



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

***Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat***

Adviesdienst Verkeer en Vervoer

**Toedelings- en simulatieprogramma's  
voor autosnelwegen en netwerken**

**Rapport ID 96.116/1**



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

***Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat***

Adviesdienst Verkeer en Vervoer

# **Toedelings- en simulatieprogramma's voor autosnelwegen en netwerken**

**ir. H. Taale  
Rotterdam  
september 1996**

**Rapport ID 96.116/1**



## INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding en conclusies .....	- 1 -
2.	3DAS .....	- 5 -
3.	CONTRAM .....	- 7 -
4.	DYNDART .....	- 9 -
5.	HWYSIM .....	- 11 -
6.	INTEGRATION .....	- 13 -
7.	METANET .....	- 15 -
8.	SATURN .....	- 17 -
9.	FLEXSYT .....	- 19 -
10.	FOSIM .....	- 21 -
11.	FREQ .....	- 23 -
12.	INTRAS .....	- 25 -
13.	MIXIC .....	- 27 -
14.	Literatuur .....	- 29 -





# 1. Inleiding en conclusies

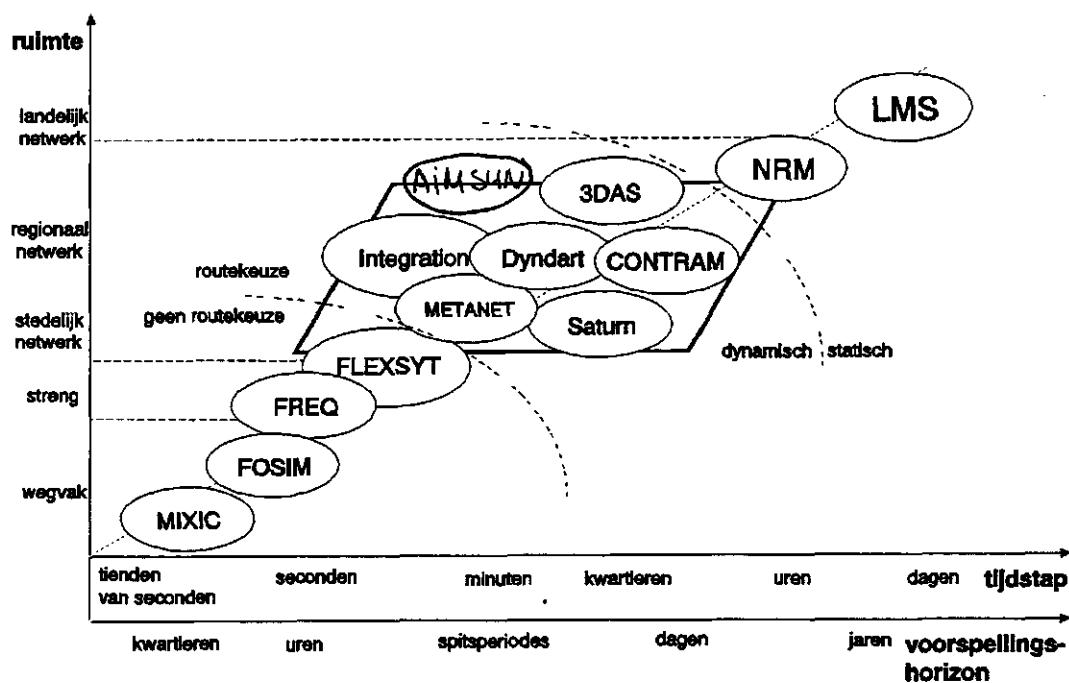
## 1.1. Inleiding

Bij de Adviesdienst Verkeer en Vervoer (afdeling IBD) en Regionale Directies van Rijkswaterstaat en bij veel adviesbureaus wordt gebruik gemaakt van computerprogramma's die de verkeersafwikkeling op autosnelwegen en het onderliggende wegennet simuleren ten behoeve van de evaluatie van benuttingsmaatregelen, zoals bijvoorbeeld toeritdosering en routegeleiding. Er worden echter steeds meer modellen en programma's ontwikkeld, die deze simulaties uitvoeren. De verscheidenheid in de gebruikte modelleringen van het verkeer en de toepassingen die deze modellen hebben, neemt toe, zodat de onduidelijkheid op dit gebied steeds groter wordt. Zo ontstond de behoefte enkele van deze modellen en de bijbehorende programma's te evalueren, met name op het punt van de concrete toepassingen.

Een eerdere versie van dit rapport (juli 1991, kenmerk CR 91066) bevatte de resultaten van een eerste evaluatie, die de programma's METANET, FREQ, SIMAUT, CONTRAM, SATURN, INTRAS en het Dynamic Network Model betrof. Deze werden bekeken op de punten werking, invoer, uitvoer en toepassingen.

Door de toename van het aantal modellen en programma's waarmee de effecten van bepaalde benuttingsmaatregelen gesimuleerd kunnen worden en de verdere ontwikkeling van de bestaande modellen die al besproken zijn, was een nieuwe versie van genoemd rapport noodzakelijk.

Dit rapport beschrijft een veertiental toedelings- en simulatiemodellen op de punten werking, invoer, uitvoer en toepassingen. Het betreft de hierboven genoemde modellen, uitgebreid met de modellen DYNDART, FLEXYST, FOSIM, HWYSIM, INTEGRATION en MIXIC.



Modellen ingedeeld naar ruimte en tijd



In het rapport is een onderscheid gemaakt tussen modellen en programma's met toedeling (nodig voor de simulatie van routekeuze) en zonder toedeling. Modellen en programma's met toedeling zijn: 3DAS (in vorige rapport Dynamic Network Model), CONTRAM, DYNDART, HWYSIM, INTEGRATION, METANET en SATURN. INTEGRATION en METANET zijn strikt genomen geen toedelingsmodellen, maar bezitten wel toedelingseigenschappen, zodat deze er wel bij horen. Modellen en programma's zonder toedeling zijn: FLEXSYT, FOSIM, FREQ, INTRAS en MIXIC. Een andere indeling die gemaakt kan worden, is de indeling naar tijd (rekeneenheid en voorspellingshorizon) en ruimte (grootte van het netwerk). Indien we de modellen op die manier indelen, krijgen we de figuur op de vorige bladzijde (met dank aan Stef Smulders).

Hoofdstuk 2 tot en met 8 beschrijft de toedelingsmodellen en in de resterende hoofdstukken worden de overige modellen besproken. Tevens is een uitgebreide literatuurlijst opgenomen van zowel toepassingen als over het model zelf.

## 1.2. Conclusies

Een overzicht van de belangrijkste eigenschappen en toepassingen van de verschillende modellen is te vinden in onderstaande tabel.

	eigenschappen				verkeersmanagement toepassingen					
	beschikbaar?	modelniveau	routekeuze	netwerk	VRI's	toeritdosering	SDG-stroken	routegeleiding	incident management	AICC
3DAS	nee	macroscopisch	toedeling	regionaal	nee	ja*	nee	nee	nee	nee
CONTRAM	ja	mesoscopisch	toedeling	stedelijk	ja*	ja*	nee	ja**	ja**	nee
DYNDART	nee	mesoscopisch	toedeling	autosnelweg	nee	nee	ja	ja	ja	ja***
HWYSIM	nee	macroscopisch	toedeling	regionaal	nee	nee	nee	ja	nee	nee
INTEGRATION	ja	microscopisch	per knooppunt	stedelijk+ autosnelweg	ja*	ja*	nee	ja	ja	nee
METANET	nee	macroscopisch	per knooppunt	autosnelweg	nee	ja	nee	ja	ja	nee
SATURN	ja	macroscopisch	toedeling	stedelijk+ autosnelweg	ja*	ja*	nee	ja	nee	nee
FLEXSYT	ja	microscopisch	geen	stedelijk+ autosnelweg	ja	ja	ja	nee	nee	nee
FOSIM	ja	microscopisch	geen	autosnelweg (streng)	nee	ja	nee	nee	nee	nee
FREQ	ja	macroscopisch	gedeeltelijk	autosnelweg (streng)	nee	ja	ja	gedeeltelijk	nee	nee
INTRAS	ja	microscopisch	gedeeltelijk	stedelijk+ autosnelweg	ja*	ja	nee	gedeeltelijk	ja	nee
MIXIC	nee	microscopisch	geen	autosnelweg (streng)	nee	nee	nee	nee	nee	ja

Tabel: eigenschappen en toepassingen van de modellen  
 (\* alleen als starre verkeerslichtenregeling of beperking capaciteit)  
 (\*\* research versies)  
 (\*\*\*) alleen in combinatie met MIXIC)



De eerste eigenschap is de beschikbaarheid van het model, dat wil zeggen kun het model gekocht en zo gebruikt worden. Een tweede eigenschap is het modelniveau, dat wil zeggen dat of verkeersstromen (macroscopisch) of pakketten voertuigen (mesoscopisch) of individuele voertuigen (microscopisch) gemodelleerd worden. Een andere belangrijke eigenschap is de modellering van de routekeuze (anders dan door de gebruiker gespecificeerd) die in het model zit. Dat kan een iteratieve toedeling zijn, een keuze per knooppunt, een gedeeltelijke toedeling (keuze tussen hoofdrijbaan of parallelle route) of geen routekeuze. De laatste eigenschap betreft het netwerk. Sommige modellen zijn bedoeld voor grootschalige netwerken (regionaal), andere voor wat kleinere netwerken, maar waarbij wel zowel autosnelwegen als het onderliggend wegennet gesimuleerd kan worden en andere modellen zijn weer alleen geschikt voor stedelijke netwerken of netwerken van autosnelwegen. De belangrijkste toepassingen zijn verkeerslichtenregelingen, toeritdosering, stroken voor bepaalde doelgroepen (SDG-stroken), routegeleiding (routeinformatiepanelen en in-car routeinformatie), incident management en AICC.

Geconcludeerd kan worden dat het moeilijk blijkt te zijn de autosnelwegen en het onderliggende wegennet in één model te beschrijven. De meeste programma's zijn slechts voor één van beide wegennetten geschikt. Een positieve uitzondering hierop vormen INTEGRATION, SATURN, FLEXXSYT en INTRAS.

