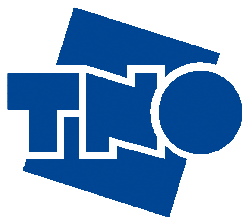


**Ex ante evaluatie van de invloed van infrastructuurmaatregelen op
de effecten van incidenten**



Delft, 21 januari 2009

Michiel Muller
studienummer 1156993
michiel.muller@tno.nl

Afstudeercommissie

Prof. dr. H.J. van Zuylen	Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek & Geowetenschappen, Sectie Transport & Planning
Dr. ir. J.H. Baggen	Technische Universiteit Delft, Faculteit Techniek, Bestuur & Management, Sectie Transport en Logistieke Organisatie
Drs. V.L. Knoop	Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek & Geowetenschappen, Sectie Transport & Planning
Drs. M. Snelder	TNO Bouw en Ondergrond, business unit Mobiliteit en Logistiek

Voorwoord

Dit rapport is mijn afstudeerwerk voor de masteropleiding Transport, Infrastructuur en Logistiek van de TU Delft. Het beschrijft een onderzoek dat ik heb uitgevoerd tijdens een stage van zeven maanden bij TNO, bij de business unit Mobiliteit en Logistiek.

Ik wil graag mijn begeleiders, professor Van Zuylen, John Baggen, Maaïke Snelder en Victor Knoop bedanken voor de goede begeleiding en waardevolle kritiek. Daarnaast wil ik Michiel Minderhoud bedanken voor de hulp bij het werken met het model en verder alle andere mensen van TNO en andere organisaties die mijn vragen hebben beantwoord of mij anderszins hebben geholpen.

Voor de fantastische support achter de schermen wil ik Peep en Bart van harte bedanken. Tot slot bedank ik Noortje Sturm voor het doorlezen van het rapport en haar nuttige commentaar.

Michiel Muller

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	5
English summary	9
Samenvatting.....	11
Begrippen- en afkortingenlijst.....	13
Legenda figuren	15
1 Inleiding.....	17
2 Literatuuroverzicht.....	21
2.1 Incidenten	21
2.2 Een robuust netwerk en het Nederlandse beleid.....	22
2.3 Invloedrijke factoren	25
2.3.1 Rijgedrag en routekeuze	26
2.3.2 Informatie en advies.....	27
2.3.3 Reductiefactoren.....	27
2.3.4 Incidentduur.....	28
2.3.5 Aanbod van capaciteit (wegkenmerken)	29
2.3.6 Variatie in de vervoersvraag.....	29
2.4 Verkeerssimulatiemodel	30
2.4.1 Toedeling van verkeer op een netwerk	32
2.4.2 Verificatie, kalibratie en validatie van een verkeersmodel.....	35
3 Robuustheid van het huidige netwerk.....	37
3.1 Gebruikte data.....	37
3.2 Betrouwbaarheid reistijden.....	37
3.3 Dagelijkse files.....	39
3.4 Incidentsituaties	41
4 Verificatie van Indy.....	51
4.1 Introductie van het model Indy.....	51
4.2 Invoer van het model	52
4.3 Het draaien van het model	52
4.4 Modeluitvoer.....	54
4.5 Routekeuze en verkeerssimulatie.....	55
4.5.1 Padgeneratie	55
4.5.2 Verkeerssimulatiemodel.....	59
4.6 Grootte van het studiegebied	65
4.7 Interface	65
4.8 Omrijden.....	67
4.9 Opties om incidenten met Indy te modelleren	68

5	Kalibratie- en validatiemethode	73
5.1	Stappenplannen	73
5.2	Criteria voor validiteit	76
5.3	Gebruikte empirische data.....	77
5.4	Gebruikte modeluitkomsten	78
6	Kalibratie	81
6.1	Beschrijving uitsnede	81
6.2	Kalibratie referentiemodel	83
6.3	Kalibratie voor incidenten.....	89
6.4	Conclusie kalibratie	97
7	Validatie	99
7.1	Case 1: 1 maart 2007	99
7.2	Case 2: 19 november 2007	103
7.3	Conclusie van de validatie	106
8	Ex ante evaluatie van infrastructuurmaatregelen	107
8.1	Andere evaluatiemethodes	107
8.2	Maatregelen die de effecten van incidenten kunnen verminderen.....	107
8.3	Mogelijkheden van evaluatie	110
9	Conclusies en aanbevelingen	113
	Epiloog van de auteur	117
	Literatuur	123
Bijlage 1	Causale analyse	129
Bijlage 2	Weergegevens van geselecteerde dagen (2007)	131
Bijlage 3	Ongevalsgegevens.....	132
Bijlage 4	Indy jobs.....	142
Bijlage 5	Afritcapaciteiten.....	145
Bijlage 6	Gebruikte queries voor de uitvoerbestanden.....	148
Bijlage 7	Gebruikte trajectorieën uit model	149
Bijlage 8	Modellering incidenten	150
Bijlage 9	Variatie in de capaciteit van een knelpunt	151
Bijlage 10	Snelheidscontourplots van dagelijkse files	152
Bijlage 11	Aanpassing vertrekprofiel.....	156
Bijlage 12	Kalibratie omrijpercentage.....	157
Bijlage 13	Vertraging door knoopvertragingsmodel.....	160

English summary

The high intensity of the traffic on the Dutch highways makes that incidents can have large effects. There are some possibilities to make the network more robust and travel times more reliable. For decision makers it is important to know on forehand about the effects of these measures, so that they can make a better choice between measures. This report describes the possibilities of the ex ante evaluation of the influence of infrastructure measures on the effects of incidents. It focuses on the ex ante evaluation by the dynamic traffic assignment model 'Indy'. This model is a macro-model and is able to represent a temporarily change in the capacity of a road section or the demand of traffic.

Originally, the model Indy has been designed for the simulation of an equilibrium in which the traffic is shifted several times to all available paths unless no road user can improve his/her travel time by choosing another path. Using this method the model is able to make a good representation of a regular situation. Since the shift of the focus of the policy makers towards the creation of a robust network also the model has been modified. This research tries to find out to which extent it is possible (with the current version of the model) to make a representation of an incident situation. Before that the working of the model has been verified first. Thereafter, the model is calibrated. The fit of the model has been determined by checking the locations of queues visually and to compare the travel times calculated by the model with real-world data.

From the verification of the working of the model the conclusion is drawn that it is very important to assign a suited value of the capacity of every bottleneck in the network. So, the larger the number of bottlenecks (when a larger area is modeled or a higher level of detail is chosen), the more time will be needed to calibrate the model.

Beside of this, also the computation time of the large detailed models is very high. Therefore, it is important to choose an appropriate size of the study area and level of detail before one starts modeling. The model does not contain the explicit modeling of traffic lights. Sometimes this leads to unrealistic spill-back of queues from the local roads towards the highway.

After the verification the model has been calibrated in several steps. First, a reference model is calibrated with the use of data of nine tuesday mornings. This is done by the following steps: a number of generic parameters have been modified, some O/D-pairs are added to compare these with real-world data, the path-generation has been modified, unrealistic spill-back has been diminished, the demand factor has been adapted and identified daily bottlenecks in the network are added. Second, the model has been calibrated for incidents by the use of three incident cases. This consisted of the following steps: modification of the lay-out of the network, calibration of the percentage of road-users which diverts and change the capacity of some links. The calibration resulted in a model which is able to simulate the reality moderate.

The validation consisted of the comparison of the data from the model with the real-world data for two other incident cases. The model is able to represent the reality

moderate. The location of queues calculated by the model is reasonably the same as in reality. The spill-back effects are quite good represented by the model. Also the calculation of the travel times by the model are reasonably comparable with the reality. Given the fact that an incident can sometimes lead to an unrealistic spillback, the model is only validated for incidents on (or close to) the used locations.

The modeling of the diversion in Indy has some limitations. First, the user of the model has to choose the diversion percentage himself. This percentage is hard to determine, because it is dependent of a big number of factors, like the traffic information which the road users receive. Second, in the model road users can not turn around when they reach the end of a queue. When alternative paths exist, then this could sure be an option. Third, only road users which had planned a trip via the location of the incident can be diverted in the model. This is not very realistic, because also other road users can be confronted with delays caused by the incident and might also choose another route. Fourth, the current version of the model distributes the diverting traffic to other routes equally. However, some routes have a larger capacity than others, so an equal distribution over routes is not realistic. When diverting options increase in a more robust network, it is more and more important to make a good representation of the diversion. Therefore it is advised to modify the diversion-module in Indy or to implement the en-route assignment approach.

These conclusions are leading to the following recommendations:

1. Speed-up the computation time to be able to make large detailed networks in short time.
2. Make a trade-off between the modification of the current diversion-module and path generation module in Indy and the development and implementation of the en-route assignment in Indy.
3. Improve the accessibility of the output of the model, to improve the thrust of the users of the model.
4. If one also wants to simulate the spill-back on local roads the modeling of traffic lights is needed.

Samenvatting

Door een hoge verkeersdruk op de Nederlandse snelwegen kunnen incidenten grote effecten hebben. Er zijn mogelijkheden om het netwerk robuuster te maken zodat reistijden betrouwbaarder worden. Het is voor besluitvormers van belang om vooraf de invloed van dergelijke maatregelen te weten, zodat een betere afweging tussen maatregelen kan worden gemaakt. Dit rapport beschrijft een onderzoek naar de mogelijkheden om vooraf de invloed van infrastructuurmaatregelen op de effecten van incidenten te bepalen. Hierbij ligt de focus op de ex ante evaluatie met behulp van het dynamische verkeerstoedelingsmodel 'Indy'. Dit model is een macro-model en is in staat om tijdelijke veranderingen in de capaciteit van een weg (bijvoorbeeld bij een incident) of de vraag te modelleren.

Het model Indy is oorspronkelijk bestemd voor de modellering van evenwichtssituaties waarbij verkeer over meerdere kortste paden wordt geleid totdat een evenwichtige verdeling van het verkeer over het netwerk ontstaat. Op deze manier kan een goede representatie van een reguliere situatie worden verkregen. Gezien de verlegging van de focus naar een ontwikkeling van een robuust wegennet is ook het model aangepast. In dit onderzoek wordt bekeken in hoeverre het met deze aanpassingen mogelijk is een valide model van een incidentsituatie te produceren. Hiertoe is het model eerst geverifieerd (het testen van het functioneren van de software) en gekalibreerd (het kiezen van parameterwaarden). De representativiteit van het model is bepaald aan de hand van de visuele vergelijking van de locatie van files en de reistijd op bepaalde snelwegtrajecten.

In de verificatie van de werking van het model is gebleken dat de resultaten van het model erg afhankelijk zijn van de instellingen van de knelpunten in het netwerk. Hoe meer knelpunten het netwerk bevat (wanneer een groter studiegebied of hoger detailniveau wordt gekozen), hoe meer tijd het kost om het netwerk te kalibreren.

Daarnaast is de rekentijd van grote gedetailleerde modellen erg hoog. Daarom moet voor men met een modelstudie begint een afweging worden gemaakt tussen grootte van het studiegebied en mate van detaillering.

Het model bevat in de huidige versie geen modellering van verkeerslichten. Dit leidt soms tot terugslageffecten van het onderliggende wegennet naar het hoofdwegennet die niet realistisch zijn.

Hierna is het model stapsgewijs gekalibreerd. In eerste plaats is een referentiesituatie gekalibreerd op basis van de data van negen dinsdagochtenden. Achtereenvolgens zijn een aantal generieke parameters aangepast, kalibratietrajecten zijn toegevoegd, de padgeneratie is aangepast, onrealistische files zijn voorkomen, de vermenigvuldigingsfactor van de belasting van het netwerk is gekalibreerd en geïdentificeerde dagelijkse knelpunten hebben een passende capaciteitswaarde in het model gekregen. Vervolgens is met behulp van drie incidentcases het model voor incidenten gekalibreerd. Hiertoe zijn een aantal netwerkaanpassingen gedaan, het omrij-percentages is gekalibreerd en de capaciteit van enkele links is aangepast. De kalibratie heeft een model opgeleverd die de werkelijkheid redelijk representeert.

Tijdens de validatie van het model met twee incidentcases is gebleken dat een model kan worden geconstrueerd dat de werkelijkheid redelijk representeert. De locatie van de files die door het model wordt berekend komt redelijk overeen met de werkelijkheid. De terugslageffecten van files worden door het model goed gerepresenteerd. Ook de berekening van de reistijd voor relevante trajecten komt redelijk overeen met de werkelijkheid. Aangezien gebleken is dat een incident op een andere locatie soms een onverwacht effect op kan leveren in het model (dat niet voldoende overeenstemt met de werkelijkheid) kan niet gegarandeerd worden dat het model incidenten op andere locaties dan bij de gebruikte cases op hetzelfde niveau simuleert.

De modellering van het omrij-gedrag in Indy kent een aantal beperkingen. Ten eerste moet door de modelleur een omrij-percentages worden gekozen. Dit percentage is moeilijk te bepalen, aangezien het afhankelijk is van een groot aantal factoren, zoals de informatievoorziening aan weggebruikers. Ten tweede kunnen in het model weggebruikers niet omkeren wanneer zij in een file belanden. Dit komt niet zo goed overeen met de werkelijkheid. Ten derde worden alleen weggebruikers omgeleid die een route hadden gepland langs de locatie van het incident. De effecten van een incident kunnen zich echter ver van die locatie voordoen en dit kan andere weggebruikers ertoe bewegen ook om te rijden. Ten vierde verdeelt het huidige model het omrijende verkeer gelijkmatig over de beschikbare alternatieven. Sommige alternatieven zijn echter aantrekkelijker dan andere en dus is een gelijkmatige verdeling niet realistisch. Wanneer de omrijmogelijkheden toenemen in een robuuster wegennet is het steeds meer van belang het omrijden correct te modelleren. Daarom verdient het de aanbeveling om de omrijmodule aan te passen of de en-route methodiek te ontwikkelen voor Indy.

De genoemde conclusies leiden tot onderstaande aanbevelingen:

- 1 Draaitijd van de modellen verkleinen om in kortere tijd een groot en gedetailleerd simulatiemodel te kunnen bouwen.
- 2 Een afweging maken tussen het verbeteren van de omrij-module en de padgeneratiemodule in Indy en de ontwikkeling en implementatie van de en-route methodiek in Indy.
- 3 Output van het model beter toegankelijk maken, zodat een gebruiksvriendelijk model ontstaat dat voldoende vertrouwen krijgt van de gebruikers.
- 4 Wanneer men ook de terugslag van files op het onderliggende wegennet wil modelleren dient een verkeerslichtregeling aan het model te worden toegevoegd.

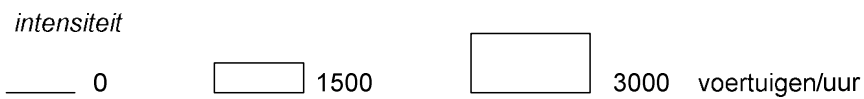
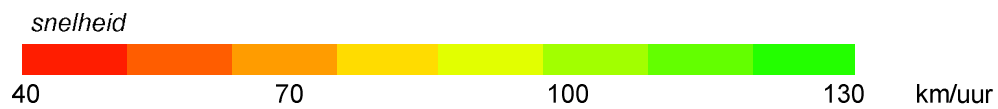
Begrippen- en afkortingenlijst

DQM	Dynamic Queuing Model, dynamische modellering van files, waarbij een file aangroeit aan de achterzijde
intensiteit	aantal voertuigen per tijdseenheid dat een bepaald punt op een weg passeert (ook wel verkeersstroom)
ITS	Intelligente Transport Systemen
link	een connectie (schakel) tussen twee punten in het netwerk in het model
LTM	Link Transmission Model, modellering van files waarbij files aangroeien aan de achterzijde en afbouwen aan de voorzijde wanneer een knelpunt wegvalt
knoop	een punt in het netwerk waarop twee of meer links samenkomen
O/D-paar en O/D-matrix	een paar van herkomst en bestemming. De matrix geeft aan hoeveel verplaatsingen er per O/D-paar plaatsvinden.
pad (route)	een route van herkomst naar bestemming, oftewel van zone naar zone, via een aantal links en knopen
PAE	Personen Auto Equivalent. In dit onderzoek wordt een waarde van 1.9 gebruikt. Dit betekent dat elke vrachtwagen telt voor 1.9 personenauto's, ter compensatie van de extra lengte van een vrachtwagen.
PLSB	Piece-Wise Linear Speed-Based algoritme. Methode die de snelheid van voertuigen tussen twee meetpunten bepaalt, uitgaande van een continue acceleratie of decelleratie tussen die meetpunten.
Re / Li	rijbaanaanduiding voor snelwegen: 'rechts' of 'links' (volgens methodiek Rijkswaterstaat, zie Driessen et al, 1994). Voor het studiegebied gaat het om de volgende richtingen. Met 'rechts' wordt in geval van de A4, A13 of A16 de rijbaan in zuidelijke richting aangeduid, in geval van de A12, A15 of A20 wordt de rijbaan in oostelijke richting aangeduid. Met 'links' wordt de rijbaan in tegenovergestelde richting bedoeld.
rijbaan	één of meer stroken die samen gescheiden zijn van de rijbaan in de tegengestelde richting

rijstrook	onderdeel van een rijbaan met de breedte van minimaal een vierwielig voertuig
terugslag	het aangroeien van een file stroomopwaarts
verplaatsing	een beweging van herkomst naar bestemming
VID	Verkeers Informatie Dienst
vtg	voertuigen
zone	een locatie in het model die als herkomst of bestemming kan functioneren

Legenda figuren

Regiolab weergaves



Kaarten geproduceerd door Indy

Dichtheid (voertuigen/kilometer)



I Inleiding

Nederland beschikt over een uitgebreid netwerk aan autosnelwegen. Dit uitgebreide netwerk en de spreiding van woongebieden, werkgebieden en andere activiteiten maken het gebruik van de auto aantrekkelijk. Hierdoor wordt de auto veel gebruikt.

De laatste decennia is de capaciteit van het netwerk niet in dezelfde mate gegroeid als de vervoersvraag. Dit heeft geleid tot veel congestie. Dat er geen besluiten worden genomen om wegen te verbreden of aan te leggen heeft volgens de commissie Elverding te maken met het trage besluitvormingsproces (commissie Elverding, 2008). De 'spoedwet wegverbreding' die sinds 2003 in werking is kan hierin verandering brengen. De wet is bedoeld om knelpunten in het weggennet sneller te kunnen aanpakken door het besluitvormingsproces eenvoudiger te maken. Verder voorziet de wet in een uitsluiting van kleine projecten aan de MER-verplichting.

Dankzij het in werking treden van deze wet is de uitvoering van het beleid 'Beter Benutten' mogelijk. Het 'benutten' is één van de pijlers van de Nota Mobiliteit (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008b). Het beter benutten van de huidige infrastructuur wordt ingevuld door bijvoorbeeld het aanleggen van een spitsstrook: een extra rijstrook waar normaal de vluchtstrook zich bevindt.

Een ander plan van de centrale overheid is om een kilometerheffing in te voeren waarbij een hoger tarief zal gelden tijdens de spitsperiodes. De toegenomen kosten tijdens deze periodes zullen ervoor zorgen dat een aantal mensen hun vertrektijd zo zal kiezen dat zij net voor of na de spitsperiodes reizen. Hierdoor zal tijdens een langere periode sprake zijn van een hoge belasting van het netwerk.

De keerzijde van het beleid dat erop gericht is de huidige infrastructuur beter te benutten, is dat de kans op, én de gevolgen van een incident groter worden. De kans op een incident wordt groter omdat een groter volume dezelfde weg gebruikt (Kraaijeveld, 2008). De gevolgen worden groter omdat, wanneer een incident eenmaal heeft plaatsgevonden, er geen mogelijkheid is om het verkeer om te leiden via de vluchtstrook en daarmee de filelengte achter de incidentplaats te verminderen. De langere spitsperiodes zullen ook de effecten van een incident verergeren, omdat het hogere verkeersvolume tijdens een langere periode (als gevolg van een kilometerheffing met differentiatie naar tijd) ervoor zal zorgen dat de file minder snel zal oplossen.

De plannen kunnen ervoor zorgen dat de gemiddelde reistijd afneemt. Echter, het lijkt erop dat het huidige beleid van de centrale overheid de robuustheid van het snelwegen-netwerk aantast. De weggebruiker zal rekening moeten houden met een grotere variatie in de reistijd en dus meer buffertijd moeten rekenen. Daarnaast zal de reistijd groter worden door de vrijwel ononderbroken groei in vervoersvraag.

Inmiddels heeft ook de centrale overheid een aanvulling gemaakt op de plannen uit de Nota Mobiliteit. Aanleiding daarvoor is de constatering dat 'files harder groeien dan gedacht' (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008a). In dit document, de 'Mobiliteits-Aanpak', staat dat men op korte termijn probeert het fileleed te beperken door het aanpakken van knelpunten. Op lange termijn investeert men in de 'robuustheid van het to-

tale systeem', waardoor de 'contouren van de Olympische kwaliteit' zichtbaar worden. Hierbij doelt men op de eventuele organisatie van de Olympische Spelen in 2028, die kan fungeren 'als extra stok achter de deur om de belangrijkste verbeteringen op tijd afgerond te hebben'.

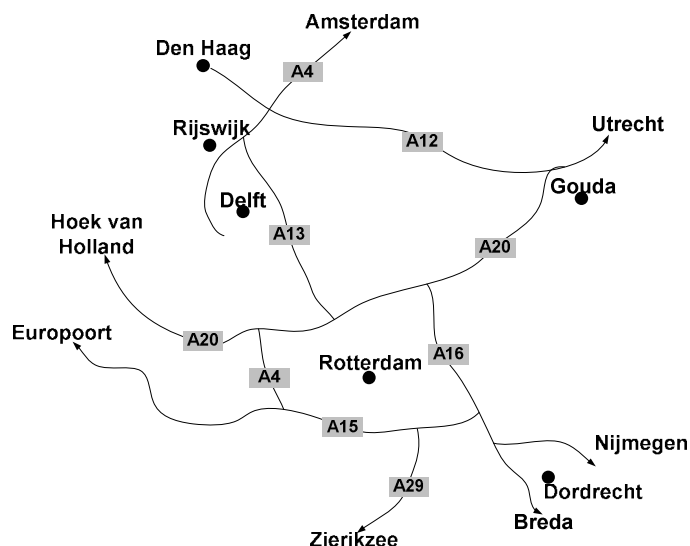
Doelstelling en afbakening

Om de robuustheid te kunnen beschrijven is het belangrijk om te weten wat de effecten van incidenten op het wegennet zijn. Daarnaast is het belangrijk om te weten op welke manier aanpassingen van de infrastructuur effecten hebben op de gevolgen van incidenten en hoe groot die effecten zijn. Vanwege onder andere de hoge kosten van infrastructuraanpassingen is het van belang de effecten van deze aanpassingen vooraf in te kunnen schatten. Door vooraf de effecten van maatregelen op de invloed van incidenten te kunnen inschatten, kan beter een afweging worden gemaakt tussen alternatieve maatregelen. Met die informatie kan beter beleid worden gevormd. De centrale vraag van dit onderzoek is daarom:

Hoe kunnen infrastructuurmaatregelen ex ante worden geëvalueerd op hun invloed op de effecten van incidenten?

Het doel van dit onderzoek is een manier te vinden waarop infrastructuurmaatregelen vooraf kunnen worden geëvalueerd op hun invloed op de effecten van incidenten. Hierbij is ervoor gekozen om uit te gaan van een dynamisch verkeerssimulatiemodel dat reeds ontwikkeld is door TNO, de TU Delft en de KU Leuven, het model 'Indy'. In dit onderzoek wordt Indy gekalibreerd en er wordt onderzocht hoe representatief incidenten met behulp van het model te simuleren zijn.

Het studiegebied van het onderzoek is afgebakend tot de regio Den Haag – Rotterdam (zie figuur 1.1). In dit gebied liggen onder andere Rotterdam, Den Haag, Delft, Gouda en Dordrecht.



Figuur 1.1 Schematische weergave van het studiegebied

Gegeven het probleem, de effecten van incidenten, is dit gebied relevant. Er bevinden zich namelijk omrij-mogelijkheden in het gebied, zowel op het hoofdwegennet als het onderliggende wegennet. Het gebied wordt als één geheel gezien, maar is niet geheel onderscheiden van de omgeving. In elke afbakening die in een verkeersmodel wordt gemaakt zal verkeer voorkomen dat een bestemming en/of herkomst buiten het gebied heeft. Hiermee wordt rekening gehouden door dit verkeer bij de gebruikte herkomst- en bestemmingsmatrix ('O/D-matrix') op te tellen.

Het model zal alleen gekalibreerd worden voor de ochtendspits op werkdagen. Dit is gedaan vanwege het (economische) belang voor mensen om op tijd op hun werk of eerste afspraak op een dag aanwezig te zijn.

Methode en leeswijzer

Om tot beantwoording van de hoofdvraag te komen is de volgende werkwijze gehanteerd. Eerst is er literatuuronderzoek gedaan naar de mogelijkheden van de ex-ante evaluatie van infrastructuurmaatregelen, de factoren die de robuustheid van een netwerk beïnvloeden en de kalibratie van verkeersmodellen (hoofdstuk 2). In dat hoofdstuk wordt ook een definitie gegeven van de belangrijkste begrippen. Vervolgens wordt eerst de robuustheid van het huidige verkeerssysteem geanalyseerd met behulp van metingen (hoofdstuk 3). De verificatie van de werking van het dynamische verkeerstoedelingsmodel en de implicaties van de werking van het model komen aan bod in hoofdstuk 4. Om de werking te testen zijn met behulp van diverse modellen tests uitgevoerd. De kalibratie van het referentiemodel (voor 'reguliere' situaties) heeft plaatsgevonden op basis van data uit de werkelijkheid van negen dinsdagochtenden in 2007. Voor de kalibratie van incidenten zijn data gebruikt van drie dagen waarbij tijdens de ochtendspits een incident heeft plaatsgevonden. De kalibratie is stapsgewijs uitgevoerd, waarbij in elke stap een parameter of deel van het model is gecontroleerd en indien nodig aangepast (zie het stappenplan in hoofdstuk 5). De uitwerking van de kalibratie is te vinden in hoofdstuk 6. Om het model te valideren voor incidenten zijn twee andere dagen gebruikt waarop een incident heeft plaatsgevonden (zie hoofdstuk 7). In hoofdstuk 8 wordt de bruikbaarheid van een ex ante evaluatie van infrastructuurmaatregelen met behulp van het model besproken. Tot slot volgen in hoofdstuk 9 conclusies en aanbevelingen.

2 Literatuuroverzicht

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de literatuur en de definities van de begrippen die betrekking hebben op incidenten (paragraaf 2.1), de robuustheid van het wegennetwerk en de betrouwbaarheid van reistijden (paragraaf 2.2), de invloedrijke factoren bij de bepaling van de effecten van incidenten (paragraaf 2.3) en verkeerssimulatiemodellen (paragraaf 2.4).

2.1 Incidenten

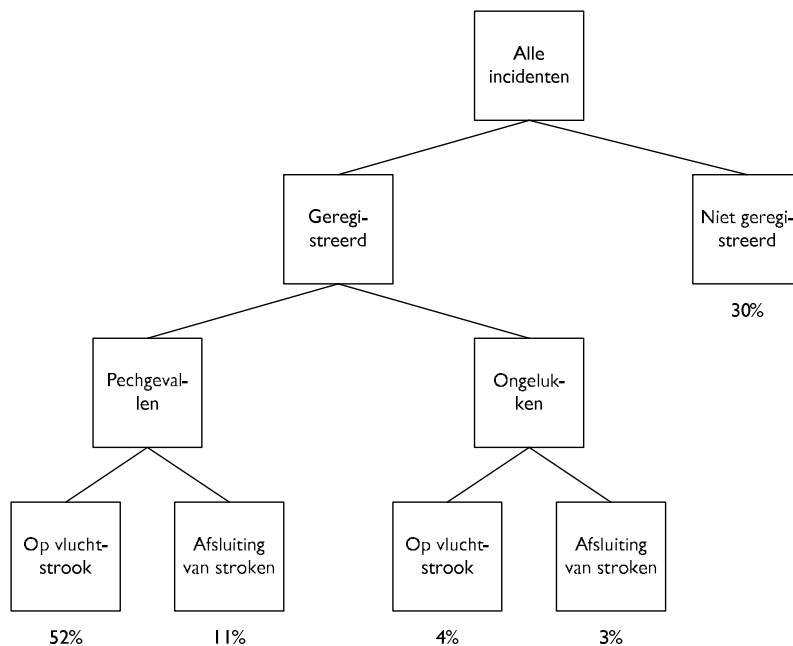
Wanneer incidenten worden beschouwd kan een tweedeling worden gemaakt tussen reguliere en niet-reguliere gebeurtenissen. De volgende tweedeling is gebaseerd op Immers (2003).

- *Niet-regulier.* Hieronder vallen ongelukken en incidenten die worden veroorzaakt door bijvoorbeeld uitzonderlijke weersomstandigheden, overstromingen, het niet functioneren van een brug of tunnel.
- *Regulier.* Hieronder valt reguliere congestie volgens een bekend patroon. Voorbeelden zijn de dagelijkse files en wegwerkzaamheden die vooraf bekend zijn.

Het onderzoek zal alleen proberen de effecten van niet-reguliere gebeurtenissen te bepalen. Het is niet eenvoudig aan te wijzen welk percentage van de congestie een niet-reguliere oorzaak heeft. In de literatuur komen schattingen van dit percentage voor die variëren tussen 21% en 50% (Kouwenhoven et al, 2006; Hall, 1993). In dit onderzoek zal blijken dat het voor sommige wegvakken vrijwel onmogelijk is aan de reistijd af te leiden of gesproken kan worden over een reguliere of niet-reguliere situatie (zie hoofdstuk 3). Op sommige snelwegen (zoals bijvoorbeeld de A15 Ridderkerk - Europoort) vinden meerdere ongevallen, oftewel niet-reguliere gebeurtenissen, per dag plaats, waardoor de vertraging die hierdoor ontstaat 'regulier' zou kunnen worden genoemd.

Hall (1993) constateert tot slot dat niet-reguliere vertraging niet zou plaatsvinden als er geen hoge vervoersvraag zou zijn. Immers, een incident op een lege weg levert geen vertraging op. Dit maakt het verband duidelijk tussen non-reguliere en reguliere congestie.

Niet-reguliere gebeurtenissen (die vanaf nu *incidenten* zullen worden genoemd), kunnen verder worden onderverdeeld volgens onderstaande boom (figuur 2.1, gegevens voor het snelwegennetwerk in de VS, FHA, 2000). De eerste onderverdeling vindt plaats tussen niet-geregistreerde incidenten en geregistreerde incidenten. De ongeregistreerde incidenten zijn goed voor 30% van alle incidenten. De geregistreerde incidenten kunnen worden onderverdeeld in pechgevallen doordat een voertuig niet meer werkt of door plotselinge ziekte van de bestuurder. 52% van alle incidenten zijn pechgevallen waarbij het voertuig op de vluchtstrook staat. Bij 11% van alle incidenten is sprake van een pechgeval waarbij het stilstaande voertuig ook één of meerdere stroken blokkeert. Naast incidenten vinden ook ongelukken plaats, waarbij er sprake is van schade of letsel. Sommige ongelukken vinden plaats en/of worden afgehandeld op de vluchtstrook (in 4% van alle gevallen). Bij 3% van alle incidenten is sprake van een ongeluk waarbij één of meer stroken worden geblokkeerd.



Figuur 2.1 Categorisatie van incidenten in de VS en hun voorkomen (FHA, 2000)

Sommige incidenten kunnen niet in het bovenstaande schema worden ingedeeld, maar kunnen wel de capaciteit van een snelweg beïnvloeden. Voorbeelden hiervan zijn:

- een noodzakelijke spoedreparatie van het wegdek;
- bermbranden;
- extreme weersomstandigheden;
- de sluiting van een wegvak door een hoogteoverschrijding van een voertuig (bij de ingang van een tunnel);
- sluiting van een spitsstrook door stroomuitval of de uitval van controle- of bewakingssystemen;
- kijkfiles.

2.2 Een robuust netwerk en het Nederlandse beleid

Als eigenaar van het snelwegennetwerk is het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) verantwoordelijk voor de levering van verbindingen van hoge kwaliteit in Nederland. Zoals in de inleiding reeds is vermeld, is het beleid van V&W er onder andere op gericht de huidige infrastructuur beter te benutten. In het document 'Beleidskader Benutting Wegen' wordt dit beschreven. Het doel van dit beleid is om het verkeer zo goed mogelijk te laten doorstromen, gebruikmakend van de *huidige infrastructuur* (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008b). Maatregelen die onderdeel uitmaken van dit beleid zijn bijvoorbeeld de aanleg van langere invoegstroken, doseerlichten en spitsstroken.

Robuustheid

Een robuust netwerk wordt door TNO omschreven als een netwerk dat in staat is zijn functie te behouden bij wisselende omstandigheden (o.a. Schrijver et al, 2008). De functie van een weg of netwerk is het aanbieden van de mogelijkheid voor verplaatsingen tussen A en B. De veranderende omstandigheden zijn zowel schommelingen in de vraag naar verkeer en het aanbod van wegcapaciteit.

Ook andere bronnen geven definities van robuustheid. De robuustheid van een wegnetwerk wordt door Li (2008) omschreven als 'de ongevoeligheid van het netwerk voor verstorende incidenten en kan worden opgevat als het tegenovergestelde van *kwetsbaarheid* van het netwerk. Met andere woorden, de robuustheid van het wegnetwerk is het vermogen van het netwerk om zijn functie te behouden bij een breed scala van condities'.

Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van reistijd wordt in de literatuur omschreven als 'de kans dat een reiziger zijn bestemming kan bereiken binnen een gegeven periode op een bepaald tijdstip op de dag' (Li, 2008). Anders gezegd is de betrouwbaarheid van reistijd 'de mate waarin een reiziger met een bepaalde zekerheid zijn reistijd kan schatten' (Snelder et al, 2008).

In een robuust netwerk is het voor een weggebruiker eenvoudig te voorspellen hoe lang een trip zal duren. De reistijd is minder afhankelijk van incidenten dan in een kwetsbaar netwerk. De voorspelbaarheid van de reistijd heeft voordelen voor economische activiteiten en vormt één van de doelen uit de Nota Mobiliteit.

Ondanks dit verband tussen robuustheid en betrouwbaarheid, bestaan er verschillen. Bij onderzoeken naar de betrouwbaarheid van reistijden wordt gekeken naar de kans dat een bepaalde trip binnen een bepaalde tijd kan worden uitgevoerd (Li, 2008). In robuustheidsstudies ligt de focus op de gevolgen van incidenten voor de functie van het netwerk.

Verder geeft Li (2008) aan dat betrouwbaarheidsstudies vooral de gevolgen van reguliere en verwachte situaties onderzoeken, terwijl robuustheidsstudies vooral de effecten van 'irreguliere, onverwachte en exceptionele incidenten' proberen te achterhalen.

