemer van de validatie uitgereikt worden.
  4. De eisen ten aanzien van het te hanteren model, de te hanteren versies en methodieken moeten schriftelijk zijn vastgesteld in het werkplan en bij alle deelnemers van de validatie bekend zijn.
  5. Alle deelstappen en beslismomenten zijn vastgesteld.
- Alle *deelstappen* (zie paragraaf 4.2) moeten duidelijk zijn onderscheiden. Iedere stap moet zijn afgerond, goedgekeurd en vastgesteld door de betreffende verantwoordelijke partijen alvorens gestart is met de volgende stap. De goedkeuring moet schriftelijk zijn vastgelegd en bij alle deelnemers van de validatie bekend zijn.
- Alle belangrijke *beslismomenten* (te hanteren uitgangspunten, methodieken, criteria, bandbreedtes) moeten duidelijk zijn onderscheiden. Ieder beslismoment moet goedgekeurd zijn en vastgesteld door de betreffende verantwoordelijke partijen alvorens de werkzaamheden na deze beslismomenten zijn uitgevoerd. De goedkeuring moet schriftelijk zijn vastgelegd en bij alle deelnemers van de validatie bekend zijn.

# 5 Data-aspecten en -vereisten voor validatiestudies

**Inhoud:**

- inhoudelijke eisen aan data;
- formele eisen: documentatie van data;
- formele eisen: documentatie van data inwinning.

## 5.1 Inleiding

Data die voor validatiestudies gebruikt wordt, moet aan een aantal eisen voldoen. Naast inhoudelijke eisen aangaande representativiteit voor beoogde situaties, zijn er vooral ook formele eisen. Succesvol gebruik door derden staat of valt met een goede toegankelijkheid en nauwkeurige documentatie. Dit behelst zowel een precieze omschrijving van wat de data precies inhoudt als op welke manier zij verkregen is. Op al deze aspecten wordt in het onderstaande nader ingegaan. Een gedetailleerde omschrijving van datavereisten per modeltype is in bijlage 2 opgenomen. Voorbeelden van datasets en documentatie zijn opgenomen in bijlage 3.

Evaluatiestudies naar verkeersbeheersingsmaatregelen kunnen ook geschikte datasets voor validatiestudies bevatten. Een overzicht van uitgevoerde evaluatiestudies is opgenomen in de Leidraad Evaluatiestudies [literatuurlijst nr. 18].

## 5.2 Inhoudelijke en statistische eisen aan data

De keuze of bepaalde data geschikt is voor validatie is niet eenvoudig. Ook hier moet het doel van de studie nauwlettend in de gaten gehouden worden. Voor de ene studie zal bijvoorbeeld een veel grotere nauwkeurigheid van de gegevens nodig zijn dan voor de andere. Hieronder volgen enkele eisen waaraan de data moet voldoen, details zullen echter van geval tot geval verschillen.

- De steekproef moet ten eerste *geschikt* zijn voor het doel van de validatiestudie. De steekproef moet *groot genoeg* zijn, zie bijvoorbeeld [literatuurlijst nr. 5, 6], voor optimale keuze. Verder moet de steekproef *representatief* zijn voor de situaties waarvoor het model gevalideerd gaat worden. Dit kan in de praktijk een moeilijk punt zijn vanwege de hoge kosten verbonden aan veldonderzoek. Als echter bekend is in hoeverre de steekproef tekort schiet kan dit in de eindafweging meegenomen worden.
- De metingen die gedaan zijn moeten *nauwkeurig* genoeg zijn voor het doel waarvoor ze gebruikt gaan worden. Ook dit kan vanwege kosten en capaciteitsbeperkingen niet altijd haalbaar zijn. Van belang is weer dat dit gedocumenteerd wordt.
- De metingen moeten bij voorkeur *gecontroleerd* worden op *redelijkheid*. Dat houdt een controle in of de waarden op zich redelijk zijn en of de spreiding overeenkomt met die van de meetmethode en apparatuur. Verder moet getest worden in hoeverre de metingen normaal verdeeld zijn, aangezien veel statistische tests op deze veronderstelling gebaseerd zijn. Een ander aspect is het voorkomen van uitschieters. Ook hiervoor bestaan tests, waarmee geschat kan worden of die aan toeval te wijten zijn of aan meetfouten en dergelijke. Dit laatste hangt samen met de gevoeligheid van het systeem, naarmate het van nature gevoeliger is, zullen *uitschieters* eerder voorkomen.