Ten tweede kan men concluderen dat de modellen nogal verschillende toepassingen kennen. Er is geen model dat geschikt is voor alle hier genoemde toepassingen. Globaal kan men stellen dat voor verkeerslichtenregelingen de modellen CONTRAM, INTEGRATION, SATURN en FLEXXSYT gebruikt kunnen worden en dat voor toeritdosering 3DAS, CONTRAM, INTEGRATION, METANET, SATURN, FLEXXSYT, FOSIM, FREQ en INTRAS geschikt zijn. Verder kunnen voor de simulatie routegeleiding DYNDART, HWYSIM, INTEGRATION, METANET en soms FREQ en INTRAS gebruikt worden. Voor wat betreft incident management springen DYNDART, INTEGRATION, METANET, en INTRAS eruit, terwijl alleen MIXIC de effecten van AICC kan bepalen. Het zal van de toepassing en het studiegebied afhangen, welk model het meest geschikt is.







## 2. 3DAS

### 2.1. Inleiding

Het 3DAS toedelingsmodel is gebaseerd op het werk van professor R. Hamerslag en is in het kader van een promotieonderzoek ontwikkeld aan de TU Delft. Het is een dynamisch toedelingsmodel geschikt voor korte termijn voorspellingen van de verkeersafwikkeling voor netwerken. Het model maakt niet alleen een toedeling in de ruimte, maar ook in de tijd, hetgeen betekent dat bij het zoeken naar kortste routes ook naar de vertrektijd gekeken wordt.

### 2.2. Werking

Het model is een macroscopisch toedelingsmodel, dat uit drie componenten bestaat: een berekening van de reistijden in het netwerk, een alles-of-niets toedeling in de tijd en het combineren van iteratieslagen. De alles-of-niets toedeling in de tijd zoekt eerst de kortste routes in het netwerk en deelt vervolgens per oorsprong en per periode het verkeer toe aan het netwerk. Deze drie componenten worden na elkaar doorlopen, totdat een stopcriterium is bereikt.

De reistijd wordt voor elke link berekend op basis van een snelheid-dichtheid functie, in plaats van een reistijd-intensiteit functie die vaak gebruikt wordt in andere modellen. Het gebruik van dichtheid als verklarende verkeersparameter heeft als voordeel dat ook de afwikkeling bij congestie goed gemodelleerd wordt, iets wat bij een reistijd-intensiteit functie niet goed mogelijk is. Een aanname die gedaan wordt bij deze berekeningen, is dat de verkeerscondities op de gehele link hetzelfde zijn.

Voor het berekenen van de kortste routes wordt de simulatieperiode verdeeld in intervallen van gelijke lengte. De berekeningen worden gemaakt aan de hand van de aankomsttijden in de knooppunten van het pad. Daaruit worden trajectorieën samengesteld die de kortste paden van herkomst naar bestemming representeren. Vervolgens wordt het verkeer aan het netwerk (de kortste routes) toegedeeld aan de hand van een HB-matrix. Het beste zou zijn indien voor elk interval een HB-matrix beschikbaar was. Dat is meestal niet zo. Daarom wordt de HB-matrix per interval bepaald uit een globale HB-matrix en een vertrektijdfunctie, die per interval aangeeft welk percentage verkeer in dat interval vertrekt. Voor de toedeling worden twee aannames gedaan: alle reizigers zijn goed geïnformeerd over de toestand in het netwerk en houden rekening met toekomstige congestie en alle reizigers kiezen de route met de minste kosten (in dit model de reistijd). Er zijn verschillende manieren van toedelen mogelijk (o.a. evenwichts- en stochastische toedeling).

Tenslotte worden de uitkomsten van een iteratie gecombineerd met uitkomsten van eerdere iteraties en wordt gekeken naar het stopcriterium. Het stopcriterium is bereikt indien de berekende reistijden van de huidige iteratie overeenkomen met de reistijden uit de vorige iteratie.

### 2.3. Invoer

De basisinvoer bestaat uit het netwerk en een HB-matrix. Het netwerk is verdeeld in links en knooppunten. Elke link heeft een aantal karakteristieken, zoals lengte, aantal rijstroken, maximum snelheid, maximale dichtheid en snelheid-dichtheid functie. Sommige karakteristieken zijn constant, zoals de lengte, andere kan per interval opgegeven worden, zoals het aantal rijstroken.

Per interval is een HB-matrix nodig. Deze kunnen worden afgeleid uit een globale HB-matrix en een vertrektijdfunctie. De vertrektijdfunctie kan bijvoorbeeld uit tellingen worden afgeleid.



## **2.4. Uitvoer**

Per link kan uitvoer verkregen worden over het verloop van de intensiteit, snelheid en dichtheid. Verder kan per traject het verloop van de reistijd bekeken worden. Overzicht over het gehele netwerk of een deel daarvan kan grafisch gepresenteerd worden. Met kleuren of grijs tinten kan dan bijvoorbeeld de intensiteit worden weergegeven. Een bepaalde kleur of grijs tint staat dan voor lage intensiteit en een andere voor hoge intensiteit.

## **2.5. Toepassingen**

Het model is geschikt voor planningsdoeleinden, zoals de toevoeging van een nieuwe weg aan het netwerk, maar ook voor het bestuderen van de korte termijn effecten op de routekeuze van verkeersbeheersingsmaatregelen, zoals toeritdosering, waarbij toeritdosering als een capaciteitsbeperking wordt geïmplementeerd. Gezien het detailniveau is het model het meest geschikt voor grote netwerken.

Het model is in Nederland toegepast op de ringweg rond Amsterdam.

Literatuur toepassingen: [1]

## **2.6. Opmerkingen**

- De convergentie naar een stabiel evenwicht is niet bewezen.
- Het model is (nog) niet beschikbaar voor andere gebruikers.

Literatuur modellen: [3], [7], [8], [9] en [10].



### 3. CONTRAM

#### 3.1. Inleiding

CONTinuous-TRaffic-Assignment-Model is een verkeerstoedelingsmodel, ontwikkeld door het Transport Research Laboratory in Engeland. Het berekent de routes die voertuigen nemen, de verkeersstromen en de lengte van optredende files aan de hand van het verkeersaanbod. CONTRAM is met name bedoeld voor stedelijke netwerken. Er wordt nog steeds gewerkt aan een aanpassing van het model (CONTRAM-6), waarmee ook incident management en routegeleiding bestudeerd kunnen worden en dat tevens geschikt is voor autosnelwegen.

#### 3.2. Werking

CONTRAM is semi-microscopisch: het gebruikt bij het toedelen groepjes voertuigen (zogenaamde 'packets'). Het model beperkt zich tot het toedelen van packets aan het netwerk. Eerst wordt voor een packet zijn kortste (tijd of kosten) route berekend, door voor elk packet bij te houden op welk tijdstip het elke link van zijn actuele route binnenrijdt, waarna het aan die route toegedeeld wordt. Vervolgens wordt het volgende packet genomen, opnieuw de kortste route berekend en het packet toegedeeld. Zodoende wordt de route van een packet pas bepaald op het moment dat het packet aan de beurt is, zodat de packets na elkaar vertrekken en dus niet overal gelijktijdig op de route aanwezig zijn. Pseudo-congestie wordt zo vermeden en er wordt een beter model van de opbouw en afbraak van een file en de daarmee gepaard gaande verliestijd verkregen. Bovendien wordt bij het toedelen rekening gehouden met een zekere voorkennis van de toestand van het netwerk op een bepaald tijdstip. Bijvoorbeeld, als een weggebruiker vertrekt om 7:00 uur, is een bepaalde route nog congestievrij, maar hij weet dat om 7:30 uur ergens op die route een file zal staan, zodat een andere route gekozen wordt. Dit is mogelijk doordat de toedeling iteratief gebeurt. In elke iteratieslag wordt telkens random een packet uit het netwerk gehaald, worden de reistijden bijgewerkt en wordt het packet opnieuw toegedeeld, net zo lang tot een evenwicht bereikt is. Om de effecten van bepaalde maatregelen te kunnen bestuderen, kunnen verschillende stuurvariabelen gebruikt worden, namelijk de capaciteit van kruispunten en schakels, de verkeerslichtenregelingen, het openstellen van wegen voor bepaalde voertuigtypen, het aangeven van vaste routes voor voertuigtypen en het aanpassen van de rijtijd per schakel.

#### 3.3. Invoer

Het netwerk dient zeer uitgebreid ingevoerd te worden, evenals de voertuiginformatie. Er kunnen drie typen voertuigen onderscheiden worden. Verder zijn er een aantal simulatiecontroleparameters nodig en een set HB-matrices (per voertuigtype, per relatie, per tijdsinterval). Versie 5 van CONTRAM heeft de mogelijkheid autosnelwegen in samenhang met het onderliggende wegennet te bestuderen. Daarvoor is nodig om snelheid-intensiteit relaties te specificeren.

#### 3.4. Uitvoer

De uitvoer wordt per schakel en over het hele netwerk op packet-niveau verstrekt. Per schakel zijn de volgende gegevens beschikbaar:



- de filelengte aan het begin en eind van een tijdsinterval
- het aanbod van voertuigen per type en per tijdsinterval
- de vrije opstelruimte
- de verhouding intensiteit-capaciteit
- de reistijd per voertuigtype
- de afgelegde afstand per voertuigtype
- de gemiddelde snelheid
- gegevens van de verkeerslichten

Verder worden een aantal globale totalen getoond, zoals de totale reistijd, de totaal afgelegde afstand en het totale brandstofverbruik. Deze gegevens worden per voertuigtype gegeven.

### 3.5. Toepassingen

Het CONTRAM-model is te gebruiken om de effecten van bepaalde beheersingsmaatregelen, met betrekking tot verkeerslichtenregelingen (alleen starre regelingen), en toeritdosering (als starre verkeerslichtenregeling) op de routekeuze te analyseren, met name voor stedelijke netwerken.

In de loop van de tijd zijn er een aantal research versies van CONTRAM ontwikkeld, te weten CONTRAM-I, waarmee incident management bestudeerd kan worden, RG-CONTRAM en ROGUS (ROute GUIDance Simulation), die gebruikt kunnen worden om de effecten van dynamische routegeleiding te bepalen en MCONTRAM, dat geschikt is voor het bestuderen van verkeersbeheersingsmaatregelen op autosnelwegen.