Het intensiever gebruik van de huidige infrastructuur verhoogt de kans op een incident, omdat meer verkeer gebruikmaakt van dezelfde wegcapaciteit. Daarnaast worden de gevolgen van een incident ook groter, omdat het (bij gebruik van een spitsstrook) niet meer mogelijk is de vluchtstrook te gebruiken om verkeer om te leiden. Ook het gebruik van nieuwe technieken kan leiden tot meer incidenten. Het gaat hierbij om technieken die als ze goed functioneren zorgen voor meer capaciteit of betere spreiding van het verkeer over het netwerk. Wanneer deze uitvallen, leidt dit tot een beperking van de capaciteit. Een voorbeeld hiervan is een spitsstrook die voor de veiligheid is voorzien van camera's die snel incidenten kunnen signaleren om zo de gevolgen van een incident te kunnen beperken. In geval van mist valt met de camera's het verkeer niet te zien en kunnen incidenten dus niet gesignaleerd worden. Hierdoor kan de spitsstrook niet opengesteld worden. Een ander voorbeeld betreffen verkeersregelininstallaties of doseerlichten. Wanneer deze normaalgesproken in werking zijn leiden deze tot een verbeter-

ring van de doorstroming. Een enkele keer dat deze uitvallen zal dit leiden tot extra reistijd ten opzichte van een referentiesituatie. Ook stroomstoringen kunnen leiden tot de uitval van de genoemde technieken en daardoor terugval van capaciteit.

In een minder robuust netwerk moeten weggebruikers meer buffertijd bij hun geschatte reistijd optellen om op tijd op hun bestemming aan te komen ('de buffertijd geeft aan hoeveel extra reistijd men moet aannemen bij het plannen van een trip vanwege de betrouwbaarheid van reistijden', Van Lint et al, 2008). In een rapport van het Ruimtelijk Planbureau (RPB, 2004) wordt deze buffertijd geschat. In de huidige situatie moet men een buffertijd van 25 minuten in de spits aanhouden om bij een afstand van 150 kilometer in 95% van de gevallen op tijd aan te komen. Door het RPB (2004) wordt geschat dat in 2020 deze buffer is gestegen tot 40 minuten voor dezelfde trip. Voor deze berekening is een statisch model gebruikt ('SMARA'). Dit onderzoek behandelt een dynamisch model dat (vanwege de modellering van terugslag effecten) wellicht beter in staat is de buffertijd te schatten.

Er bestaat een groot aantal methodes die de betrouwbaarheid (of onbetrouwbaarheid) van de reistijden op een bepaald traject kunnen beschrijven. Hieronder volgt een aantal van deze methodes (Van Lint et al, 2008).

- Statistische methodes (zoals standaarddeviatie of variantie);
- Buffertijdindices, die aangeven hoeveel extra reistijd vanwege de onbetrouwbaarheid van reistijden men moet aannemen bij het plannen van een trip zodat men op tijd arriveert;
- 'Tardy trip'-methodes (zoals de misery-index). Deze methodes beschouwen de hoeveelheid verplaatsingen die te laat aankomen.
- Probabilistische methodes. Deze methodes beschouwen de kans dat een trip binnen een bepaalde tijd kan worden gemaakt. Hierbij wordt een grenswaarde gesteld die het onderscheid maakt tussen een betrouwbare en een onbetrouwbare reistijd.

Van Lint et al (2008) stellen een nieuwe methode voor die zowel de scheefheid als de wijdte van de verdeling van reistijden in beschouwing neemt. De berekening van scheefheid en wijdte is gebaseerd op het 10^e, 50^e en 90^e percentiel. Van Lint et al (2008) geven aan dat deze methode beter kan omgaan met de scheefheid van de reistijdverdeling. De verdeling van reistijden is namelijk vaak rechts-scheef: de breedte van de waardes van de reistijden boven de mediaan is groter dan de breedte van de waardes onder de mediaan.

Bij de methode wordt eerst de scheefheid en wijdte van de reistijden berekend. De scheefheid wordt als volgt berekend:

$$\lambda^{scheefte} = \frac{T_{90} - T_{50}}{T_{50} - T_{10}}, \quad \text{waarbij } T_{10} < T_{50} < T_{90} \quad (1)$$

T_{xx} geeft de waarde van het xx^e percentiel weer. De wijdte wordt als volgt berekend:

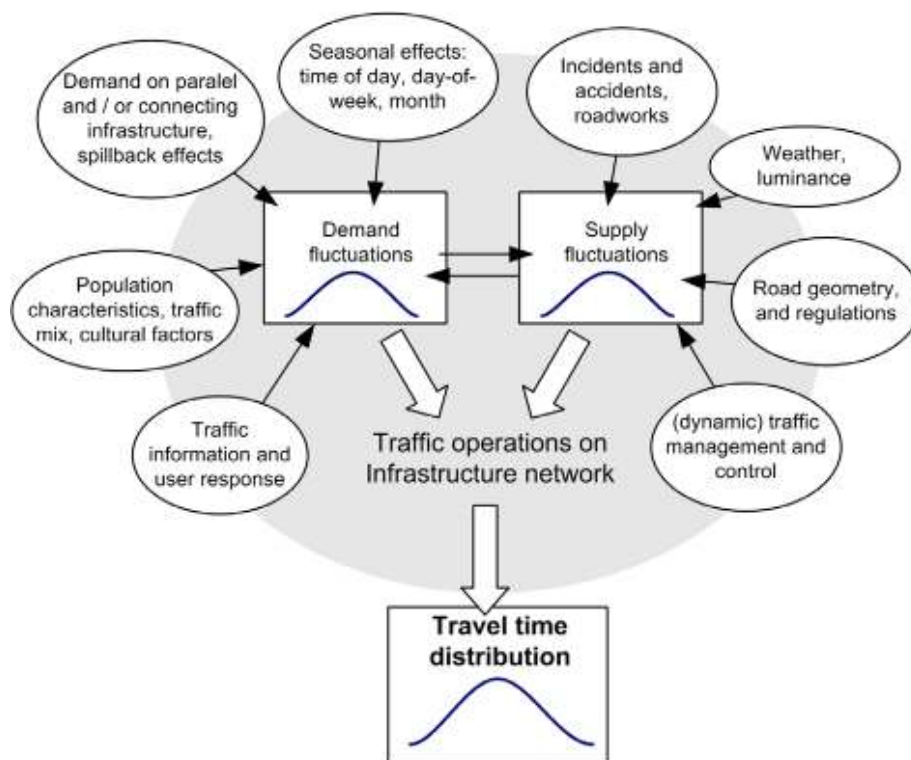
$$\lambda^{wijdte} = \frac{T_{90} - T_{10}}{T_{50}} \quad (2)$$

Deze maten worden samengevoegd om tot één indicator voor de betrouwbaarheid van de reistijd van een bepaald traject te bepalen. Om meerdere trajecten te kunnen vergelijken wordt gedeeld door de lengte van het traject. De samenvoeging wordt als volgt bepaald:

$$UI_r = \begin{cases} \frac{\lambda^{wijde} \ln(\lambda^{scheefte})}{L_r} & \lambda^{scheefte} > 1 \\ \frac{\lambda^{wijde}}{L_r} & \text{andere gevallen} \end{cases} \quad (3)$$

2.3 Invloedrijke factoren

In deze paragraaf zal een overzicht worden gegeven van de factoren die de effecten van incidenten beïnvloeden. De factoren die invloed hebben op de verdeling van de reistijd worden door Van Lint et al (2008) genoemd. Deze zijn schematisch weergegeven in figuur 2.2. In de figuur is het onderscheid gemaakt tussen fluctuaties in de vervoersvraag en fluctuaties in het aanbod van wegcapaciteit. De fluctuaties in de vervoersvraag worden veroorzaakt door verkeersinformatie en de reactie van de weggebruiker daarop (routekeuze), de kenmerken van de bevolking, de vraag op aansluitende infrastructuur of parallelle verbindingen en terugslageffecten. Ook zorgen seizoensinvloeden voor fluctuaties in de vervoersvraag. Het aanbod van wegcapaciteit wordt beïnvloed door het voorkomen van incidenten of wegwerkzaamheden, het weer en wegverlichting, weginrichting en regelgeving en de aanwezigheid van mate van dynamisch verkeersmanagement.



Figuur 2.2 Factoren die de verdeling van reistijd beïnvloeden (Van Lint et al, 2008)

Om meer specifiek de invloedrijke factoren van een bepaald incident te bepalen (wat beter aansluit bij de focus van dit onderzoek) is een causale analyse gemaakt (zie bijlage I). De factoren zijn gegroepeerd tot de volgende categorieën:

- Rijgedrag en routekeuze
- Informatie en advies voor weggebruikers
- Reductiefactoren die aangeven in welke mate de capaciteit van de weg gedurende het incident wordt gereduceerd
- Incidentduur
- Aanbod van capaciteit (wegkenmerken)
- Vervoersvraag (en de variatie daarin)

In de volgende paragrafen zal elk van deze set factoren worden beschreven.

2.3.1 Rijgedrag en routekeuze

Een belangrijke factor in de voorspeling van ieder verkeersvolume of iedere reistijd is het gedrag van individuele weggebruikers. Hierbij gaat het met name om routekeuze en rijgedrag, in combinatie met het steeds intensievere gebruik van Intelligente Transport Systemen (ITS). Deze systemen kunnen een grote invloed hebben op de lengte van files. ITS kan de meeste invloed hebben bij niet-reguliere congestie, omdat deze vorm van congestie moeilijk te voorspellen is (Levinson, 2003). Volgens Emmerink (1995) is het niet makkelijk om de effecten van ITS te bepalen, omdat het afhankelijk is van diverse factoren, zoals 'de marktpenetratie, de kwaliteit van de gegeven informatie en de mate van omrijden'.

Vaak ontbreekt het bij de reiziger aan goede of volledige informatie. Daarnaast kunnen weggebruikers vanwege velerlei redenen de voorkeur hebben een route te behouden via de snelweg.

Eén van de redenen is het ontbreken van goede alternatieven, omdat op veel plekken in het studiegebied het onderliggende wegennet niet voldoende capaciteit heeft of het verkeer erg vertraagd wordt door bijvoorbeeld de aanwezigheid van verkeersregelingen en het kruisen van voetgangers- of fietspaden. Ook zijn veel wegen tijdens de spits zwaar belast en de kans is dus groot dat wanneer men omrijdt, men in een andere file belandt. Een andere reden kan zijn dat weggebruikers een bestemming hebben die dichtbij ligt en het afwijken van de route via hoofdwegen dus tot een grote omweg zou leiden.

2.3.2 Informatie en advies

De hoeveelheid weggebruikers die een andere route zal kiezen is ook in grote mate afhankelijk van de informatie en adviezen die de weggebruiker ontvangt. Een belangrijke bron van informatie zijn de Dynamische Route Informatie Panelen (DRIPs). Richards en McDonald (2007) rapporteren grote verschillen in het gedeelte weggebruikers dat besluit om te rijden als reactie op een boodschap op een DRIP. Het lijkt in grote mate afhankelijk te zijn van de plaats van een DRIP (op sommige plaatsen zijn meer of betere alternatieve routes beschikbaar dan op andere plaatsen) en de getoonde boodschap (Wardman et al, 1998). Het deel van de weggebruikers dat een andere route kiest als gevolg van een boodschap op een DRIP varieert tussen 1% en 40% van alle weggebruikers (Richards en McDonald, 2007). Nederlands onderzoek toont aan dat op de Ringweg van Amsterdam A10, 12% van alle weggebruikers als reactie op de melding 'filelengte Coentunnel 4 km' een route kiezen die niet via de Coentunnel loopt, terwijl men normaal wel via de Coentunnel zou rijden (Richards en McDonald, 2007). Andere bronnen (Mouwen et al, 2004; Deckers en Martens, 2005) melden dat DRIPs over het algemeen een bescheiden effect hebben op routekeuze. Een onderzoek van Van Toorenburg (1998) over de keuze van een route rond de Ring van Rotterdam laat zien dat "naar schatting tussen de 3 tot 6% van de weggebruikers voor een andere route kiest wanneer het verschil in filelengte 1 kilometer groter was dan het 'normale' verschil tussen 'linksom' en 'rechtsom'". Kraaijeveld (2008) laat in een casestudie zien dat bij een ongeval op de A12 richting Den Haag ongeveer 7% van de weggebruikers omrijdt via de N11 of A20.

2.3.3 Reductiefactoren

Wanneer een incident plaatsvindt dan wordt de capaciteit gereduceerd met een bepaalde factor. Het percentage van de capaciteit dat overblijft wordt *reductiefactor* genoemd. Een reductiefactor representeert het gedeelte van de normale capaciteit dat beschikbaar is in de periode vanaf het moment dat het incident plaatsvindt tot het moment dat de weg weer vrij is en er geen hulpdiensten meer aanwezig zijn. De reductiefactor wordt bepaald door twee factoren: de reductie van het aantal stroken dat open is en het rijgedrag van bestuurders rond deze incidenten. De laatste factor heeft ermee te maken dat mensen geneigd zijn voorzichtiger te rijden bij incidenten om zichzelf, of de hulpverleners en andere mensen ter plaatse, te beschermen (Knoop et al, 2007a). Daarnaast rij-

den mensen langzamer, omdat men geïnteresseerd is in of afgeleid is door wat gebeurd is.

Incident Management-maatregelen kunnen de reductiefactor beïnvloeden. Wanneer bijvoorbeeld een gesloten rijstrook eerder weer open is, of wanneer een ondoorzichtig scherm om de incidentplaats wordt gezet, dan zal de reductiefactor groter zijn.

Volgens Knoop et al (2007a) kan de reductiefactor aan de hand van de volgende vuistregel worden bepaald:

$$R = \frac{L_t - L_b}{L_t} \cdot 50\% \quad (4)$$

waarbij:

- R Reductiefactor
- L_t Totaal aantal stroken (exclusief vluchtstrook)
- L_b Aantal geblokkeerde stroken

In tabel 2.1 wordt een overzicht gegeven van de reductiefactoren die in de literatuur zijn te vinden en gebaseerd zijn op empirische data. Wanneer geen reductiefactor is gevonden is de bovenstaande formule gebruikt om de factor te berekenen.

Tabel 2.1 Bereik van reductiefactoren in literatuur (Adams, 2008; Knoop et al, 2007a; Van Toorenburg and Nijenhuis, 2007)

totaal aantal stroken	reductiefactor op rijbaan van het incident			reductiefactor op rijbaan in tegengestelde richting		
	2	3	4	2	3	4
scenario						
1 incident op de vluchtstrook	50% – 95%	50%- 99%	50%- 99%	-	-	-
2 incident blokkeert één strook	25%- 28%	35%- 50%	38%	50% - 85%	50% - 87%	50% - 89%
3 incident blokkeert twee stroken	-	17% – 27%	25%	50% - 85%	50% - 87%	50% - 89%
4 alle stroken afgesloten	0	0	0	50% - 85%	50% - 87%	50% - 89%

2.3.4 Incidentduur

De tijdsduur van een incident beïnvloedt de effecten van een incident. Over het algemeen zorgt een grotere incidentduur voor grotere effecten. De incidentduur is afhankelijk van een aantal karakteristieken van een incident (zoals bijvoorbeeld welke en hoeveel hulpdiensten nodig zijn) en kan worden gereduceerd door Incident Management-

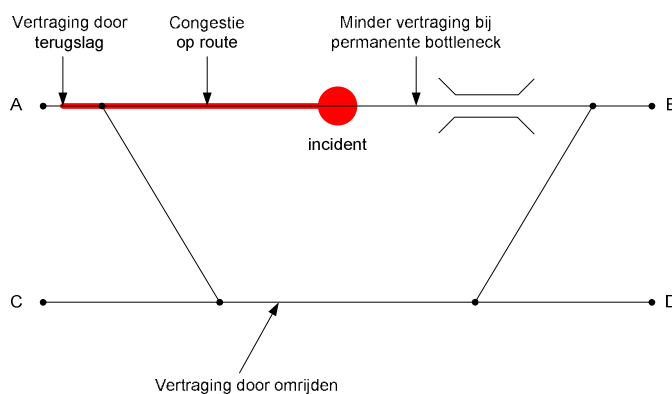
maatregelen te nemen. De tijdsduur kan worden geschat door gebruik te maken van een classificatieboom en een lineair regressiemodel (Zhang et al, 2007).

2.3.5 Aanbod van capaciteit (wegkenmerken)

De kenmerken van een weg kunnen in grote mate van invloed zijn op de effecten van incidenten. Deze effecten worden geïllustreerd in figuur 2.2. In dit voorbeeld bestaat er een permanent knelpunt (wegversmalling) op de kortste route van A naar B. In een normale spitsituatie ontstaat er vertraging op het gedeelte stroomopwaarts van dit knelpunt. Wanneer een incident plaatsvindt op de aangeduide plek, dan zal de vertraging voor dit permanente knelpunt verminderen. De file staat in dat geval stroomopwaarts van de incidentplaats. Afhankelijk van de reductiefactor ondervinden de weggebruikers hier een bepaalde vertraging.

De staart van de file blokkeert in het voorbeeld het knooppunt. Hierdoor zal het verkeer van A naar D ook hinder ondervinden van het incident.

Het laatste effect vindt plaats door het omrijden van mensen van de kortste route van A naar B naar de andere route. Dit omrijden kan leiden tot extra reistijd voor de weggebruikers op de route van C naar D.



Figuur 2.2 Netwerkeffecten van incidenten

Ook incidenten op afritten kunnen volgens Li (2008) grote effecten hebben voor de doorstroming op de doorgaande rijbaan en daarmee de netwerkprestaties aantasten.

2.3.6 Variatie in de vervoersvraag

In veel onderzoek wordt ook de variatie in de vervoersvraag in beschouwing genomen (Van Reisen, 2006; Li, 2008; FHA, 2006; Meeuwissen, 2004). Deze variatie kan worden veroorzaakt door seizoensinvloeden of evenementen, zoals concerten of festivals. Veel van deze variaties komen voor buiten de spitsuren. De hoge pieken worden veroorzaakt door recreatief verkeer, buiten de gebruikelijke werktijden. Daarnaast komt congestie als gevolg van deze pieken met name lokaal voor, in de buurt van bijvoorbeeld een stadion of recreatieterrein.

In dit onderzoek zal alleen de ochtendspits op werkdagen in beschouwing worden genomen. Wanneer een verandering van de vervoersvraag plaatsvindt op of rond dat tijdstip, dan kan dat grote effecten hebben voor de congestie.

2.4 Verkeerssimulatiemodel

Om de invloed van de wegkenmerken op de effecten van incidenten te schatten wordt een simulatiemodel gebruikt. Het simulatiemodel bootst de verkeerssituatie uit de werkelijkheid na.

Het gebruik van een simulatiemodel heeft een aantal redenen. Ten eerste is het duur, tijdrovend en vrijwel onmogelijk om experimenten uit te voeren met het echte systeem. Om infrastructuurmaatregelen te evalueren zou bijvoorbeeld een experiment met het sluiten van een spitsstrook in een piekuur gedaan kunnen worden. Het moge duidelijk zijn dat dit tot veel extra vertragingen leidt en daarom onwenselijk is. Ten tweede zouden experimenten met bijvoorbeeld de aanleg van extra buffercapaciteit erg duur zijn en tijdrovend.

Er zijn ook veel processen in het systeem waarvan geen data beschikbaar zijn, zoals bijvoorbeeld de reistijden op het onderliggende wegennet.

Zoals in de inleiding vermeld bestaat het studiegebied uit de regio Den Haag – Rotterdam. Dit gebied wordt als één geheel gezien, maar is niet geheel onderscheiden van de omgeving. In elke afbakening die in een verkeersmodel wordt gemaakt zal verkeer voorkomen dat een bestemming en/of herkomst buiten het gebied heeft. Hiermee wordt rekening gehouden door dit verkeer bij de gebruikte O/D-matrix op te tellen.

Dynamisch verkeerstoedelingsmodel

Er is voor gekozen om een dynamisch verkeerstoedelingsmodel te gebruiken: 'Indy'. Dit dynamische model is in staat veranderende vraag en capaciteit over de tijd te modelleren. Het model bestaat uit drie modules (Bliemer, 2004):

- padgeneratie;
- routekeuze;
- dynamische toedeling van verkeer op het netwerk.

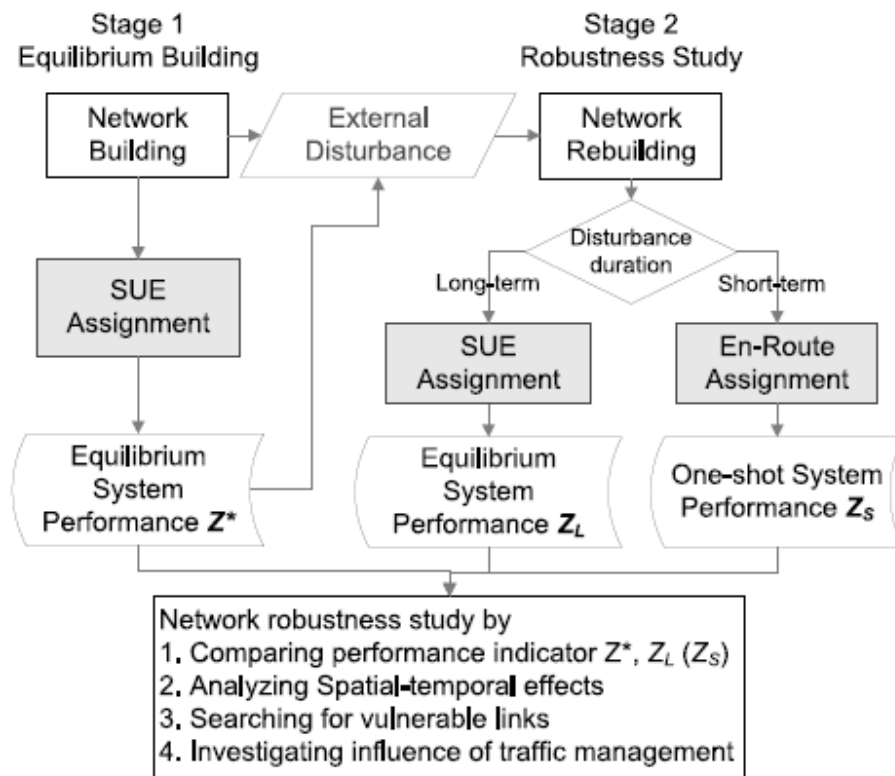
De routekeuze en de dynamische toedeling van het verkeer op het netwerk vinden meerdere keren plaats, net zo lang tot een evenwicht van de verdeling van verkeer over de alternatieve paden bereikt is. Geen enkele weggebruiker kan dan nog zijn/haar reistijd in het model verbeteren door een andere route te kiezen.

En-route routekeuze

De en-route routekeuze bepaalt bij elke tijdstap de route van weggebruikers. Volgens Li (2008, zie figuur 2.3) is de beste benadering voor een robuustheidstudie het gebruik de en-route routekeuze.

Een en-route toedeling veronderstelt dat informatie beschikbaar is 'op discrete punten in de tijd en/of ruimte, of continu beschikbaar is in zowel tijd als ruimte (...). De reactie van weggebruikers op deze informatie kan worden gemodelleerd met enkele heuristi-

sche vergelijkingen die een of meerdere parameters bevatten, zoals het niveau van penetratie, of het responspercentage' (Li, 2008, pp. 44). Echter, Li vermeldt ook dat de waarde van deze parameters moeilijk zijn te bepalen, omdat slechts enkele studies zijn gedaan naar deze parameters. Dit maakt het erg lastig dergelijke modellen te valideren.



Figuur 2.3 Raamwerk for robuustheidstudies (Li, 2008)

In dit onderzoek zal geen gebruik worden gemaakt van de en-route routekeuzemethodiek, omdat in het voor handen zijnde verkeersmodel 'Indy' deze routekeuzemethodiek niet beschikbaar is. Dit onderzoek focust op de mogelijkheden om met Indy en de bestaande routekeuzemethodiek incidenten te simuleren. Het simuleren van incidenten zal gebeuren op basis van een stochastisch gebruikersevenwicht voor een referentiesituatie. Vervolgens wordt een scenario gebruikt met een incident, maar zonder dat een nieuw evenwicht wordt gegenereerd. Een door de gebruiker opgegeven deel van het verkeer wordt in dat geval verplaatst van de oorspronkelijke route via de incidentlocatie naar een andere route. Een nieuw evenwicht zou geen realistische weergave geven van de werkelijkheid, aangezien dat veronderstelt dat elke weggebruiker perfect is geïnformeerd over de verkeerssituatie en dus precies weet welke route de kleinste reistijd oplevert. De implicaties van het niet gebruiken van de en-route routekeuze zal in het vervolg van dit rapport aan bod komen.

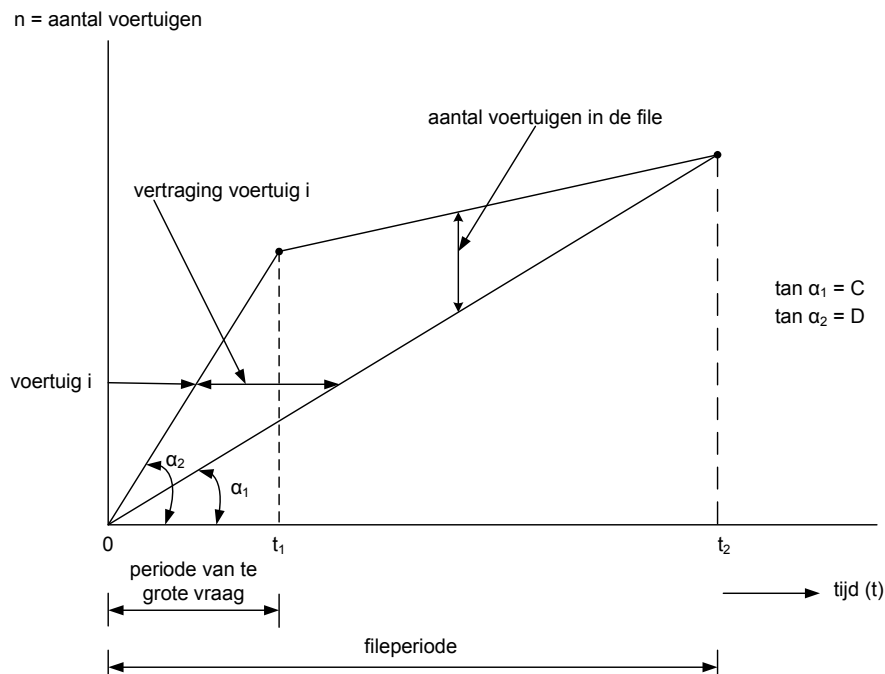
2.4.1 Toedeling van verkeer op een netwerk

Voor de toedeling van verkeer op een netwerk bestaan een aantal methodes. Hieronder zullen drie van deze methodes worden behandeld: statische modellering, het 'Dynamic Queuing Model' en het 'Link Transmission Model'.

Statische modellering (verticale wachtrij)

In statische modellen worden files niet expliciet gemodelleerd. Voertuigen nemen in dergelijke modellen geen ruimte in beslag en daardoor vindt geen terugslag stroomopwaarts plaats. Fileterugslag is een belangrijke oorzaak van tweede-orde congestie (Van Zuylen, 2007). Wanneer namelijk een file ontstaat dan kunnen nieuwe files ontstaan omdat wegvakken worden geblokkeerd door voertuigen die staan te wachten voor een knelpunt. Van Zuylen (2007) laat zien dat modellen zonder fileterugslag een grote afwijking laten zien en dus 'een zeer beperkte waarde hebben voor robuustheidsstudies'.

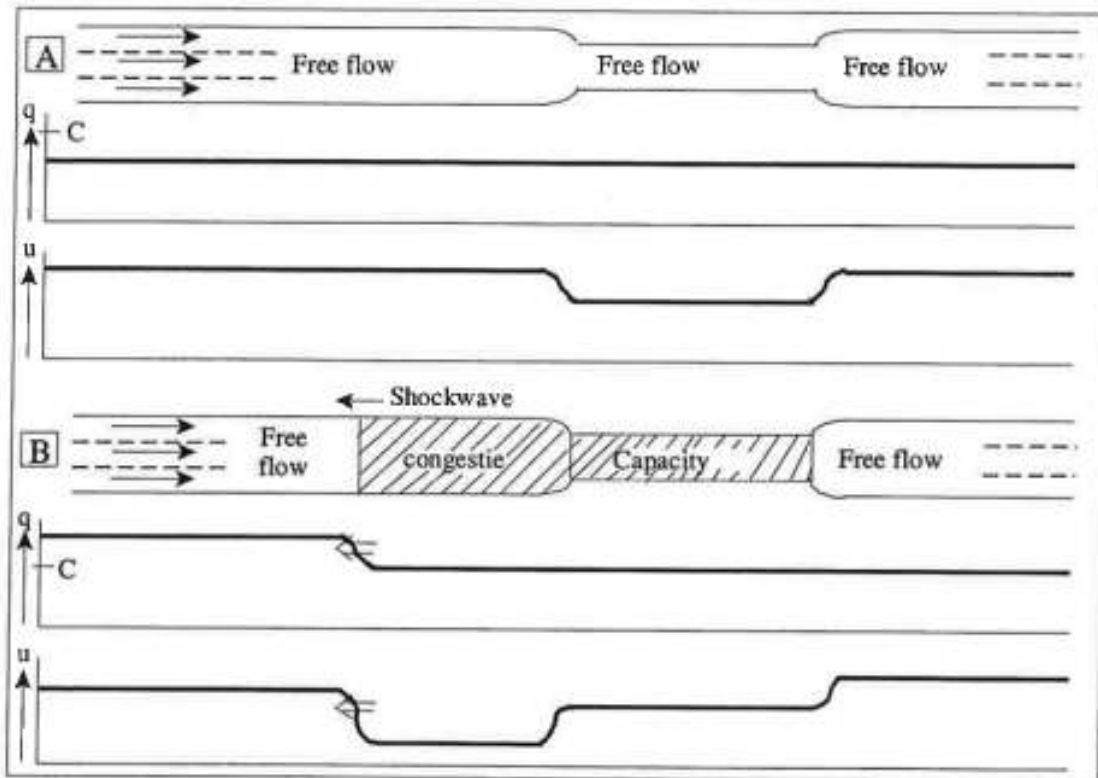
In een statisch model wordt weliswaar wel een wachttijd berekend, wanneer de capaciteit van een knelpunt lager is dan de vraag van verkeer. Dit gebeurt met behulp van een verticale wachtrij. In de figuur hieronder geeft C de capaciteit van het knelpunt aan. De verkeersvraag is weergegeven door D . Wanneer hoek α_2 groter is dan α_1 dan is de vraag hoger dan de capaciteit van het knelpunt en wordt de wachtrij dus groter. Op punt t_1 wordt deze hoek kleiner dan hoek α_1 , waardoor de lengte van de wachtrij afneemt. Op deze manier kan een vertraging van een bepaald voertuig worden berekend, zoals aangegeven in de figuur. Deze manier van modelleren levert een verticale wachtrij op en dus geen modellering van files. Het terugslageffect waarbij de file een andere verkeersstroom kan blokkeren wordt hierbij dus niet gemodelleerd.



Figuur 2.4 *Modellering van verticale wachtrij*

Dynamic Queuing Model (DQM)

Bij dynamische modellering van files (Dynamic Queuing Model, DQM, zie Yperman, 2007) ontstaat er, in tegenstelling tot bij statische modellering, wel een 'horizontale' wachtrij. Er wordt een file gemodelleerd die groeit in de stroomopwaartse richting. Deze modellering is daarom realistischer dan de statische modellering. In figuur 2.5 is een knelpunt weergegeven en daarbij twee situaties: een freeflow situatie (A) en een situatie met congestie (B). Bij situatie B groeit de file aan de achterzijde aan.



Figuur 2.4 Kenmerken van de verkeersstroom bij een knelpunt (situatie A: intensiteit voor knelpunt lager dan capaciteit knelpunt; situatie B: intensiteit voor knelpunt hoger dan capaciteit knelpunt, Hoogendoorn, 2006)

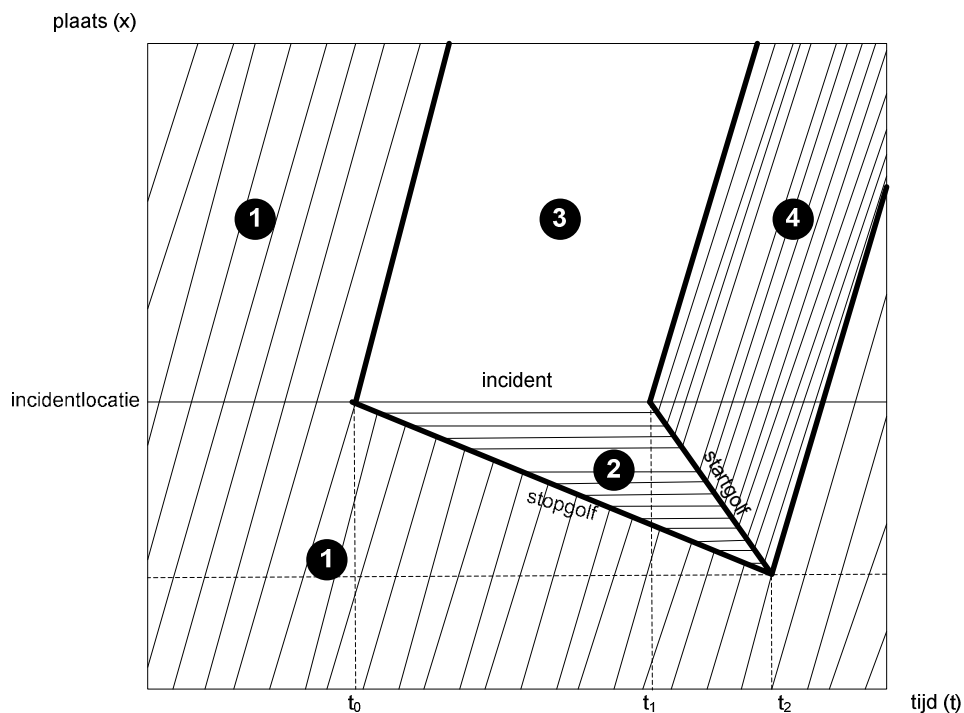
In het geval dat een file is ontstaan en het knelpunt wordt weggenomen, zoals bij het vrijgeven van de rijbaan na het opruimen na een ongeval, dan is het DQM niet zo realistisch. In het model bouwt de file dan af aan de achterzijde. In werkelijkheid zal echter in dat geval de file aan de achterzijde nog steeds kunnen groeien, terwijl aan de voorzijde de file oplost.

Link Transmission Model

Vanwege de bovengenoemde beperking van het DQM bij het wegvallen van een knelpunt is het Link Transmission Model (LTM) ontwikkeld. Bij LTM bouwen (bij het wegvallen van een knelpunt) files af in tegenovergestelde richting dan bij DQM (Yperman, 2007). Bij DQM lossen files stroomafwaarts op: van staart naar kop. Bij LTM lossen files

stroomopwaarts op: bij de kop wordt de file kleiner, waarbij, afhankelijk van de aanvoerende intensiteit, de file nog kan groeien aan de staart.