- De meetmethode moet *geschikt zijn voor het doel*. Dat wil zeggen dat de gegevens van alle benodigde situaties er met voldoende nauwkeurigheid mee gemeten kunnen worden. Het gemodelleerde proces moet hierbij observeerbaar zijn. De meetfouten, zowel toevallige als systematische, moeten bekend zijn.

### 5.3 Documentatie

Data die algemeen gebruikt moet worden voor validatiestudies, dient ten eerste eenvoudig toegankelijk te zijn en ten tweede nauwkeurig beschreven te zijn. In de bijlage zijn een aantal voorbeelden van datadocumentatie opgenomen van reeds uitgevoerde studies. We maken nog onderscheid tussen documentatie van de data en die van de meting.

#### 5.3.1 Documentatie data

De toegankelijkheid van datasets laat in de praktijk vaak te wensen over, zeker bij omvangrijke datasets. Het verdient de voorkeur om bij grote datasets gebruik te maken van presentatieprogramma's die de data kunnen samenvatten en visualiseren.

Voor het eenvoudig verwerken van data heeft een digitale opslag van de gegevens sterk de voorkeur. De gegevensopslag dient daarbij zo eenvoudig mogelijk te zijn, het bestandsformaat moet algemeen aanvaard en flexibel zijn. Als de gegevens bijvoorbeeld in het ascii-formaat opgeslagen worden, kunnen deze in elk statistisch- of spreadsheetprogramma ingelezen en verwerkt worden. Aan te bevelen is om de belangrijkste kenmerken van de data op te nemen in het databestand. Dit omdat de verbinding tussen data en externe beschrijvingen verloren kan gaan.

De volgende punten moeten gedocumenteerd zijn.

- Wat is het *formaat* van de data. Meestal zal het om een tabel gaan. Van belang is dan de afmetingen te kennen en welke grootheden per rij en kolom weergegeven worden.
- Hoe is de data *gecodeerd*. Op het laagste niveau betekent dit of het bijvoorbeeld een ASCII of binair bestand is. Op een hoger niveau betekent dit dat vermeld moet zijn met hoeveel significante cijfers continu variërende grootheden opgeslagen zijn. Voor bijvoorbeeld een discrete grootheid als dag van de week, moet duidelijk aangegeven zijn hoe deze gecodeerd is (staat 1 voor maandag of zondag!). Als een grootheid het al dan niet in werking zijn van verkeerslichten aangeeft, moet duidelijk zijn of 0 nu juist wel of niet in werking voorstelt.
- Hoe zijn gediscretiseerde grootheden *gedefinieerd*. Bijvoorbeeld voor voertuigtypen, wanneer is een voertuig een vrachtauto en wanneer een bestelbus.
- Wat zijn de *fouten* in de opgegeven waarden, in de vorm van standaardafwijkingen en hoe zijn ze verdeeld.

### 5.3.2 Documentatie metingen

Naast documentatie over wat de data voorstelt is het evenzeer nodig te weten onder welke omstandigheden en op welke manier de data tot stand gekomen is.

- Welke grootheden zijn *gemeten* en welke zijn daarvan *afgeleid*. In de uiteindelijke data kunnen zowel directe metingen als afgeleiden daarvan opgenomen worden.
- Welke *meetprocedure* is gevolgd. Daarbij hoort hoe de meetapparatuur is geijkt, afgesteld en opgesteld en of dit tijdens de metingen nog herhaald, dan wel aangepast is. Hoeveel metingen van een grootheid zijn gedaan en hoe zijn die herhaald.
- Welke meetapparatuur is gebruikt. Is deze geschikt onder alle omstandigheden die nodig zijn. Kunnen de gediscrediteerde grootheden er correct mee gemeten worden. Hoe groot is de meetfout, onderscheiden naar toevallige en systematische fouten.
- Naast *datum, tijd en plaats*, is het ook van belang onder welke *omstandigheden* de metingen hebben plaatsgevonden. Te denken valt aan dagen van de week, vakantie perioden, weersomstandigheden, wel of niet tijdens spits, bijzondere evenementen, wegwerkzaamheden of andere beperkingen in omgeving meetlocatie.
- Hebben er nog *conversies* van de metingen plaatsgevonden en zo ja, hoe. Hoe zijn de meetfouten daarin meegenomen. Dit laatste geldt evenzeer voor van de metingen afgeleide grootheden.