De bedoeling is de mogelijkheden van deze research versies te combineren in een nieuwe versie van CONTRAM, maar deze versie is nog niet beschikbaar.

In Nederland is het model verschillende malen toegepast.

Literatuur toepassingen: [2], [3], [4] en [5]

### 3.6. Opmerkingen

- Een evenwichtstoedeling kan niet gegarandeerd worden.
- Doordat een koppeling met TRANSYT (zie hoofdstuk 14) mogelijk is, kan, in een iteratief proces tussen CONTRAM en TRANSYT, de optimale instelling van de verkeerslichtenregelingen in een netwerk berekend worden.
- CONTRAM kent ook nog een mogelijkheid om met behulp van tellingen en routes een HB-matrix te schatten.
- Met behulp van een grafische shell kan de invoer op een gebruikersvriendelijke manier gespecificeerd worden en de uitvoer bekeken worden.

Literatuur modellen: [1], [2], [3], [4], [5], [6] en [11]



## 4. DYNDART

### 4.1. Inleiding

Het dynamische toedelingsmodel DYNDART is ontwikkeld door TNO. DYNDART is niet echt een afkorting, maar is een samenvoeging van **DYN**amisch en **DARTS** (Development of Advanced Road Transport Strategies), een beleidsruimte project van TNO. Het is een macroscopisch toedelingsmodel gebaseerd op de todelingstechniek van CONTRAM, dat gebruikt is voor de simulatie van wisselbewegwijzering en dynamische routeinformatie panelen. Er wordt gewerkt aan een tweede versie die meer mogelijkheden heeft, zoals de simulatie van intelligent cruise control, dynamische routeinformatie, routegeleiding en stroken voor doelgroepen. In de volgende paragrafen worden de werking, invoer, uitvoer en toepassingen beschreven van versie 2.

### 4.2. Werking

DYNDART hanteert dezelfde todelingstechniek als CONTRAM. Dat wil zeggen dat de todeling met een iteratief proces gebeurt. In een eerste run wordt voor elk groepje de kortste route in termen van reistijd berekend, rekening houdend met eerder toegedeelde voertuigen, en wordt dat groepje voertuigen aan het netwerk toegedeeld. Als alle voertuigen zijn toegedeeld, wordt random een groepje voertuigen uit het netwerk gehaald en opnieuw toegedeeld, rekening houdend met de actuele omstandigheden in het netwerk. Dat wordt gedaan totdat een evenwichtstoedeling is bereikt, uitgaande van een gebruikersoptimum. Vervolgens worden de door de gebruiker opgegeven beheersingsmaatregelen geëffectueerd en wordt het verkeer opnieuw toegedeeld, net zolang totdat routes niet meer wijzigen.

Voor het bepalen van de kortste route en de reistijd worden, in tegenstelling tot CONTRAM, bekende algoritmen en formules uit de verkeersstromen theorie gebruikt. Het netwerk bestaat uit links en knooppunten. Het linkmodel is gebaseerd op de dichtheid en houdt rekening met congestie. Het knooppuntenmodel berekent de reistijd in knooppunten, rekening houdend met afremvertraging, optrekverlies en het geblokkeerd zijn van stroomafwaartse links.

### 4.3. Invoer

Voor het model is uitgebreide invoer nodig. In de eerste plaats zijn dat het netwerk en het verkeersaanbod. Voor het netwerk moeten de topologie en linkparameters, zoals de capaciteit, het aantal rijstroken, etc. worden gespecificeerd. Het verkeersaanbod moet voor elk tijdsinterval binnen de simulatieperiode, voor elke HB-relatie en voor elk voertuigtype worden opgegeven. In de tweede plaats zijn dat simulatieparameters, zoals de duur van de simulatie, de lengte van een tijdsinterval, weerfactor (wel of geen regen), grootte van de groepjes voertuigen, plaats en duur van incidenten en blokkades en optimalisatieparameters. Als laatste moet de gebruiker parameters invoeren die te maken hebben met de verkeersbeheersingsmaatregelen die gesimuleerd moeten worden. Voorbeelden hiervan zijn de locatie van routeinformatie panelen, het percentage gebruikers dat het routeinformatie advies opvolgt en de omleidingsfactor die bepaald bij welke hoeveelheid vertraging voertuigen een andere route zullen kiezen.



#### 4.4. Uitvoer

De uitvoer bestaat uit overzichten van reistijden, verkeersafwikkeling op links, congestie, milieueffecten, zoals geluid en emissies en verkeersveiligheidsindicatoren. Dat alles wordt op een grafische manier gepresenteerd.

#### 4.5. Toepassingen

DYNDART kan worden gebruikt om de effecten op de routekeuze te bepalen van routeinformatiepanelen, in-car routeinformatiesystemen, intelligent cruise control, SDG-stroken, incident management en combinaties van deze verkeersbeheersingsmaatregelen. Voor volgende versie wordt gedacht aan het inbouwen van toeritdosering en signalering.

De eerste versie van DYNDART is gebruikt voor een onderzoek naar routeinformatie op de ringweg rond Amsterdam. De tweede versie zal worden gebruikt voor een studie van het hoofdwegennet rond Arnhem en een studie naar de effecten van ICC (Intelligent Cruise Control). Dat laatste gebeurt in combinatie met MIXIC (zie hoofdstuk 13).

Literatuur toepassingen: [6]

#### 4.6. Opmerkingen

- Het model is nog in ontwikkeling en kan dus nog niet direct gebruikt worden. DYNDART vormt samen met MIXIC een microscopisch/macroscopisch modelsysteem.
- Voor de invoer van het netwerk en de HB-matrices kan gebruik gemaakt worden van een interface met de APPLICATOR, een programma behorend bij het Nieuw Regionaal Model, dat gebruikt wordt om netwerken grafisch te specificeren en te wijzigen.

Literatuur modellen: [5], [6], [12] en [13]



## 5. HWYSIM

### 5.1. Inleiding

Het dynamische toedelingsprogramma HWYSIM (HighWaY SIMulator) is in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer ontwikkeld door Hague Consulting Group. Het programma is bedoeld voor de simulatie van in-car routegeleiding. Het programma kan alleen gebruikt worden als onderdeel van het MINUTP transport planningspakket.

### 5.2. Werking

In het model wordt een onderscheid gemaakt tussen reizen (trips) zonder routegeleiding en reizen met routegeleiding. Verder wordt het begrip 'informatieperiode' toegepast. Een informatieperiode correspondeert met het interval waarop reizigers worden geïnformeerd door de in-car routegeleidingssystemen. Indien een informatieperiode langer is dan één minuut, wordt deze opgedeeld in simulatiestappen van een minuut.

De toedeling gebeurt in twee stappen. In de eerste stap worden historische paden door het network gezocht. Dat gebeurt op basis van een toedeling met vrije reistijd. Daarna wordt een deel opnieuw toegedeeld, rekening houdend met het toegedeelde verkeer en dat gebeurt drie keer, zodat totaal voor elke HB-relatie en elke informatieperiode vier paden met minimale kosten gevonden worden.

In de tweede stap worden de reizen met en zonder routegeleiding gezamenlijk toegedeeld. Bij de reizen zonder routegeleiding gebeurt dat aan de hand van de eerder bepaalde historische paden en zonder rekening te houden met actuele omstandigheden. Voor de reizen met routegeleiding wordt na elke informatieperiode nieuwe paden berekend, rekening houdend met de actuele verkeersomstandigheden. Dat houdt in dat reizigers die al vertrokken zijn, een andere route kunnen kiezen dan bij vertrek was bepaald en dat reizigers die nog moeten vertrekken ook een andere route kunnen kiezen.

Minimale paden worden berekend met de weerstand op een link, die meestal bestaat uit de reistijd. Weerstanden kunnen op twee manieren bepaald worden: op basis van dichtheid (aantal voertuigen) en op basis van snelheid-intensiteit relaties.

### 5.3. Invoer

Globaal moeten er in het model drie zaken ingevoerd worden: het network, twee HB-matrices en vertrektijdencurves. Het network moet het MINUTP formaat hebben en bestaat uit links en knooppunten. Voor elke link moeten items als lengte, type, aantal rijstroken, vrije reistijd, snelheidsklasse en capaciteitsklasse opgegeven worden. Verder moet het network in zones worden opgedeeld. De twee HB-matrices betreffen het aantal reizen met en zonder routegeleiding van zone naar zone voor de gehele te simuleren periode. Met de vertrektijdencurves kan dan aangegeven worden welke percentage reizen binnen welke simulatiepakket vertrekt. Op deze manier kan bijvoorbeeld het spitsverloop gemodelleerd worden.

Verder moeten nog een aantal algemene simulatieparameters gespecificeerd worden, zoals de duur van de simulatie, de methode waarmee minimale paden worden berekend, de gewenste uitvoer en locatie en duur van incidenten.





#### 5.4. Uitvoer

Omdat HWYSIM onder MINUTP werkt, kan met bepaalde modules van dat pakket de uitvoer worden bekeken en geanalyseerd. De volgende uitvoer wordt geproduceerd:

- een lijst van paden van zone naar zone voor reizen met en zonder routegeleiding, uitgesplitst naar vertrektijd
- voor elke link en elk simulatiepakketje een overzicht van de gereisde voertuigkilometers en voertuiguren, het aantal reizen met en zonder routegeleiding, de berekende reistijd en het aantal voertuigen in de wachtrij
- voor elk simulatiepakketje een overzicht van de reizen met en zonder routegeleiding die nog moeten beginnen, die ondernomen worden en die al beëindigd zijn
- voor een nader te specificeren tijdsperiode en voor elk simulatiepakketje binnen die periode informatie over het aantal reizen zonder routegeleiding, de gemiddelde reistijd en afgelegde afstand voor die reizen, het aantal reizen met routegeleiding, de gemiddelde reistijd en afgelegde afstand voor die reizen en de herkomsten en bestemmingen van reizen met routegeleiding voor bepaalde links

Met deze gegevens is het mogelijk globale netwerk indicatoren, zoals de gemiddelde snelheid, de totaal afgelegde afstand en de totaal gereisde uren te berekenen.