In het plaats/tijd-diagram op de volgende pagina is dit weergegeven. In de gebieden in de figuur die zijn aangegeven met cijfer 1 is sprake van freeflow verkeerssituatie. Wanneer een incident zich voordoet op t_0 , die de rijbaan blokkeert, dan zal een stopgolf van de incidentplaats zich stroomopwaarts voortbewegen. Stroomafwaarts van de incidentlocatie bevindt zich geen verkeer (3). Stroomopwaarts ontstaat een stilstaande wachtrij (2). Wanneer het incident verholpen is en de rijbaan weer wordt vrijgegeven, dan zal een startgolf beginnen op de incidentplaats en ook stroomopwaarts lopen totdat de achterzijde van de file is bereikt. Stroomafwaarts van de startgolf is sprake van een hogere dichtheid (4) dan in de freeflowsituatie. Wanneer de intensiteit stroomopwaarts hoger is, dan zal de stopgolf zich sneller voortbewegen. Hierdoor kan het voorkomen dat de filelengte niet afneemt, maar dat de hele file zich stroomopwaarts verplaatst.



Figuur 2.5 x/t-diagram van schokgolven en voertuigen bij een tijdelijk knelpunt op x_0 (Hoogendoorn, 2006)

Het model Indy is in staat te modelleren met DQM en LTM. Vanwege de genoemde voordelen van LTM zal in dit onderzoek deze manier worden gebruikt.

2.4.2 Verificatie, kalibratie en validatie van een verkeersmodel

In dit onderzoek wordt het model geverifieerd, gekalibreerd en er wordt geanalyseerd in hoeverre het model overeenkomt met de werkelijkheid. Dit heeft overeenkomsten met het valideren van een model. Niet in elk vakgebied worden deze termen met dezelfde betekenis gebruikt. Daarom volgen hieronder definities van deze termen zoals ze in dit onderzoek worden gebruikt.

Verificatie

Verificatie betreft het functioneren van de software (Hoogendoorn, 2006). In dit onderzoek wordt het functioneren van het model 'Indy' getest voor allerlei situaties.

Kalibratie

Onder kalibratie wordt het proces verstaan waarbij het simulatiemodel wordt aangepast naar de werkelijkheid. Het doel van kalibratie is het bereiken van constructieve validiteit (Van Zuylen, 2007). Constructieve validiteit toont aan dat de gesimuleerde waarden consistent zijn met elkaar en met de observaties uit de werkelijkheid (Van Zuylen, 2007).

Bij een macroscopisch model bestaat de kalibratie in de eerste plaats uit de keuze van parameterwaarden (Van Zuylen, 2007; Hoogendoorn, 2006). Dit kan worden gedaan op basis van 'observaties, door de parameters over te nemen van de literatuur, door het gebruik van standaard waarden, etc.' (Van Zuylen, 2007). De parameters moeten zo gekozen worden dat het verschil tussen de waarden uit de werkelijkheid en de gesimuleerde waarden zo klein mogelijk is. Hiervoor wordt een dataset uit de werkelijkheid gebruikt.

Naast het kiezen van parameterwaarden kan volgens Hoogendoorn (2006) ook een passend fundamenteel diagram worden gekozen en is data nodig betreffende de vervoersvraag. Over het algemeen bestaat deze data uit dynamische O/D-patronen' (Hoogendoorn, 2006).

Validatie

Onder validatie wordt de test verstaan die bepaalt of het model in staat is verkeerscondities te voorspellen (Van Zuylen, 2007). Dit wordt ook wel voorspellende validatie (predictive validity) genoemd. Hierbij worden de uitkomsten van het model vergeleken met een dataset uit de werkelijkheid. Deze dataset is nog niet gebruikt bij de kalibratie van het model.

3 Robuustheid van het huidige netwerk

In dit hoofdstuk wordt een analyse van de huidige situatie beschreven. Hiertoe is analyse gemaakt van de betrouwbaarheid van reistijden in het huidige netwerk op basis van de metingen van negen dinsdagen in 2007 (paragraaf 3.1 tot en met 3.3). In paragraaf 3.4 wordt de robuustheid van het netwerk voor vijf incidentsituaties weergegeven.

3.1 Gebruikte data

Er is voor gekozen om alleen voor dinsdagochtenden de reistijden te bepalen. Er zijn voor negen dinsdagen in maart, april en mei 2007 de gegevens gebruikt (van 5:00 uur tot 10:00 uur). Dit is gedaan omdat dinsdagen door sommige verkeerskundigen worden gezien als een standaard dag. Voor dit onderzoek waren alleen data beschikbaar van het jaar 2007. De gekozen dagen vallen in het voorjaar. De herfst en winter zijn minder geschikt, omdat er dan een grotere kans is dat de capaciteit van wegen sterk wordt beïnvloed door de weersomstandigheden. Een waarschuwing door het weerbericht kan mensen in die maanden ertoe bewegen hun gedrag aan te passen. De zomermaanden zijn niet geschikt, aangezien veel mensen dan niet hoeven te werken en dus de verkeersvraag laag is.

De gekozen dagen hebben wisselende weertypen: op 13 maart is het zicht beperkt geweest tot 100 meter, op 6 maart heeft het geregend en op 20 maart lag de minimumtemperatuur onder 0°C. De bewolgingsgraad heeft op de gekozen dagen gevarieerd tussen onbewolkt en zwaar bewolkt (KNMI, 2008, zie ook bijlage 2). Eén van de dinsdagen viel in een schoolvakantie: dinsdag 1 mei (meivakantie).

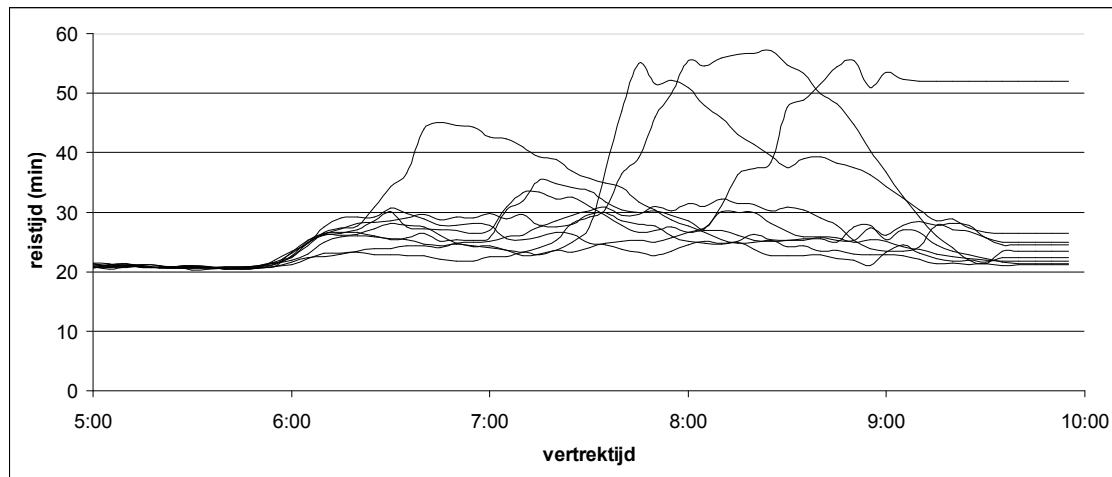
Op basis van de meetlusgegevens in het wegdek zijn door Monigraph met behulp van het piece-wise linear speed-based (PLSB) trajectorie algoritme de gemiddelde reistijd per voertuig bepaald (Van Lint en van der Zijpp, 2003). Deze methode gebruikt 'lineair en continue acceleratie of deceleratie tussen twee meetpunten, in plaats van de oude methode die ervan uitgaat dat snelheden constant zijn tussen meetpunten en waarbij de snelheid een sprong maakte op elk meetpunt' (Van Lint en Miska, 2006). De meetlusgegevens zijn afkomstig van lussen die zich op alle snelwegen in het studiegebied op korte afstand van elkaar (ca. 500 meter) bevinden. Van Lint en Van der Zijpp (2003) laten zien dat de PLSB-methode (ondanks het gebruik van de gemiddelde lokale snelheid, time-mean speed, die altijd hoger is dan de gemiddelde momentane snelheid, space-mean speed) een nauwkeurige schatting geeft van de gemiddelde reistijd met een restvariantie van ongeveer 5% (Van Lint et al, 2008).

3.2 Betrouwbaarheid reistijden

Voor de volgende acht snelwegtrajecten is de reistijd bepaald (telkens in beide richtingen):

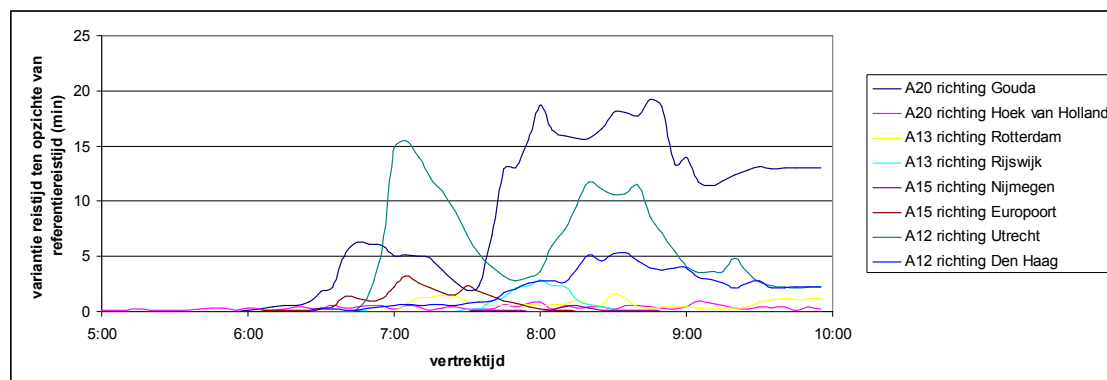
- A12 tussen Nootdorp en Waddinxveen;
- A13 tussen Delft Noord en Berkel en Rodenrijs;
- A15 tussen Rozenburg en IJsselmonde;
- A20 tussen Maasdijk en Moordrecht.

In figuur 3.1 reistijd van de A20 richting Gouda weergegeven. Dit is het traject met de meest onbetrouwbare reistijden tussen 8:00 en 9:00 uur voor de gebruikte dagen. De lengte van het traject is 32,5 kilometer en de freeflow-reistijd ligt op 21 minuten. In de figuur is te zien dat er tijdens de spits een grote variatie is in de reistijd. Slechts op drie van de negen dinsdagen ligt de reistijd tijdens de hele spits onder de 32 minuten. Ook op dinsdag 1 mei, de dag die valt in de schoolvakantie, is de reistijd hoog: om 7:15 uur is de reistijd 35 minuten en vanaf 8:10 uur stijgt de reistijd tot boven 50 minuten.



Figuur 3.1 Reistijden op negen dinsdagen op de A20 richting Gouda (voorjaar 2007)

Om de betrouwbaarheid van de reistijd weer te geven is de variantie bepaald. Om meerdere trajecten te kunnen vergelijken is deze variatie gedeeld door de freeflowreistijd (referentiereistijd). Dit levert een variantie per minuut op. In de grafiek op de volgende pagina is deze relatieve variantie voor alle acht trajecten weergegeven.



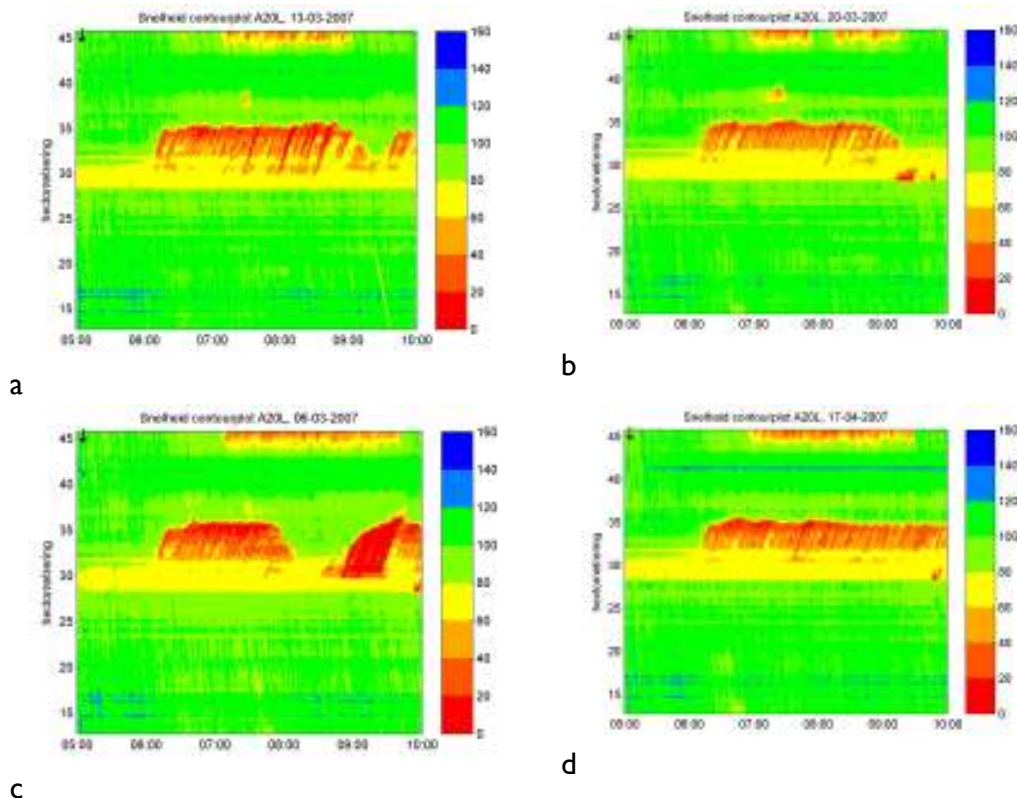
Figuur 3.2 Variantie in de reistijd ten opzichte van referentiereistijd

Op basis van deze gegevens kan visueel een onderscheid worden gemaakt tussen trajecten met een onbetrouwbare en een betrouwbare reistijd in de ochtendspits. De onbetrouwbare trajecten zijn de A20 richting Gouda en de A12 in beide richtingen. De reistijden op de A15 richting Nijmegen, de A13 richting Rotterdam en de A20 richting Hoek

van Holland zijn wel betrouwbaar. De overige twee trajecten (A13 richting Rijswijk en A15 richting Europoort) vallen tussen deze tweedeling en hier zal dus meer onderzoek naar moeten worden gedaan voordat uitspraken gedaan kunnen worden.

3.3 Dagelijkse files

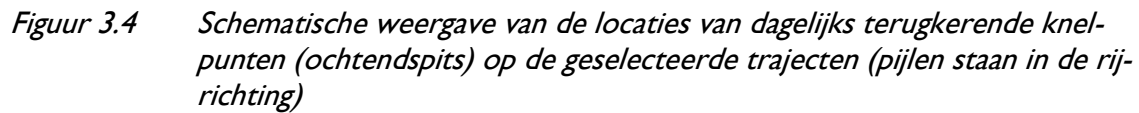
Een snelheidscontourplot laat met kleuren zien hoe hard waar en wanneer gereden werd. Op basis hiervan kan worden geconstateerd waar zich vaak files bevinden en dus kan worden gesproken van 'dagelijkse files'. Hieronder zijn de snelheidscontourplots weergegeven voor de A20 richting Hoek van Holland voor vier willekeurige dinsdagen.



Figuur 3.3 Snelheidscontourplots voor de A20 richting Hoek van Holland

Wanneer de patronen van de vier plots in de figuur visueel worden geanalyseerd, dan wijkt één van de vier plots af. Dit betreft plot C. Op deze plot bevindt zich namelijk een rode vlek die aan de rechterzijde schuin is afgevlakt in de richting van linksonder naar rechtsboven (in de figuur). Dit is de start-golf, waarbij de file zich vanaf de kop stroomopwaarts afbouwt. Dit is kenmerkend voor een tijdelijk knelpunt (vergelijk figuur 2.5),

Op de overige dagen wordt telkens een vergelijkbaar patroon aangetroffen (zie bijlage 10). Dit patroon bevat twee permanente knelpunten, te beginnen bij het begin van het traject: Moordrecht (hectometer 45). Het verkeer van de oprit van Moordrecht en het viaduct ter hoogte van die oprit over de N456 zorgt voor een file tot ongeveer hectometerpaal 44. Het tweede knelpunt bevindt zich bij hectometerpaal 32, ter hoogte van de oprit Crooswijk. Het verkeer dat daar moet invoegen zorgt voor een dagelijkse file van rond de 3 kilometer (staart van de file bevindt zich rond hectometerpaal 35). Ook het bijzondere alignement van de weg (helling, bocht) en de aankondiging van de 80 km/uur-zone rond het Kleinpolderplein zorgen wellicht voor een capaciteitsreductie. In de figuur op de volgende pagina is voor alle geselecteerde trajecten de locatie van dagelijkse files aangegeven.



3.4 Incidentsituaties

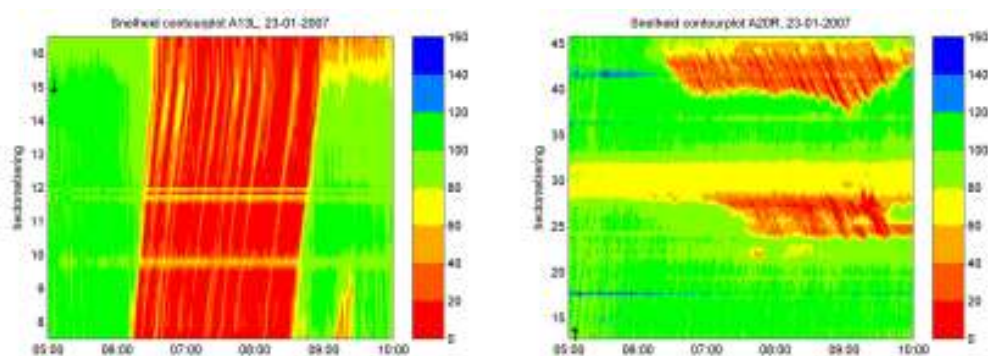
In deze paragraaf zullen vijf dagen worden beschreven waarbij een incident een groot-schalig effect heeft gehad. Het gaat hierbij om 23 januari, 1 maart, 25 september, 19 november en 12 december 2007. Deze dagen zijn geselecteerd op basis van de nieuwsberichten van de Verkeers Informatie Dienst (VID). Deze dagen zijn niet allen dinsdagen. Ook is niet zeker of meer factoren een invloed hebben gehad de vertraging op die dagen, zoals een verhoogde vraag of het weer. De incidentcases in deze paragraaf kunnen dus nooit exact vergeleken worden met de situaties in de vorige paragrafen.

In deze nieuwsberichten is te vinden wat er is gebeurd en in veel gevallen ook wanneer en hoeveel stroken er afgesloten zijn geweest. Met behulp van Regiolab is vervolgens geanalyseerd op welk tijdstip en welke locatie precies het ongeval heeft plaatsgevonden en waar op die ochtend files zijn ontstaan. Door data van meetlussen in het wegdek te gebruiken is bepaald wat de reistijd op de trajecten met files is geweest (met behulp van Monigraph, zie paragraaf 3.1), en op snelheidscontourplots is de locatie van files achterhaald. Een aantal snelheidscountourplots is afgebeeld in dit hoofdstuk. De overige relevante en de nieuwsberichten van de VID zijn te vinden in bijlage 3. In de kaarten zijn schematisch de effecten van incidenten te zien. De tijden die hierin zijn weergegeven zijn gebaseerd op de gegevens afkomstig uit Regiolab.

Case 1 *Ongeval A4 Prins Clausplein (dinsdag 23 januari 2007)*

Op deze dag is er sprake van een ongeval op de A4 richting Amsterdam ter hoogte van het Prins Clausplein. Hierdoor zijn twee rijstroken afgesloten tussen 5.48 uur en 8.25 uur. In de figuur op de volgende pagina zijn de effecten van dit incident samengevat.

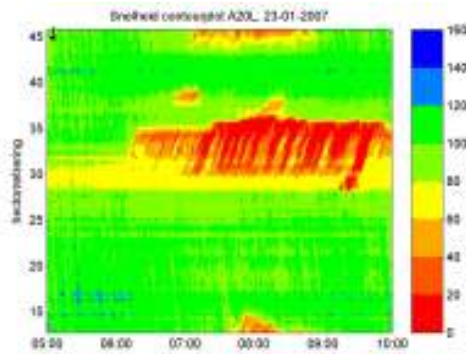
Het ongeval heeft direct gevolgen voor het verkeer op de A13 richting Rijswijk. Op de snelheidscontourplot is duidelijk te zien (zie figuur 3.5) dat over de hele lengte van het traject (ongeveer 10 km) een file staat. De reistijd bedraagt hierdoor 53,3 minuten (bij een vertrektijd van 7:15 uur). Normaal ligt deze reistijd tussen 5,8 en 6,6 minuten.



Figuur 3.5 *Snelheidscountourplots A13 richting Rijswijk en A20 richting Gouda*

Deze file heeft ook gevolgen voor de A20 richting Hoek van Holland. De file is weliswaar niet veel langer dan in de referentiesituatie, maar levert wel een grotere vertraging. De reistijd is 47,0 minuten bij een vertrektijd van 8:50 uur (normaal tussen 23.0 en

35.6 minuten). Waarschijnlijk is hierbij nog sprake van een tweede incident dat rond 9:15 uur plaatsvindt ter hoogte van de afrit Spaanse Polder, aangezien in de snelheidscontourplot (zie figuur 3.6) daar een verlaging van de snelheid te zien is.



Figuur 3.6 Snelheidscontourplots A20 richting Hoek van Holland

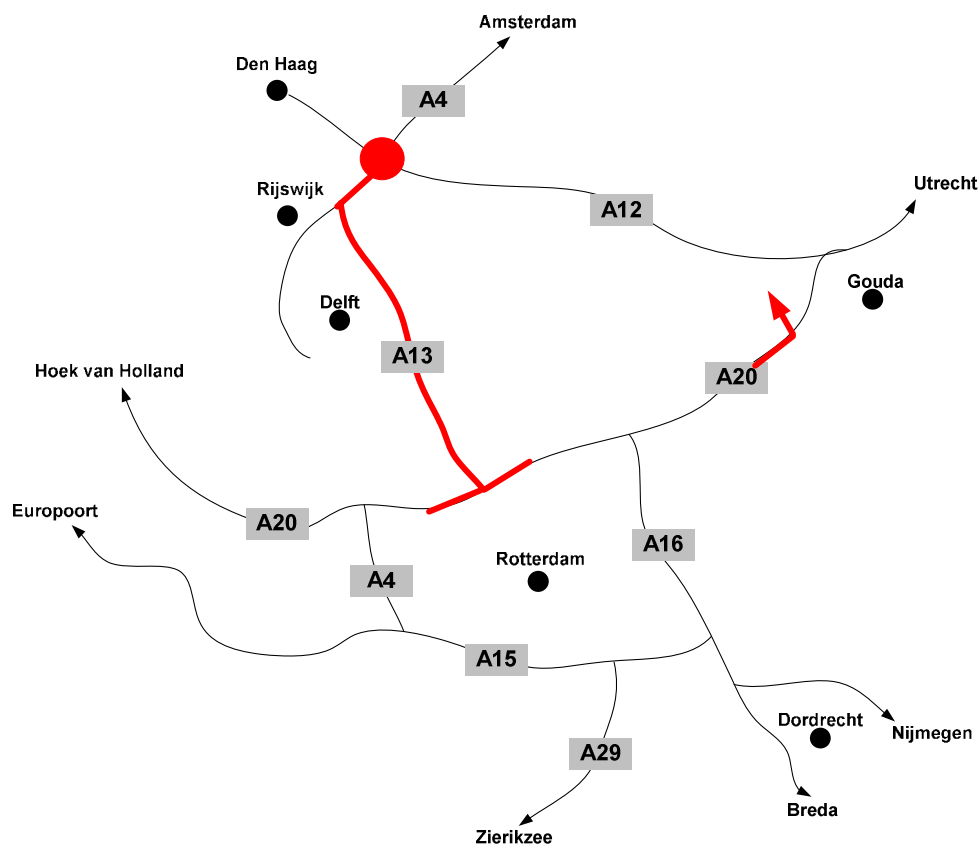
Er wordt een omleiding ingesteld via Gouda (VID, 2008). Op de A20 richting Gouda ontstaat hierdoor een file voor de afrit Moordrecht. De file op A20 bij Schiedam blijft hierdoor beperkt tot een vrijwel dagelijkse file. De reistijd op dit hele traject is ook vrij beperkt: 41,0 minuten om 8:20 uur. Normaalgesproken is de reistijd tussen 24,2 en 50,6 minuten.

Van de omleiding via Gouda is op de A12 richting Den Haag niets te merken. De maximale reistijd bedroeg 23,7 minuten (bij een vertrektijd van 8:20 uur). In de referentiesituatie is de reistijd dan tussen 14,7 en 33,1 minuten.

De congestie op de A13 richting Rotterdam is iets sterker dan normaal. De maximale reistijd is 14,8 minuten (om 8:05 uur). Normaalgesproken ligt deze reistijd tussen 8,2 en 13,0 minuten.

Door de omleiding en de buffer van de A13 (ongeveer 5.000 auto's¹) is er geen terugslageffect op de A4 (bij Beneluxtunnel) en A15.

¹ uitgaande van drie stroken over een traject van 14 kilometer en 125 voertuigen per strook per kilometer

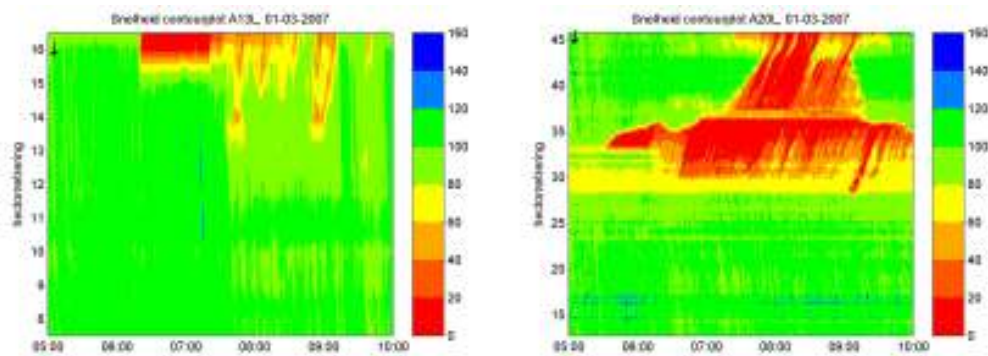


Figuur 3.7 Locatie van effecten van incident op 23 januari 2007

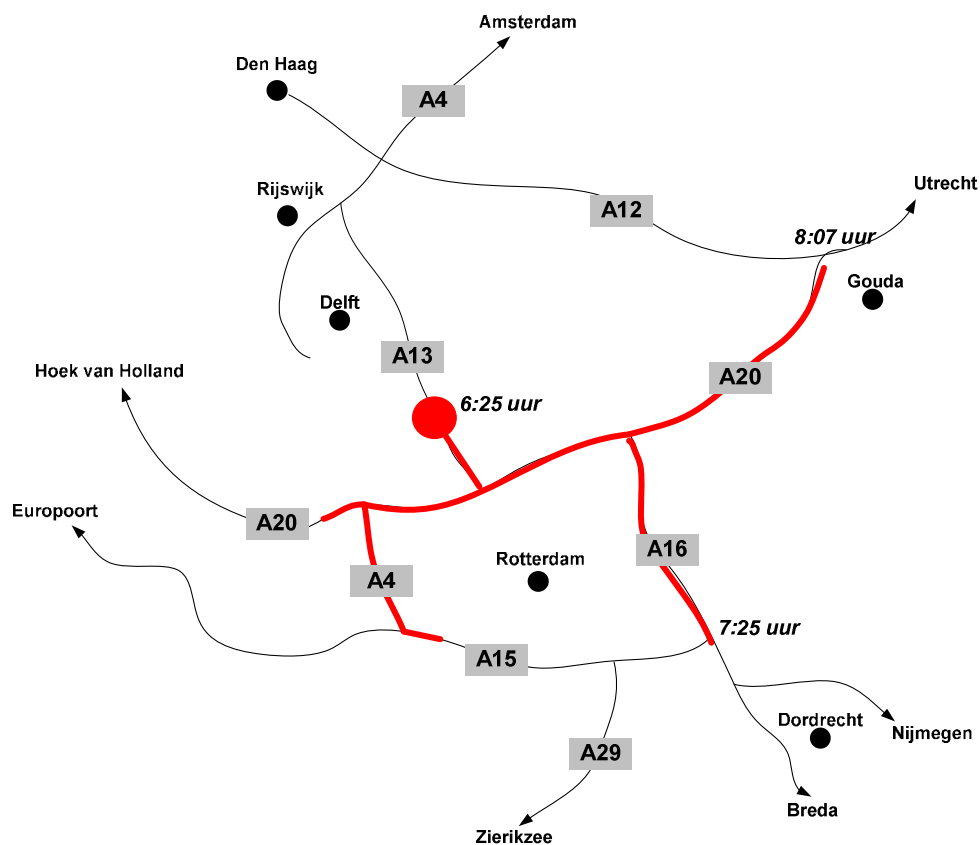
Case 2: Ongeval A13 (donderdag 1 maart 2007)

Op 1 maart 2007 vindt er een ongeval plaats op de A13 richting Rijswijk tussen de oprit van Berkel en Rodenrijs en tankstation Ruyven. Er worden twee van de drie rijstroken afgesloten. Het verkeer kon gebruikmaken van de overgebleven strook en de vluchtstrook (de spitsstrook was nog in aanbouw). Het ongeval vond plaats om 6:25 uur en om 7:20 uur is de rijbaan weer vrijgegeven.

Op de snelheidscontourplot van de A13 richting Rijswijk (zie figuur 3.8) is duidelijk de locatie van het incident te zien. Rond hectometerpaal 15,5 bevindt zich namelijk de kop van de file. De reistijd (op het gekozen traject tussen de oprit van Berkel en Rodenrijs en Delft-Noord) is hierdoor 11,7 minuten (bij vertrektijd 6:25 uur), terwijl deze in de referentiesituatie tussen 5,8 en 6,2 minuten ligt.



Figuur 3.8 Snelheidscontourplots A13 richting Rijswijk en A20 richting Hoek van Holland



Figuur 3.9 Locatie van effecten van incident op 1 maart 2007

De file slaat van de A13 door naar de A20 richting Hoek van Holland. Er ontstaat hier een forse file, waarbij de kop zich bevindt bij het Kleinpolderplein. De staart bevindt zich tot voorbij Moordrecht. De reistijd is hier 71,2 minuten bij een vertrektijd van 7:45 uur, terwijl deze reistijd normaal tussen 24,9 en 27,6 minuten bedraagt.

Ook naar de A20 in de andere richting slaat de file door. Hier staat een file op de plek waar dagelijks een file staat, maar op 1 maart levert deze file een grotere vertraging op.

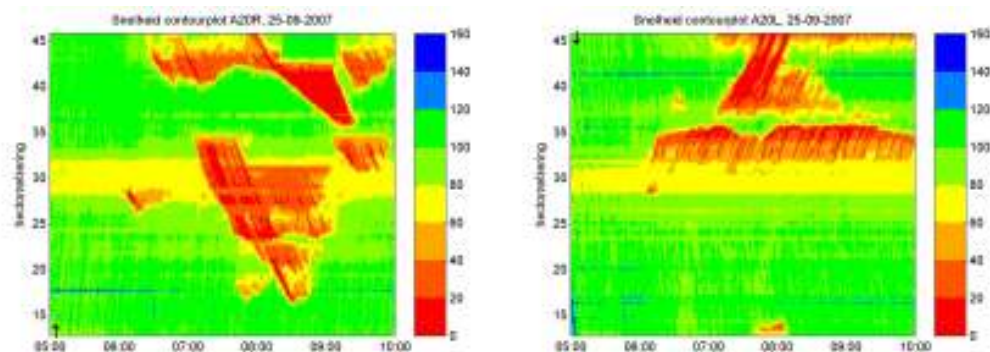
De reistijd bedraagt 39,27 minuten om 7:25 uur, terwijl deze normaal tussen 24,0 minuten en 35,8 minuten ligt. Er staat in deze situatie geen file voor de afrit naar Moordrecht, terwijl dat op 23 januari wel het geval was. Op de A12 is ook niets van omrijden te zien.

Door deze file op de A20 wordt ook de A4 rond de Beneluxtunnel geblokkeerd. Uiteindelijk slaat de file door tot de A15 richting Europoort. De kop van de file op deze weg staat bij het knooppunt Benelux. De reistijd wordt hierdoor 26,9 minuten, terwijl deze normaal tussen 13,8 en 16,0 minuten is.

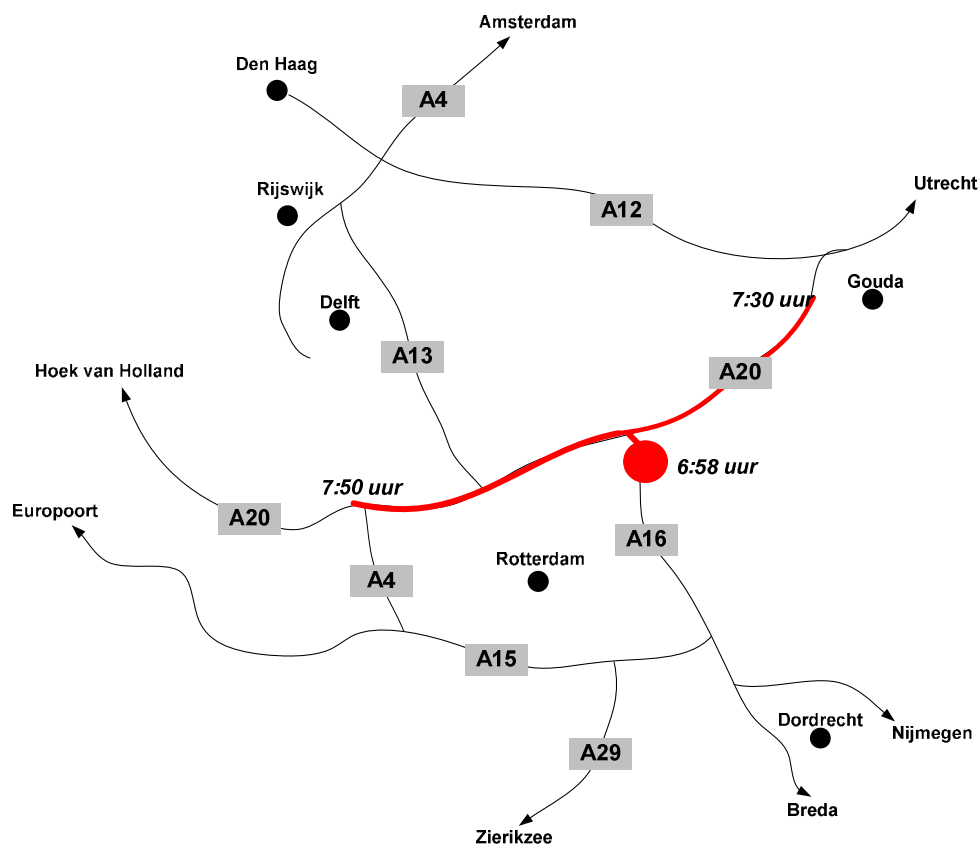
Case 3: Ongeval verbindingbogen richting A16 (25 september 2007)

Op deze dag heeft zich kort voor 7:00 uur een ongeval voorgedaan op de samenvoeging van de verbindingbogen van de A20 naar de A16, ter hoogte van het Terbregseplein (VID, 2008). Dit leidt tot files op de A20 in beide richtingen. Op de A13 richting Rotterdam zijn de gevolgen van het incident niet duidelijk zichtbaar. Op de snelheidscontourplot is slechts een beperkte snelheidsverlaging te zien rond 8:00 uur.