## 6 Literatuur

1. Catastrophy theory, V.I. Arnold, Springer, Berlin etc, 1986
2. Model Validation and Reasonableness Checking Manual, Barton-Aschman Associates, Inc. and Cambridge Systetics Inc, 1997,  
(<http://www.bts.gov/tmip/papers/validate/mvrcm/toc.htm>)
3. The microscopic modelling of traffic flow: weakness and potential developments,  
M. Brackstone, M. McDonald, in: "Traffic and Granular Flow", eds D.E. Wolf,  
M. Schreckenberg, A. Bachem, World Scientific, Singapore, 1996
4. Dynamische systemen en chaos, H.W. Broer, F. Verhulst, Epsilon Uitgaven no 14, Utrecht, 1990
5. Sampling techniques, W.G. Cochran, J. Wiley & Sons, New York, 1977
6. Optimal Sampling Strategies for statistical models with discrete dependent variables,  
Transportation Science, 14(4), 324-345, C.F.Daganzo, 1980
7. Validation of computer models - concepts and terminology, Dee en vd Marel, 1984
8. Econometric methods, J. Johnston, 2nd ed. McGraw-Hill, New York, 1972
9. Simulation, a statistical perspective, J. Kleijnen, W. van Groenendaal, J. Wiley & Sons,  
Chichester, 1992
10. Theory of econometrics, 2nd ed. Macmillan, London, 1977
11. Modelling Transport, J. de Ortúzar and L.G. Willumsen, John Wiley & Sons, 1994
12. A comparison of some calibration techniques for double constrained models with an  
exponential cost function, Transportation Research 10, Williams, 1976
13. Vloeiend modelleren in het waterbeheer, Handboek Good Modelling Practice, STOA/RIZA,  
rapport 99.036, ISBN 90 5773 056 1, 1999
14. Sigmo study, deel 1 introduction and summary. Pb IVVS / CSI
15. Validatie FLEXXSYT-II voor autosnelwegen, Grontmij in opdracht van Rijkswaterstaat,  
Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 1998
16. Tweede validatie Flexsyt-II, DHV in opdracht van Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en  
Vervoer, 1997
17. Leidraad modelstudies verkeersbeheersingsmaatregelen, versie 2, AGV Adviesgroep voor  
verkeer en vervoer in opdracht van Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 1999
18. Leidraad evaluaties verkeersbeheersingsmaatregelen, Goudappel Coffeng in opdracht van  
Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 1998
19. Nonlinear regression, functional relations and robust methods, K. M. S. Humak, Helga  
Bunke, Olaf Bunke, Wiley, Chichester, 1989

20. Nonlinear regression analysis and its applications, Douglas M. Bates, Donald G. Watts,  
Wiley, New York, 1998

# BIJLAGEN



## **BIJLAGE 1**

## **Bijlage 1: Begrippentabel**

Overgenomen uit “Good Modelling Practice” [literatuurlijst nr. 13]