#### 5.5. Toepassingen

Het HWYSIM model is geschikt om de effecten van in-car routegeleidingssystemen te simuleren en dat, gezien het detailniveau, met name voor grootschalige netwerken.

Het model is toegepast in een studie naar de effecten van in-car reisinformatie in de regio rond Amsterdam.

Literatuur toepassingen: [7]

#### 5.6. Opmerkingen

- De bepaling van de reistijd gebeurt alleen op linkniveau, de vertraging als gevolg van interactie tussen links in knooppunten lijkt niet te worden meegenomen.
- De toedeling gebeurt met vier iteraties. Een evenwichtstoedeling kan daarom niet gegarandeerd worden.
- Een nadeel is dat HWYSIM niet los van MINUTP gebruikt kan worden, maar dat is tegelijk een voordeel omdat nu gebruikt kan worden gemaakt van de gebruikersinterface van MINUTP.
- Het model wordt niet verder onderhouden.

Literatuur modellen: [14] en [15]



## 6. INTEGRATION

### 6.1. Inleiding

Het Canadese INTEGRATION programma is ontwikkeld door een team onder leiding van Michael Van Aerde. Het is een toedelings- en simulatieprogramma ineen, waarbij voertuigen door het netwerk bewegen en de kortste route zoeken, met behulp van vooraf bekende of real-time informatie over reistijden. Met dit microscopische model kunnen verschillende toepassingen gesimuleerd worden, bijvoorbeeld SDG-stroken, in-car routegeleiding, tolpleinen en toeritdosering.

### 6.2. Werking

De kern van INTEGRATION is een microscopisch simulatiemodel dat individuele voertuigen door het netwerk beweegt, dat uit knooppunten en links bestaat. Op basis van dynamische HB-matrices worden voertuigen de eerste link van hun route binnen gelaten. De snelheid waarmee een voertuig over een link rijdt, is afhankelijk van een voor die link specifieke volgformule, dat wil zeggen een formule die aangeeft hoe het ene voertuig achter het andere aanrijdt. Deze formule volgt uit de macroscopische relaties tussen intensiteit, snelheid en dichtheid. Op de link zelf rijdt het voertuig in een bepaalde rijstrook. Rijstrookwisselingen worden toegepast om in te halen of indien dat noodzakelijk is om een bepaalde route te volgen. Een volgende link mag binnengereden worden indien er voldoende plaats is, er geen eventueel conflicterend verkeer is en indien (bij geregelde links) het verkeerslicht op groen staat.

Voor de toedeling veronderstelt INTEGRATION een initiële toedeling, bestaande uit de kortste routes van herkomst naar bestemming. Dit wordt aan het begin van de simulatie berekend of kan door de gebruiker worden ingevoerd. Tijdens de simulatie worden na een bepaald tijdsinterval de kortste routes opnieuw berekend. INTEGRATION kent verschillende klassen voertuigen die voor het kiezen van een route verschillend gebruik maken van de beschikbare informatie. Er zijn normale voertuigen. Deze baseren hun route op de vrije rijdsnelheid die voor elke link gespecificeerd is, of op ingevoerde reistijden per link en per tijdsperiode (b.v. historisch bekende informatie) of op de kortste routes die met een ander programma, buiten INTEGRATION om, berekend zijn. Er is ook een klasse voertuigen die toegang heeft tot de actuele kortste routes en deze voertuigen kunnen hun route dus onderweg aanpassen. Dit kan voor elk knooppunt (in-car routegeleiding) of bepaalde knooppunten (b.v. dynamische routeinformatie). Een derde klasse voertuigen gebruikt zowel de real-time informatie als de historische informatie, terwijl een vierde klasse voertuigen het Amerikaanse in-car routegeleidingssysteem TravTek volgen. Als laatste is er nog een speciale doelgroep voertuigklasse. In INTEGRATION kunnen ook verkeerslichtenregelingen gespecificeerd worden. Dat betekent dat dus ook stedelijke netwerken in de simulatie meegenomen kunnen worden. De regelingen zijn star, maar kunnen gedurende de simulatie gevarieerd worden. INTEGRATION kent ook de mogelijkheid om de regeling automatisch te laten optimaliseren. Verder kunnen aan het einde van een link incidenten gemodelleerd worden. Daarbij wordt een deel van de beschikbare capaciteit geblokkeerd gedurende een bepaalde tijd.

### 6.3. Invoer

De invoer van het programma bestaat uit een zestal bestanden. Het eerste bestand bevat de simulatieparameters, zoals de duur van de simulatie, het tijdsinterval voor de uitvoer en de locatie



en namen van de invoer- en uitvoerbestanden. In het tweede bestand worden de gegevens voor de knooppunten, zoals de nummers, de coördinaten en de beschikbaarheid van routeinformatie, gespecificeerd, terwijl het derde bestand de gegevens voor de links bevat. De linkgegevens bestaan uit de verbindingen met andere links, de lengte, de basiscapaciteit, parameters voor het basisdiagram en parameters om aan te geven of het een geregelde, danwel ongeregelde link met voorrang-sconflicten is.

Het vierde bestand beschrijft de verkeerslichtenregeling voor de geregelde kruispunten, door middel van de minimale en maximale cyclustijd, de starttijd van de groenfase voor een richting, het aantal fases, de effectieve groentijd en verliestijd en de frequentie waarmee de tijden voor de richting worden geoptimaliseerd. De laatste twee bestanden bevatten de HB-matrix en de incidenten. De HB-matrix bestaat uit een herkomst en een bestemming, het aantal voertuigen voor die relatie, de mate van stochastiek in de vertrektijd, de tijdsperiode voor deze specifieke belasting en de verdeling over de voertuigtypen, waaronder de probe voertuigen. Incidenten worden gespecificeerd met een locatie, een duur en de invloed op de capaciteit. Als optie is het mogelijk een invoerbestand te specificeren met daarin de locatie en werking van detectoren.

#### 6.4. Uitvoer

De uitvoer wordt op twee manieren gepresenteerd: op het scherm en in bestanden. Op het scherm kan het verloop van de simulatie gevolgd worden. Het netwerk en de voertuigen die daardoor rijden worden op het scherm afgebeeld, hetgeen voor controle en presentatiedoeleinden zeer handig is. De uitvoerbestanden bestaan uit een errorbestand, waarin fouten die gedurende het inlezen van de invoerfiles of de simulatie gedetecteerd worden, worden opgeslagen, een bestand met gedetailleerde informatie (bijvoorbeeld van links of van probe voertuigen) en globale informatie (netwerkindicatoren) en een bestand met de netwerkuitvoer nog eens samengevat. Optioneel kunnen daarbij ook nog eens allerlei uitvoerbestanden met gedetailleerde informatie over o.a. routes en de uitvoer van de detectoren gegenereerd worden.

#### 6.5. Toepassingen

Doordat zowel netwerken van autosnelwegen als stedelijke netwerken gesimuleerd kunnen worden, kan het model met name gebruikt worden voor de effecten op de routekeuze van bepaalde maatregelen met interactie tussen hoofdwegennet en onderliggend wegennet. Deze maatregelen zijn toeritdosering, in-car routegeleiding, routeinformatie en incident management. Toeritdosering wordt geïmplementeerd als een starre verkeerslichtenregeling.

Het model is voor zowel kleine als grote netwerken verschillende malen toegepast. Voorbeelden zijn een studie rond 's-Hertogenbosch en een studie naar de effecten van een inhaalverbod vrachtverkeer op de A12.

Literatuur toepassingen: [8] en [9]

#### 6.6. Opmerkingen

- De toedeling gebeurt gedurende de simulatie en kent maar één iteratie. Er wordt dus geen evenwicht tussen toedeling en verkeersafwikkeling bereikt.

Literatuur modellen: [2], [16], [17]



## 7. METANET

### 7.1. Inleiding

Het macroscopische simulatieprogramma *Modèle-d'Écoulement-du-Trafic-sur Autoroute*(NET) werd ontwikkeld in het kader van het DRIVE-project "CHRISTIANE" (V 1035) door de TU München en INRETS en simuleert de verkeersafwikkeling op netwerken van autosnelwegen, met toe- en afritten.

### 7.2. Werking

METANET werkt met een knooppunt- en een linkmodel. Het knooppuntmodel is gebaseerd op een continuïteitsvergelijking en een toedeling. Het linkmodel is een macroscopisch, deterministisch stromingsmodel.

Na de indeling van het netwerk in knooppunten en links en van de links in segmenten, worden voor elk segment de dichtheid, de gemiddelde snelheid, de intensiteit en het basisdiagram van de snelheid als functie van de dichtheid berekend. Daarbij wordt rekening gehouden met invoegend verkeer en de effecten van afstoppingen. Deze berekeningen worden na elke tijdstap, gedurende de opgegeven simulatiehorizon, uitgevoerd.

In de knooppunten wordt het verkeer over de verschillende uitgangen verdeeld volgens de opgegeven verhoudingen. Het programma heeft ook een controleoptie waarmee deze verhoudingen berekend worden door middel van een bepaalde controlestrategie. Daarmee kunnen de effecten van routegeleiding geanalyseerd worden.

### 7.3. Invoer

In de berekeningen wordt gebruik gemaakt van model-specifieke parameters. Deze moeten vooraf gespecificeerd worden, evenals een aantal controleparameters (zoals de simulatiehorizon en -tijdstap), de netwerk- en initialisatiedata.

Voor wat betreft verkeersgegevens kan volstaan worden met het invoeren van de intensiteit bij elke ingang van het netwerk (inclusief toeritten) en bij elke knoop de bestemmingspercentages. Voor een meer nauwkeurige simulatie kunnen de gemiddelde snelheid en de dichtheid bij de belangrijkste ingangen en de intensiteiten bij de afritten hieraan toegevoegd worden. Het is mogelijk de data op één of meerdere tijdstippen of per tijdstap in te voeren.

Het model kent twee simulatiemogelijkheden: met een HB-matrix en zonder een HB-matrix. Indien een HB-matrix opgegeven wordt, moeten ook de splitsingspercentages van specifieke knooppunten opgegeven worden. Indien geen HB-matrix aanwezig is, moeten de splitsingspercentages in alle knooppunten gespecificeerd worden.