In de snelheidscontourplots van de A20 van beide richtingen (zie figuur 3.10) zijn duidelijk de gevolgen van het incident te zien. Tussen ongeveer 7:00 uur en 7:40 uur bevindt zich namelijk een knelpunt in beide richtingen ter hoogte van hectometerpaal 35, het Terbregseplein. Op de A20 richting Gouda groeit de file aan tot de dagelijkse file bij het Kleinpolderplein en hierdoor lopen ook de snelheden terug tot bij het Kethelplein. Op de A20 richting Hoek van Holland groeit de file aan tot de dagelijkse file bij Moordrecht.



Figuur 3.10 Snelheidscontourplots A20 richting Gouda en Hoek van Holland

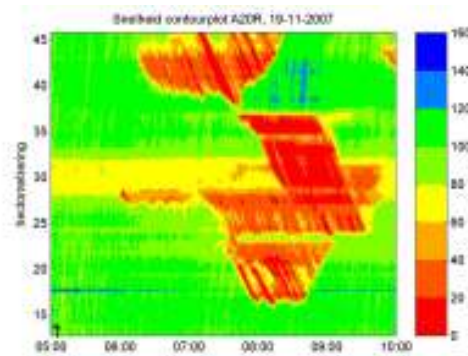


Figuur 3.11 Locatie van effecten van incident op 25 september 2007

Case 4: Ongeval A20 ter hoogte van Prins Alexander (19 november 2007)

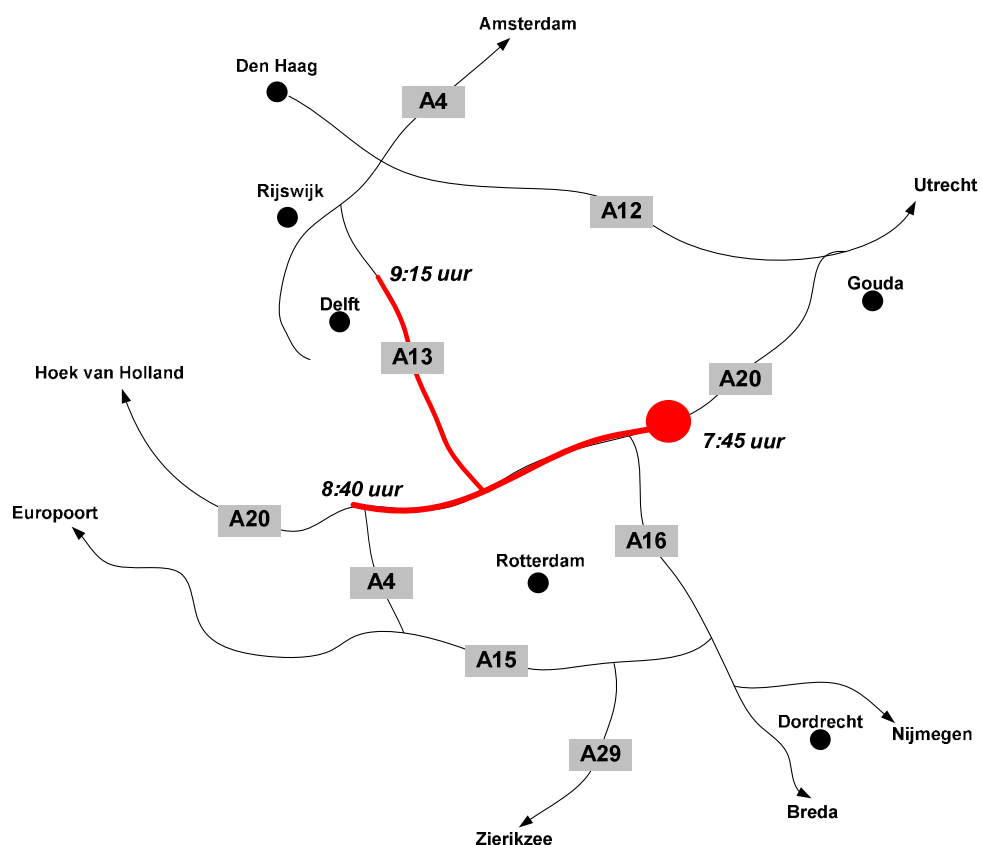
Op deze dag gebeurt er een ongeval op de A20 richting Gouda ter hoogte van Prins Alexander. Het ongeval vindt, vergeleken bij de andere cases, laat in de ochtendspits plaats: om 7:45 uur. Er ontstaat een file op de A20 die terugslaat tot het Kethelplein. Op de A13 richting Rotterdam is reeds een dagelijkse file. Tussen 9:00 uur en 10:00 zorgt echter de terugslag van het ongeval ook hier voor extra vertraging.

Op de snelheidscontourplot van de A20 richting Gouda is de locatie van het incident te zien (bij hectometer 37, zie figuur 3.12). Het incident vindt plaats vanaf ongeveer 7:45 uur en rond 9:00 uur is de rijbaan weer vrij.



Figuur 3.12 Snelheidscontourplots A20 richting Gouda

Opvallend in de figuur is de aanwezigheid van een file met een kop in de buurt van de afrit Moordrecht, stroomafwaarts van de incidentlocatie. In deze file komt een stopgolf voor die rond 7:45 de incidentplaats bereikt. Wellicht heeft zich hier een kop-staartbotsing voorgedaan. Hier bevindt zich de kop van de file. De staart van de file bevindt zich ongeveer bij het Kethelplein (ter hoogte van hectometer 24). De file is dus ongeveer 13 kilometer lang.

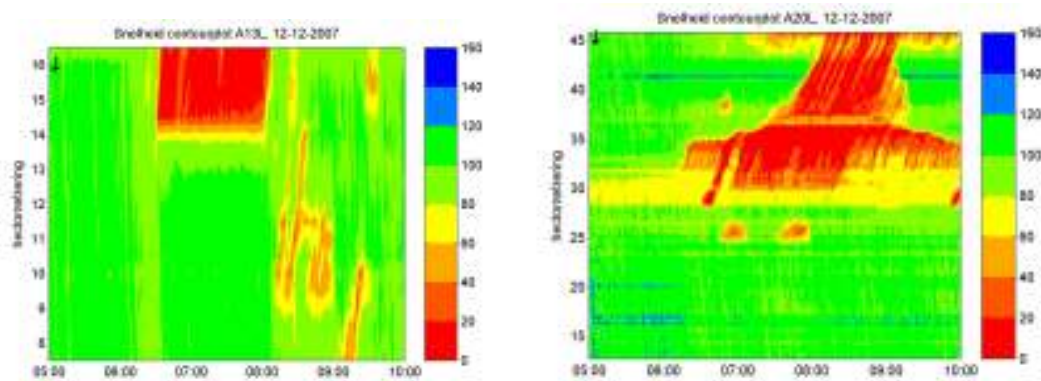


Figuur 3.13 Locatie van effecten van incident op 19 november 2007

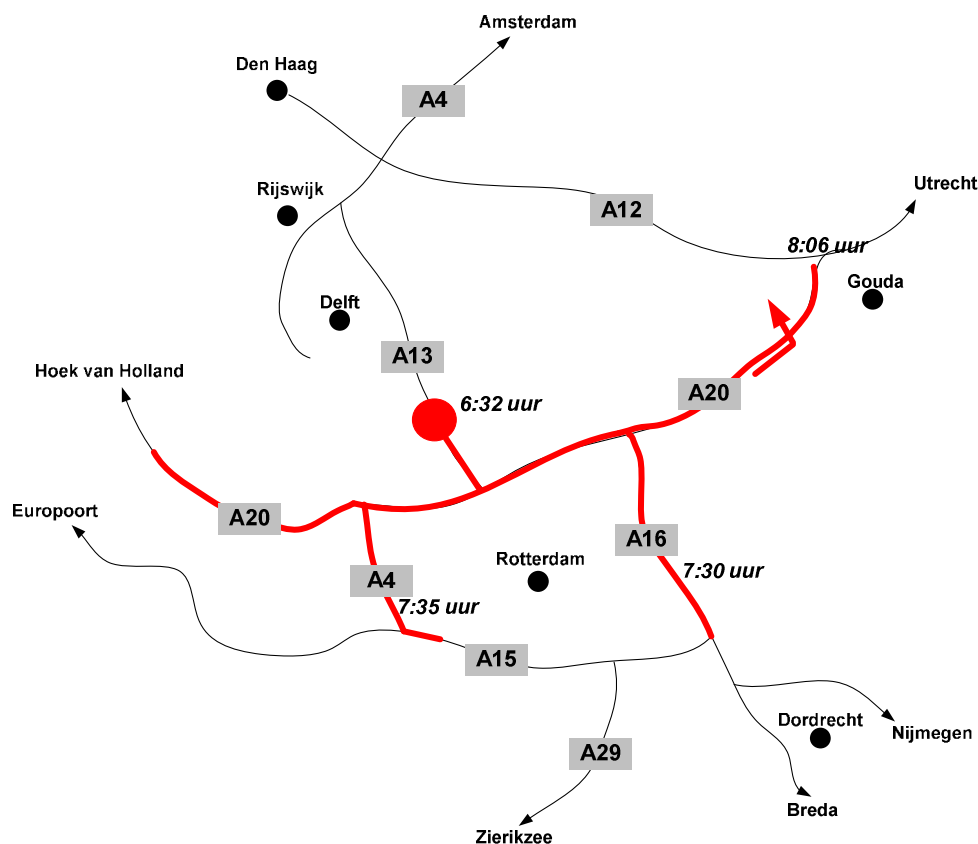
Case 5 *Ongeval A13 (woensdag 12 december 2007)*

Op ongeveer dezelfde locatie als op 1 maart 2007 vindt op deze dag een incident plaats. Inmiddels is de spitsstrook aangelegd en in gebruik. Het ongeval blokkeert twee rijstroken. Hierdoor blijft dus één normale strook en de spitsstrook over. Het ongeval vindt plaats om 6:32 uur en de rijbaan wordt vrijgegeven om 8:04 uur.

Het ongeval is duidelijk terug te zien op de snelheidscontourplot van de A13 (zie figuur 3.14). De reistijd op de A13 richting Rijswijk tussen de oprit van Berkel en Rodenrijs en Delft-Noord is het hoogst om 6:35 uur en bedraagt dan 18,3 minuten. Dit is veel hoger dan de reistijd in de referentiesituatie: tussen 5,7 en 6,5 minuten.



Figuur 3.14 *Snelheidscontourplots A13 richting Rijswijk en A20 richting Hoek van Holland*



Figuur 3.15 Locatie van effecten van incident op 12 december 2007

Op de A20 richting Hoek van Holland zijn grote effecten merkbaar van het incident op de A13. De kop van de file bevindt zich bij het Kleinpolderplein, de staart bevindt zich voorbij Moordrecht. De reistijden op dit traject zijn hoog: bij een vertrektijd van 8:05 uur was de reistijd 63,1 minuut, terwijl deze normaal tussen 23,1 en 28,2 minuten is.

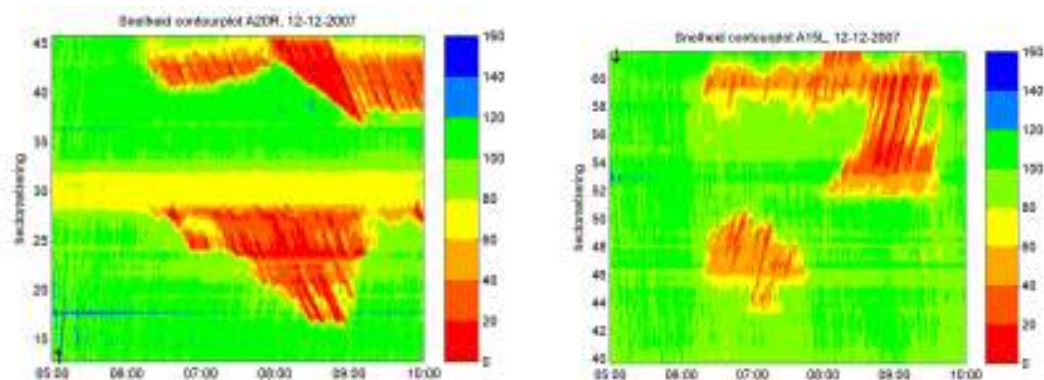
Op de A20 richting Gouda staat voor het knooppunt Kleinpolderplein dagelijks een file. Op 12 december is deze file ongeveer even lang, echter de snelheid ligt een stuk lager. De staart van de file bevindt zich rond de oprit Maassluis. Verderop, voor de afrit Moordrecht bevindt zich een file die daar normaal niet staat. Dit betreffen waarschijnlijk automobilisten die komen vanaf de Brienenoordbrug (A16) en naar het Prins-Clausplein en verder (Den Haag, Leiden) willen en omrijden via de A20, afrit Moordrecht, oprit Waddinxveen en de A12. De reistijd op dit traject is het hoogst bij een vertrektijd van 7:45 uur. De reistijd bedraagt dan 63,7 minuten (referentie: tussen 24,0 en 48,6 minuten).

Zoals te zien in de contourplot van de A15 richting Europoort (figuur 3.16) bevindt zich een kop van een file die normaalgesproken niet aanwezig is bij het knooppunt Benelux, waarbij er een splitsing is tussen het verkeer richting Den Haag (A4) en Europoort (A15). Hierbij is dus de file teruggeslagen van A13 naar A20 naar A4 naar A15. Deze file ontstaat rond 8:00 uur (de rijbaan op de A13 is dan al weer vrij) en is pas rond 9:30 uur verdwenen. De reistijd op de A15 richting Europoort is hierdoor om 8:40 uur 32,5 mi-

nuten, terwijl op dat tijdstip de reistijd normaalgesproken tussen 13,7 en 15,2 minuten is. Dit betekent dus meer dan een verdubbeling van de reistijd.

Het omrijdende verkeer komt op de A12 richting Den Haag terecht. Er ontstaat hierdoor echter geen extra vertraging op deze snelweg. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de knelpunten die de opritten vormen ervoor zorgen dat niet teveel verkeer de snelweg op stroomt.

Op de A13 richting Rotterdam ontstaat een kijkfile. De kop van de file bevindt zich op de locatie waarbij op de andere rijbaan het incident heeft plaatsgevonden. De reistijd op dit traject is het hoogst om 7:15 uur. De reistijd is dan 14,5 minuten en dus niet veel groter dan de normale reistijd (tussen 6,9 en 13,3 minuten) op dat tijdstip.



Figuur 3.16 Snelheidscontourplots A20 richting Gouda en A15 richting Europoort

De situaties op 12 december en op 1 maart 2007 zijn goed vergelijkbaar. Echter, op 12 december wordt er veel meer omgereden via Moordrecht en Waddinxveen dan op 1 maart. Door dit omrijden wordt de reistijd op de A20 richting Hoek van Holland lager (voor het Kleinpolderplein) en de reistijd op de A20 richting Gouda (voor de afrit Moordrecht) hoger.

4 Verificatie van Indy

In dit hoofdstuk zal het model Indy en de werking daarvan worden geïntroduceerd (paragraaf 4.1). Daarna zullen de benodigde input van het model (paragraaf 4.2), het draaien van het model (paragraaf 4.3) en de modeluitvoer (4.4) aan bod komen. De verificatie van de werking van het model komt in de volgende paragrafen aan bod. In paragraaf 4.5 wordt de padgeneratie en verkeerssimulatie behandeld, in paragraaf 4.6 wordt een beperking van de grootte van het studiegebied gegeven en in paragraaf 4.7 worden enkele opmerkingen over de gebruiksvriendelijkheid van het model geplaatst. In paragraaf 4.8 wordt de methode van de simulatie van omrijden door Indy geverifieerd, waarop in paragraaf 4.9 de mogelijkheden volgen om met Indy incidenten te simuleren.

4.1 Introductie van het model Indy

Het verkeersmodel Indy is ontwikkeld door TNO, de TU Delft en de KU Leuven. In 2001 is met de ontwikkeling gestart. Het model gebruikt als basis een netwerk dat is ingevoerd in het programma 'OmniTRANS' (Bliemer, 2004). Indy werkt als een *plug-in* in dat programma. Indy heeft een aantal belangrijke kenmerken die hieronder zullen worden besproken.

Indy is een dynamisch verkeersmodel. Dit houdt in dat de vraag (het aantal verplaatsingen) variabel is over de tijd. Ook de capaciteit van de wegen kan variabel over de tijd worden gemodelleerd. Dit komt van pas bij de modellering van bijvoorbeeld spitsstroken die slechts gedurende bepaalde tijd voor extra capaciteit zorgen. Ook bij de modellering van incidenten wordt hier gebruik van gemaakt: gedurende een bepaalde tijd is hierdoor de capaciteit van een bepaald deel van de weg beperkt.

Indy is een macroscopisch model (voertuigen worden niet individueel gesimuleerd) dat bedoeld is voor de modellering van grote netwerken. Het model aggregaat voertuigen tot verkeersstromen die door een netwerk stromen. Het modelleert geen individuele voertuigbewegingen met gedefinieerde volg-eigenschappen of eigenschappen voor strookwisseling.

Er is geprobeerd om fileterugslag zo nauwkeurig mogelijk te modelleren. Dit moet zorgen voor een correcte op- en afbouw. Op deze manier kan een belangrijk effect van files worden gemodelleerd: de eventuele blokkade van knooppunten. Dit gebeurt wanneer een file op een knooppunt het verkeer in een andere richting blokkeert. Op deze manier worden beter de effecten van een file beschreven dan in andere modellen.

Zoals vermeld in hoofdstuk 2 bestaan er meerdere manieren van toedeling van verkeer in een model op een netwerk. In Indy wordt voor de referentiesituatie gebruikgemaakt van een evenwichtstoedeling. Dit betekent dat het verkeer net zolang tussen verschillende routes wordt verdeeld totdat er een evenwicht tussen verkeersvolumes op verschillende routes ontstaat. Dit heeft het gevolg dat in het model geen enkele weggebruiker zijn of haar reistijd meer kan verbeteren door een andere route te kiezen. Voor de simulatie van incidentscenario's in hoofdstuk 6 zal gebruik worden gemaakt van een handmatige verschuiving van verkeersvolumes naar een alternatieve route. Er is dan dus geen nieuw evenwicht.

4.2 Invoer van het model

In Indy dienen door de gebruiker een aantal linkgerelateerde en generieke parameters te worden ingevoerd. Deze hebben effect op de uitkomsten. Het gaat om de volgende parameters.

Tabel 4.1a link gerelateerde parameters

parameter	eenheid
capaciteit bij congestie	voertuigen per uur of pae/uur
snelheid	kilometer per uur
aantal stroken	-
lengte	kilometer

Tabel 4.1b generieke parameters

parameter	eenheid
minimale uitstroom van een link	voertuigen per uur of pae/uur
filedichtheid	voertuigen per kilometer of pae/uur
minimum O/D-waarde (aantal verplaatsingen)	-
aantal iteraties voor creatie van paden (paditeraties)	-
percentage maximale overlap tussen twee paden	%
vermenigvuldigingsfactor voor de vraag	-
verloop van de vraag (vermenigvuldigingsfactor voor statische O/D-matrix)	-
aantal iteraties	-
aggregatieniveau	minuut
tijdsstap	seconde

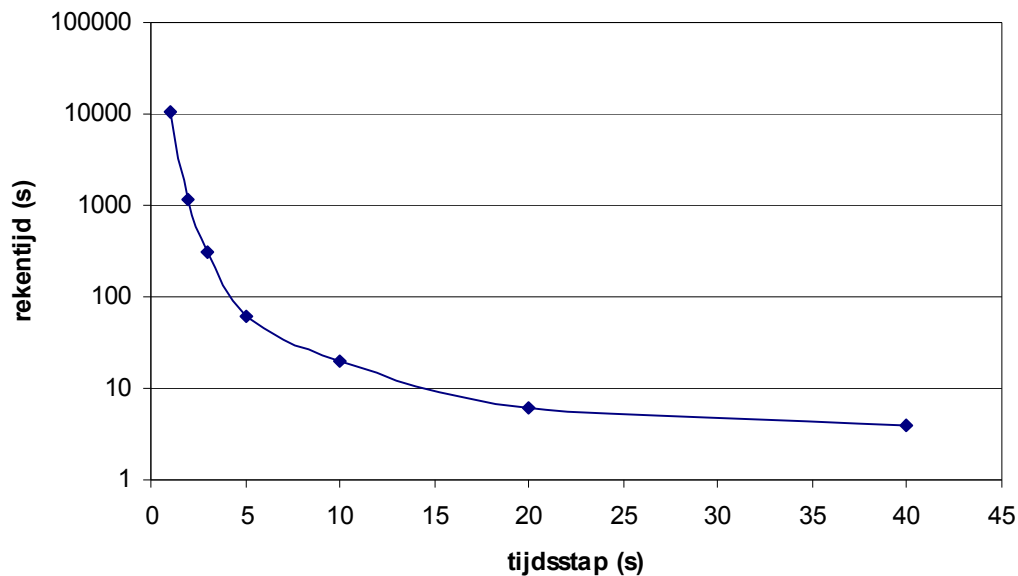
Naast deze parameters dient het netwerk te worden gespecificeerd. De locatie en knopen moeten correct worden ingevoerd. Verder is een O/D-matrix nodig die aangeeft hoeveel verplaatsingen tussen twee plekken (zones) plaatsvinden. Dit is een statische O/D-matrix die dynamisch wordt gemaakt door de invoer van het verloop van de vraag (vraagpatroon).

Wanneer een incident wordt gemodelleerd, dan zijn meer gegevens nodig. Het gaat hierbij om begin- en eindtijd van het incident en de vermindering van de capaciteit op het betreffende wegvak. Daarnaast moet, afhankelijk van het gekozen omrij-percentage, een deel van het verkeer worden verplaatst naar een andere route.

4.3 Het draaien van het model

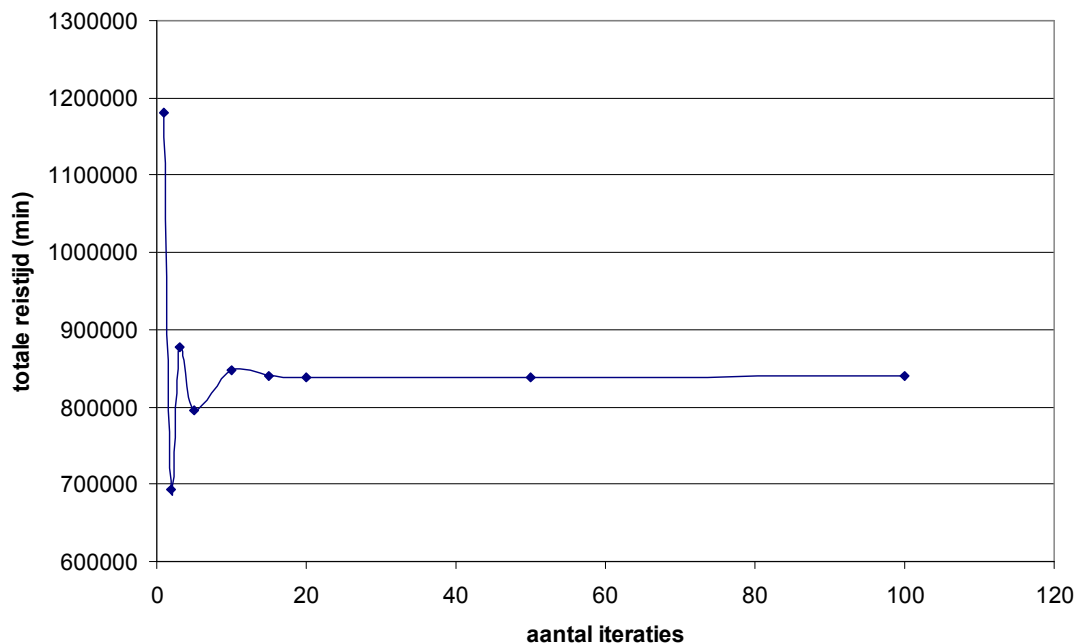
Het model draait door het uitvoeren van een 'job'. De jobs voor het basismodel (voor een beschrijving, zie hoofdstuk 5) zijn te vinden in bijlage 4. De rekentijd van het model is met name afhankelijk van het aantal O/D-paren waarmee het model moet draaien en de gekozen tijdsstap. Het blijkt dat bij een tijdsstap van 5 seconden of kleiner de rekentijd erg lang wordt (zie figuur 4.1). De rekentijd van het model van de regio Rotterdam,

dat in hoofdstuk 5 zal worden geïntroduceerd, bedraagt tussen 15 en 20 uur op een reguliere PC. Deze hoge rekentijd bemoeilijkt het doen van aanpassingen van het model en limiteert daarmee de grootte van het gebied dat bestudeerd kan worden.



Figuur 4.1 Invloed van tijdsstap op rekentijd van het model

Het aantal iteraties heeft ook invloed op de rekentijd van het model. Hoe meer iteraties, hoe hoger de rekentijd. In de figuur op de volgende pagina is weergegeven wat de invloed is van het aantal iteraties op de resultaten van het model. In deze figuur valt af te lezen dat de uitkomsten vanaf ongeveer 15 iteraties stabiel worden. Dit komt overeen met wat de literatuur weergeeft. Rakha et al (1998) melden dat na 10 iteraties de grootste reductie van de variatie van de outputparameter bereikt wordt. Ook Toledo et al (2004) laten zien dat vanaf 15 iteraties de afwijking beperkt is tot ongeveer 8%.



Figuur 4.2 Invloed aantal iteraties op modeluitkomsten

Het model doorloopt vanaf het starten de volgende stappen:

1. Uitlezen van linkgegevens
2. Selecteren van O/D-paren uit de O/D-matrix met een waarde hoger dan de opgegeven waarde
3. Genereren van paden voor de geselecteerde O/D-paren
4. Checken op connectiviteit van O/D-paren
5. Het uitvoeren van de iteraties voor de spreiding van het verkeer over het netwerk
6. Wegschrijven van gegevens

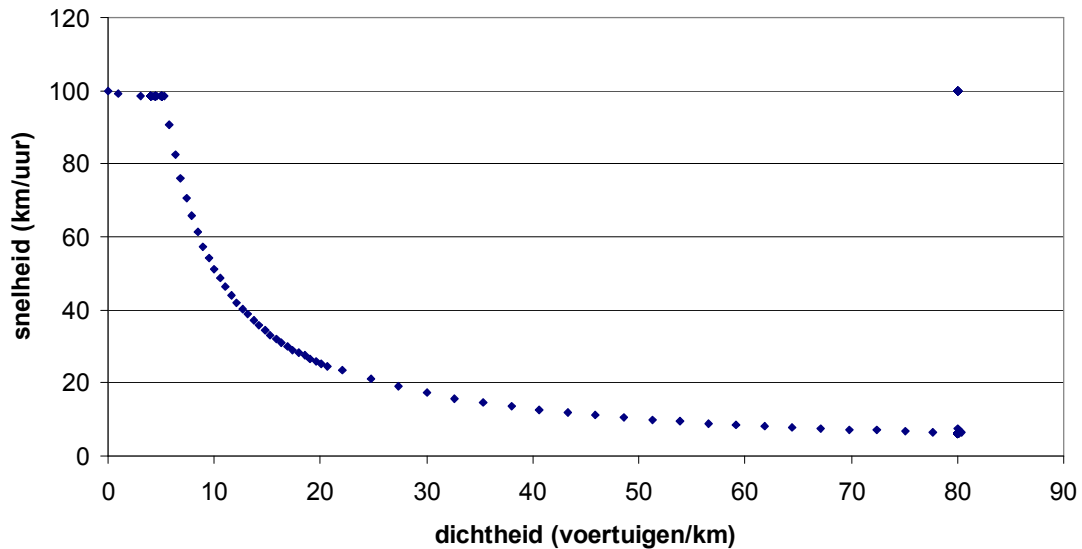
4.4 Modeluitvoer

De uitvoer van het model wordt opgeslagen in databasebestanden waarbij de volgende gegevens kunnen worden gevonden:

- gebruikte links per gegenereerd pad
- reistijd per pad (over tijd)
- reistijd per link (over tijd)
- aantal voertuigen dat vertrekt per pad (over tijd)
- gemiddelde snelheid per link (over tijd)
- hoeveelheid voertuigen per link (over tijd)
- in- en uitstroom per link (over tijd)

Het volume van verkeer en de snelheid over de tijd kunnen gevisualiseerd worden in OmniTRANS. De reistijd is alleen direct vanuit de databases uit te lezen.

Het fundamenteel diagram (snelheid – dichtheid) van het model is hieronder weergegeven. Het is gebaseerd op Sanders functie (Bliemer, 2004). De waarden van de dichtheid komen echter niet overeen met die functie. Dat komt doordat deze functie is getekend voor het gemiddelde van een hele link en niet slechts een doorsnede.



Figuur 4.3 Fundamenteel diagram uit Indy

4.5 Routekeuze en verkeerssimulatie

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 bestaat het model uit de volgende modules: padgeneratie, routekeuze en dynamische toedeling van het verkeer op het netwerk. In deze paragraaf wordt de werking van de padgeneratie geverifieerd (paragraaf 4.5.1). Bij de routekeuze bepaalt het model de verdeling van verkeer over routes op basis van de reistijden die zijn gesimuleerd bij de dynamische toedeling. De dynamische toedeling komt aan bod in paragraaf 4.5.2.

4.5.1 Padgeneratie

In Indy kunnen twee manieren worden gekozen om paden voor een O/D-paar te genereren: de statische padgeneratie en de Monte Carlo simulatie. De statische padgeneratie is in dit onderzoek niet gebruikt. Hieronder volgt daarom alleen een beschrijving van de Monte Carlo padgeneratie.

Monte Carlo padgeneratie

De Monte Carlo simulatie probeert de kortste paden in tijd te vinden in een onbelast netwerk. Het aantal paden dat per O/D-paar wordt gegenereerd is afhankelijk van het aantal iteraties en de overlap-factor.

Bij elke iteratie wordt bij de freeflow-reistijd van een link een stochastische extra reistijd opgeteld. Deze waarde wordt bij elke iteratie opnieuw uit een willekeurige reeks getal-

len getrokken. Wanneer er dus meer paditeraties worden gedaan, worden er meer paden gegenereerd.

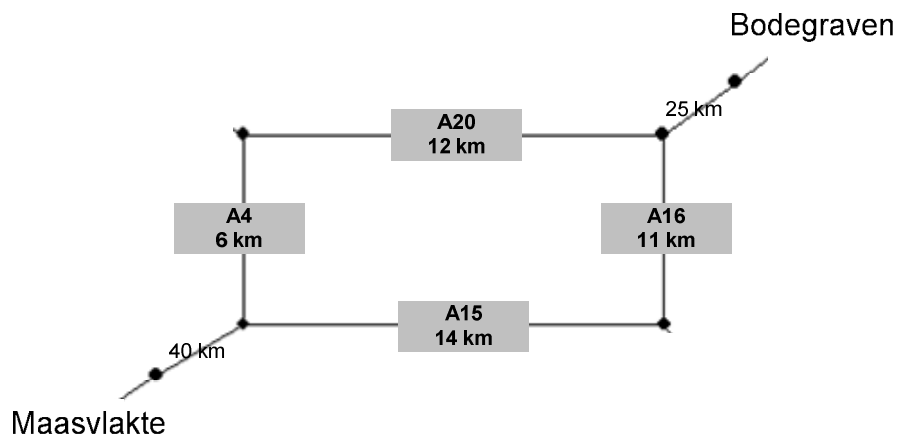
De overlap-factor bepaalt wanneer een nieuw gevonden pad wordt toegevoegd aan de bestaande set paden. Dit is afhankelijk van in hoeverre het nieuw gevonden pad overeenkomt (overlapt) met de reeds gevonden paden. Standaard staat deze waarde ingesteld op 0.9. Dit betekent dat een nieuw gevonden pad niet wordt toegevoegd wanneer 90% of meer van de lengte van het pad overlapt met een reeds gevonden pad. De overlap wordt bepaald door te bepalen hoeveel procent van de lengte van het pad reeds bij een ander gevonden pad voorkomt (Bliemer, 2004). Wanneer dit meer is dan de gestelde waarde, dan wordt dit nieuwe pad niet toegevoegd aan de padenset. Hoe hoger de waarde van deze parameter, hoe meer paden er dus worden gegenereerd.

In de modelbeschrijving van Indy (Bliemer, 2004) wordt ook vermeld dat het aantal paden dat wordt gegenereerd kan worden beïnvloed met de 'maximum dispersion parameter'. Deze parameter bepaalt de maximale variantie van de stochastische extra reistijd. Wanneer de waarde van deze parameter hoger is, dan fluctueert de totale reistijd van een link meer, waardoor er meer paden worden gegenereerd. Het kan dan namelijk aantrekkelijk worden om een grote omweg te nemen. Deze parameter komt echter niet voor in de huidige versie van het model.

De Monte Carlo padgeneratie is ontworpen om de kortste paden te vinden bij situaties zonder incidenten. Het gebruik van de Monte Carlo padgeneratie heeft daardoor het nadeel dat bij weinig iteraties geen paden via grote omwegen gegenereerd worden. Dit zal worden toegelicht aan de hand van een model van de Ring van Rotterdam (A20, A16, A15 en A4) dat hieronder is weergegeven.

Paden via grote omwegen

In de figuur is de Ring van Rotterdam schematisch weergegeven. De freeflow-snelheid op alle links is 115 km/uur. Het vinden van paden via beide zijden van de Ring Rotterdam gebeurt niet in de eerste twee iteraties. Dit komt doordat de stochastische component die bij elke Monte Carlo iteratie wordt gebruikt hetzelfde is voor elke link. Dit betekent dat bij de tweede iteratie zowel het eerst gegenereerde pad, als het pad via de andere zijde van de Ring van Rotterdam een langere reistijd krijgt toegewezen. Logischerwijs is dan de route via de andere zijde van de Ring niet sneller.



Figuur 4.4 Schematische weergave van de Ring Rotterdam

Pas bij een groter aantal iteraties wordt de variatie in de stochastische component van de reistijd groot genoeg om ook de route via de andere zijde van de Ring te vinden. In de tabel op de volgende pagina is voor een aantal padoverlapfactoren te vinden wanneer het aantal genereerde paden gelijk is aan 2 (beide zijden van de Ring).