<b>BEGRIJ</b>	<b>BETEKENIS</b>
<i>Afhankelijke variabele</i>	variabele die ten opzichte van één of meer onafhankelijke variabele(n) verandert
<i>Algoritme</i>	lijst van stappen om in een computerprogramma een probleem op te lossen
<i>Analytische elementenmethode</i>	methode voor grondwaterstromingsberekeningen gebaseerd op het superponeren van analytische oplossingen van de Poisson-vergelijking (voor gebiedsvariabele verticale stroming en voor de bergingsterm voor niet-stationariteit) die gelden binnen oneindige of begrensde gebieden in meerdere al-dan-niet-gekoppelde lagen
<i>Betrouwbaarheidsanalyse</i>	activiteiten om de betrouwbaarheid van een model te schatten na afloop van de kalibratie (en/of validatie)
<i>Kalibratie</i>	activiteiten om een vooraf bepaalde mate van overeenkomst tussen model en metingen in het veld te verkrijgen door het (systematisch) veranderen van onzekere factoren (vaak parameters), gevolgd door een analyse van de restfouten
<i>Conceptueel model</i>	beschrijving van de structuur van een systeem met kwalitatieve afhankelijkheden
<i>Constante</i>	grootte die nauwkeurig bekend is
<i>Data</i>	gegevens
<i>Data-assimilatie</i>	benaderingswijze waarbij data wordt geïntegreerd met een fysisch/chemische procesbeschrijving, zodanig dat de informatie-inhoud van zowel de data als de procesbeschrijving expliciet wordt gemaakt en gewogen
<i>Deterministisch</i>	zonder toeval (tegenovergestelde van stochastisch)
<i>Dimensie</i>	1. lengte, breedte, hoogte 2. (dimensieanalyse) eenheid waarin een grootte wordt uitgedrukt
<i>Dimensieanalyse</i>	test of in de modelvergelijkingen alle dimensies correct zijn
<i>Discretisatie</i>	het ombouwen van een continue model (in ruimte en tijd) naar een model dat het systeem beschrijft in discrete (niet oneindig kleine) stappen in de ruimte en tijd
<i>Doelfunctie</i>	kwantificering van de modelfout met behulp van veldmetingen

<b>BEGRIP</b>	<b>BETEKENIS</b>
<i>Domein</i>	wetenschapsgebied, in dit Handboek deelgebieden van het waterbeheer
<i>Dynamisch model</i>	model waarbij de tijd een onafhankelijke variabele is
<i>Eenheid</i>	gedefinieerde maat om een grootte uit te drukken of te meten
<i>Eindige-differentie-methode</i>	transformatie van (partiële) differentiaalvergelijkingen die continu zijn in de ruimte en/of tijd, naar discrete differentie-vergelijkingen om ze zo numeriek op te kunnen lossen, met behulp van een discreet 'grid' of raster
<i>Eindige-elementen-methode</i>	transformatie van (partiële) differentiaalvergelijkingen die continu zijn in de ruimte naar discrete vergelijkingen om ze zo numeriek op te kunnen lossen, met behulp van discrete elementen, dat wil zeggen ruimtelijke compartimenten
<i>Energiebalans</i>	balans van energiestromen
<i>Entiteit</i>	zelfstandige grootte met een eigen betekenis
<i>Fuzzy logic model</i>	model met beschrijvingen op basis van vage logica, bijvoorbeeld met tussenvormen tussen ja en nee (misschien)
<i>Geldigheidsgebied</i>	het geheel van voorwaarden waaronder een model mag worden toegepast
<i>Gevoeligheidsanalyse</i>	onderzoek naar de relatie tussen veranderende factoren (vaak parameters) en modeluitvoer
<i>Globaalgedragtest</i>	test of de globale werking van het model overeenkomt met de verwachting
<i>Heuristische methode</i>	niet formele methode om een niet precies bekend doel te bereiken op een onderzoekende en voortdurend evaluerende wijze volgens een bepaald criterium
<i>Identificatie</i>	kalibratie met als doel eenduidige waarden van alle parameters en andere kalibratiefactoren te bepalen
<i>Ijking</i>	kalibratie
<i>Integratie algoritme</i>	algoritme om (numeriek) differentiaalvergelijkingen op te lossen
<i>Integreren</i>	oplossen van differentiaalvergelijkingen
<i>Interpretatie</i>	verklarende uitleg
<i>Jakobiaan</i>	matrix van partiële afgeleiden van de individuele residuen naar de (model) parameters