### 7.4. Uitvoer

Voor elk segment worden de dichtheid, gemiddelde snelheid, intensiteit en samenstelling met betrekking tot de verschillende bestemmingen voor elke tijdstap gegeven. Verder wordt een aantal globale waarden berekend voor het hele netwerk en over de simulatiehorizon, zoals de totale reistijd, de totale wachttijd, de totale afgelegde afstand en het totale benzineverbruik.



De uitvoer kan met behulp van METAGRAF grafisch gepresenteerd en geplot worden, zowel in netwerkoverzichten als in grafieken.

### 7.5. Toepassingen

METANET simuleert alleen de verkeersafwikkeling in netwerken van autosnelwegen. Onderliggende of stedelijke netwerken met kruisingen en verkeerslichten kunnen niet gesimuleerd worden. Wel is het programma recent aangepast om toeritdosering te kunnen simuleren.

Met de controleoptie kunnen de effecten van routegeleiding, door middel van variable-message-signs, en incident management doorgerekend worden. De resultaten hiervan en de resultaten van een simulatie run waarbij de controleoptie niet gebruikt wordt, kunnen met behulp van METAGRAF vergeleken worden.

Het model is toegepast om regelstrategieën voor gecoördineerde toeritdosering op de A10-West te testen en in te regelen.

Literatuur toepassingen: [10]

### 7.6. Opmerkingen

- Het is niet duidelijk welk optimalisatiecriterium in de controleoptie gebruikt wordt om de splitsingspercentages in de knooppunten te berekenen. Ook is niet duidelijk hoe het programma omgaat met de opvolgingsgraden, dat wil zeggen de percentages weggebruikers, die gegeven adviezen opvolgen.
- Het model is sterk afhankelijk van de kritische dichtheid en de vrije doorstromingssnelheid. Deze parameters moeten dan ook nauwkeurig ingesteld worden. Verder is een schatting van specifieke verkeersparameters noodzakelijk.
- Doordat geen routes aan voertuigen worden gekoppeld, kan het bij de simulatie van routegeleiding gebeuren dat het model een onrealistisch "terugrijden" van verkeer simuleert.
- Het invoeren van alle gegevens gaat bijzonder gemakkelijk en flexibel en de simulaties vragen geen lange rekentijden.

Literatuur modellen: [3], [5], [6], [18], [19] en [20].



## 8. SATURN

### 8.1. Inleiding

Het Simulation-and-Assignment-of-Traffic-to-Urban-Road-Networks programma werd ontwikkeld in het Institute for Transportation Studies aan de Universiteit van Leeds. Het is evenals CONTRAM bedoeld voor de analyse en evaluatie van verkeersbeheersingsmaatregelen.

Doordat in SATURN het netwerk in twee schaalniveaus gepresenteerd kan worden, is het mogelijk combinaties van autosnelwegen en stedelijke netwerken te bestuderen.

### 8.2. Werking

In tegenstelling tot CONTRAM bestaat SATURN uit een simulatie- en een toedelingsmodel. In het macroscopische simulatiemodel worden de verliestijden voor elk type kruispunt per afslagbeweging berekend, afhankelijk van de vraag. Hiervoor worden twee aannames gedaan: het patroon van de verkeersstromen is constant over een bepaalde periode en de stromen vertonen een cyclisch gedrag bij verkeerslichten, omdat er gewerkt wordt met een gemeenschappelijke cyclustijd.

De basis van de simulatie wordt gevormd door het gedrag van het verkeer dat een bepaald punt gepasseerd is, als functie van de tijd over een enkele cyclus, de zogenaamde Cyclic Flow Profiles. Het simulatiemodel bestaat uit een aantal routines om de CFP's te bewerken. Iedere afslagbeweging op een knooppunt heeft vier CFP's: het IN-, het ARRIVE-, het ACCEPT- en het OUT-patroon.

Het ARRIVE-patroon wordt berekend uit het IN-patroon aan de hand van peloton-diffusie. Het ACCEPT-patroon wordt onafhankelijk berekend uit kruispuntcapaciteiten, groentijden en conflicterend verkeer. Het OUT-patroon wordt bepaald uit het ARRIVE- en ACCEPT-patroon en dient als IN-patroon voor een volgende kruising, waardoor het verkeer dus door het netwerk 'beweegt'. Het berekenen van de patronen gebeurt iteratief, totdat er convergentie optreedt.

Vervolgens wordt met het toedelingsmodel het verkeer aan zijn kortste (voor wat betreft tijd) route toegedeeld. Voor de toedeling zijn er verschillende mogelijkheden beschikbaar: een alles-of-niets toedeling, zoals die ook in de statische toedelingsmodellen gebruikt wordt, een evenwichtstoedeling of een stochastische toedeling (netwerkoptimum of gebruikersoptimum).

De evenwichtstoedeling gaat uit van de aannames dat de reizigers goed geïnformeerd zijn over de kwaliteit van het wegennet, dat alle reizigers de kosten van een route op dezelfde wijze waarderen en dat de kosten van een route afhankelijk zijn van de belasting. De toedeling zelf gaat volgens het eerste principe van Wardrop: de reistijden van de gebruikte routes zijn kleiner dan die van de ongebruikte routes.

Daarna worden met het simulatiemodel opnieuw de verliestijden berekend en wordt het verkeer opnieuw toegedeeld, totdat een stabiele oplossing verkregen is.

Ook in SATURN zijn er verschillende stuurvariabelen om verkeersbeheersingsmaatregelen te evalueren, zoals de capaciteit van kruispunten (per afslagbeweging) en schakels en de verkeerslichtenregeling op de kruispunten.

### 8.3. Invoer

De invoer van het netwerk dient bijzonder gedetailleerd te gebeuren evenals de invoer van de HB-matrices, aangezien het model sterk gevoelig is voor deze gegevens. Er kunnen slechts twee



voertuigtypen onderscheiden worden; het vrachtverkeer wordt niet afzonderlijk bekeken. De HB-matrix kan tijdsafhankelijk ingevoerd worden.

#### 8.4. Uitvoer

De uitvoer is uitgebreid. Er worden diverse globale kwaliteitscriteria gegeven, zoals de totaal afgelegde afstand, de totale reistijd, de wachttijd, het aantal stops, het brandstofgebruik, de gemiddelde snelheid en de gemiddelde reistijd. Verder is er gedetailleerde informatie per kruispunt en afslagbeweging beschikbaar en kunnen er plots van het netwerk gemaakt worden.

#### 8.5. Toepassingen

SATURN kent dezelfde toepassingen als CONTRAM, te weten het analyseren van de effecten van bepaalde maatregelen op de routekeuze en de verkeersstromen in het netwerk. Deze maatregelen worden bij SATURN echter beperkt tot het optimaliseren van de stuurvariabelen en dat maakt het model alleen geschikt voor toeritdosering, zij het dat deze alleen als starre verkeerslichtenregelingen geïmplementeerd kunnen worden.

Toepassingen in Nederland betreffen studies naar de effecten van toeritdosering op de ringweg rond Amsterdam en een studie naar de verkeersafwikkeling in en rond de stad Groningen.

Literatuur toepassingen: [11], [12] en [13]

#### 8.6. Opmerkingen

- Er is een procedure aan het programma toegevoegd die een HB-matrix kan schatten. Voldoende nauwkeurigheid wordt echter niet gegarandeerd.
- Het voordeel van SATURN is, dat door het gebruik van een simulatiemodel de vertraging op kruispunten en ten gevolge van congestie nauwkeurig berekend worden.
- Nadelen zijn de generatie van pseudo-congestie, dat wil zeggen dat verplaatsingen niet over de tijdsintervallen heen overgedragen worden, maar alleen in de vorm van vaste belastingen. Verder wordt voorkennis, omtrent optredende congestie, niet meegenomen in de routekeuze.

Literatuur modellen: [1], [2], [3] en [21].



## 9. FLEXSYT

### 9.1. Inleiding

FLEXSYT (FLEXible traffic network Simulation studY Tool) is een microscopisch simulatieprogramma voor kleinschalige netwerken. De ontwikkeling van FLEXSYT werd in de zeventiger jaren begonnen door Frans Middelham en in de tijd daarna is de ontwikkeling door de Adviesdienst Verkeer en Vervoer overgenomen, resulterend in het programma FLEXSYT-II-. Het model is geschikt voor allerlei studies op het gebied van verkeersmanagement, doordat het programma het verkeer simuleert op een microscopische schaal en er vele mogelijkheden zijn om de werkelijkheid na te bootsen, zowel wat betreft het netwerk als de toe te passen regelingen.

### 9.2. Werking

Het netwerk van FLEXSYT-II- bestaat uit verschillende lagen: kruispunten, armen en segmenten. Er zijn twee types segmenten: gewone en internode segmenten. Gewone segmenten zijn stukjes weg met een breedte van één rijstrook. Ze hebben verschillende attributen waarmee de verkeersafwikkeling beïnvloed kan worden, zoals lengte, capaciteit, wenssnelheid, stopstrepen, detectoren, haltes voor openbaar vervoer, etc. Voertuigen kunnen op deze segmenten niet inhalen, behalve op overgangen. Internode segmenten hebben dezelfde attributen, maar hebben ook meerdere rijstroken en voertuigen kunnen daarop dus wel inhalen. Het voertuigmodel op deze segmenten is echter veel simpeler dan op gewone segmenten en deze zijn dan ook bedoeld om bijvoorbeeld afstanden tussen kruispunten te overbruggen.

De individuele voertuigen worden door generatoren aan de rand van het netwerk gegenereerd en daarna door het netwerk gereden. Routes kunnen door de gebruiker worden gespecificeerd of worden bepaald aan de hand van HB-matrices die per kruispunt moeten worden opgegeven. Elk voertuig heeft bepaalde eigenschappen, zoals type (acht verschillende types: personenwagen, lichte vrachtwagen, zware vrachtwagen, bus, tram, fietser, voetganger, carpoolvoertuig), lengte, acceleratie- en deceleratievermogen en maximum snelheid. Doordat elk voertuig ook een unieke bestuurdersparameter heeft, reageert elk voertuig in de simulatie op een andere manier, zowel op de objecten van de regeling (stopstrepen, detectoren), de objecten van het netwerk (haltes, ongeregelde conflicten, etc.) als op andere voertuigen.