Tabel 4.2 Het genereren van paden via weerszijden van de Ring van Rotterdam

<i>padoverlap</i>	<i>aantal ite- raties</i>	<i>aantal ge- genereerde paden</i>
%		
95	5	1
95	10	2
95	15	2
85	5	1
85	6	1
85	7	2
85	10	2
85	15	2
75	5	1
75	10	1
75	15	1
80	5	1
80	10	2
80	15	2

Wanneer er in een netwerk veel mogelijkheden zijn om een alternatieve route te nemen, dan zijn er veel mogelijkheden om de reistijd in geval van een incident te beperken door om te rijden. Hoe meer van deze mogelijkheden bestaan, hoe robuuster het netwerk. De Monte Carlo padgeneratie-module is niet in staat al deze paden te genereren. Wanneer het netwerk dus robuuster wordt door het toevoegen van extra omrijmogelijkheden is Indy met de huidige padgeneratiemodule minder geschikt voor simulatie.

De padgeneratiemodule werkt op basis van freeflow reistijden en een stochastische waarde die de variëteit van de reistijd op een link vertegenwoordigt. Dit levert in reguliere situaties voldoende alternatieve routes op.

Wanneer echter een incident plaatsvindt, dan zal de extra reistijd op een bepaald wegvak veel groter worden dan de stochastische waarde, zelfs wanneer een groot aantal iteraties worden gekozen. Dit zorgt ervoor dat de padgeneratiemodule geen goede alternatieve paden oplevert in het geval van incidenten.

De 'shortest path engine' in OmniTRANS geeft de kortste route weer in afstand en/of tijd, afhankelijk van de parameters ('Path Finding Settings') die zijn ingesteld. Aangezien de Monte Carlo padgeneratie in Indy de snelste routes zoekt, kunnen in OmniTRANS het beste een factor 1 aan tijd worden gegeven en een factor 0 aan afstand. De OmniTRANS routemodule is vervolgens afhankelijk van de opgegeven lengte van de links en de snelheid ('speed'). De Monte Carlo padgeneratie gebruikt ook de lengte van de links, maar niet de opgegeven snelheid/speed, maar de parameter 'freespeed'.

Het pad gegenereerd door de eerste iteratie van de Monte Carlo padgeneratie is dus gelijk aan de OmniTRANS routemodule wanneer in OmniTRANS de juiste instellingen zijn gekozen (wegingsfactor afstand: 0 en wegingsfactor tijd: 1) en voor elke link de opgegeven 'speed' gelijk is aan de 'freespeed'.

Als de gegenereerde paden niet zichtbaar worden wanneer een job is gedraaid, dan dient eerst de 'shortest path engine' uitgeschakeld te worden (bijvoorbeeld door het selecteren van een enkele link), waarna opnieuw de job gedraaid moet worden. Daarna zijn de paden

Meest gebruikelijke route

In sommige gevallen is het in werkelijkheid mogelijk om een alternatieve route te nemen in plaats van de meest gebruikelijke. Met 'meest gebruikelijk' wordt in dit geval de route bedoeld die staat aangegeven met de borden boven en naast de weg. Onder minder gebruikelijke routes worden bijvoorbeeld de volgende routes verstaan: achtereenvolgens een af- en oprit gebruiken, via een tankstation rijden, of een parallelrijbaan gebruiken terwijl men een bestemming heeft die wordt aangegeven boven de hoofdrijbaan.

In het model zijn deze minder gebruikelijke routes ook mogelijk. Echter, in realiteit blijken deze routes niet door veel automobilisten te worden gebruikt. Wanneer in het model deze routes als alternatief pad voor een O/D-paar staan opgegeven, dan zullen deze routes in het model wel veelvuldig worden gebruikt. Het model maakt namelijk geen onderscheid tussen gebruikelijke en minder gebruikelijke routes.

Om te voorkomen dat deze paden in het model als veelgebruikt alternatief worden gebruikt is het van belang om de eerste padgeneratie van het doorgaande verkeer via de

meest gebruikelijke route te laten lopen. Oftewel, het pad via de hoofdrijbaan moet in de situatie zonder verkeer het snelst zijn, door of de lengtes van links aan te passen, of door de snelheid (speed én freespeed) aan te passen. Of de meest gebruikelijke route zal worden gekozen kan handmatig worden gecontroleerd met behulp van de in het kader beschreven methode.

Maximum aantal paden beperkt grootte van het model

Indy kan vanwege geheugentekort niet meer draaien wanneer het aantal paden groter is dan tussen de 120.000 en 180.000 stuks. Dit aantal beperkt de grootte van het studiegebied. Het totaal aantal paden dat gegenereerd wordt hangt af van het aantal O/D-paren en het aantal gegenereerde paden per O/D-paar. Het aantal O/D-paren kan verlaagd worden door de 'demandThreshold' te verlagen. Hieronder zal hierop worden ingegaan. Het aantal gegenereerde paden per O/D-paar is afhankelijk van het aantal paditeraties dat wordt gekozen, het gekozen percentage van minimale padoverlap en de mogelijkheden voor alternatieve routes in het netwerk.

Gebruik 'demandThreshold': onderschatting van voertuigkilometers

In Indy is het mogelijk een drempel aan te geven voor het aantal verplaatsingen van een O/D-paar. Wanneer dit aantal lager is dan de door de gebruiker aangegeven drempel, dan zal het O/D-paar niet worden toegevoegd aan de berekeningen. Het programma geeft aan welk deel van het totale aantal O/D-paren niet is toegevoegd en welk deel van het totaal aantal verplaatsingen dat betreft. De rekentijd wordt met het gebruik van een hoge drempel sterk verlaagd.

Het gebruik van deze drempel heeft tot gevolg dat O/D-paren met een laag aantal verplaatsingen wordt verwijderd. Dit blijken met name de lange-afstandsparen (lage aantallen, maar lange afstanden) te zijn. Door deze te verwijderen wordt dus het aantal voertuigkilometers meer onderschat dan het aantal verplaatsingen.

Het maken van een uitsnede van een O/D-matrix: verkeer arriveert 'te vroeg'

Wanneer een uitsnede wordt gemaakt om het gewenste studiegebied te selecteren uit een groter netwerk wordt een nieuwe O/D-matrix aangemaakt. Deze bevat een kleiner aantal zones (die zich in het studiegebied bevinden) en een nieuwe zone aan elk uiteinde van links aan de buitenzijden van het geselecteerde gebied. De verplaatsingen die een herkomst en/of bestemming hebben buiten het gebied, maar die wel door het geselecteerde gebied heen lopen worden opgeteld bij de betreffende O/D-paren uit de nieuwe matrix. Aangezien het gaat om een dynamisch model levert dit een probleem op: het verkeer van buiten het gebied arriveert 'te vroeg' in het gebied. Verkeer van Groningen naar Den Haag zal in een model van heel Nederland pas na enkele uren bij Gouda arriveren. Bij een uitsnede van alleen de Zuidvleugel zal dit verkeer al direct bij de start van de modelrun bij Gouda arriveren. Dit geeft een vertekening in de vervoersvraag.

4.5.2 Verkeerssimulatiemodel

Lengte van een personenauto-eenheid heeft geen invloed

Wanneer een run van het model wordt gestart kan opgegeven worden wat de lengte van een personenauto-eenheid is ('Indy.carLength'). Men zou verwachten dat een veran-

dering van deze waarde effect zou hebben op de filelengte, doordat het volume verkeer dat op een link aanwezig is verandert. Dit effect blijkt echter niet aanwezig. De terugslag van een file op een bepaalde link naar een link stroomopwaarts is in Indy alleen afhankelijk van het aantal opgegeven stroken van de link, de lengte van de link en de opgegeven maximale filedichtheid, zoals de voorbeelden in onderstaande tabel laten zien.

Tabel 4.3 Invloed opgegeven aantal stroken (waarbij de filedichtheid gelijk blijft aan 100 vtg/km, en de capaciteit gelijk blijft aan 2150 vtg/uur)

<i>linklengte (km)</i>	<i>stroken</i>	<i>aantal voertui- gen (vtg)</i>
5,19	1	522
5,19	2	1042
5,19	3	1561

Korte links en het knoopvertragingsmodel

Knopen en links worden in het model gebruikt om kruisingen en wegen te modelleren. Een knoop kan worden gebruikt op punten waar wegen samenkomen of splitsen, of waar zich in werkelijkheid een kruising bevindt ($i + j > 2$). Ook wordt een knoop gebruikt op punten waar slechts één toevoerende link en één afvoerende link is ($i = j = 1$). Dit betreft dus eigenlijk de splitsing van een link in twee links. Op deze manier kan een verandering in linkeigenschappen (zoals snelheid of capaciteit) worden gemodelleerd. Ook kan hiermee een bocht in een weg worden weergegeven, wat visueel een duidelijker output op kan leveren.

Gebruik van korte links zorgt voor lange rekentijd

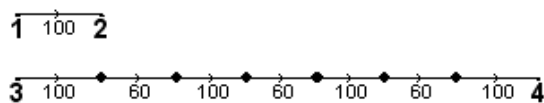
Wanneer de reistijd op een link kleiner is dan de tijdstap in de simulatie dan geeft Indy de melding dat 'congestion of short links will be ignored'. De congestie op korte links wordt in dit geval alleen genegeerd in de animatie. De database van modeluitvoer geeft de reistijden correct weer. Het nadeel van het gebruik van korte links is dat de rekentijd wordt verhoogd.

Het opdelen in korte links zorgt voor een hogere freeflow-reistijd

In het verkeerssimulatiemodel wordt op elke knoop een vertraging gegeven aan het verkeer dat de knoop passeert. Deze vertragingen worden verticaal gemodelleerd en er vindt dus geen terugslag als gevolg van deze vertragingen plaats. Dit vertragingsmodel heeft een implicatie die hieronder wordt toegelicht.

Het onderstaande model bestaat uit vier zones, verdeeld in twee O/D-paren met elk één pad. Het pad van 1 naar 2 bestaat uit één link en is één kilometer lang.

Het pad van 3 naar 4 bestaat uit zeven links (in totaal 4,3 km). Deze links hebben om en om een lengte van 1 kilometer en 100 meter. De speed/freespeed staat voor elke link ingesteld op 100 km/uur. Dit betekent dat de laagste reistijd voor een link 3,6 seconden is. De gekozen tijdsstap bedraagt 3 seconden.



De snelheid op de korte links tussen zone 3 en 4 bedraagt 60 km/uur. In werkelijkheid moet dit dus 100 km/uur zijn. Op korte links wordt dus de freeflow-snelheid onderschat. En hierdoor wordt de reistijd van 3 naar 4 overschat.

Wanneer congestie optreedt, dan blijft het absolute verschil tussen een route die gaat over een groot aantal links en een route die gaat over een klein aantal links gelijk. Relatief wordt het verschil dus kleiner. Oftewel bij grotere congestie wordt het effect van het gebruik van korte links kleiner. Dit effect komt zowel bij de DQM-filemodellering als de LTM-filemodellering voor (zie ook bijlage I3).

Het bovenbeschreven effect is ongewenst. Zoals aangegeven is het opdelen van links in kortere links nuttig bij het modelleren van bochten in wegen. In werkelijkheid kan een bochtige weg wel vertraging opleveren, maar dit is niet in alle gevallen zo. Daarom kan bij een knoop met één toevoerende link en één afvoerende link ($i = j = 1$) het beste geen vertraging worden toegekend.

Ook bij splitsingsknooppunten ($i = 2; j = 1$) hoeft geen vertraging te worden gemodelleerd. Splitsingsknooppunten kunnen worden gebruikt om afritten van snelwegen te modelleren. Oftewel met een dergelijke knoop wordt de uitvoegbeweging van een voertuig van de snelweg naar de afrit gemodelleerd. Zolang weggebruikers met dezelfde snelheid uitvoegen als dat zij aanhielden op de doorgaande rijbaan, komt op dergelijke punten geen vertraging voor. Daarom is het niet juist om op deze knopen een vertragingsstijd te modelleren. In het model van de regio Rotterdam dat in hoofdstuk 6 wordt gepresenteerd is dit effect gecompenseerd door een hogere freeflow-snelheid toe te kennen aan de snelwegen die bestaan uit een groot aantal links.

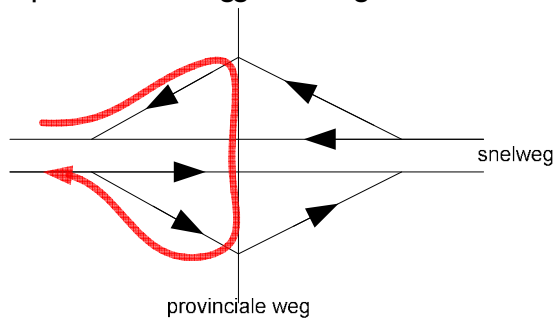
Modellering van verkeerslichten

In Indy worden verkeerslichten niet expliciet gesimuleerd, in tegenstelling tot in het MARPLE-model. Volgens Yperman heeft de expliciete simulatie van verkeerslichten een aantal nadelen (overgenomen uit Yperman, 2007, pagina I48):

- *“expliciete simulaties van verkeerslichtenregelingen en hiaten in voorrangsstromen vereisen een kleine simulatietijdsstap. Hierdoor neemt de rekentijd gevoelig toe.*
- *expliciete simulaties genereren frequent fluctuerende reistijden. Reizigers houden echter geen rekening met deze hoogfrequente fluctuaties bij het bepalen van hun route. Gemiddelde of ‘te verwachten’ reistijden zouden meer relevant zijn.*
- *expliciete simulaties resulteren in ‘mogelijke’ reistijden, die het resultaat zijn van een toevallige samenloop van omstandigheden. Gemiddelde of ‘te verwachten’ reistijden zouden meer relevant zijn.”*

Echter, Yperman vergeet hierdoor de nadelen van een impliciete simulatie van verkeerslichten, zoals dat in Indy gebeurt. Ten eerste worden op veel cruciale plekken in Neder-

land, zoals op het onderliggende wegennet in de buurt van op-/afritten van snelwegen, verkeersstromen gescheiden en geregeld door middel van verkeerslichten. Hierdoor wordt voorkomen dat een file terugslaat naar de snelweg. Onderstaand voorbeeld illustreert dit: een file op de snelweg in de rijbaan van rechts naar links slaat hier terug via de oprit, de onderliggende weg en de afrit naar de andere rijbaan.



Figuur 4.6 *Terugslag bij een impliciete simulatie van verkeerslichten*

In werkelijkheid vindt er een scheiding plaats tussen de stroom die de snelweg wil oprijden in de richting van de file en de stroom die de snelweg verlaat in de richting zonder file.

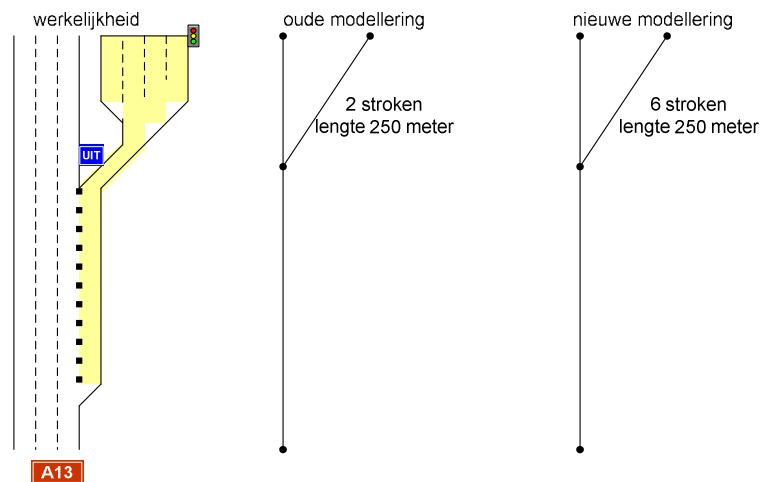
Ten tweede worden in werkelijkheid in Nederland op veel plekken de verkeerslichten zo geregeld dat er geen blokkade van een kruising ontstaat. Op plaatsen waar de afvoerende link regelmatig drukbezet is en waar fileterugslag op de kruising dus op de loer ligt, zijn deze stroken vaak voorzien van een inductielus die deze file detecteert. Indien een file wordt gedetecteerd, dan wordt de verkeersregeling direct aangepast, opdat de file niet terugslaat naar de kruising.

Door de impliciete simulatie in Indy is het mogelijk dat kruisingen wel worden geblokkeerd in het model. Dit leidt regelmatig tot grote terugslageffecten op het onderliggende wegennet en soms ook van het onderliggende wegennet naar het hoofdwegennet. De terugslageffecten in het onderliggende wegennet zijn daarom in dit onderzoek niet gebruikt. Door alle links in het onderliggende wegennet in het model te voorzien van een hoog aantal stroken vindt (bijna) geen terugslag plaats.

Bufferwerking van afritten

De afritten bestaan in het originele model standaard uit twee stroken. In werkelijkheid worden afritten echter aan het einde van de afrit verdeeld over een groot aantal stroken (opstelstroken). Hierdoor ontstaat een grote buffercapaciteit en wordt in veel gevallen voorkomen dat een file op het onderliggend wegennet terugslaat naar de snelweg. In figuur 4.7 is een voorbeeld weergegeven voor de afrit *Delft-Zuid (10)* van de A13 richting Rijswijk. De totale lengte van stroken is in werkelijkheid ongeveer 1500 meter (met een gele kleur gemarkeerd). De totale lengte in het originele model is 500 meter (voor de capaciteiten van andere afritten zie bijlage 5).

Een deel van de totale strooklengte is gebonden aan een bepaalde richting. Of de totale strooklengte benut kan worden, hangt dus af van de verdeling van voertuigen over de richtingen. Wanneer de terugslag van het onderliggende wegennet wordt gemodelleerd, dient hier rekening mee gehouden te worden.



Figuur 4.7 Modelling van afrit Delft-Zuid (10) op de A13 richting Rijswijk

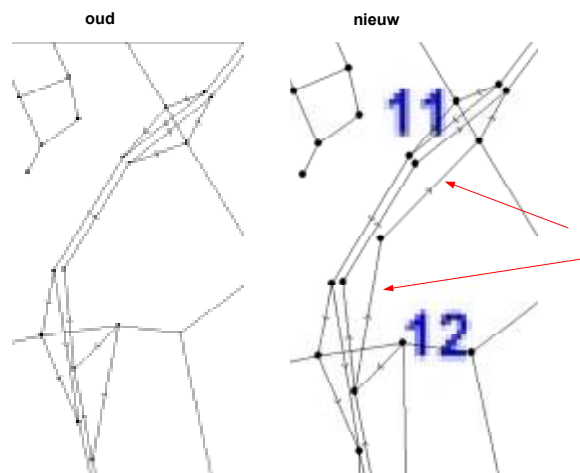
Knelpuntwerking van opritten

In een aantal geteste modellen staan opritten standaard gemodelleerd als tweestrooks links. In werkelijkheid (waarneembaar op luchtfoto's) bestaan de meeste opritten voor een deel uit meer dan één stroken, maar voor het invoegen op de hoofdrijbaan wordt de oprit beperkt tot één strook. Om een te hoge toevoer naar de snelweg in het model te voorkomen, kunnen deze opritten tijdens de modelbouwfase beter voorzien worden van één strook.

Modelling van keuzemomenten

Bij weefvakken en splitsingen kan het van belang zijn om het keuzemoment van weggebruikers expliciet te modelleren. In de figuur is hiervan een voorbeeld te zien voor de A4 Li tussen de oprit Den Haag Zuid (12) en de afrit Rijswijk (11). In werkelijkheid gaat de oprit over in de afrit en is dus een weefvak. In de praktijk zullen weggebruikers vrijwel aan het begin van het weefvak van strook wisselen. Daarom is het aanhechtingspunt van de afrit van Rijswijk in het model verlegd naar het aanhechtingspunt van de oprit Den Haag Zuid.

Bij splitsingen tussen snelwegen (zoals ter hoogte van Kralingen op de A16 richting Dordrecht) is ook zoveel mogelijk het keuzemoment aangehouden, d.w.z. waar de blokmarkering begint.

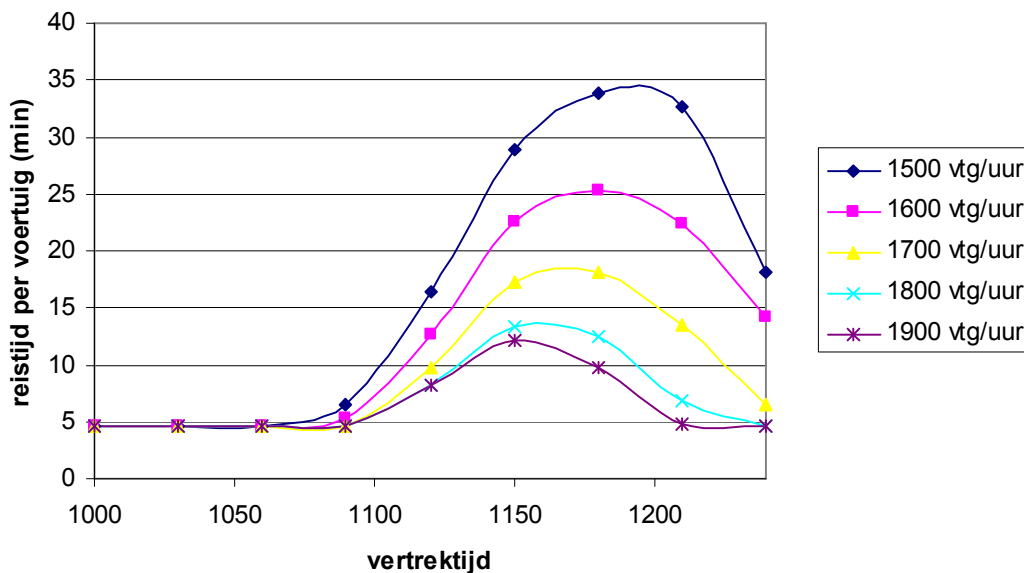


Figuur 4.8 Modelleren van weefvak op A4 Li tussen afrit 12 en afrit 11

Op deze manier wordt de extra capaciteit van weefvakken en voorsorteervakken correcter gemodelleerd. Wanneer file ontstaat zal dat alleen leiden tot blokkade van het ander verkeer als het einde van het weefvak of voorsorteervak is bereikt.

Gevoeligheid voor het juist modelleren van knelpuntcapaciteiten

Om de gevoeligheid van het model te testen is een model gemaakt van een I-strooks snelweg van 9 kilometer. Aan het eind van dit stuk snelweg bevindt zich een knelpunt. De capaciteit van dit knelpunt is gevarieerd. In onderstaande grafiek is de reistijd van een voertuig weergegeven bij een bepaalde vertrektijd voor een wisselende capaciteit van het knelpunt.



Figuur 4.9 Gevoeligheid van reistijden voor de capaciteit van een knelpunt

Deze grafiek toont aan dat het model behoorlijk gevoelig is voor de waarde die wordt opgegeven als capaciteit van een knelpunt.

Het is lastig de capaciteit van een knelpunt vast te stellen. De capaciteit van een knelpunt is namelijk afhankelijk van een aantal moeilijk te bepalen factoren, zoals de het aantal strokenweginrichting, belijning en het rijgedrag van weggebruikers, helling, bocht, snelheidslimiet, en het weer. Met name bij weefvakken is de capaciteit lastig te bepalen. Daarnaast varieert de capaciteit van een knelpunt in werkelijkheid in grote mate (zie bijlage 9). Als richtlijn kunnen de waardes uit het Capaciteitshandboek (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2002) worden gebruikt. Kalibratie van een model is door deze gevoeligheid tijdrovend, zeker wanneer het model een groot aantal knelpunten bevat.

4.6 Grootte van het studiegebied

Het is in dit hoofdstuk gebleken dat er een maximumgrootte bestaat van een studiegebied dat met Indy kan worden gemodelleerd. Dit heeft te maken met enerzijds de rekentijd van het model en anderzijds het maximum aantal paden dat gebruikt kan worden.

Rekentijd

Om een evenwicht te berekenen voor een gedetailleerd model van de regio Rotterdam heeft een reguliere computer tussen de 15 en 20 uur nodig. Elke aanpassing die wordt gedaan moet opnieuw worden doorgerekend en dus komen de resultaten telkens pas na deze periode beschikbaar. Een model van een groter studiegebied zal leiden tot een hogere rekentijd.

Maximum aantal paden

Het maximum aantal paden dat ligt tussen 120.000 en 180.000 stuks beperkt het aantal zones dat het model kan bevatten. Een vergroting van het aantal zones levert (bijna) het kwadraat aan aantal extra paden op. Een verlaging van de drempelwaarde voor de waarde per O/D-paar levert meer paren op die worden meegeteld en dus extra paden. Vervolgens levert de padgeneratie een aantal paden per O/D-paar. Het is afhankelijk van het netwerk (hoeveel alternatieve paden zijn er beschikbaar) en de instellingen die bij de padgeneratie worden gekozen hoeveel paden er worden gegenereerd (zie paragraaf 4.6). Het maximum aantal paden legt een beperking op aan de grootte van het studiegebied en/of de detaillering.

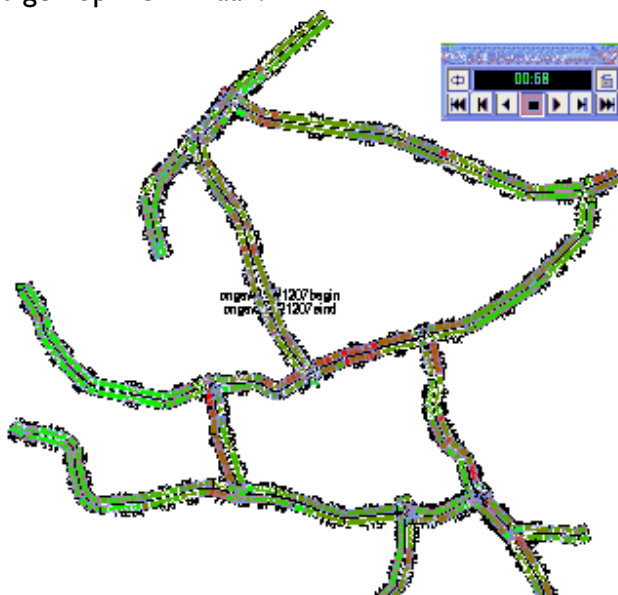
4.7 Interface

De output van het model wordt weergegeven in het standaard outputformat van OmniTRANS. De meest overzichtelijke graphics kunnen worden verkregen door de onderstaande instellingen in de 'Link Bandwidth Designer' te hanteren.

Tabel 4.4 Instellingen voor een overzichtelijke output

Data	Width	sum(dynspeed) of sum(inflow) (keep width fixed ²)
	Colour	sum(density)
	Time	1000..1270.step(15)
Legend	Band Breakpoints	0 tot 100 (voertuigen per kilometer)

In de figuur hieronder is de uitvoer van het hoofdwegennet van de Zuidvleugel te zien met bovenstaande instellingen. De kleur van de links geeft aan wat de dichtheid is: hoe roder, hoe hoger de dichtheid. De getallen geven de gemiddelde snelheid van de voertuigen op die link aan.



Figuur 4.10 Voorbeeld van de output van Indy

Het is wenselijk om deze 'Graphical User Interface' te verbeteren op de volgende punten:

- Het mogelijk maken om tegelijkertijd de intensiteit en de snelheid te tonen. Op deze manier kan de modelleur sneller controleren of de uitvoer voldoet aan de eisen die worden gesteld.
- Het mogelijk maken dat de verhouding tussen intensiteit en capaciteit wordt getoond³. Op basis hiervan kan bekeken worden waar in het model de knelpunten zich bevinden en of dat voldoende overeenkomt met de werkelijkheid.
- Het mogelijk maken dat een grafiek van de reistijd en flow (verloop over tijd) voor een bepaald O/D-paar wordt weergegeven wanneer dat paar wordt geselecteerd. Op deze manier kan direct worden bekeken of een realistische reistijd door het model wordt berekend.

² Stel hierbij een redelijke waarde in voor de bandbreedte, afhankelijk van het zoomniveau.

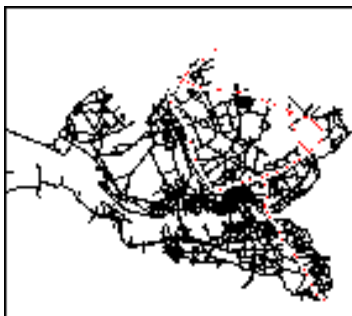
³ Het gaat om de volgende functie: $\text{bandwidth} = \text{sum}(\text{inflow}) / \text{sum}(\text{satflow})$

Een verbetering van de output maakt het werken met het model gebruiksvriendelijker en bovendien wordt beter inzichtelijk hoe het model werkt. Hierdoor zal meer vertrouwen bij de gebruiker in de goede representatie van het model ontstaan.

4.8 Omrijden

Door verplaatsing van een deel van het aantal voertuigen naar een ander pad (met behulp van de 'omrijmodule') wordt het omrijden gesimuleerd. Hiervoor moeten tijdens de padgeneratie paden worden gegenereerd die in incidentsituaties als omrij-route kunnen dienen. In figuur 4.1 zijn drie alternatieven weergegeven voor het verkeer van Dordrecht naar Leiden. Wanneer een incident plaatsvindt op bijvoorbeeld de A13 kan dit verkeer één van de twee andere routes kiezen. Er is echter nog geen route via de andere zijde van de Ring van Rotterdam (via de Beneluxtunnel) gegenereerd. Wanneer een incident plaatsvindt op de Brienenoordbrug, dan is de route via de Beneluxtunnel wel een bruikbaar alternatief. De Monte Carlo padgeneratie blijkt dus bij incidenten niet voldoende alternatieven op te leveren. Dit heeft ermee te maken dat deze methode erop gericht is om meerdere 'kortste' routes te genereren, door telkens een bepaalde waarde bij elke reistijd op te tellen. Hierdoor worden alleen routes gevonden die reistijden hebben die niet meer dan enkele minuten van elkaar verschillen. Wanneer een incident plaatsvindt, dan kunnen ook routes die normaalgesproken meer dan enkele minuten langer zijn, een kleinere reistijd opleveren.

Er is nog een andere mogelijkheid om meer alternatieve routes in geval van een incident te genereren. Wanneer de link waarop het incident plaatsvindt af te sluiten zullen meer alternatieve paden worden gegenereerd. Het pad via de incidentplaats kan dan immers niet worden gebruikt. De paddatabase die zo ontstaat kan worden samengevoegd met de database die wordt gegenereerd wanneer de link niet is afgesloten. Deze samenvoeging levert een set paden op met meer alternatieven voor paden langs de incidentlocatie. Deze methode is in dit onderzoek niet getest.



Figuur 4.1 Omleidingsroutes gegenereerd door de Monte Carlo padgeneratie

De omrijmodule verplaatst een gekozen deel van het verkeer van een bepaald O/D-paar van de route langs de incidentplaats naar alternatieve paden (zie voorbeeld in tabel 4.5). Wanneer er meer alternatieve paden beschikbaar zijn, dan wordt de totale hoeveelheid verkeer dat omrijdt gelijkmatig verdeeld over de beschikbare alternatieve paden. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de beschikbare capaciteit van die alternatieven. Hierdoor kan het voorkomen dat een omrijroute via een stad evenveel belast wordt als

een alternatieve snelwegroute. Het zou beter zijn wanneer het verkeer naar rato van de beschikbare capaciteit over de alternatieve routes zou worden verdeeld. Deze mogelijkheid lijkt makkelijk te implementeren.

Tabel 4.5 *Effect omrijmodule bij een omrijpercentage van 15%*

tijd (min.)	hoeveelheid voertuigen via incidentlocatie		
	met gebruik omrijmodule	zonder gebruik omrijomrijden	
1000	15	15	100%
1030	26	30	85%
1060	43	51	85%
1090	66	66	100%

De omrijmodule verplaatst alleen weggebruikers die een route hadden gepland langs de incidentlocatie. Echter, het is niet waarschijnlijk dat alleen deze weggebruikers een andere route zullen kiezen. Ook weggebruikers die geen route hebben gepland langs de incidentlocatie kunnen hinder ondervinden van de gevolgen van het incident. Juist in robuustheidsstudies waarbij ook het terugslageffect wordt beschouwd wordt ervan uitgegaan dat ook weggebruikers die geen route afleggen via de incidentplaats vertraging zullen oplopen. Immers, de effecten van incidenten kunnen op grote afstand van de incidentlocatie merkbaar zijn. Ook vanwege die effecten zullen dus weggebruikers een andere route kiezen. Met de huidige omrijmodule kan dit effect niet worden gemodelleerd. In de aanbevelingen in hoofdstuk 9 zal een aanpassing van de module op dit punt worden aanbevolen.

4.9 Opties om incidenten met Indy te modelleren

In paragraaf 4.6 zijn een aantal beperkingen aan bod gekomen die de grootte van een model in Indy beperken. Het aantal paden kan (vanwege het geheugen van een computer) in ieder geval niet groter zijn dan 180.000 stuks. Daarnaast moet een afweging worden gemaakt tussen detailniveau, grootte van het studiegebied en de rekentijd van het model. Daly (2000) geeft aan dat het vanwege de werkbaarheid essentieel is dat een modelrun niet langer duurt dan 24 uur.

Een groot studiegebied is (vanwege het maximum aantal paden) alleen mogelijk wanneer een laag detailniveau wordt gekozen. In dat geval ontbreekt echter waarschijnlijk een aantal binnenwegen. Deze binnenwegen hebben weliswaar per stuk over het algemeen geen hele grote capaciteit, maar bij elkaar opgeteld kunnen deze wegen een grote waarde hebben voor het systeem. Daarnaast bevat het onderliggende weggennet een aantal omrij-routes die met name voor een studie naar incidenten van belang zijn.

Verder wordt bij een lager detailniveau een aantal zones bij elkaar opgeteld wat zal leiden tot minder O/D-paren die door de drempelwaarde *niet* worden geselecteerd. Hierdoor zullen minder O/D-paren worden verwijderd. Tot slot zorgt de vermindering van het aantal zones ervoor dat meer verkeer tegelijk arriveert op een bepaald punt, wat in het dynamische verkeersmodel zou kunnen leiden tot grotere terugslageffecten.

Een model van een kleiner gebied (maar met een hoog detailniveau) heeft voor een studie met als doel het bestuderen van de effecten van incidenten op de snelwegen niet veel waarde, aangezien de effecten van een incident zich over een groot gebied afspelen. Een incident op de A13 kan effecten hebben tot Gouda of tot de Ring Zuid van Rotterdam. Een model van alleen het gebied tussen Delft en Rotterdam laat deze effecten niet zien.

Daarnaast bevinden zich in een kleiner model wellicht niet de belangrijke omleidingsroutes, zoals bij het bijvoorbeeld de routes via Waddinxveen/Moordrecht als alternatief bij een incident op de A13.

Hieronder komen drie opties aan bod die een afweging vorming tussen het detailniveau, grootte van het studiegebied en de rekentijd. Gezien de beperkte middelen is er in dit onderzoek voor gekozen om een model te ontwikkelen van een grote regio met een beperkte detaillering (optie B).