<b>BEGRIP</b>	<b>BETEKENIS</b>
<i>Massabalans</i>	balans van stofstromen
<i>Meta-informatie</i>	gegevens over gegevens (waar zijn de gegevens, hoe en door wie gemeten, welke nauwkeurigheid, enzovoort)
<i>Model</i>	verzamelbegrip voor representaties van essentiële aspecten van een systeem, waarbij kennis gepresenteerd wordt in een bruikbare vorm. N.B: In dit Handboek wordt hiermee veelal bedoeld een programma in de computer (een modelprogramma) met bijbehorende invoer. Het woord 'model' kan echter ook slaan op wat opmerkingen op papier, een wiskundige formulering, een schema of figuur
<i>Modellerproces</i>	alle stappen die doorlopen moeten of kunnen worden bij het maken en werken met modellen
<i>Modelleren</i>	1. maken van een model 2. werken met een model
<i>Modelleur</i>	1. de ontwikkelaar van een model 2. iemand die werkt met een model
<i>Modelprogramma</i>	wiskundige formulering in de vorm van een computerprogramma, bedoeld om modellen mee te bouwen door middel van het invoeren van gegevens
<i>Modelproject</i>	project waarbij het werken met een model een belangrijke rol speelt
<i>Modelproject-formulier</i>	formulier van dit Handboek GMP om het modelproject zo volledig mogelijk te beschrijven
<i>Neuraal netwerk model</i>	model waarbij de relaties tussen input en output worden beschreven m.b.v. van een netwerk van knopen die ieder een gewicht hebben, zodanig dat het neurale netwerk bij een bekende input een bekende output oplevert
<i>Niet-stationair model</i>	model waarbij de tijd een onafhankelijke variabele is (zie dynamisch model)
<i>Onafhankelijke variabele</i>	variabele ten opzichte waarvan de veranderingen in een dynamisch systeem worden beschreven; voorbeelden: tijd, drie ruimtelijke dimensies
<i>Optimalisatie</i>	vaststellen van de waarde van parameters op een zodanige wijze dat de vooraf gekozen doelfunctie minimaal wordt
<i>Overige variabele</i>	variabele waarvan de waarde niet afhangt van de waarde op een vorige waarde van de onafhankelijke variabele (dus bijvoorbeeld niet van de waarde op een vorig tijdstip)

<b>BEGRIP</b>	<b>BETEKENIS</b>
<i>Parameter</i>	grootte die constant wordt verondersteld, maar die niet nauwkeurig bekend is
<i>Partiële differentiaalvergelijking</i>	differentiaalvergelijking met meer dan één onafhankelijke variabele
<i>Probleembeschrijving</i>	een heldere, precieze (niet noodzakelijk kwantitatieve) specificatie van wat bekend is over het probleem en van wat berekend moet worden
<i>Programmeur</i>	iemand die computerprogramma's maakt of verandert. N.B: sommige (programmerende) modelleers programmeren ook zelf, maar meestal is dit niet het geval
<i>Residu</i>	restfout
<i>Restfout</i>	verschil tussen de uitkomsten van model en veldmetingen
<i>Restfoutenanalyse</i>	(statistische) analyse van restfouten
<i>Robuustheidtest</i>	test of het model bestand is tegen extreme invoergegevens
<i>Schematisering</i>	vereenvoudigde voorstelling van de ruimtelijke en temporele verdeling van variabelen en parameters
<i>Simuleren</i>	nabootsen van een deel van de werkelijkheid of systeem (gedachtenmodel, fysiek model, model op de computer)
<i>Soft-hybride model</i>	datageoriënteerde model (bijvoorbeeld een neurale netwerk) waarin (bijvoorbeeld via de kalibratie) fysische concepten worden meegenomen
<i>Stabiliteit</i>	eigenschap van differentiaalvergelijking en/of integratiemethode, waarbij de fout in elke integratiestap kleiner wordt
<i>Standaard invoer</i>	de invoergegevens van een standaard test (bijvoorbeeld uit de handleiding van het modelprogramma of een eigen simpele case), waarvan de bijbehorende uitvoer bekend is
<i>Stationair (statisch) model</i>	model dat niet dynamisch is; de tijd veranderingen in de tijd worden niet onderzocht
<i>Statistische verdeling</i>	kansverdeling van een steekproef
<i>Stochastisch</i>	met toeval
<i>Systeem</i>	een geheel (vaak een deel van de werkelijkheid) bestaande wét entiteiten, waartussen relaties bestaan
<i>Systeembeschrijving</i>	een tekstuele beschrijving van een systeem