Regelingen in FLEXSYT moet de gebruiker zelf specificeren. Deze regelingen volgen de formuletaal FLEXCOL-76-, die de gebruiker de vrijheid geeft elk denkbare regeling te implementeren, dus niet alleen kruispuntregelingen, maar ook regelingen voor toeritdosering, tolpleinen, etc.

Een simulatie bestaat uit een aantal subruns. Binnen deze subruns kan het aanbod gevarieerd worden, zodat bijvoorbeeld een spitsperiode gesimuleerd kan worden.

### 9.3. Invoer

De invoer voor FLEXSYT-II- bestaat uit een viertal bestanden: de MANDAT, de CONDAT, de NETDAT en de SIMDAT datasets. In de MANDAT dataset wordt de filosofie van de gebruikte regeling gespecificeerd, dat wil zeggen de namen van de gebruikte elementen en verzamelingen van een regeling. Ook de op te stellen afhandelingsvoorwaarden op netwerk-, regelaar- en signaalgroep-niveau worden hier geformuleerd. In de CONDAT dataset staan de invoergegevens van de verkeersregeling van de te onderzoeken regelvariant van het te onderzoeken probleem. De





NETDAT dataset bevat de invoergegevens zoals de verkeersintensiteiten, een beschrijving van de civieltechnische structuur en de ligging van stopstrepen, detectoren, bushaltes en no-queueing zones van de te onderzoeken netwerkvariant. In de SIMDAT dataset tenslotte staan de simulatieparameters, zoals het aantal subruns, welke uitvoer gewenst wordt, de random startwaarde, welke voertuigkarakteristieken gebruikt moeten worden, de duur van een subrun, etc.

#### 9.4. Uitvoer

De uitvoer bestaan eveneens uit vier bestanden. De inhoud van het eerste bestand bestaat uit een overzicht van de toestand van de regeling per seconde. De gebruiker kan de inhoud van dit bestand helemaal zelf bepalen. Het tweede bestand (optioneel) bevat een log van elke gebeurtenis (event) dat in de regeling is voorgekomen. Dit bestand is met name nuttig indien een regeling getest en gecontroleerd moet worden. Het derde bestand bevat de toestand van het netwerk aan het einde van de laatste subrun of indien de simulatie is vastgelopen. Daarmee kan de simulatie hervat worden of kan de oorzaak van het vastlopen achterhaald worden. Het vierde bestand tenslotte bevat de verkeerskundige resultaten van de simulatie en bestaat uit tabellen met daarin de resultaten van de regeling, van elk segment, wachtrijen voor stopstrepen, verliestijden van stopstreep naar stopstreep, verliestijden van een ingang naar een uitgang van elke kruispunt, netwerktotalen en milieueffecten, zoals brandstofverbruik en uitstoot van schadelijke stoffen.

#### 9.5. Toepassingen

FLEXSYT-II- kan gebruikt worden om de effecten van elk type kruispuntregeling te bestuderen, zoals starre, voertuigafhankelijke en verkeersafhankelijke regelingen. Maar ook andere verkeersbeheersingsmaatregelen, waarbij regelingen gebruikt worden, kunnen worden gesimuleerd. Hierbij moet gedacht worden aan toeritdosering, rijbaandosering, tolpleinen, carpoolstroken, wisselstroken, etc.

In Nederland wordt FLEXSYT veelvuldig in allerlei onderzoeken toegepast. Voorbeelden zijn toeritdosering op de A10-West. Recente toepassingen zijn een onderzoek naar een vrachstrook op de A16 en een studie naar de verkeersafwikkeling op de nieuwe ECT-terminal.

Literatuur toepassingen: [14], [15] en [16]

#### 9.6. Opmerkingen

- Het programma kende in het verleden een koppeling met de Rijkswaterstaat C-regelaar, een programma om kruispuntregelingen gebaseerd op de Basisstructuur van Rijkswaterstaat te ontwerpen en te testen. Deze koppeling wordt voor FLEXSYT-II- opnieuw tot stand gebracht met het programma FLASH (FLEXSYT Application Shell). FLASH is een grafische, windows georiënteerde gebruikersomgeving waarmee netwerken gebouwd en simulatie gedraaid kunnen worden.
- Momenteel wordt het model gevalideerd. De uitkomsten daarvan worden begin 1997 verwacht.

Literatuur modellen: [1], [4], [5], [6] en [22]



## 10. FOSIM

### 10.1. Inleiding

Het Freeway Operations **S**IMulation programma is een microscopisch simulatieprogramma dat in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer door de Technische Universiteit Delft werd ontwikkeld op-basis van het INTRAS model. Het programma is bedoeld om wegontwerpen door te rekenen en de capaciteit daarvan te bepalen. Daarnaast kunnen ook werk-in-uitvoeringssituaties en bepaalde benuttingsmaatregelen gesimuleerd worden. Het model is alleen geschikt voor autosnelwegen, inclusief toe- en afritten.

### 10.2. Werking

FOSIM is een microscopisch simulatieprogramma dat voor elke tijdstip de positie, snelheid en versnelling voor elk voertuig berekend. Het gedrag van een voertuig wordt bepaald door zijn wenssnelheid indien er geen andere, langzamere voertuigen zijn of door zijn voorganger indien deze wel langzamer is. FOSIM is dus een volgmodel, dat de volgafstand berekend op basis van de snelheid van het voertuig dat volgt en afremt op basis van het verschil tussen de snelheden van het leidende voertuig en het voertuig dat volgt. Daarbij wordt met een anticipatietijd, dat wil zeggen de tijd die een bestuurder vooruit kijkt, en de reactietijd rekening gehouden. Verder zitten er in het programma een aantal modellen die strookwisselingen en daarmee inhalen en weven mogelijk maken.

Het netwerk bestaat uit een stuk snelweg met geen, één of meerdere toe- en afritten. Een wegvak wordt verdeeld in rijstroken, fysieke secties en strooksecties. Fysieke secties zijn delen met een constant dwarsprofiel. Strooksecties zijn gedeelten waarop gewenste of verplichte strookwisselingen kunnen plaatsvinden. In het netwerk kunnen detectoren gelegd worden, die intensiteit, snelheid en dichtheid meten. Verder is het mogelijk stopstrepen neer te leggen, die met behulp van de FLEXCOL-76- formuletaal voor verkeersregelingen gemanipuleerd kunnen worden.

De voertuigen komen stroomopwaarts het wegvak binnen volgens een tijdsafhankelijke HB-matrix waarbij de herkomsten en bestemmingen de rijstroken zijn. Er kunnen daarbij acht verschillende voertuigtypen gedefinieerd worden.

### 10.3. Invoer

De invoer bestaat uit de wegvakconfiguratie, de voertuigkarakteristieken, de simulatieparameters, de intensiteiten, de HB-matrix en eventueel de verkeersregeling. Voor de wegvakconfiguratie moeten zaken zoals de lengte van het wegvak, het aantal rijstroken, de fysieke secties, locaties waar strookwisselingen moeten plaatsvinden, locaties van detectoren, etc. ingevoerd worden. De voertuigen worden gekenmerkt door hun lengte, wenssnelheid, volgfactoren, maximale acceleratie en deceleratie, etc. Deze aspecten moeten dan ook gespecificeerd worden. De simulatieinstellingen betreffen de duur van een tijdstap, de random startwaarde, de duur van de simulatie en de tijdstippen waarop bepaalde uitvoer geproduceerd moet worden. De intensiteiten betreffen het intensiteitsverloop in de tijd en de verdeling daarvan over de voertuigtypen. Voor de HB-matrix moet van rijstrook naar rijstrook de procentuele verdeling opgegeven worden. Voor de regeling tenslotte zijn zaken als de locatie van de stopstreep, de geeltijd, het gedrag van voertuigen nabij de verkeerslichten, de locatie van de detectoren en de specificatie van de uitvoer van belang.



#### **10.4. Uitvoer**

De uitvoer kan zowel direct op het scherm als opgeslagen in bestanden bekeken worden. Op het scherm ziet men de voertuigen rijden en wordt detectorinformatie gepresenteerd. Verder kan met de in een bepaald bestand opgeslagen informatie direct na een simulatie opvragen. Het betreft dan het intensiteits- en snelheidsverloop en de basisdiagrammen. Verder worden in bestanden informatie over voertuigen, strookwisselingen en passages over detectoren opgeslagen.

#### **10.5. Toepassingen**

FOSIM is bedoeld om de effecten van bepaalde wegontwerpen, zoals toe- en afritten, weefvakken, etc. door te rekenen, met name het effect op de capaciteit. Daarnaast is het ook geschikt om de effecten van situatie met werk-in-uitvoering te simuleren en tevens bepaalde benuttingsmaatregelen, zoals toeritdosering en rijbaandosering.

FOSIM is in een aantal studies toegepast. Voorbeelden zijn werk in uitvoering en het bepalen van de capaciteit van weefvakken.

Literatuur toepassingen: [17] en [18]

#### **10.6. Opmerkingen**

- Het model wordt momenteel voor een aantal situaties gevalideerd. De resultaten van deze validatie worden eind 1996 verwacht. Reeds eerder werd geconcludeerd dat FOSIM voor bepaalde weefvakken goede resultaten gaf.

Literatuur modellen: [5], [6], [26] en [27]



## 11. FREQ

### 11.1. Inleiding

Het **FRE**eway-Queueing model is ontwikkeld aan de universiteit van Californië en is bedoeld om de verkeersafwikkeling op autosnelwegen en hun toe- en afritten te simuleren en te optimaliseren. Met het programma is het ook mogelijk de effecten van de groei van het verkeer op de verkeersafwikkeling te voorspellen en sinds kort bestaat de mogelijkheid de effecten van HOV-rijstroken (High Occupancy Vehicles) te analyseren.