Optie A: Gedetailleerd model van een hele regio

Een gedetailleerd model van de hele regio Rotterdam - Delft is hieronder weergegeven. In figuur 4.2b is een close-up weergegeven van een deel van dit model. Hierop valt te zien dat veel binnenwegen in het model voorkomen. Het model bevat 8524 links en 311 zones. Door de mate van detaillering kunnen kleine infrastructuraanpassingen worden gemodelleerd.



Figuur 4.2a Gedetailleerd model



b Close-up van Delft

In de tabel hieronder is de draaitijd voor een dergelijk model weergegeven. De draaitijd blijkt behoorlijk hoog te zijn, zeker wanneer de LTM filemethodiek wordt gekozen. Wanneer een evenwichtssituatie wordt berekend bedraagt de doorrekentijd 32 uur. Dit betekent dat men de effecten van een kleine aanpassing, zoals de capaciteit van een bepaald knelpunt, pas na 32 uur kan zien. Het model is erg gevoelig voor de capaciteit van een knelpunt (zie paragraaf 4.5.2). Bij het veranderen van deze waarde moet telkens opnieuw het model worden gedraaid om het resultaat er van te zien. Op deze manier is erg veel tijd nodig om het model te kalibreren.

Tabel 4.5 *Richtwaarden voor draaitijden*

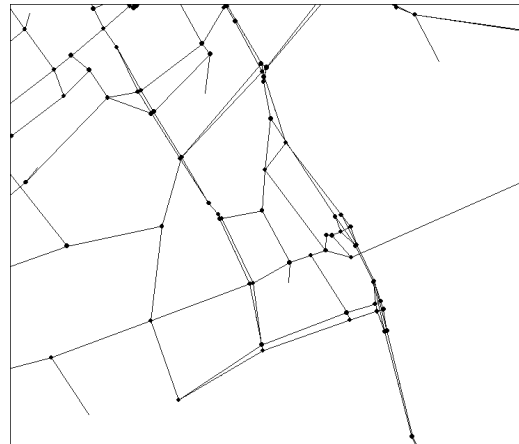
	DQM filemodellering	LTM filemodellering
enkele toedeling	1,5 uur	2 uur
padgeneratie + 15 iteraties (evenwichtstoedeling)	17 uur	32 uur

Optie B: Minder gedetailleerd model van hele regio

Gezien de hoge draaitijd van het model van de vorige optie is het wellicht gunstig om een minder gedetailleerd model te maken. In figuur 4.4 is een voorbeeld weergegeven van een dergelijk model. Dit model bevat 2356 links en 76 zones. Door deze lagere aantallen dan bij optie A wordt de draaitijd van het model kleiner, zoals in tabel 4.6 is weergegeven.



Figuur 4.4a *Hele studiegebied
met laag detailniveau*



b *Close-up van Delft*

In een model met een laag detailniveau ontbreekt een groot aantal lokale wegen. Het verkeer zal dus in een dergelijk model meer gebruik maken van de hoofdwegen. Hierop zal de O/D-matrix moten worden aangepast.

Verder is het in een dergelijk model slechts beperkt mogelijk om het omrijden via het onderliggende wegennetwerk te modelleren, aangezien er slechts weinig links aanwezig zijn, zoals in figuur 4.4b te zien is.

Een dergelijk model kan dus alleen gebruikt worden om globaal de effecten van incidenten te beschrijven.

Tabel 4.6 *Richtwaarden voor draaitijden*

	DQM filemodellering	LTM filemodellering
enkele toedeling	10 minuten	15 minuten
padgeneratie + 15 iteraties (evenwichtstoedeling)	2 uur	4 uur

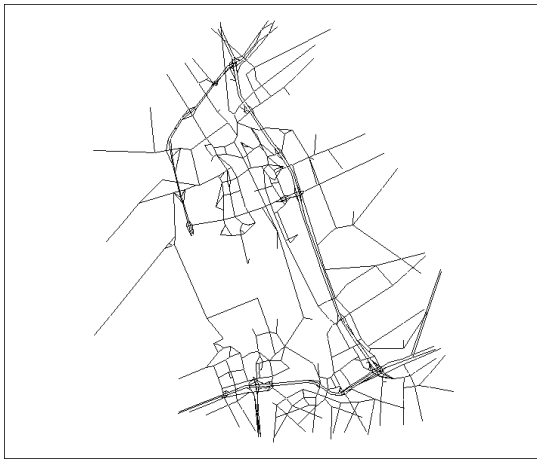
Optie C: Gedetailleerd model van klein gebied

De laatste optie betreft een gedetailleerd model van een klein gebied, zoals het gebied tussen Delft en Rotterdam-Noord. Dit model bevat 1606 links en 108 zones.

Gezien het beperkte aantal routeopties in een dergelijk model zullen weinig paden worden gegenereerd. Dit leidt tot een lage rekentijd.

Er zijn dan echter ook weinig omrij-routes beschikbaar en dit is voor de modellering van incidenten niet gunstig.

Verder kunnen verstrekkende effecten van een groot ongeval in de spits niet worden gemodelleerd aangezien die buiten het model vallen. Een dergelijk model kan dus alleen worden gebruikt voor kleine incidenten op rustige tijdstippen.



Figuur 4.5 Klein studiegebied

Tabel 4.7 Richtwaarden voor draaitijden

	DQM filemodellering	LTM filemodellering
enkele toedeling	5 minuten	1 uur
padgeneratie + 15 iteraties (evenwichtstoedeling)	1 uur	15 uur

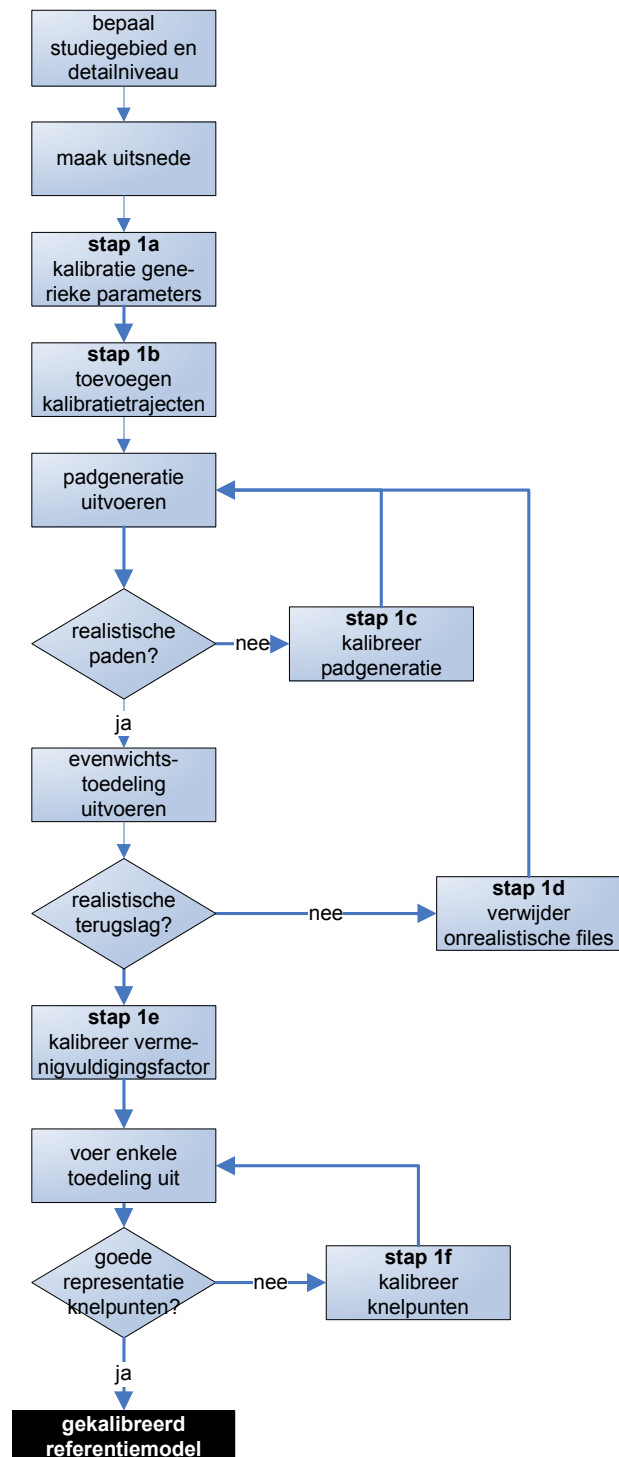
5 Kalibratie- en validatiemethode

In dit hoofdstuk zullen drie stappenplannen worden gepresenteerd die de methode beschrijven waarmee het model in dit onderzoek is gekalibreerd en gevalideerd (paragraaf 5.1). In paragraaf 5.2 komen de criteria aan bod waarmee bepaald kan worden in hoeverre het model overeenkomt met de werkelijkheid. Paragraaf 5.3 geeft weer welke empirische data zijn gebruikt en in paragraaf 5.4 staat beschreven welke modeluitkomsten zijn gebruikt.

5.1 Stappenplannen

Hiernaast zijn de stappen afgebeeld die in dit onderzoek zijn gehanteerd voor de kalibratie van het referentiemodel. Voor de kalibratie van het incidentmodel en de validatie worden andere stappen gebruikt. Deze stappen zijn te vinden op de volgende pagina. De stappen verlopen sequentieel. In het schema bevinden zich drie keuzemomenten waarop bepaald wordt of door kan worden gegaan met de volgende stap, of dat een eerdere stap wordt herhaald. Hieronder zal het stappenplan kort worden beschreven. De genummerde stappen beschrijven de daadwerkelijke kalibratie en komen terug in hoofdstuk 6.

De bepaling van het studiegebied is beschreven bij de afbakening in hoofdstuk 1. Het studiegebied bestaat uit de regio Rotterdam – Den Haag. Het detailniveau is in hoofdstuk 4 aan de orde gekomen. Er is voor gekozen om een model van het hele studiegebied met een beperkt detailniveau te maken. Hierna wordt in hoofdstuk 6 een uitsnede gemaakt van een groter bestaand model.



Figuur 5.1 *Stappenplan kalibratie referentiemodel*

Bij de kalibratie van de generieke parameters (stap 1a) worden de parameters gevuld die niet gelden voor een bepaalde locatie in het model, maar voor het hele model.

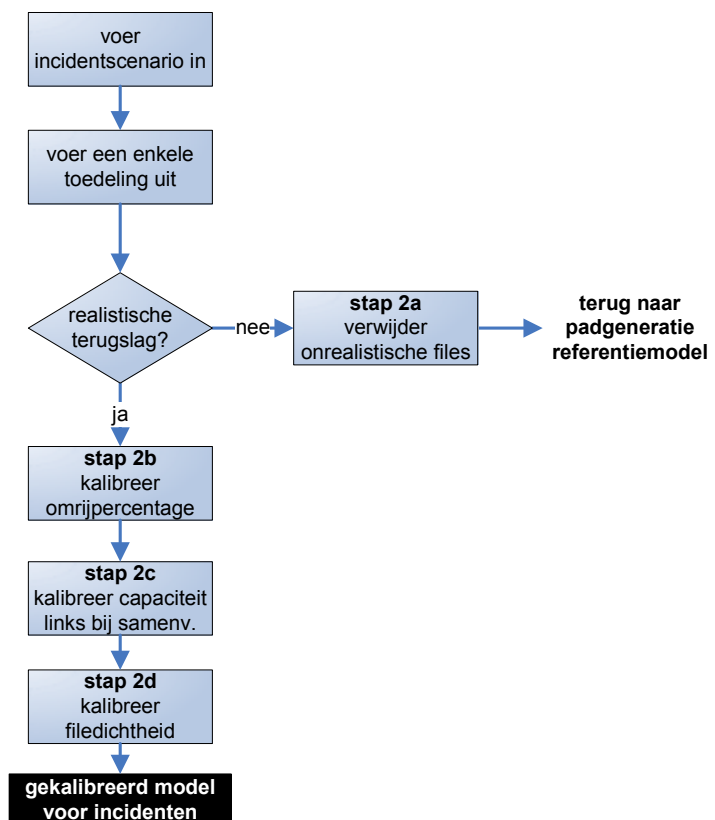
Om data uit de werkelijkheid te kunnen vergelijken met de data uit het model, worden in stap 1b kalibratietrajecten toegevoegd. Hierna wordt een padgeneratie uitgevoerd en wanneer deze geen realistische paden oplevert wordt de padgeneratie aangepast in stap 1c. Hierna wordt de padgeneratie opnieuw uitgevoerd en gecontroleerd.

Wanneer de padgeneratie realistische paden heeft opgeleverd, volgt het uitvoeren van een evenwichtstoedeling. Hierna wordt gecontroleerd of realistische terugslag in het netwerk wordt gesimuleerd. Dit betekent dat visueel wordt gekeken of files niet veel te ver door slaan of dat files in een verkeerde richting doorslaan. Wanneer onrealistische terugslag wordt weergegeven, wordt in stap 1d het netwerk aangepast (bijvoorbeeld door de capaciteit of ligging en aansluiting van links). Wanneer de ligging of aansluiting van links is veranderd, of links zijn verwijderd of toegevoegd, moet opnieuw de padgeneratie worden uitgevoerd.

Wanneer realistische terugslag plaatsvindt in het model wordt de vermenigvuldigingsfactor van de vraag gekalibreerd (stap 1e). Deze factor wordt gevarieerd en de factor wordt gekozen waarbij de door het model berekende verkeersintensiteit het best overeen komt met de waarde uit de werkelijkheid.

Na deze stap wordt de capaciteit van links net zo lang aangepast tot de locatie van dagelijkse knelpunten overeenkomt met de geïdentificeerde locaties in paragraaf 3.3. Daarnaast wordt gecontroleerd of de berekende reistijd op de kalibratietrajecten overeenkomt met de werkelijkheid. Bij elke wijziging van de capaciteit van links op knelpunten wordt een enkele toedeling uitgevoerd om de effecten van de wijziging te analyseren.

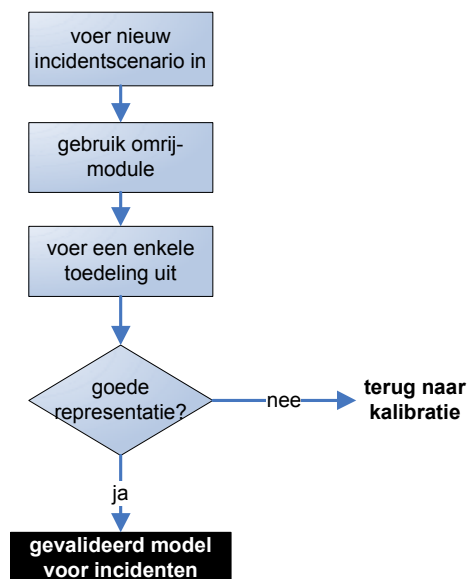
Na de kalibratie van het referentiemodel volgt de kalibratie van het incidentmodel. De stappen hierbij zijn te vinden in figuur 5.2. Hierbij wordt een incidentscenario ingevoerd op basis van waarnemingen uit de werkelijkheid (starttijd, eindtijd, locatie en restcapaciteit op incidentlocatie). Hierna wordt een enkele toedeling uitgevoerd. Vervolgens wordt gecontroleerd of terugslag in logische richtingen plaatsvindt



Figuur 5.2 Stappenplan kalibratie model voor incidenten

(stap 2a). Wanneer dit niet het geval is wordt het netwerk aangepast en moet opnieuw worden begonnen bij de padgeneratie van het referentiemodel. Wanneer wel realistische terugslag plaatsvindt wordt het omrijpercentage gevarieerd en wordt een passende waarde van deze parameter gekozen (stap 2b). Wanneer de terugslag plaatsvindt bij een samenvoeging van snelwegen moet de capaciteit van de verbindingbogen bij de samenvoeging worden gekalibreerd, zodat de file-afbouw op beide samenkomende snelwegen realistisch plaatsvindt (stap 2c). Tot slot wordt de filedichtheid gekalibreerd zodat een goede weergave van de locatie van files wordt bereikt (stap 2d).

In figuur 5.3 zijn de stappen van de validatie van het incidentmodel weergegeven. Zoals vermeld in hoofdstuk 1 wordt in dit onderzoek alleen bepaald in hoeverre het model overeenkomt met de werkelijkheid. Hierbij wordt eerst een nieuw incidentscenario ingevoerd. Hierbij wordt het gekalibreerde referentiemodel als basis genomen. Hierna wordt de omrijmodule toegepast, met de instellingen uit de kalibratie. Vervolgens wordt het model gedraaid met een enkele toedeling. Hierna wordt beoordeeld in hoeverre de modelweergave overeenkomt met de werkelijkheid. Dit gebeurt niet met harde grenswaarden, maar met een kwalitatieve beoordeling van het gedrag van het model en een kwantitatieve beoordeling van de door het model berekende reistijd. Zie hiervoor paragraaf 5.2.



Figuur 5.3 Stappenplan validatie model voor incidenten

5.2 Criteria voor validiteit

In de literatuur wordt een aantal vergelijkingsmaten genoemd om modeluitkomsten te vergelijken met data uit de werkelijkheid. Balakrishna et al (2007), Toledo en Koutsopoulos (2004) en Van Lint (2006) geven ieder overzichten van een aantal maten. Hieronder zijn een aantal van deze maten genoemd (dit overzicht is niet volledig; hiervoor wordt verwezen naar de genoemde bronnen):

- genormaliseerde root-mean-square error (RMSN)
- root-mean-square percentage error (RMSPE)
- mean error (ME), mean percent error (MPE)
- Theil's U-coefficient met bijbehorende componenten voor de afwijking, variantie, en covariantie
- de Geoffrey, ofwel GEH, die wordt gebruikt om verkeersvolumes te vergelijken

De RMSN en RMSPE kwantificeren de totale gemiddelde fout die de simulatie maakt. Het kwadraat zorgt ervoor dat positieve en negatieve afwijkingen elkaar niet opheffen.

De modeluitkomsten (intensiteit en reistijd) worden in dit onderzoek met elkaar vergeleken met gebruik van de 'root-mean-square percentage error' (RMSPE).

RMSPE

De RMSPE geeft een grotere fout aan wanneer de fout van de schatter meer afwijkt ten opzichte van de gemeten waarde (Balakrishna et al, 2007). Deze maat kan zowel gebruikt voor verkeersvolumes als voor reistijden. De RMSPE wordt als volgt berekend (Balakrishna et al, 2007).

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left[\frac{Y_n^s - Y_n^o}{Y_n^o} \right]^2} \quad (5)$$

Waarbij:

N	=	aantal observaties
Y_n^o	=	observatie (werkelijkheid)
Y_n^s	=	simulatie (modeluitkomst)

De RMSPE is eerder gebruikt door Rijkswaterstaat om de validiteit van het model 'MARPLE' te bepalen (zie Li, 2005). Een lagere waarde van de RMSPE duidt op een betere representativiteit. In het onderzoek van Rijkswaterstaat wordt het model valide beschouwd wanneer de RMSPE lager is dan 0.5. Deze grenswaarde is vrij hoog, aangezien dit betekent dat een schatting van de helft of het dubbele al als valide wordt beschouwd. In de literatuur zijn verder geen grenswaarden gevonden. Om een betekenis aan de waarde van de RMSPE te geven is ervoor gekozen om de volgende onderverdeling te gebruiken:

RMSPE	
0 – 0.1	zeer goed
0.1 – 0.2	goed
0.2 – 0.3	redelijk
0.3 – 0.4	matig
0.4 – 0.5	zeer matig
> 0.5	slecht

Naast de waardering van het model met behulp van de RMSPE wordt in dit onderzoek met name het gedrag van het model beschouwd om een oordeel te geven over de representativiteit. De RMSPE zal namelijk in een aantal gevallen geen goede indicator zijn van de fit van het model. In een aantal gevallen bestaat er in werkelijkheid bijvoorbeeld een dagelijks knelpunt die slechts een beperkte vertraging oplevert. Wanneer in het model dit knelpunt niet bestaat, dan zal de output van het model geen vertraging laten zien. Het verschil met de werkelijkheid is dan weliswaar klein (de vertraging is immers klein) en de RMSPE is dan laag, toch is een model dat een stijging in de reistijd laat zien beter. Zeker bij de simulatie van een incident op basis van dat model kan een dagelijks knelpunt veel effect hebben.

Het beschouwen van het gedrag van het model sluit aan bij de adviezen van het Wisconsin Department of Transportation (2002). In dit onderzoek zal het verloop van intensiteit en reistijd over de tijd voor een bepaald traject en de plaats van knelpunten en files worden beschouwd.

In dit onderzoek wordt dus geen harde uitspraak gedaan over het wel of niet valide zijn van het model. Het stellen van een harde grenswaarde is arbitrair en geeft te weinig inzicht in de prestaties van het model. Daarnaast zou het vaststellen van grenswaarden voor het gedrag van het model leiden tot een uitgebreide set criteria, die elk discussie zullen opleveren. De validatie in dit onderzoek zal daarom bestaan uit een kwalitatieve beoordeling van de prestaties van het model.

5.3 Gebruikte empirische data

In het kalibratie- en validatieproces worden de modelresultaten vergeleken met metingen uit de werkelijkheid om met het model zo goed mogelijk de werkelijkheid te kunnen simuleren. In de vorige paragraaf werden statistische vergelijkingsmaten gepresenteerd op basis waarvan bepaald kan worden of een model valide is of niet. In deze paragraaf zullen de empirische data worden beschreven die gebruikt zijn voor deze processen. Er zijn twee soorten data gebruikt: verkeersintensiteiten en reistijden.

Verkeersintensiteiten

Voor de bepaling van verkeersintensiteiten is de 'Maandelijkse Telpuntrapportage/Wegwerkzaamheden (MTR+/Wegwerk)' van DVS gebruikt. Deze applicatie bevat de verkeersintensiteiten in het verleden op een groot aantal telpunten. Het gaat hierbij dus om gemeten waarden, afkomstig uit tellussen in het wegdek. Voor dit onderzoek zijn de gemiddelde intensiteiten per uur gebruikt voor alle dinsdagen in het jaar 2000. Het gaat hierbij om de volgende acht telpunten:

- A12 Nootdorp – Zoetermeer Centrum en v.v.
- A13 Delft Zuid – Berkel en Rodenrijs en v.v.
- A16 Rotterdam Centrum – Feijenoord en v.v. (inclusief parallelrijbanen)
- A20 Knooppunt Gouwe – Moordrecht en v.v.

Reistijden

Voor het achteraf schatten of bepalen van reistijden zijn een aantal methoden beschikbaar, zoals met behulp van inductielussen in het wegdek, GPS, GSM of kentekencamera's. Er is voor gekozen gebruik te maken van de data uit het Monica-systeem (inductielussen), omdat deze data beschikbaar waren voor dit onderzoek voor vrijwel alle wegvakken van het hoofdwegennet in het studiegebied voor de jaren 2006 en 2007. Deze data worden verwerkt door het programma Monigraph, die de PLSB-methode gebruikt voor het schatten van reistijden.

5.4 Gebruikte modeluitkomsten

Zoals beschreven in paragraaf 4.4 levert het model Indy diverse gegevens als modeluitkomsten. Om te kunnen vergelijken met data uit de werkelijkheid zijn de volgende stappen gevolgd.

Verkeersintensiteit

Voor het vergelijken van intensiteiten zijn de links opgezocht waarvan ook de gemeten intensiteiten bekend zijn: A12, A13, A16 en A20, op de eerder genoemde locaties. Van deze links kan in de uitvoerbestanden van het model⁴ worden gevonden wat de in- en uitflow elke 15 minuten is. Een query is gebruikt om de benodigde data te selecteren (zie bijlage 6). Door interpolatie wordt vervolgens het verloop van de verkeersintensiteit per 5 minuten bepaald.

Reistijd

Voor het bepalen van de reistijd uit het model worden trajectorieën gebruikt, omdat ook de reistijden uit de werkelijkheid worden bepaald door middel van trajectorieën op basis van de metingen en dus niet de instantane reistijd. Een trajectorie kan alleen uit Indy worden verkregen door de reistijd voor een bepaald O/D-paar op te zoeken. Aangezien er geen zones direct aansluiten op de snelwegen zal bij de reistijd dus altijd een deel zijn opgeteld dat nodig is voor de route tot en vanaf de snelweg. Om dit effect zo klein mogelijk te houden zijn zones gezocht die zo dicht mogelijk bij de gewenste op-/afrit van de snelweg liggen. De herkomst- en bestemmingszone is opgezocht voor alle acht eerder genoemde trajecten. Om ervoor te zorgen dat de O/D-paren niet wegvallen door gebruik van de drempelwaarde (zie paragraaf 4.5.1) is de waarde van elk O/D-paar in de O/D-matrix verhoogd tot net boven de drempelwaarde (8 voertuigen per uur). De gekozen O/D-paren zijn te vinden in bijlage 7. De reistijden van het verkeer op deze routes zijn geselecteerd door middel van een query in het uitvoerbestand⁵ (zie bijlage 6). Deze reistijden worden geaggregeerd tot het interval dat gebruikt is bij de invoer van

⁴ het gaat hierbij om de volgende database: 'link5_2data1.db'

⁵ 'pathcost.db'

het vertrekprofiel: in dit model 30 minuten. De data zijn daarna geïnterpoleerd naar een 5-minuten interval.

Vergelijking

Deze modeluitkomsten worden geïmporteerd in een spreadsheet waarbij automatisch voor elk traject en meetpunt in een grafiek wordt weergegeven hoe de gemodelleerde reistijd en verkeersintensiteit verloopt over de tijd. Ook de gegevens uit de werkelijkheid worden in deze grafieken getoond. Deze waarden worden vergeleken met behulp van de vergelijkingsmaat RMSPE (zie paragraaf 5.2).

6 Kalibratie

In dit hoofdstuk komt de kalibratie van het model aan bod. Eerst zullen enkele kenmerken van het model worden genoemd (paragraaf 6.1). Het model is eerst gekalibreerd voor de referentiesituatie (paragraaf 6.2) en vervolgens zijn drie van de incidentscenario's uit hoofdstuk 3 ingevoerd. Ook hierop is het model gekalibreerd (paragraaf 6.3). Hierbij zijn de stappen die zijn beschreven in hoofdstuk 5 gevolgd. In paragraaf 6.4 worden conclusies van deze kalibratie gegeven.

6.1 Beschrijving uitsnede

Voor het model is een uitsnede gemaakt van een voorhanden model van heel Nederland. De uitsnede is in figuur 6.1 afgebeeld en bevat globaal de regio Rotterdam-Den Haag. Aan de zuid- en oostkant van Rotterdam is geprobeerd zo veel mogelijk de loop van de rivieren te volgen. Dit heeft twee voordelen.

Ten eerste wordt het aantal nieuwe zones beperkt. Op elk punt waar een link wordt doorsneden wordt bij het maken van een uitsnede een nieuwe zone aangemaakt. Het aantal links over de rivieren is beperkter dan door ander gebied en dat betekent dat minder nieuwe zones worden aangemaakt.

Ten tweede bestaan er voor het verkeer dat een herkomst en/of bestemming buiten het model heeft weinig alternatieven om over de rivieren te gaan. Hierdoor wordt de toedeling voor dit verkeer bij het maken van de uitsnede realistischer.

De kenmerken van het basismodel zijn te vinden in tabel 6.1. Van de O/D-matrix is ook een uitsnede gemaakt van de O/D-matrix voor heel Nederland. Hiervoor bestaat een standaard procedure in OmniTRANS. Er bestond een aparte matrix voor het autoverkeer en het vrachtverkeer. Met behulp van een PAE-waarde⁶ van 1.9 zijn beide matrices samengevoegd tot één.

Tabel 6.1 Kenmerken basismodel

aantal zones	89
aantal links	2382
aantal O/D-paren	7832
aantal O/D-paren na toepassing drempelwaarde	6359
gedeelte van totale vervoersvraag dat verwijderd wordt door toepassing drempelwaarde	0.23%

Zoals te zien is in afbeelding 6.1 bevat het netwerk vrij weinig links vergeleken met de werkelijke hoeveelheid wegen. Een aantal snelwegen is uitgevoerd in het model als een enkele link voor de twee rijbanen. Dit betekent dat het verkeer van de beide richtingen

⁶ *personenautoequivalent. De waarde 1.9 betekent dat de O/D-matrix voor vrachtwagens met 1,9 vervuldigd is (1 vrachtwagen staat voor 1,9 personenauto's) en vervolgens bij de matrix voor personenauto's is opgeteld.*

in het model gebruik maakt van dezelfde knopen. Hierdoor zou het kunnen voorkomen dat een file op een rijbaan in de ene richting terugslaat naar de andere richting. De belangrijkste snelwegen (zoals de A13, A12 en Ring van Rotterdam) in het model zijn echter wel uitgerust met dubbele links en daardoor heeft genoemd effect zich niet voorgedaan.



Figuur 6.1 Netwerk van minder gedetailleerd model

Lengte van links

In tabel 6.2 is de werkelijke lengte (op basis van hectometerpaaltjes) van acht trajecten en de lengte van dezelfde trajecten in het model Indy weergegeven. Op basis hiervan is besloten hierop geen aanpassingen te doen.

Tabel 6.2 *Lengte van trajecten in model en werkelijkheid*

<i>weg</i>	<i>rijbaan</i>	<i>traject</i>		<i>lengte model (km)</i>	<i>werkelijkheid (km)</i>
A12	Re	Nootdorp	Waddinxveen	16,3	15,2
A12	Li	Waddinxveen	Nootdorp	16,1	15,2
A13	Re	Delft-Noord	Berkel en Ro- denrijs	10,2	9,0
A13	Li	Berkel en Ro- denrijs	Delft-Noord	9,6	9,0
A15	Re	Rozenburg	IJsselmonde	23,0	22,4
A15	Li	IJsselmonde	Rozenburg	23,0	22,3
A20	Re	Maasdijk	Moordrecht	30,0	33,0
A20	Li	Moordrecht	Maasdijk	30,0	33,0

6.2 Kalibratie referentiemodel

In deze paragraaf zal beschreven worden hoe het referentiemodel is gekalibreerd. Deze kalibratie is onderverdeeld in stappen die na elkaar zijn uitgevoerd.

Na het maken van de uitsnede zijn de link-specifieke parameters ingevuld. Dit is gebeurd op basis van de reeds in het model aanwezige gegevens: de maximumsnelheid en de capaciteit. Aangezien Indy alleen rekening houdt met de parameters *snelheid* en *capaciteit bij congestie (saturated flow)* is alleen de vulling van deze velden van belang. De aanwezige gegevens zijn naar deze velden gekopieerd. De lengte van de links was reeds in het model aangegeven.

Stap 1a: kalibratie generieke parameters

Bij de generieke parameters wordt in eerste instantie ervoor gekozen om dezelfde waarden te gebruiken als in het originele model. Deze waarden zijn in tabel 6.3 weergegeven.

Bij de onderstaande waarden valt op dat de minimale uitstroom van een link vrij hoog is. Deze waarde bepaalt dat er altijd 1200 voertuigen per uur uit een link kunnen stromen, ongeacht of zich op de aansluitende link een file bevindt. Dit zorgt ervoor dat er een kleinere kans is dat zich gridlocks in het model voordoen (hierbij raakt de staart van een file de kop van dezelfde file).

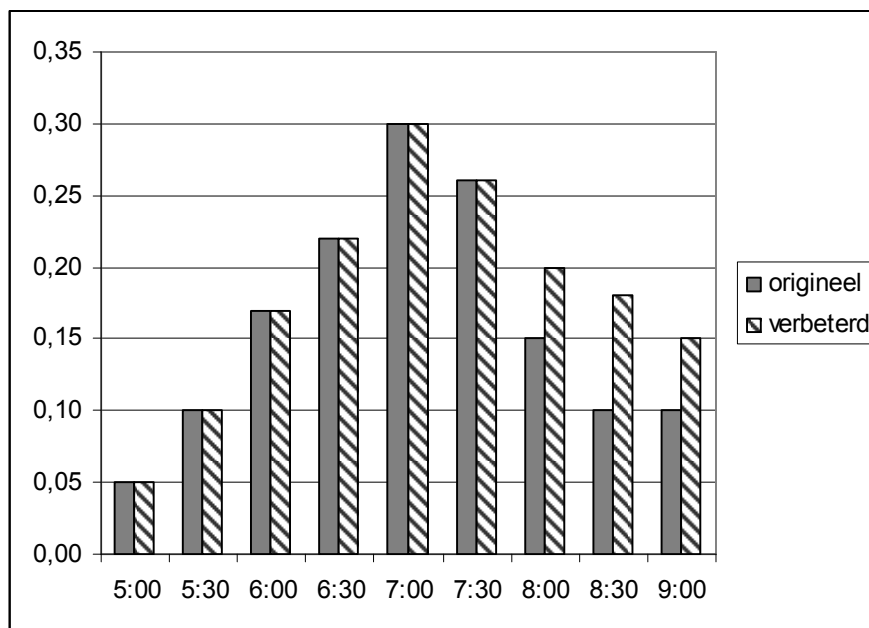
Het aantal iteraties is 10. Hierbij is gelet op de waarden in het dialoogvenster van Indy. Wanneer de waarde van de 'duality gap' lager is dan 0.05, dan wordt verondersteld dat dit aantal iteraties voldoende is geweest voor het berekenen van een evenwicht. Het aggregatieniveau is gelijk aan de standaardwaarde en de tijdsstap van 10 seconden is laag genoeg om voldoende correcte berekeningen te maken en groot genoeg om een redelijke rekentijd te bereiken.

Tabel 6.3 *waarden generieke parameters*

parameter	waarde
minimale uitstroom van een link	1200 voertuigen per uur
filedichtheid	125 voertuigen per kilometer
minimum O/D-waarde (aantal verplaatsingen)	7
aantal iteraties voor creatie van paden (paditeraties)	15
percentage maximale overlap tussen twee paden	85 %
vermenigvuldigingsfactor voor de vraagverloop van de vraag (vermenigvuldigingsfactor voor statische O/D-matrix)	1 0.05, 0.10, 0.17, 0.22, 0.30, 0.26, 0.20, 0.18, 0.15
aantal iteraties	10
aggregatieniveau	15 minuten
tijdsstap	10 seconde

Vertrekprofiel

Het vertrekprofiel bepaalt welke fractie van de waarde van de O/D-matrix elk halfuur wordt gebruikt. Dit profiel is voor alle zones hetzelfde en zorgt ervoor dat de intensiteit in het netwerk een piekpatroon vertoont. Om te controleren of het originele vertrekprofiel voldoende overeenkomt met de werkelijkheid zijn de intensiteiten die het model berekent vergeleken met de waarden uit de werkelijkheid. Op basis hiervan is het vertrekprofiel aangepast door tussen 8:00 uur en 9:00 uur het profiel te verhogen. Voor alle beschouwde trajecten levert dit een verbetering op (zie verbetering voor de A13 in bijlage 11).