<b>BEGRIIP</b>	<b>BETEKENIS</b>
<i>Toestand</i>	een verzameling variabelen binnen het systeem op een bepaald tijdstip, waarin alle informatie van het verleden is opgeslagen die relevant is voor de toekomst van het systeem. De toestand is niet altijd een unieke verzameling variabelen: er kunnen meerdere verzamelingen zijn die aan de definitie voldoen
<i>Toestandsvariabele</i>	een variabele die deel uitmaakt van de toestand van het systeem
<i>Validatie</i>	vergelijken van modeluitvoer met een onafhankelijke (dat wil zeggen nog niet in de kalibratie gebruikte) set meetgegevens, teneinde te kunnen vaststellen of het model 'goed' is (of het concept goed is, het model het verleden kan reproduceren met de vereiste nauwkeurigheid en of het model geschikt is om alle vragen te beantwoorden)
<i>Variabele</i>	grootte waarvan de waarde kan veranderen
<i>Veldwaarneming</i>	veldmeting, dus waarneming aan het systeem waar het model een representatie van is
<i>Verificatie</i>	controle of het wiskundige model correct geïmplementeerd is in het computerprogramma en of het computerprogramma correct in de computer is geïmplementeerd
<i>Wiskundige Formulering</i>	de wiskundige vertaling van het conceptuele model

## **BIJLAGE 2**

## **Bijlage 2: Gedetailleerde omschrijving data ten aanzien van de verkeersafwikkeling**

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van de soorten data die bij de (validatie van) toedelings- en simulatiemodellen een rol spelen, alsmede de inhoudelijke en statistische eisen aan de data.

Hoewel met overlap is onderscheid gemaakt naar:

- data verkeersafwikkeling (tabel B2.1);
- verkeersgegevens (tabel B2.2);
- invoer model/ meting van de reële situatie (macro) (tabel B2.3);
- locatiegebonden data (tabel B2.4).

***Tabel B2.1 Data verkeersafwikkeling***

<b>Data</b>	<b>Inhoudelijke eisen</b>	<b>Statistische eisen</b>	<b>Eenheid</b>
Verkeersaanbod	Meting (stroomopwaarts ) zonder congestie <ul style="list-style-type: none"><li>• onderverdeeld naar voertuigcategorie</li><li>▪ onderverdeeld naar rijstrook</li><li>▪ onderverdeeld naar voldoende kleine tijdsintervallen</li></ul>	Tweedimensionaal Bandbreedte bepalen	Intensiteit in motorvoertuigen per uur per voertuigtype per rijstrook per tijdseenheid De voertuigtypen uit de metingen en in het model moeten overeenkomen. Criteria zijn: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ gewicht</li><li>▪ lengte</li><li>▪ aantal assen</li></ul>
Capaciteit wegvak	Bij voorkeur per rijstrook bepalen	Voldoen aan eisen Kaplan-Meier-methode	Capaciteit in motorvoertuigen (of pae) per uur per rijstrook
Snelheid	Meting per doorsnede <ul style="list-style-type: none"><li>▪ eventueel onderverdeeld naar voertuigcategorie</li><li>▪ eventueel onderverdeeld naar rijstrook</li><li>▪ onderverdeeld naar voldoende kleine tijdsintervallen</li></ul>	Tweedimensionaal Bandbreedte bepalen	Snelheid in kilometers per uur per doorsnede per voertuigtype

*Op basis van de bovengenoemde gegevens kunnen de volgende criteria worden getoetst:*

- *basisdiagrammen intensiteit-snelheid, intensiteit - dichtheid, snelheid - dichtheid*
- *filecriterium / onderzoek locatie bottleneck*
- *capaciteit wegvak / bottleneck (Kaplan Meier-analyse)*