### 11.2. Werking

FREQ is een macroscopisch, deterministisch stromingsmodel dat uit twee delen bestaat: een simulatie- en een optimalisatiemodel. Na het invoeren van alle benodigde gegevens kan het simulatieprogramma gestart worden. Het simulatieprogramma berekent de verkeersafwikkeling als functie van het vraagpatroon en de geometrie van het netwerk, volgens de methode van de Highway Capacity Manual. Daartoe voert het programma de volgende stappen uit:

- detectie en berekening van filevorming op de invoegstrook
- detectie en berekening van filevorming op de hoofdrijbaan als gevolg van het invoegen
- herberekening van de capaciteit van de hoofdrijbaan als gevolg van weven
- berekening van de verkeersafwikkeling op de hoofdrijbaan (lengte van files, rijnsnelheid, snelheid van schokgolven, enz)
- detectie en berekening van filevorming op de uitvoegstrook

Afhankelijk van de resultaten van het simulatieprogramma kan het optimalisatieprogramma gebruikt worden om de optimale doseerintensiteit op de toeritten te bepalen. Dit kan gebeuren volgens één van de vier volgende optimalisatiecriteria:

- maximalisatie van het aantal op de autosnelweg toe te laten voertuigen
- maximalisatie van het aantal voertuigkilometers op een traject van de autosnelweg
- maximalisatie van het aantal op de autosnelweg toe te laten personen
- maximalisatie van het aantal personenkilometers op een traject van de autosnelweg

Vervolgens kunnen de effecten van de optimale doseerstrategie weer doorgerekend worden met het simulatiemodel. HOV-rijstroken worden in het programma altijd gemodelleerd als een extra rijstrook aan de linkerzijde van de rijbaan.

### 11.3. Invoer

Naast de gebruikelijke controleparameters en netwerkinformatie heeft FREQ een aantal specifieke invoergegevens nodig, zoals:

- een HB-matrix (per tijdsinterval)
- de bezettingsgraad van de voertuigen bij elke af- en toerit (per tijdsinterval)
- het aandeel van het vrachtverkeer



Het programma berekent de capaciteit van een sectie van de weg met behulp van een snelheid-capaciteit curve. Deze curven kunnen gespecificeerd en tezamen met een ontwerpsnelheid van de sectie ingevoerd worden.

Om de effecten van verkeersgroei op de verkeersafwikkeling te voorspellen dient een groeipercen-tage gegeven te worden.

#### 11.4. Uitvoer

De uitvoer bestaat uit een gedetailleerd overzicht van de verkeersafwikkeling van zowel voor als na de optimalisatie en het waardebereik van een aantal variabelen gedurende de simulatie, zoals de gemiddelde snelheid, de dichtheid, de lengte van de files, de benuttingsgraad, het brandstofverbruik en de emissie van uitlaatgassen. Deze waarden kunnen als globale kwaliteitscriteria gebruikt worden.

Verder kan een overzicht verkregen worden van de optimale doseerintensiteiten die door het optimalisatieprogramma berekend zijn.

#### 11.5. Toepassingen

FREQ is geschikt voor toeritdosering en de daarmee samenhangende optimalisering van de verkeersafwikkeling. Door het ontbreken van de modellering van kruispunten en verkeerslichten is het niet mogelijk stedelijke netwerken te analyseren. Wel is het mogelijk de effecten van de verkeersgroei te voorspellen en de effecten van het gebruik van HOV-rijstroken te analyseren. FREQ kent bovendien een beperkte mogelijkheid het routekeuzegedrag van weggebruikers te simuleren. Echter, alleen voor wegen die parallel lopen met de autosnelweg.

In Nederland is het model o.a. toegepast om de effecten van toeritdosering en een carpoolstrook op de A12 te simuleren.

Literatuur toepassingen: [19]

#### 11.6. Opmerkingen

- De vijf stappen in het simulatiemodel worden sequentieel doorlopen, hetgeen betekent dat de uitkomsten van bepaalde berekeningen niet meer van invloed zijn op voorgaande berekeningen, terwijl in werkelijkheid deze uitkomsten elkaar wel onderling zullen beïnvloeden. Het lijkt daarom beter deze berekeningen iteratief uit te voeren.
- Een gevolg van het doseren op de toeritten kan zijn dat het vraagpatroon verandert. Inzicht in de aard van deze veranderingen is noodzakelijk voor een goed gebruik van het model.

Literatuur modellen: [1], [2], [3], [23] en [24]



## 12. INTRAS

### 12.1. Inleiding

Het **IN**tegrated-**TRA**ffic-**S**imulation programma werd voor de Federal Highway Administration in de Verenigde Staten ontwikkeld. Het programma simuleert de verkeersafwikkeling en evalueert de effecten van verkeersmanagement maatregelen op die afwikkeling voor een netwerk van autosnelwegen in samenhang met het onderliggende netwerk. Het is met name bedoeld voor incident management.

### 12.2. Werking

Het netwerk is opgebouwd uit links and knooppunten. Er zijn verschillende typen links, met elk hun eigen eigenschappen, om het netwerk te bouwen. Zo zijn er bijvoorbeeld links voor het onderliggend wegennet, links voor autosnelwegen en links voor toeritten. Kruispunten kunnen geregeld worden met een starre regeling om met de bekende voorrangsregelingen. Ook toeritten kunnen geregeld worden. Het programma gebruikt een microscopisch, stochastisch model dat voor elke tijdstap individuele voertuigen door het netwerk beweegt, volgens hun eigen karakteristieken, hun gewenste snelheid en bestemming. Het voert te ver om hier uitgebreid op in te gaan, maar een enkel detail is illustratief. Zo worden rechtsafslaande voertuigen op een kruispunt eerst vertraagd, voordat de beweging gemaakt wordt en wachten voertuigen, totdat een hiaat in de tegengestelde verkeersstroom groot genoeg is om linksaf te kunnen slaan.

INTRAS kent uitgebreide mogelijkheden om incidenten te simuleren, om voertuigen te detecteren (radar, detectielussen) en om het verkeer op de toeritten te regelen. Verder is er een mogelijkheid om verkeer van de snelweg naar een parallelle route te sturen. Dat kan de gebruiker zelf doen of hij kan het aan het programma overlaten om kortste routes te berekenen.

### 12.3. Invoer

De invoer voor dit programma is uitgebreid en gedetailleerd. HB-matrices, het netwerk met veel gegevens over de schakels, de kruispunten, de verkeerslichtenregelingen op die kruispunten, enz, veel gegevens over de simulatie zelf en over de gewenste subroutines die gebruikt kunnen worden (bijvoorbeeld een subroutine die het brandstofverbruik berekent en een subroutine die ongevallen tracht te detecteren): het dient allemaal ingevoerd te worden. Dit alles maakt de verzorging van de invoer geen eenvoudige zaak.

### 12.4. Uitvoer

Wat voor de invoer gold, geldt ook voor de uitvoer: uitgebreid en gedetailleerd. De uitvoergegevens betreffen de controle op de invoer, de simulatie zelf, het brandstofverbruik, statistieken, detectie van ongevallen en grafische mogelijkheden.



### **12.5. Toepassingen**

INTRAS werd ontwikkeld voor incident detectie en het regelen van het autosnelwegverkeer en daar is het programma dan ook uitermate geschikt voor, aangezien het verschillende algoritmen en controlestrategieën kent om de mogelijkheden te analyseren. Doordat het programma netwerken met autosnelwegen en onderliggende wegen simuleert, is het geschikt voor toeritdosering.

In Nederland zijn geen toepassingen bekend.

### **12.6. Opmerkingen**

- INTRAS is een in Nederland onbekend programma, dat recent toch weer enkele toepassingen in de VS kende. Het voertuigmodel van INTRAS heeft als basis gediend voor het voertuigmodel van FOSIM.

Literatuur modellen: [2], [3] en [25]



## 13. MIXIC

### 13.1. Inleiding

In opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer is door TNO het **MIC**roscopic Model for Simulation of Intelligent Cruise Control (MIXIC) ontwikkeld. Dit model simuleert op voertuig-niveau de effecten van autonomous intelligent cruise control (AICC) op de verkeersafwikkeling op autosnelweg trajecten.

### 13.2. Werking

Momenteel is MIXIC alleen bedoeld voor autosnelweg trajecten zonder toe- of afritten. Wel kunnen afstoppingen gesimuleerd worden. Deze netwerken zijn opgebouwd uit links en knooppunten. Het linkmodel is zeer gedetailleerd waarbij zelfs rekening wordt gehouden met wegcondities en weersomstandigheden. Voertuigen worden aan het begin van het traject door gegevens in een bestand gegenereerd. Dit bestand kan voertuigmetingen bevatten en geeft dus een realistisch beeld van het verkeersaanbod. Het verkeersmodel van MIXIC bestaat uit een bestuurders- en een voertuigmodel. Voor het bestuurdersmodel, berekent MIXIC op elke tijdstap voor elk voertuig de positie van het gaspedaal, de kracht op het rempedaal, de positie van de koppeling en de versnelling, waarmee de gewenste acceleratie of deceleratie en wenssnelheid bereikt worden. Daarbij wordt met de verschillende reactietijden rekening gehouden. Omdat het model bedoeld is om de effecten van AICC te bepalen, zijn ook de interacties van de bestuurder met het AICC systeem gemodelleerd. Het voertuigmodel beschrijft het gedrag van het voertuig als het resultaat van het gedrag van de bestuurder en de omgeving. Het berekent de acceleratie van een voertuig op basis van de krachten die op het voertuig werken, zoals de rolweerstand en de aandrijfkraft. De acceleratie wordt weer gebruikt om de nieuwe positie en snelheid te berekenen. Het AICC systeem is uitgerust met een sensor om de volgafstand en de relatieve snelheid ten opzicht van de voorganger te bepalen. Het kent twee functies: snelheidsregeling en afstandsregeling. Bij snelheidsregeling probeert het systeem het voertuig met een bepaalde snelheid te laten rijden en bij afstandsregeling probeert het systeem het voertuig een bepaalde volgafstand te laten aanhouden.