Figuur 6.2 *Aanpassing vertrekprofiel*

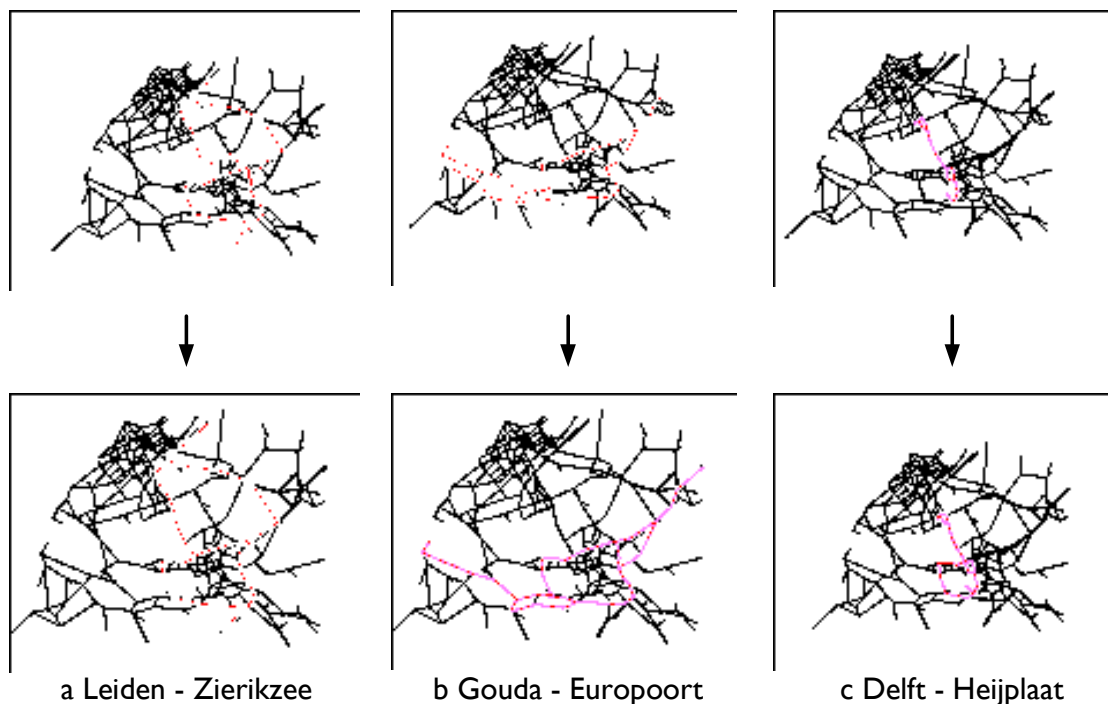
Stap 1b: toevoegen kalibratietrajecten

Doordat het model een laag detailniveau kent zijn de aanwezige zones niet bruikbaar voor kalibratie. De zones liggen namelijk ver van de snelweg, waardoor de reistijd van en naar de snelweg een groot deel uitmaakt van de totale reistijd tussen de zones. Daarom zijn dicht bij de snelweg twaalf zones toegevoegd. Tussen deze zones bevinden zich de trajecten die voor kalibratie worden gebruikt (zie bijlage 7). Ook in de O/D-matrix is een (klein) aantal verplaatsingen voor deze O/D-paren toegevoegd zodat er voor deze paren een reistijd wordt berekend.

Stap 1c: kalibreer padgeneratie

In deze stap wordt de padgeneratie gecontroleerd. Hiertoe zijn routes gekozen die lopen van en naar de uitersten van het model en waarbij routes via beide zijden van de Ring van Rotterdam gebruikt kunnen worden (zie figuur 6.3). In de figuren is voor drie van de routes weergegeven welke paden in het originele model werden gegenereerd. Deze routes zijn niet altijd logisch.

Om meer gebruikelijke routes te genereren is de freeflow-snelheid op alle snelwegen verhoogd van 100 km/uur naar 110 km/uur. Bij de routes van Leiden naar Zierikzee en Gouda naar Europoort worden hierdoor routes gegenereerd die volledig de beide zijden van de Ring van Rotterdam volgen. Ook bij de route van Delft naar Rotterdam-Heijplaat wordt een route via de Ring gegenereerd. Ook de route via het centrum van Rotterdam (Maastunnel) blijft hier behouden en bij het creëren van een evenwicht tussen de routes zullen beide routes worden gebruikt.



Figuur 6.3 Aanpassing padgeneratie

Stap 1 d: verwijderen onrealistische files

Zoals eerder aangegeven wordt in dit onderzoek aangenomen dat er geen terugslag plaatsvindt van files van het onderliggende wegennet naar het hoofdwegennet. Hiertoe is bij alle links op het onderliggende wegennet aangegeven dat deze 5 rijstroken bevatten. Dit zorgt ervoor dat een link vijf maal zo veel voertuigen kan bevatten (vergeleken met een link met 1 strook) voordat de file terugslaat naar een link stroomopwaarts.

Daarnaast is gebleken dat een aantal files ontstonden op de voedingslinks van en naar de zones. Ook dit is niet realistisch, aangezien voertuigen zich bij de bestemming verspreiden over een groot aantal kleinere binnenwegen. Om dit effect te voorkomen zijn alle voedingslinks voorzien van een capaciteit van 9999 voertuigen per uur (in beide richtingen).

Stap 1 e: kalibreer vermenigvuldigingsfactor van de vraag

In eerste instantie is gekozen voor een lage vermenigvuldigingsfactor voor de vraag. Dit is gedaan om gridlocks te voorkomen. Een hoge belasting van het netwerk in het model kan er namelijk voor zorgen dat files ontstaan waarbij de staart van de file de kop van de file kruist. Hierdoor kan het voorste voertuig in de file niet meer bewegen en zal de file dus niet oplossen. Bij een langzame toename van de vraagfactor kunnen deze situaties makkelijker worden gesignaleerd en kunnen er eventueel aanpassingen in het netwerk worden gedaan om gridlocks of files op onrealistische locaties te verhelpen. Hierna is de vraagfactor stapsgewijs verhoogd.

De hoogte van de vermenigvuldigingsfactor is in theorie te berekenen. De maximumwaarde van het vraagprofiel is namelijk gelijk aan 0,3 (zie figuur 6.2). Dit betekent dat de waardes van de O/D-matrix met deze factor worden vermenigvuldigd. Om op het drukste moment de hele waarde van de O/D-matrix te gebruiken is dus een vraagfactor van 3,33 nodig.

In de onderstaande tabel is het effect van de verhoging van de vraagfactor op de representativiteit het model te zien. Hierbij worden de intensiteiten die door het model worden berekend vergeleken met tellingen uit de werkelijkheid. De tabel op de volgende pagina laat een verslechtering van de representativiteit van de A20 (in beide richtingen) bij een vraagfactor boven 2.6 zien. Daarom is ervoor gekozen (ondanks de berekende waarde van 3.33) een vraagfactor van 3.0 te kiezen.

Tabel 6.4 *representativiteit (RMSPE) van het verkeersvolume bij toename vraagfactor*

<i>meetpunt</i>	<i>ter hoogte van</i>	<i>vraagfactor</i>							
		<i>1.0</i>	<i>1.8</i>	<i>2.2</i>	<i>2.4</i>	<i>2.6</i>	<i>2.8</i>	<i>3.0</i>	<i>3.2</i>
A12 richting Den Haag	Nootdorp	0,76	0,57	0,48	0,44	0,39	0,34	0,30	0,26
A12 richting Utrecht	Nootdorp	0,75	0,56	0,46	0,43	0,39	0,35	0,31	0,27
A13 richting Rijswijk	Berkel en Rodenrijs	0,74	0,54	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24
A13 richting Rotterdam	Berkel en Rodenrijs	0,69	0,44	0,33	0,29	0,23	0,19	0,15	0,12
A16 richting Rotterdam	Brienen-oordbrug	0,70	0,48	0,44	0,42	0,38	0,34	0,30	0,27
A16 richting Breda	Brienen-oordbrug	0,72	0,50	0,39	0,34	0,29	0,24	0,19	0,15
A20 richting Hoek van Holland	Moordrecht	0,63	0,35	0,24	0,20	0,21	0,25	0,29	0,34
A20 richting Gouda	Moordrecht	1,00	0,35	0,32	0,32	0,34	0,36	0,38	0,42

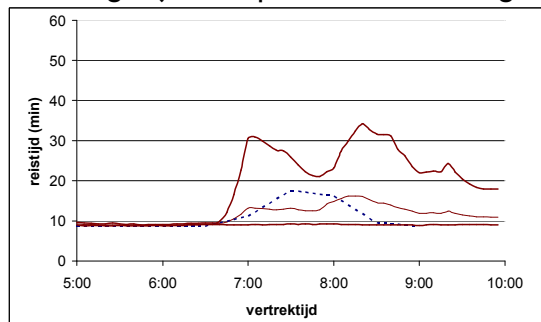
Stap 1f: toevoegen van geïdentificeerde knelpunten

De berekende reistijd op een bepaald traject waarop zich een knelpunt bevindt is in sterke mate afhankelijk van de aangegeven capaciteit op dat knelpunt (zie paragraaf 4.5.2). In hoofdstuk 3 is geanalyseerd waar zich dagelijks knelpunten in de ochtendspits bevinden. Op deze plekken is in het model de capaciteit van de links aangepast, zodat de reistijd op dat traject dichter de werkelijkheid benadert en de locatie van de dagelijkse files in het model goed zijn weergegeven. In de grafieken op de volgende pagina zijn de resultaten van de reistijdberekening voor de acht trajecten weergegeven.

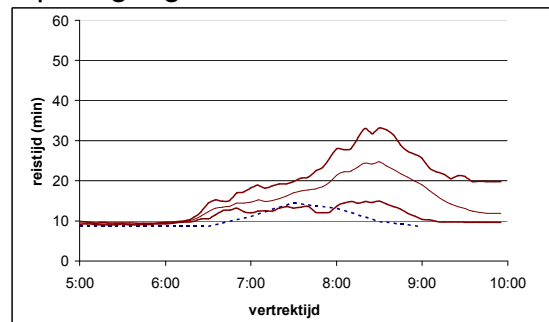
In de grafieken is te zien dat de modeluitkomsten in een aantal gevallen niet sterk overeenkomen met de werkelijkheid. Dit heeft voor een deel te maken met het fundamenteel diagram dat in Indy wordt gebruikt (zie figuur 4.3). In dit fundamenteel diagram blijft de snelheid gelijk aan de maximumsnelheid wanneer de dichtheid vanaf 0 vtg/km toeneemt. Wanneer het dus redelijk druk is (bij het begin en einde van de spits) dan blijft de snelheid in het model gelijk aan de maximumsnelheid. Dit betekent dat het verkeer dan dezelfde reistijd ervaart als in een freeflow situatie. Om beter overeen te komen met de werkelijkheid zou in het model de snelheid eerder verlaagd moeten worden bij een toenemende dichtheid.

Om de representativiteit van het model verder te verbeteren kan de capaciteit van de geïdentificeerde knelpunten verder worden aangepast. Vooral voor de A15 richting Eu-

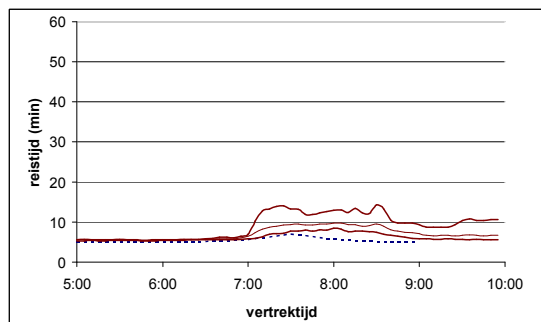
roport kan dit verbetering opleveren. Aangezien deze snelweg aan de rand van het model ligt zijn hierop in dit onderzoek geen aanpassingen gedaan.



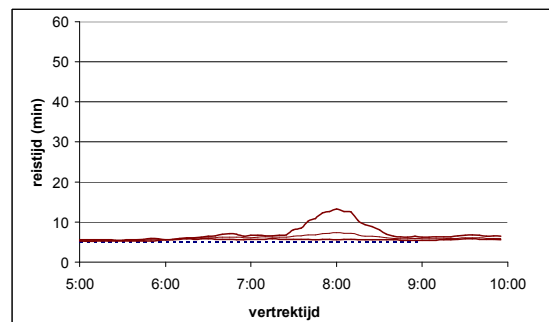
A12 richting Utrecht (RMSPE = 0.20)



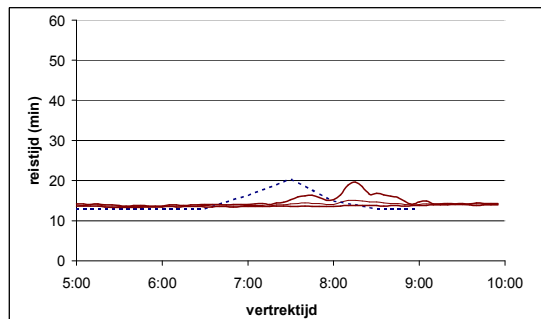
A12 richting Den Haag (RMSPE = 0.33)



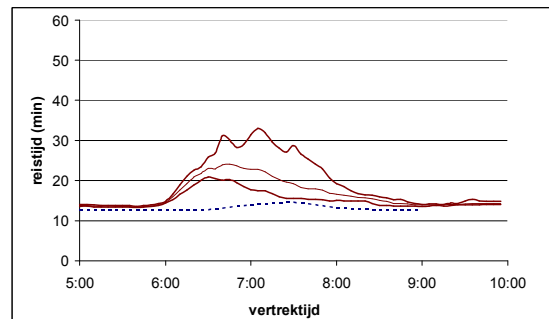
A13 richting Rotterdam (RMSPE = 0.25)



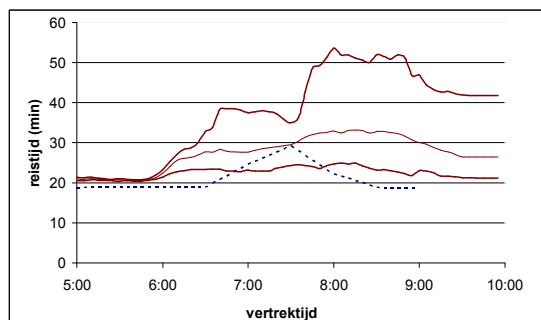
A13 richting Rijswijk (RMSPE = 0.17)



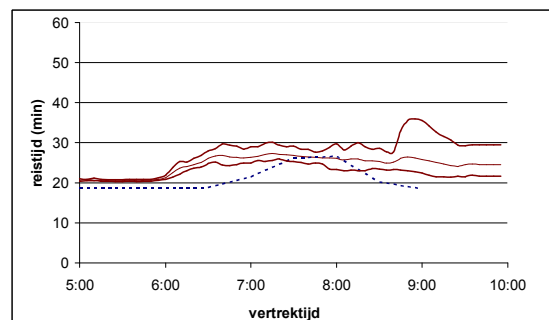
A15 richting Gorinchem (RMSPE = 0.17)



A15 richting Europoort (RMSPE = 0.24)



A20 richting Gouda (RMSPE = 0.25)

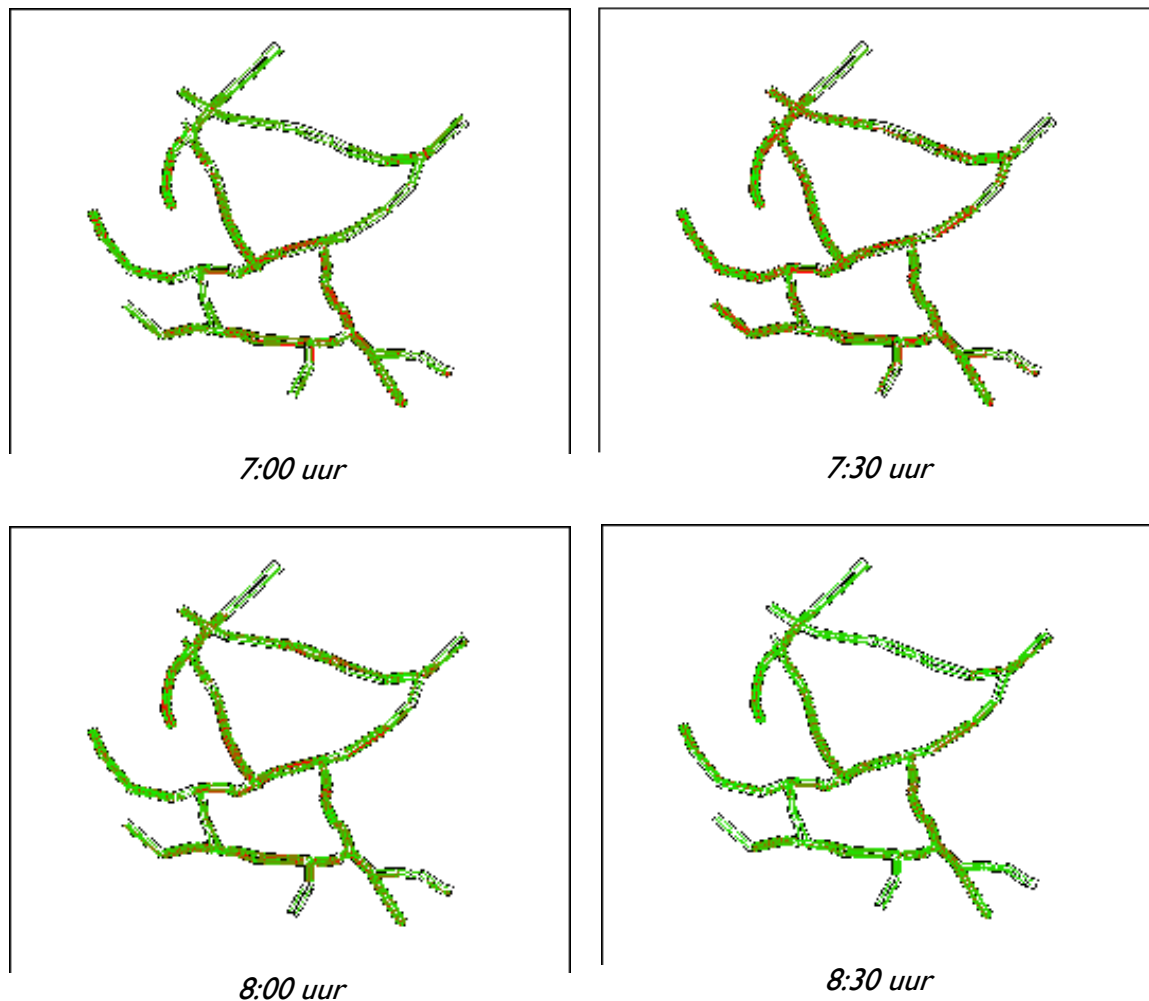


A20 richting Hoek van H. (RMSPE = 0.17)

Figuur 6.4 Representativiteit van het referentiemodel

— gemiddelde — MODEL — 5% percentiel — 95% percentiel

Om de locatie van de files in het basismodel te controleren zijn in figuur 6.5 voor verschillende tijdstippen kaarten afgebeeld met de output van het model. De wegvakken aangegeven met een rode kleur hebben een hogere dichtheid van voertuigen. De locaties van deze wegvakken komen in grote mate overeen met de geïdentificeerde locaties van dagelijks terugkerende files (zie figuur 3.4).



Figuur 6.5 Locaties van files (modeloutput)

6.3 Kalibratie voor incidenten

Na het kalibreren van het referentiemodel, zoals in de vorige paragraaf aan bod is gekomen worden incidentscenario's gekozen die worden gebruikt voor de kalibratie van het model voor incidenten. Hierbij worden dagen gekozen waar zich tijdens de ochtendspits in het studiegebied een incident heeft plaatsgevonden. Deze incidenten zijn eerder beschreven in hoofdstuk 3. Het gaat om de volgende dagen en incidenten:

- 23 januari 2007: incident op het Prins Clausplein richting Amsterdam;

- 25 september 2007: incident op de plek waar de verbindingbogen van de A20 richting de A16 (richting Breda) samenkomen;
- 12 december 2007: incident op de A13 richting Rijswijk tussen de oprit Berkel en Rodenrijs en tankstation Ruyven.

De incidenten worden in het model ingevoerd in het model als een tijdelijke beperking van de capaciteit van een bepaalde link (met behulp van een 'traffic control'). Voor het invoeren van een incident zijn de volgende gegevens nodig als input:

- starttijd en eindtijd (in seconden na het begin van de simulatie)
- locatie: linknummer en richting
- restcapaciteit van de link tijdens het incident

Wanneer ervoor wordt gekozen om een bepaald percentage van het verkeer een andere route te laten nemen tijdens het incident (gebruik van de omrij-module) moeten ook de volgende gegevens worden ingevoerd:

- omrijpercentage
- maximale acceptabele omweg (in reistijd)
- starttijd en duur van het omrijden (in minuten)

De starttijd en eindtijd van het incident zijn op een minuut nauwkeurig af te leiden uit de beelden van Regiolab. Hiermee kan ook de duur van het incident worden bepaald. Deze duur wordt ook gebruikt voor de duur van het omrijden. De locatie van het incident is ook af te leiden uit de beelden van Regiolab. Vervolgens wordt in het model de dichtstbijzijnde link in dezelfde richting opgezocht. Het nummer en richting van deze link wordt gebruikt om de locatie van het incident in het model te programmeren en in de omrij-module om te bepalen welk verkeer zal omrijden. De restcapaciteit wordt afgeleid uit de gegevens uit de meetlussen die zich stroomafwaarts van de incidentlocatie bevinden. De gebruikte gegevens zijn te vinden in de tabel in bijlage 8.

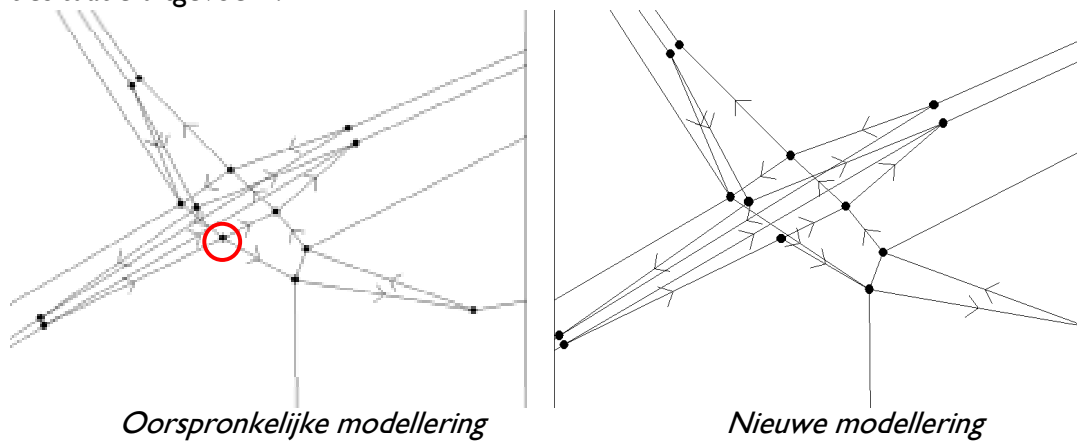
Voor de maximale acceptabele omweg wordt de standaardwaarde gebruikt van 1,5. Van de bovenstaande benodigde invoer blijft hierna alleen het omrijpercentage over dat niet uit de beschikbare gegevens kan worden afgeleid. Deze variabele zal worden gevarieerd.

Na het invoeren van een incident wordt geen nieuw evenwicht berekend. Er is gebruik gemaakt van dezelfde verkeersstromen per route als in de referentiesituatie, waarbij een deel van het verkeer dat omrijdt naar een ander pad wordt verplaatst. Hierna volgen vier stappen waarin het model voor incidenten wordt gekalibreerd.

Stap 2a: voorkomen van onrealistische files

Bij de incidenten van 23 januari en 12 december ontstaat een file op de A13 richting Rijswijk. In het model slaat deze file terug via het knooppunt Kleinpolderplein naar de A13 in de andere richting. Dit komt door de constructie van het knooppunt in het model. De terugslag van de file over de verbindingsoog van de A20 richting Gouda naar de A13 richting Rijswijk blokkeert hierbij het onderliggende wegennet bij afrit Blijdorp. In werkelijkheid zijn deze stromen gescheiden m.b.v. een viaduct. Daarom is het netwerk in het model hier aangepast, zoals in figuur 6.6 te zien is. Omdat hierdoor niet meer dezelfde paden kunnen worden gebruikt als in de referentiesituatie voor de aanpassingen

van het netwerk is opnieuw een padgeneratie en evenwichtstoedeling voor de referentiesituatie uitgevoerd.



Figuur 6.6 Modellering Kleinpolderplein

Stap 2b: kalibratie omrijpercentage

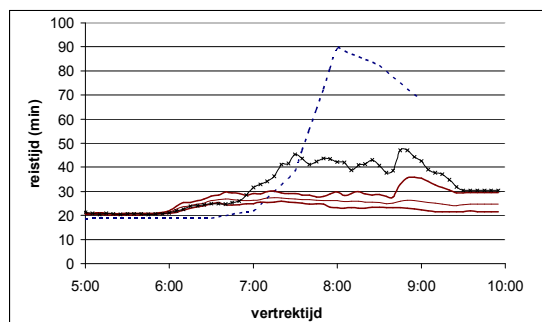
Voor het omrijpercentage moet in het model een waarde opgegeven worden tussen 0% en 100%. Er is voor gekozen om de representativiteit van het model bij drie percentages te beschouwen: 0%, 7% en 15%. Deze niveaus zijn gekozen naar aanleiding van de in de literatuur beschreven percentages (zie paragraaf 2.3.2). In de grafieken op de volgende pagina zijn de resultaten van de drie niveaus voor 23 januari weergegeven. De resultaten van 12 december zijn te vinden in bijlage 12. Op de situatie van 25 september is vanwege beperkte middelen niet gekalibreerd. Uit de figuren is af te leiden dat een omrijpercentage van 15% de hoogste representativiteit oplevert. Dit wordt ook weergegeven door de RMSPE: deze is bij dit niveau het laagst.

omrij-
percenta-
ge

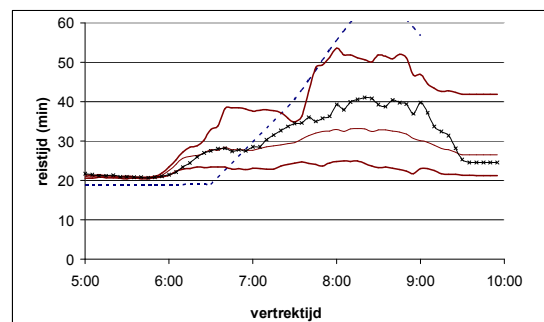
A20 richting Hoek van Holland

A20 richting Gouda

0%

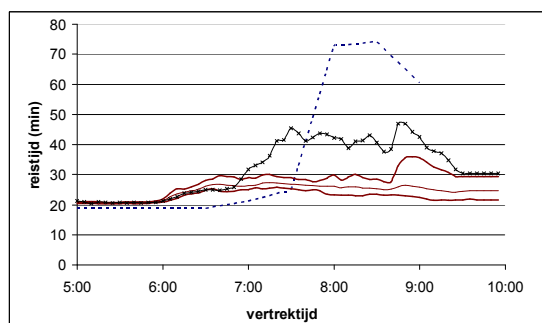


$RMSPE = 0.56$

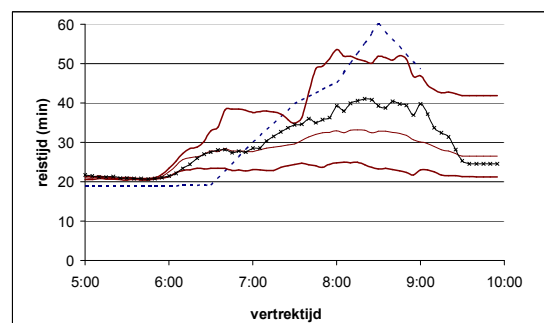


$RMSPE = 0.35$

7%

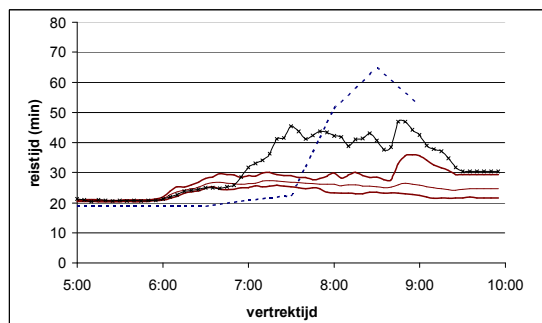


$RMSPE = 0.44$

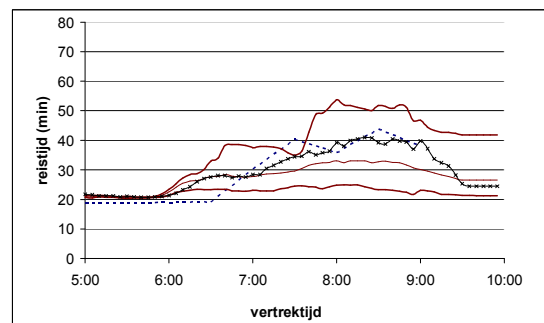


$RMSPE = 0.34$

15%



$RMSPE = 0.32$



$RMSPE = 0.14$

Figuur 6.7 Representativiteit van het model bij verschillende omrijpercentages (figuren voor 23 januari 2007)

— gemiddelde - - - MODEL — 5% percentiel — 95% percentiel —x— incident

Stap 2c: capaciteit van links bij samenvoegingen

Bij het samenvoegen van twee snelwegen wordt de capaciteit van de afvoerende link verdeeld over de twee samenvoegende snelwegen op basis van de capaciteiten van die snelwegen. In het originele model was de capaciteit van de verbindingsboog van de A20 richting Gouda gelijk aan 9999 vtg/uur (zie figuur 6.9). De andere verbindingsboog van de A20 was gemodelleerd met een capaciteit van 4000 vtg/uur. Hierdoor lost de file in het model op de A20 richting Gouda sneller op dan de file in de andere richting. In werkelijkheid (zie figuur 6.8) komen op het Kleinpolderplein de volgende wegen samen in de richting van de A13 richting Rijswijk:

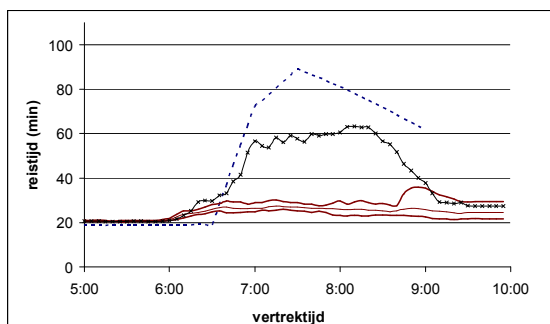
- A20 richting Hoek van Holland: 2 stroken
- A20 richting Gouda: 1 strook
- oprit Blijdorp: 1 strook

In het model worden de A20 richting Gouda en de oprit Blijdorp eerst samengevoegd en daarna volgt de samenvoeging met de A20 in de andere richting (zie figuur 6.6). Het is dus logisch om beide verbindingsbogen in het model dezelfde waarde te geven (4000 vtg/uur). Dit levert ook de beste representatie (zie figuur 6.9), met een goede fit van het model (RMSPE-waarden van 0.18 en 0.20).



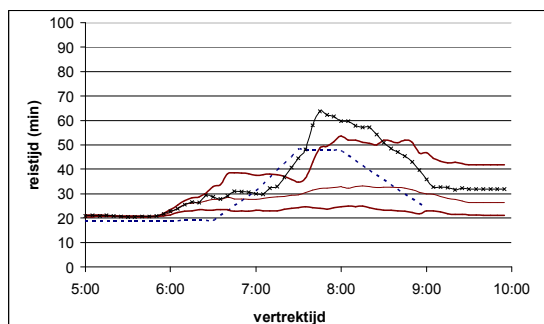
Figuur 6.8 luchtopname Kleinpolderplein (opname van 27 mei 2005, Aerodata International Surveys, 2009)

A20 richting Hoek van Holland

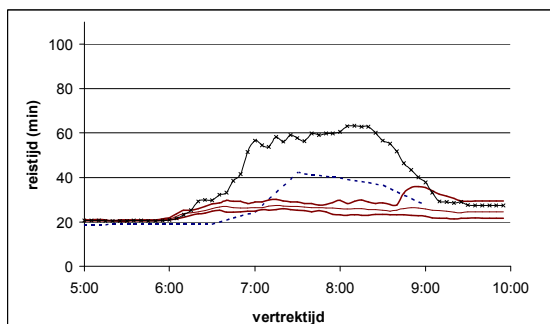


$RMSPE = 0.35$
capaciteit verbodingsboog naar A13: 4000

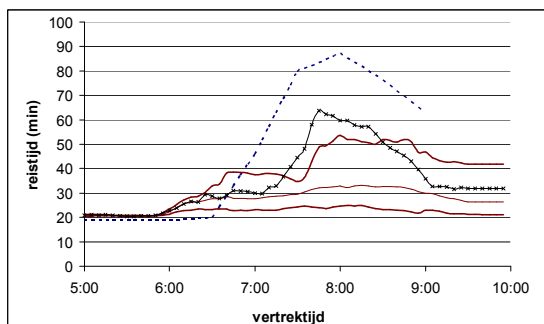
A20 richting Gouda



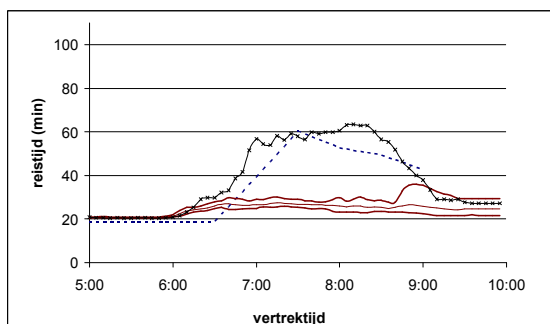
$RMSPE = 0.21$
capaciteit verbodingsboog naar A13: 9999



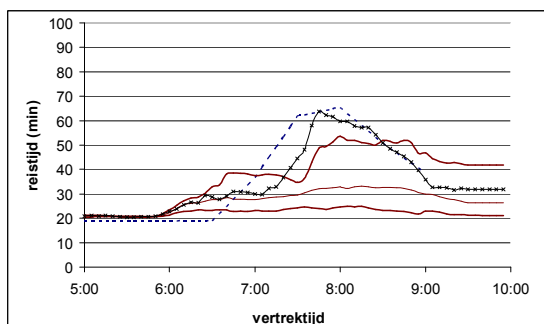
$RMSPE = 0.31$
capaciteit verbodingsboog naar A13: 4000



$RMSPE = 0.48$
capaciteit verbodingsboog naar A13: 3000



$RMSPE = 0.18$
capaciteit verbodingsboog naar A13: 4000



$RMSPE = 0.20$
capaciteit verbodingsboog naar A13: 4000

Figuur 6.9 Representativiteit van het model bij verschillende capaciteiten van verbodingsbogen op het Kleinpolderplein (figuren voor 12 december 2007)

Stap 2d: kalibratie filedichtheid

In deze stap is de parameter voor filedichtheid gevarieerd. Standaard staat deze parameter ingesteld op 125 vtg/km. Een lagere waarde van deze parameter leidt in het model tot een langere file (er passen dan immers minder voertuigen op een bepaald wegvak), maar de file bouwt ook sneller af. In deze stap zijn twee waarden van de filedichtheid met elkaar vergeleken: 100 en 125 vtg/km. In figuur 6.10 zijn voor verschillende tijdstippen de weergaves gemaakt met data uit de werkelijkheid (Regiolab) en de modeloutputs met verschillende filedichtheid afgebeeld. Hieronder zullen de belangrijkste overeenkomsten en verschillen worden beschreven.