**Tabel B2.2 Verkeersgegevens**

Data	Inhoudelijke eisen	Statistische eisen	Eenheid
HB-matrix	Entry-exit streng duidelijk vaststellen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ onderverdeeld naar voertuigcategorie</li> <li>▪ onderverdeeld naar voldoende kleine tijdsintervallen</li> </ul> Zie PLATOS-project 'Dynamische HB-tabellen'	Zie PLATOS-project 'Dynamische HB-tabellen'	N.v.t.
Wenssnelheden	Meting snelheid stroomopwaarts van congestie onderverdeeld naar voertuigcategorie (videowaarneming)	Tweedimensionaal Bandbreedte bepalen	Wenssnelheid in kilometer per uur per voertuigtype per rijstrook
Rijtijden	Notatie kenteken tijdstip van doorkomst locatie 1 en locatie 2 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ onderverdeeld naar voertuigtypen of steekproef / representativiteit welke voertuigen worden gemeten (type / kleur voertuigtype)</li> </ul>	Tweedimensionaal Bandbreedte bepalen	Verloop van rijtijden (in seconden) per voertuigtype in tijd
Verdeling voertuigtypen over rijstroken	Meting (stroomopwaarts) zonder congestie <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ onderverdeeld naar voertuigtype</li> <li>▪ onderverdeeld naar voldoende kleine tijdsintervallen</li> </ul>	Tweedimensionaal Bandbreedte bepalen	Intensiteit in motorvoertuigen per uur per voertuigtype per rijstrook per tijdseenheid
Voertuigvolgedrag/ individueel voertuiggedrag (time to collision)	Bruto en netto volgafstandverdeling Bruto en netto volgtijdverdeling Verandering in volgafstand per voertuigtype (acceleratie/deceleratie N.b.: bruto = incl. voertuiglengte, netto = excl. voertuiglengte		

**Tabel B2.3 Invoer model / metingen van de reële situatie (alleen macro)**

Data	Inhoudelijke eisen	Statistische eisen	Eenheid
Sociaal economische gegevens (seg's)	T.b.v. productie/attractie : <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aantal woningen/ huishoudens</li> <li>▪ middeld autobezit</li> <li>▪ Aantal winkels /voorzieningen</li> <li>▪ Bedrijvigheid</li> <li>▪ Leeftijdopbouw</li> <li>▪ Inkomensverdeling</li> </ul>		
Verkeersaanbod op de randen van de projectgrenzen	Meting verkeersaanbod <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ onderverdeeld naar voertuigcategorie</li> <li>▪ onderverdeeld naar voldoende kleine tijdsintervallen</li> </ul>	Tweedimensionaal Bandbreedte bepalen	Intensiteit in motorvoertuigen per uur per voertuigtype per tijdseenheid
Wegvak lay-out	Aantal rijstroken per rijbaan		
Capaciteit wegvak	Meting verkeersaanbod per tijdsinterval Noodzakelijk: aantal rijstroken, capaciteit per rijstrook Per rijbaan bepalen		Capaciteit in motorvoertuigen (of pae) per uur per rijbaan
Reistijdwaardering	Inbouwen wegvakverlies		

Naast de inhoudelijke data ten behoeve van de verkeersafwikkeling en de verkeersstromen is hieronder een overzicht gegeven van de specifieke locatiegebonden data. De specifieke data heeft

direct invloed op de verkeersafwikkeling. De data-inwinning van de locatie is daarom essentieel om te weten.

**Tabel B2.4 Locatiegebonden data**

Data	Inhoudelijke eisen	Statistische eisen	Eenheid
Wettelijke maximumsnelheid	Ter plaatse vaststellen (per voertuigtype)	N.v.t.	Km/uur
Verdeling van de rijnsnelheden per voertuigtype	Meting per doorsnede <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ eventueel onderverdeeld naar voertuigcategorïe</li> <li>▪ eventueel onderverdeeld naar rijstrook</li> <li>▪ onderverdeeld naar voldoende kleine tijdsintervallen</li> </ul>	Tweedimensionaal Bandbreedte bepalen	snelheid in kilometers per uur per doorsnede
Gebods- en verbodsborden	Inhaalverbod vrachtverkeer Algemeen inhaalverbod	N.v.t.	N.v.t.
DVM-maatregelen	Dynamisch inhaalverbod vrachtverkeer Rijbaandosering (Dynamische) spitsstroken Dynamische doelgroepstroken Dynamische linker rijstrook Drips		