### 13.3. Invoer

De invoer bestaat allereerst uit parameters die het verloop van de simulatie beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld de duur van de simulatie, de grootte van de tijdstap, de kritische volgafstand, het maximale aantal trips en parameters die bepalen een schokgolf definiëren. Verder moet het snelwegtraject gedefinieerd worden, waarbij zaken als de lengte van een link, het aantal rijstroken, de wegconditie, windomstandigheden en locatie van meetpunten gespecificeerd kunnen worden. Voor de voertuigspecificatie zijn twintig voertuigcategorieën beschikbaar. Deze categorieën worden gedefinieerd met parameters als lengte, aantal versnellingen (of automatisch), motorvermogen, weerstandscoefficienten en de fractie voertuigen uitgerust met AICC. Tevens kunnen 20 bestuurderstypen gespecificeerd worden. Deze typen worden gedefinieerd door wenssnelheid, reactietijden (bijvoorbeeld voor schakelen en rempedaal indrukken) en wensacceleratie en -deceleratie. Verder moet nog het verkeersaanbod en AICC parameters (maximale pelotongrootte, ICC snelheid en volgtijden) opgegeven worden.





#### **13.4. Uitvoer**

Op het scherm kan de simulatie gevolgd worden. Verder produceert MIXIC een uitvoerbestand die met een apart programma bewerkt kan worden en waar gedetailleerde gegevens over intensiteit, snelheid, dichtheid, reistijd, aantal schokgolven en volgtijden per voertuigtype en per meetpunt in opgeslagen zijn.

#### **13.5. Toepassingen**

Het simulatieprogramma MIXIC is speciaal bedoeld voor de simulatie van de effecten van AICC op de verkeersafwikkeling. Het programma is dan ook toegepast om de effecten daarvan te bepalen.

Literatuur toepassingen: [20]

#### **13.6. Opmerkingen**

- MIXIC vormt samen met DYNDART een microscopisch/macrosopisch modelsysteem.

Literatuur modellen: [5], [6], [28] en [29]



## 14. Literatuur

### 14.1. Toepassingen

- [1] *A Dynamic Traffic Assignment Model, Theory and Applications*, E. de Romph, proefschrift, TU Delft, juli 1994
- [2] *Brandstofverbruik en verkeerscirculatie*, NEA, september 1985
- [3] *Verkeersbeheersing Arnhem, Effectbepaling d.m.v. CONTRAM; Deel 1: Modelbouw 1991 en 2000*, Heidemij Advies, rapport in opdracht van de Directie Gelderland en Gemeente Arnhem, januari 1994
- [4] *Verkeersbeheersing Arnhem, Effectbepaling d.m.v. CONTRAM; Deel 2: Beoordeling Nulsituatie 2000, Rechtsafhypothese en Stadsranddosering*, Heidemij Advies, rapport in opdracht van de Directie Oost-Nederland en Gemeente Arnhem, oktober 1995
- [5] *Functie en maatregelen Pleyroute, Effecten van Pley-scenario's op de Pleyroute en het omliggende wegennet*, Transpute en Bureau Goudappel Coffeng, rapport in opdracht van de Directie Oost-Nederland, Provincie Gelderland en Gemeente Arnhem, oktober 1995
- [6] *Informatieverschaffing op de Ringweg Amsterdam*, M.J.M. van der Vlist, TNO-INRO, rapport in opdracht van de Dienst Verkeerskunde, december 1991
- [7] *Impacts of Dynamic Travel Information - The Wegwijs Case Study: Model Application*, Hague Consulting Group, rapport in opdracht van de Dienst Verkeerskunde, september 1992
- [8] *Effecten van toeritdosering op de A2 rondweg 's-Hertogenbosch*, M. Bais, afstudeerverslag NHTV, mei 1996
- [9] *Haalbaarheidsstudie benuttingsmaatregelen A12 zuidbaan Gouda-Nieuwerbrug*, Bureau Goudappel Coffeng, rapport in opdracht van de Directie Zuid-Holland, oktober 1995
- [10] *Design and Simulation Test of Coordinated Ramp Metering Control (METALINE) for A10-West in Amsterdam*, rapport voor het DRIVE-II EUROCOR project, september 1994
- [11] *Verkeersbeheersing Amsterdam*, Dienst Verkeerskunde, december 1987
- [12] *Analyse effect toeritdosering A10-West met behulp van SATURN*, AGV, rapport in opdracht van de Directie Noord-Holland, januari 1993
- [13] *SATURN-model Groningen A7-ZRG*, Hofstra Verkeersadviseurs, rapport in opdracht van de Directie Noord-Nederland, november 1995
- [14] *FLEXSYT-studie A10-West (S102 en S105)*, H. Taale, Dienst Verkeerskunde, december 1992
- [15] *Vrachtstrook A16: Simulatiestudie naar de effecten van een vrachtstrook tussen 's Graven-deel en de Moerdijkbrug*, Grontmij, rapport in opdracht van de Directie Zuid-Holland, 1995



- [16] *Verkeerskundestudie ITT-weg hoofdas schiereiland ECT*, Goudappel Coffing, rapport in opdracht van de ECT, maart 1996
- [17] *Werk in uitvoering op autosnelwegen: microsimulatie van de verkeersafwikkeling*, J.G. Nelis, H. Schuurman, R.G.M.M. Vermijs en D. Westland, afstudeerverslag, TU Delft, 1991
- [18] *Simulatie Verkeersbeheersingsmaatregelen Kethelplein*, H. Schuurman en R.G.M.M. Vermijs, TU Delft, rapport in opdracht van de Directie Zuid-Holland, december 1994
- [19] *Benuttingsstudie Rijksweg 12 Gouda-Den Haag*, Heidemij Advies, rapport in opdracht van de Directie Zuid-Holland, augustus 1992
- [20] *An assessment of the impact of Autonomous Intelligent Cruise Control*, TNO-INRO, rapport in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, maart 1996

#### 14.2. Modellen

- [1] *State of the Art Simulatie en Toedelingsmodellen*, L.H. Immers, rapport in opdracht van de Dienst Verkeerskunde, december 1985
- [2] *Traffic Modelling to Evaluate Potential Benefits of Advanced Traffic Management and In-Vehicle Information Systems in a Freeway/Arterial Corridor*, Y. Gardes and A. May, PATH report, June 1990
- [3] *Simulatieprogramma's voor Autosnelwegen en Stedelijke Netwerken*, H. Taale, Dienst Verkeerskunde, juli 1991
- [4] *Proceedings of the Workshop on Traffic Related Simulation*, PROMETHEUS Office, Stuttgart, December 1992
- [5] *Assessment of 24 European Traffic Models, Volume 1: Synthesis*, INRETS, report for PROMETHEUS PRO-GEN, June 1995
- [6] *Assessment of 24 European Traffic Models, Volume 1: Completed Questionnaires*, INRETS, report for PROMETHEUS PRO-GEN, June 1995
- [7] *3DAS - 3-Dimensional ASsignment - A Dynamic Assignment Model for Short Term Predictions*, E. de Romph, H.J.M. van Grol and R. Hamerslag, paper for the 39th North American Meeting of the Regional Science Association International, Chicago, November 1992.
- [8] *A Dynamic Assignment Model for Advanced Traffic Management Systems*, E. de Romph, H.J.M. van Grol and R. Hamerslag, July 1993
- [9] *Application of 3DAS (3-Dimensional ASsignment) in the Washington Metropolitan Area*, E. de Romph, H.J.M. van Grol and R. Hamerslag, 73rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, January 1994
- [10] *A Dynamic Traffic Assignment Model, Theory and Applications*, E. de Romph, proefschrift, TU Delft, juli 1994



- [11] *CONTRAM: Structure of the Model*, D.R. Leonard, P. Gower and N.B. Taylor, TRRL Research Report 178, 1989
- [12] *Specification of the Intelligent Traffic Systems Macroscopic Traffic Model DYNDART2 (version 1.0)*, B. van Arem, TNO-INRO, June 1994
- [13] *System Design DYNDART 2.0 (including supplement)*, L.A.M. van der Helm and C.R. Tarnai, TNO-INRO, December 1994
- [14] *Impacts of Dynamic Travel Information - The Wegwijs Case Study: Model Development*, Hague Consulting Group, rapport in opdracht van de Dienst Verkeerskunde, 1991
- [15] *Impacts of Dynamic Travel Information - The Wegwijs Case Study: Model Application*, Hague Consulting Group, rapport in opdracht van de Dienst Verkeerskunde, september 1992
- [16] *INTEGRATION Release 2: User Guide*, M. Van Aerde, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, December 1995
- [17] *INTEGRATION, A Critique*, S. Yagar, Proceedings of the Advanced Traffic Management Conference, St. Petersburg, Florida, October 1993
- [18] *Software for Traffic Flow Modelling on Linear Motorway: META & SIMAUT*, Deliverable N° 4, DRIVE project N° V 1035: 'CHRISTIANE', oktober 1990
- [19] *Preliminary Theoretical Results (Network Modelling and Control)*, Deliverable N° 6, DRIVE project N° V 1035: 'CHRISTIANE', december 1989
- [20] *METANET, A Simulation Program for Motorway Networks: Documentation*, Deliverable N° 10, DRIVE project N° V 1035: 'CHRISTIANE', november 1990
- [21] *SATURN Handleiding*, J.H.F. van Grunsven, J.E. Kouwenberg, Afstudeerverslag VAT, Tilburg, mei 1985
- [22] *FLEXSYT-II, manual*, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, januari 1994
- [23] *FREQ8PE, A Freeway Corridor Simulation and Ramp Metering Optimization Model*, T. Imada and A.D. May, Institute of Transportation Studies, University of California, June 1985
- [24] *Demand Estimation, Benefit Assessment, and Evaluation of On-Freeway High Occupancy Vehicle Lanes*, D.A. Scapinakis, L. Leiman, M. Bouaouina and A.D. May, Institute of Transportation Studies, University of California, August 1990
- [25] *Development and Testing of INTRAS, A Microscopic Freeway Simulation Model, User's Manual*, Federal Highway Administration, October 1980
- [26] *Het mikrosimulatiemodel FOSIM, Beschrijving van het computerprogramma*, R.G.M.M. Vermijs, TU Delft, rapport in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, Juli 1992
- [27] *Het mikrosimulatiemodel FOSIM, Gebruikershandleiding*, R.G.M.M. Vermijs, TU Delft, rapport in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, juli 1992



- [28] *The microscopic traffic simulation model MIXIC 1.2*, B. van Arem, J.H. Hogema en C.H. Verheul, TNO-INRO en TNO-TM, rapport in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, maart 1996
- [29] *User Manual of MIXIC 1.2*, G.F. Zegwaard en B. van Arem, TNO-INRO, rapport in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer, november 1995