**Tabel B2.5 Voorbeeld controleformulier**

Onderdeel							
<b>A. WERKPLAN</b>		Opgesteld	Te vinden in	Gecontroleerd	Datum	Goedgekeurd	Datum
1.	werkverdeling	Naam	Locatie	Naam + paraaf	Datum	Naam + paraaf	Datum
2.	verantwoordelijkheden						
3.	schriftelijk vastgelegd						
4.	eisen model						
<b>B. DEELSTAPPEN EN BESLISMOMENTEN</b>				Gecontroleerd	Datum	Goedgekeurd	Datum
5.	criteria model = criteria meting	Naam	Locatie	Naam + paraaf	Datum	Naam + paraaf	Datum
6.	geschiktheid locatie						
7.	methodiek a						
8.	uitgangspunten b						
9.	resultaten metingen						
10.	invoer model						
11.	methodiek x						
12.	methodiek y						
13.	uitgangspunten z						
14.	modeluitkomsten						
15.	vergelijking model – meting						
	a.h.v. criteria						

## **Bijlage 3**

## **Bijlage 4**

#### **Bijlage 4: Contactpersonen**

<b>Organisatie</b>	<b>Contactpersoon</b>	<b>E-mailadres</b>
AVV	de heer ir. H. Taale	<a href="mailto:h.taale@avv.rws.minvenw.nl">h.taale@avv.rws.minvenw.nl</a>
AVV	de heer ing. M.A.L. van Egeraat	<a href="mailto:m.a.l.vegeraat@avv.rws.minvenw.nl">m.a.l.vegeraat@avv.rws.minvenw.nl</a>
DHV	de heer dr. Y-S. Chen	<a href="mailto:yu-sen.chen@mi.dhv.nl">yu-sen.chen@mi.dhv.nl</a>
Goudappel Coffeng	de heer ir. H. Palm	<a href="mailto:hpalm@goudappel.nl">hpalm@goudappel.nl</a>
Grontmij	de heer ing. R. van Haasteren	<a href="mailto:robin.vanhaasteren@grontmij.nl">robin.vanhaasteren@grontmij.nl</a>
TU Delft	de heer A.M. de Leeuw	<a href="mailto:a.m.deleeuw@ct.tudelft.nl">a.m.deleeuw@ct.tudelft.nl</a>
TNO Inro	de heer ir. R. van Katwijk	<a href="mailto:rka@inro.tno.nl">rka@inro.tno.nl</a>
RWS Directie Oost-Nederland	de heer ir. R.G.M.M. Vermijs	<a href="mailto:r.vermijis@don.rws.minvenw.nl">r.vermijis@don.rws.minvenw.nl</a>
AGV	de heer ir. P.R.L. Eradus	<a href="mailto:p.eradus@agv-advies.nl">p.eradus@agv-advies.nl</a>
AGV	de heer drs. O.G.P. Tool	<a href="mailto:o.tool@agv-advies.nl">o.tool@agv-advies.nl</a>
PLATOS secretariaat	de heer ir. C.J. Abeelen	<a href="mailto:Platos@oag.nl">Platos@oag.nl</a>

<b>Organisatie</b>	<b>Adres</b>	
AVV	Postbus 1031	3000 BA Rotterdam
DHV	Postbus 1076	3800 BB Amersfoort
Goudappel Coffeng	Postbus 161	7400 AD Deventer
Grontmij	Postbus 203	3730 AE De Bilt
TU Delft	Postbus 5048	2600 GA Delft
TNO Inro	Postbus 6041	2600 JA Delft
RWS Directie Oost-Nederland	Postbus 9070	6800 ED Arnhem
AGV	Postbus 580	3430 AN Nieuwegein
PLATOS secretariaat	Koninginnegracht 23	2514 AB Den Haag

---