7:00 uur	De kop van de file staat op dit moment op de A13, ongeveer ter hoogte van tankstation Ruyven, waar het incident heeft plaatsgevonden. De file is inmiddels teruggeslagen via het Kleinpolderplein naar de A20 in beide richtingen. In de modeloutput wordt deze terugslag beter gerepresenteerd wanneer een filedichtheid wordt gekozen van 100 vtg/km in plaats van 125 vtg/km.
7:30 uur	De kop van de file bevindt zich nog op dezelfde locatie. De file is verder teruggeslagen tot voorbij het Terbregseplein en tot de Beneluxtunnel op de A4. Ook hier geeft het gebruik van een filedichtheid van 100 vtg/km een betere representatie.
8:00 uur	De file is verder teruggeslagen naar de oprit Nieuwerkerk a/d IJssel en naar het knooppunt Benelux. Op deze twee punten levert het model met een filedichtheid van 100 vtg/km een betere representatie. Op de A20 richting Gouda slaat de file in dit model echter te ver terug (ongeveer tot Maasdijk), terwijl dat in werkelijkheid minder ver (ongeveer tot Vlaardingen) is.
8:30 uur	De rijbaan bij de incidentlocatie is op dit moment al enige tijd vrijgegeven en hierdoor lost de file aan de voorzijde op. Dit is in beide modellen ongeveer gelijk. Aan de achterzijde groeit de file nog aan. In de weergave van Regiolab is te zien dat de achterzijde van de file op de A20 richting Hoek van Holland zich ergens tussen Nieuwerkerk a/d IJssel en het knooppunt Gouwe bevindt. Dit wordt beter weergegeven door het model met 100 vtg/km.

In alle bovengenoemde gevallen levert de instelling van een filedichtheid van 100 vtg/uur een betere representatie dan een filedichtheid van 125 vtg/uur. Daarom wordt ervoor gekozen om 100 vtg/uur als instelling te kiezen.

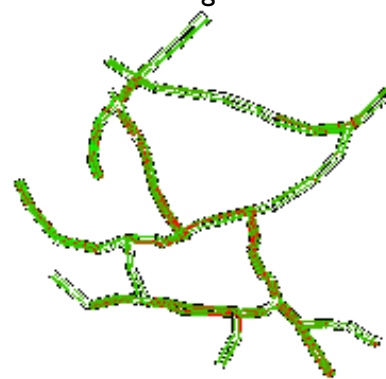
tijd

weergave Regiolab

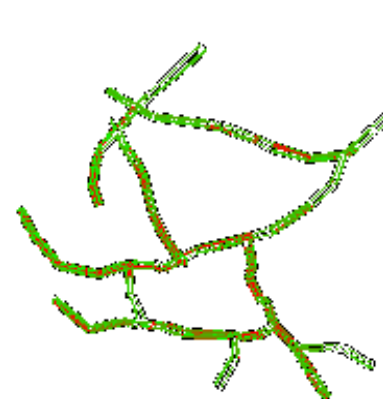
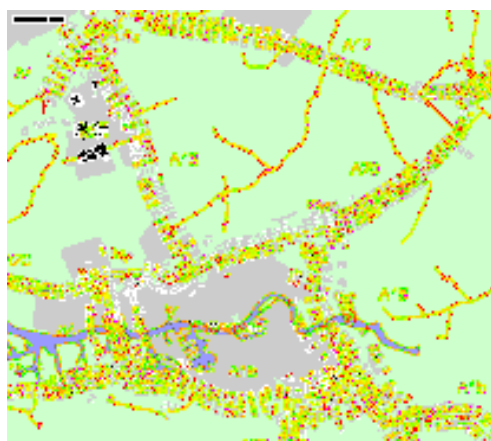
modelweergave
125 voertuigen / kilometer

modelweergave
100 voertuigen / kilometer

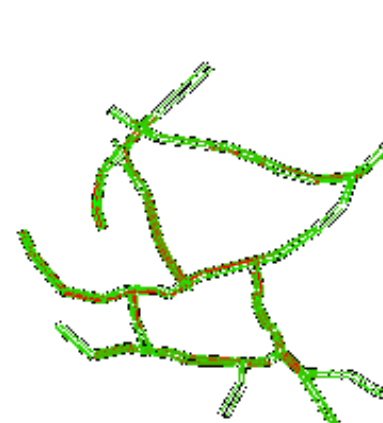
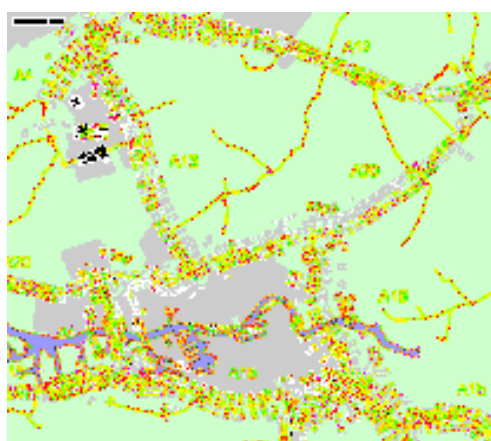
7:00



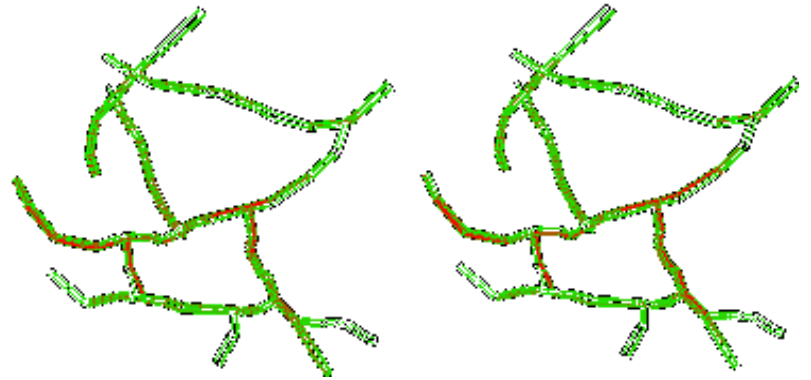
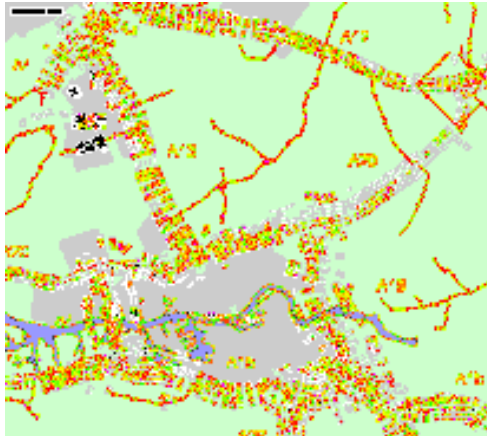
7:30



8:00



8:30



Figuur 6.10 Modelweergave en weergave Regiolab voor 12 december 2007

6.4 Conclusie kalibratie

In dit hoofdstuk is het verkeersmodel voor incidenten gekalibreerd. Eerst is een model gemaakt van een referentiesituatie. Een stapsgewijze kalibratie hiervan heeft plaatsgevonden waarbij het vertrekprofiel is aangepast naar een hogere belasting van het netwerk vanaf 8:00 uur. Hierna zijn acht trajecten in het model gezet waarop gekalibreerd wordt. Vervolgens is de padgeneratie gecontroleerd. Om logische routes te genereren is de freeflow-snelheid van enkele snelwegen verhoogd naar 110 km/uur.

Verder bleken in het originele model terugslageffecten voor te komen van het onderliggende wegennet naar de snelwegen die in werkelijkheid niet of in mindere mate voorkomen. Daarom is de (opslag)capaciteit van het onderliggende wegennet en voedingslinks in het model vergroot, zodat files niet terugslaan naar het hoofdwegennet.

Hierna is de belasting van het netwerk verhoogd door verhoging van de vraagfactor. Uiteindelijk bleek bij een vraagfactor van 3.0 de intensiteiten van het model en de werkelijkheid het beste overeen te komen.

Hierna zijn de capaciteiten van enkele links aangepast om de locatie van files in het model overeen te laten komen met de dagelijks terugkerende files die geïdentificeerd zijn in hoofdstuk 2. Deze stappen hebben een model opgeleverd dat is gebruikt als referentiesituatie voor de simulatie van incidenten. In dit model komt de locatie van dagelijks terugkerende files redelijk overeen met de werkelijkheid. Ook de berekening van de reistijd door het model komt redelijk overeen met de werkelijkheid. De grootste afwijking ontstaat doordat het model bij een lage dichtheid een snelheid berekent die gelijk is aan de maximumsnelheid. In werkelijkheid loopt deze snelheid ook bij een lage dichtheid terug en dus onderschat het model de reistijd bij lage dichtheden.

Op basis van het referentiemodel zijn drie incidentscenario's ingevoerd. Bij de incidenten waarbij een file ontstaat op de A13 richting Rijswijk ontstaat bij het Kleinpolderplein een terugslageffect dat niet representatief is voor de werkelijkheid: de file slaat terug naar de rijbaan van de A13 in de andere richting. De ligging van links in het model is

hierop aangepast en hierna is een nieuwe referentiesituatie berekend, om de paden in het model aan te passen.

Hierna is het omrijpercentage dat in het model moet worden ingevoerd gekalibreerd. Voor drie waarden (0, 7 en 15% omrijden) zijn de resultaten met elkaar vergeleken. Gebleken is dat een omrijpercentage van 15% de meest representatieve resultaten oplevert.

Bij het samenvoegen van links wordt de hoeveelheid verkeer die uit de inkomende links (de verbindingsbogen) kan stromen verdeeld naar rato van de capaciteit van die links. Bij de afbouw van een file zorgt deze verhouding ervoor dat een file met een hoge capaciteitswaarde van de link bij het samenvoegen sneller afbouwt dan wanneer die capaciteitswaarde laag is. Om voor een goede afbouw van de files te zorgen voor de A20 in beide richtingen bij het Kleinpolderplein in de richting van Rijswijk (A13) zijn deze waarden gevarieerd. Wanneer voor beide verbindingsbogen dezelfde capaciteitswaarde wordt ingesteld dan levert dit het beste resultaat.

Tot slot is de waarde van de parameter filedichtheid gevarieerd. Deze waarde heeft invloed op de lengte van een file (een lagere waarde leidt tot een langere file) en op de afbouw van de file wanneer een knelpunt wegvalt (bij een lagere waarde bouwt de file sneller af aan de voorzijde). Het is gebleken dat een verlaging van deze waarde van de standaardwaarde van 125 vtg/km naar 100 vtg/km de werkelijkheid beter representeert.

De resultaten van de kalibratie zijn te vinden in tabel 6.5. Te zien valt dat het referentiemodel op de meeste trajecten de reistijd redelijk representeert. Op de A12 richting Den Haag is de fit van het model matig. Op de A13 in beide richtingen en A20 richting Hoek van Holland representeert het model de werkelijkheid goed.

Voor het geval van 23 januari levert het model slechts een matige representatie op de A13 en de A12 richting Den Haag. Voor de A20 levert het model voor die dag redelijke resultaten. Voor 25 september worden de reistijden op de relevante trajecten door het model matig gerepresenteerd. De situatie van 12 december wordt wisselend gerepresenteerd. Op twee trajecten is sprake van een matige representatie: de A13 richting Rotterdam en de A15 richting Europoort. Op de andere twee trajecten (A13 richting Rijswijk en de A15 richting Nijmegen) is sprake van goede representatie.

Tabel 6.5 Eindresultaat kalibratie

Reistijd					
traject	referentiesituatie	23 januari	25 september	12 december	
I2R	0.20				
I2L	0.33	0.32			
I3R	0.25	0.40	0.36	0.35	
I3L	0.17	0.39		0.20	
I5R	0.17			0.14	
I5L	0.24			0.31	
20R	0.25	0.26	0.32	0.22	
20L	0.17	0.25	0.31	0.14	

7 Validatie

In dit hoofdstuk wordt de validatie van Indy voor incidenten beschreven. Zoals vermeld in eerdere hoofdstukken wordt in dit onderzoek geen hard oordeel gegeven over het wel of niet valide zijn van het model. Er zal worden aangegeven in hoeverre het model de werkelijkheid representeert. Hiertoe zijn twee dagen uit 2007 gekozen waarop tijdens de ochtendspits een incident heeft plaatsgevonden (zie ook paragraaf 3.4). In het model zijn deze dagen ingevoerd en daarna zijn de berekende waarden uit het model vergeleken met data uit de werkelijkheid. De resultaten zijn te vinden in paragraaf 7.1 en 7.2. Elke paragraaf behandelt één van de twee dagen door eerst de locatie van files die het model berekent visueel te vergelijken met data uit de werkelijkheid en vervolgens de door het model berekende reistijden voor relevante trajecten te vergelijken met de gegevens uit de werkelijkheid.

7.1 Case I: 1 maart 2007

Op deze dag heeft er een ongeval plaatsgevonden op de A13 in noordelijke richting, net na de oprit van Berkel en Rodenrijs (zie ook paragraaf 3.4). In de figuren op de volgende pagina kan de modelweergave van de situatie op 1 maart 2007 op verschillende tijdstippen worden vergeleken met de weergave van Regiolab, die de output van de meetlussen in het wegdek weergeeft. Hieronder zullen per tijdstip de belangrijkste overeenkomsten en verschillen worden aangegeven.

Locatie van files

- | | |
|----------|---|
| 6:30 uur | Op dit tijdstip heeft het incident al plaatsgevonden en hierdoor ontstaat een file op de A13. In de modelweergave is deze file ook te zien. Op de A20 richting Hoek van Holland is een dagelijkse file aanwezig bij Crooswijk, die in de modelweergave niet te zien is. |
| 7:00 uur | De file groeit aan van de A13 naar de A20 in beide richtingen tot bijna het Kethelplein en het Terbregseplein. In de modelweergave is dit ook te zien. |
| 7:30 uur | Het Regiolab-beeld laat zien dat de file verder groeit op de A4 tot bijna het knooppunt Benelux. Het model laat een langere file zien. Ook groeit de file in het model op de A20 harder richting Maassluis dan in werkelijkheid is gebeurd. Aan de oostzijde groeit de file tot ongeveer Prins Alexander. In het model is deze file ook langer dan in werkelijkheid. Inmiddels is de rijbaan bij de incidentlocatie weer vrijgegeven en dat is te zien in de modelweergave doordat de kop van de file stroomopwaarts verplaatst is. |
| 8:00 uur | Op dit tijdstip komt de modelweergave (voor wat betreft de relevante trajecten) redelijk overeen met de werkelijkheid. Op de A20 richting Hoek van Holland komt een file voor van Crooswijk tot het knooppunt |

Gouwe. Op de binnenring van Rotterdam komt een file voor op de A20 tot het Kethelplein, op de A4 tot het knooppunt Benelux en nog een deel op de A15 richting Europoort. Alleen dit laatste deel, op de A15, wordt door het model niet weergegeven. Verder laat het model op de A20 richting Gouda een langere file zien dan de werkelijkheid.

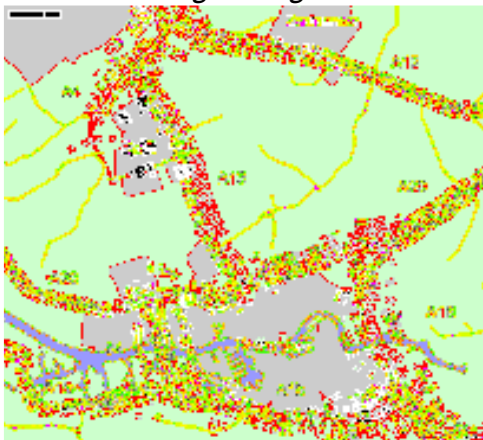
8:30 uur Ook op dit tijdstip komt de modelweergave in redelijke mate overeen met de werkelijkheid. De files zijn in diverse richtingen verder teruggeslagen. Het model geeft op de A20 richting Gouda een grotere terugslag weer dan de werkelijkheid. Ook op de A15 richting Ridderkerk geeft een model een grotere terugslag dan de werkelijkheid.

tijd

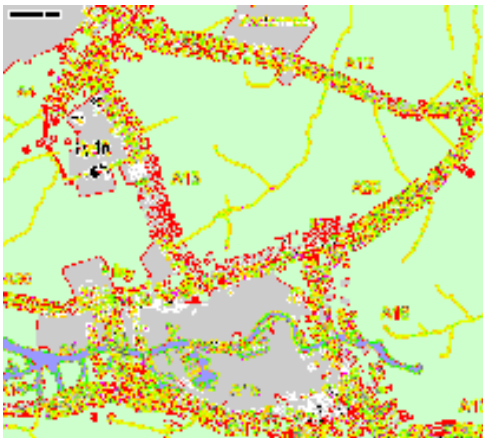
weergave Regiolab

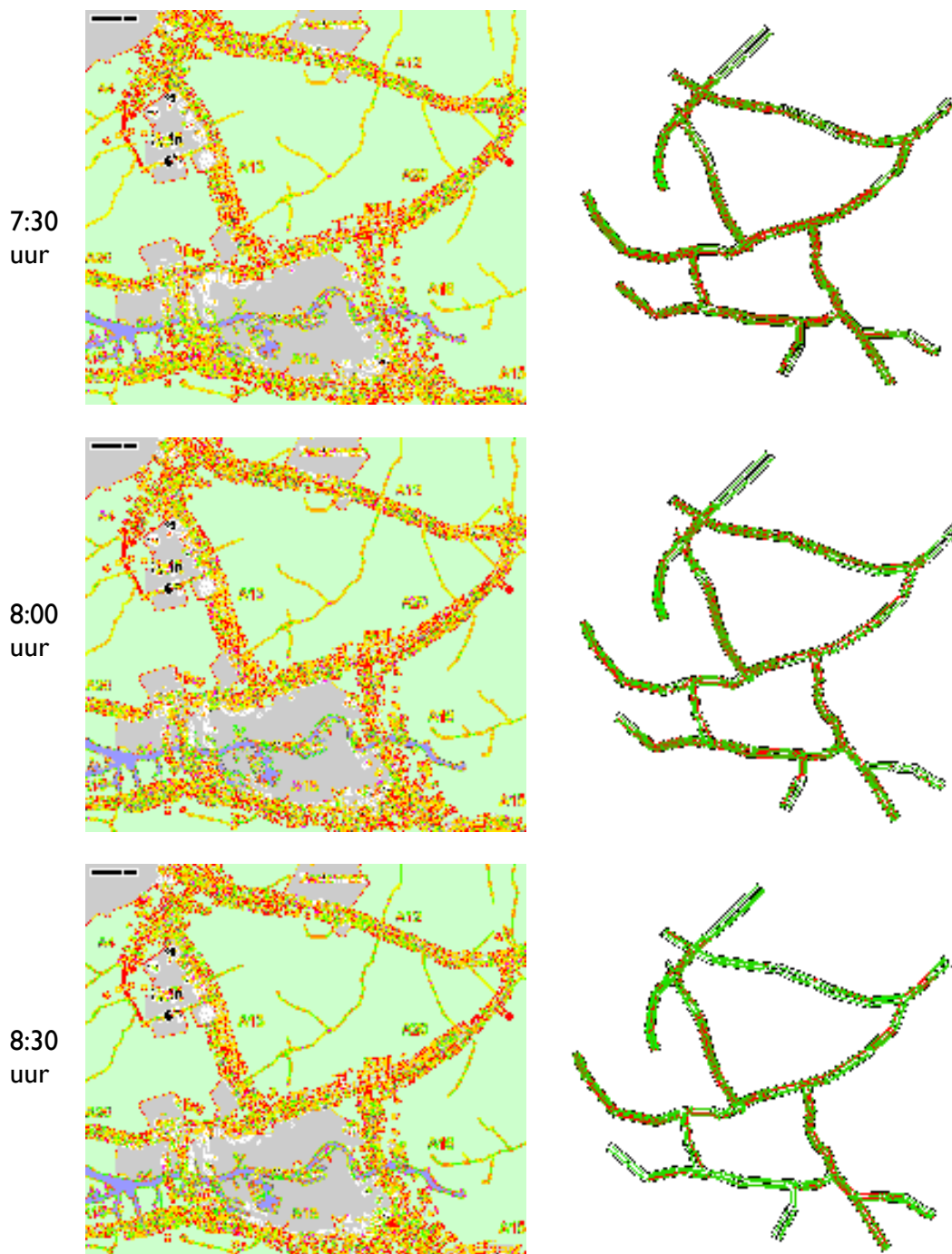
modelweergave

6:30
uur



7:00
uur





Figuur 8.1 Modelweergave en weergave Regiolab voor 1 maart 2007

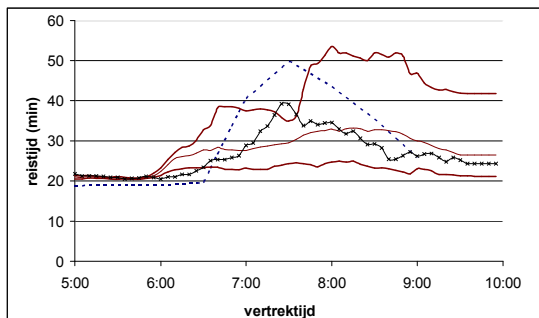
Berekening reistijd

In de volgende vier grafieken zijn de reistijden weergegeven die door het model zijn berekend en die op basis van metingen zijn bepaald (in deze grafieken worden ook het gemiddelde en de percentielen voor de referentiesituatie weergegeven met rode lijnen). Alleen de grafieken voor de trajecten waarop het incident invloed heeft gehad zijn

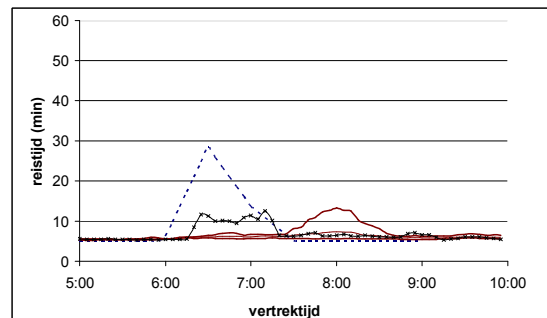
weergegeven. Voor de A20 in beide richtingen komen de berekeningen van het model redelijk overeen met de werkelijkheid. Voor de A20 richting Gouda berekent het model een reistijd tot 50 minuten, terwijl in werkelijkheid de reistijd is opgelopen tot 40 minuten. Voor vrijwel alle vertrektijden berekent het model een hogere reistijd dan in werkelijkheid is geweest. Voor de A20 in de andere richting komt het verloop van de reistijden die door het model zijn berekend beter overeen met de werkelijkheid. Het model berekent een maximale reistijd van ongeveer 61 minuten, terwijl in werkelijkheid de maximale reistijd ongeveer 70 minuten was. De RMSPE van 0.21 duidt erop dat het model de werkelijkheid redelijk representeert.

Op de modeloutput van de A13 komt een piek in de reistijd voor op het juiste tijdstip (tijdens het incident), alleen is deze piek veel hoger dan in werkelijkheid. Dit komt waarschijnlijk doordat in werkelijkheid het incident heeft plaatsgevonden dichtbij de oprit van Berkel en Rodenrijs. In het model bevindt de locatie zich meer richting Rijswijk. Dit komt doordat het wegvak tussen de oprit van Berkel en Rodenrijs en de afrit Delft-Zuid in het model wordt weergegeven door twee links. Een incident kan in het model alleen worden ingevoerd op het einde van een link. Hierdoor is de locatie van het incident niet helemaal correct gemodelleerd en wordt de reistijd op de A13 tussen Berkel en Rodenrijs en Delft-Noord door het model overschat. Het model fit hierdoor slecht.

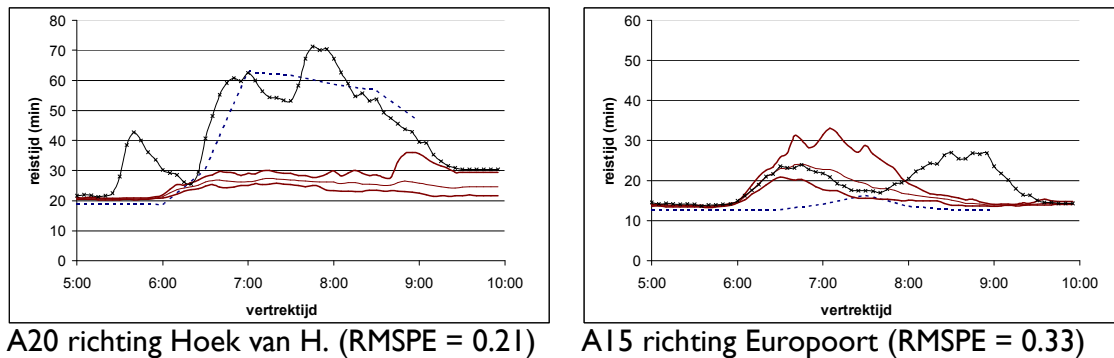
Op de A15 richting Europoort wordt door het model vrijwel geen vertraging berekend. Dit komt doordat in het referentiemodel ook al geen vertraging op deze locatie voorkomt, terwijl zich daar wel dagelijks een file bevindt (te zien aan de rode lijnen in de grafiek). Dit levert een matige fit op van het model.



A20 richting Gouda (RMSPE = 0.21)



A13 richting Rijswijk (RMSPE = 0.53)



Figuur 8.2 Berekening reistijden model en werkelijkheid (1 maart 2007)

— gemiddelde — MODEL — 5% percentiel — 95% percentiel —×— incident

7.2 Case 2: 19 november 2007

In het geval van 19 november vindt er een ongeval plaats op de A20 in de richting van Gouda ter hoogte van Prins Alexander (zie ook paragraaf 3.4). Hieronder volgt een overzicht van de overeenkomsten en verschillen in de locatie van files tussen model en werkelijkheid.

Locatie files

- 7:30 uur** Op dit tijdstip heeft het incident nog niet plaatsgevonden. In de regio bevinden zich de files op de dagelijks terugkerende locaties, zoals op de A13 bij Delft Zuid, de A20 bij Crooswijk en de A15 bij het Vaanplein.
- 8:00 uur** Op dit tijdstip heeft het incident plaatsgevonden. In het model is hierdoor een file weergegeven op de A20 en de A16. Dit is in de weergave van Regiolab niet goed te zien. In de overige delen van de regio bevinden zich op dit moment in werkelijkheid meer files dan in het model staan weergegeven.
- 8:30 uur** De file op de A20 richting Gouda met de kop op de locatie van het incident is in werkelijkheid aangegroeid aan de al eerder aanwezige congestie stroomopwaarts. Er ontstaat hierdoor op de A20 één file van Vlaardingen tot Prins Alexander. Het model laat een file van het Kleinpolderplein tot Nieuwerkerk a/d IJssel zien. De locatie van de file is dus niet helemaal correct. De file op de A20 in de andere richting (waar het incident dus niet heeft plaatsgevonden) wordt niet door het model weergegeven.
- 9:00 uur** De kop van de file heeft zich in het model verplaatst (na het vrijgeven van de rijbaan ter hoogte van het incident), van Prins Alexander stroomaf-

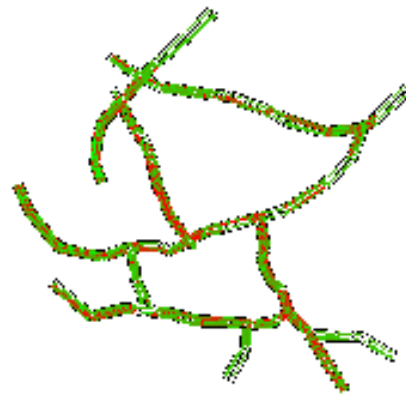
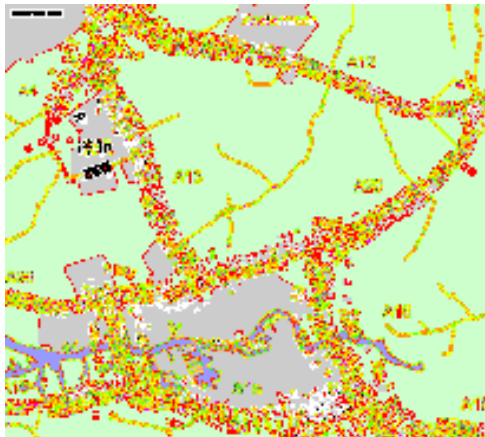
waarts naar de wegversmalling bij Nieuwerkerk a/d IJssel. In werkelijkheid bevindt de kop van de file zich niet daar maar meer stroomopwaarts. De staart van de file bevindt zich in het model ook teveel stroomafwaarts.

tijd

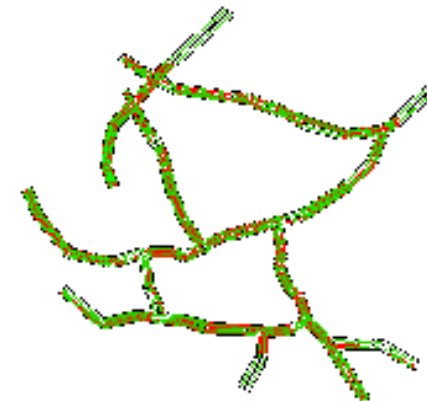
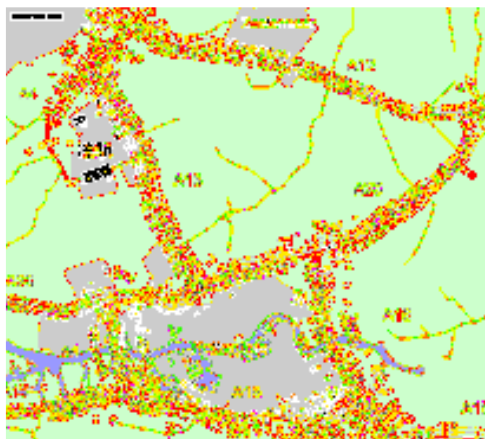
weergave Regiolab

modelweergave

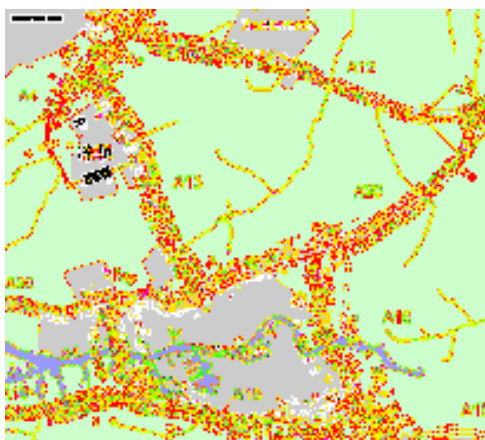
7:30
uur

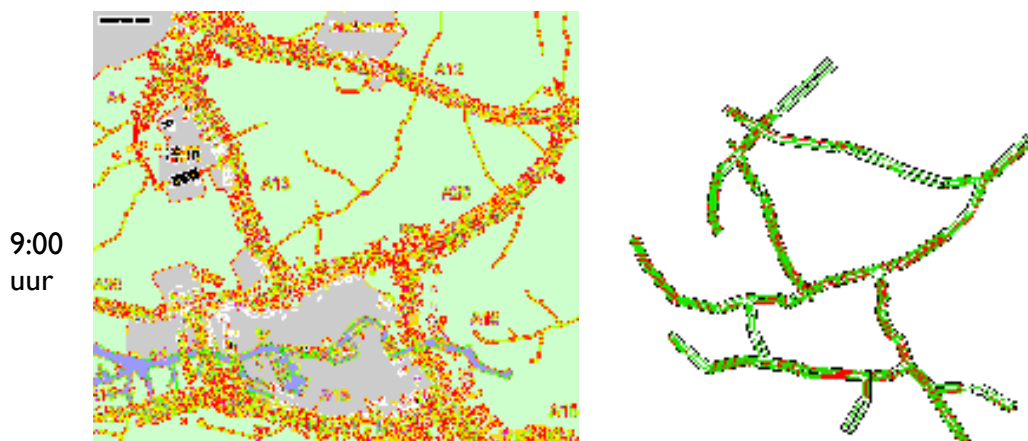


8:00
uur



8:30
uur

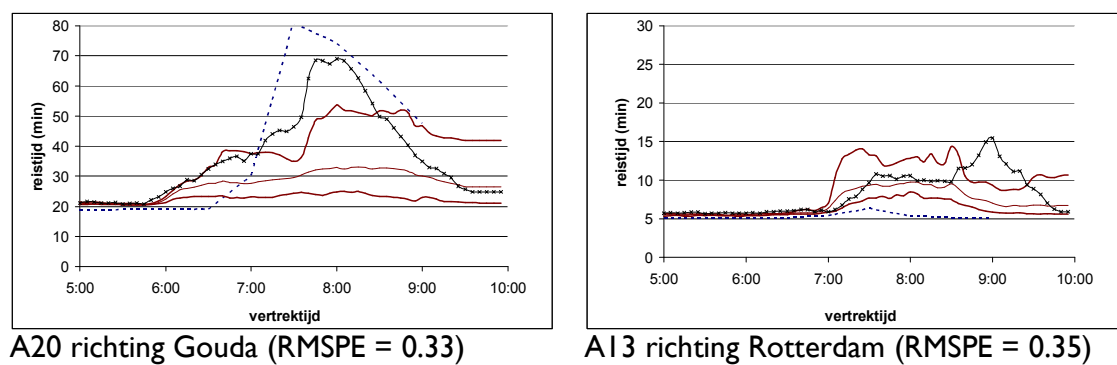




Figuur 8.3 Modelweergave en weergave Regiolab voor 19 november 2007

Berekening reistijd

In onderstaande figuren zijn de door het model berekende en de werkelijke reistijden te zien voor de twee snelwegen waar het incident het meeste effect heeft: A20 en A13. Voor de A20 richting Gouda komt het model redelijk overeen met de werkelijkheid. Het model berekent een reistijd met een vertrektijd rond 7:30 uur van ongeveer 80 minuten, terwijl dat in werkelijkheid ongeveer 69 minuten was. De RMSPE van 0.33 geeft aan dat het model voor dit traject matig fit. Voor de A13 komt het model in mindere mate overeen met de werkelijkheid, doordat het verloop van de reistijden slechts een kleine piek laat zien. Het model berekent een reistijd vrijwel zonder vertraging, terwijl in werkelijkheid de file is teruggeslagen naar de A13 en dus daar voor vertraging zorgt. Dit levert een matige fit van het model op.



Figuur 8.4 Berekening reistijden model en werkelijkheid (19 november 2007)

— gemiddelde — MODEL — 5% percentiel — 95% percentiel —x— incident

7.3 Conclusie van de validatie

In de beide cases die zijn gebruikt voor de validatie komt het model redelijk overeen met de werkelijkheid. Het ging hierbij om cases die incidenten beschreven die ongeveer op dezelfde locatie plaatsvonden als de cases die gebruikt zijn bij de kalibratie (op de A13 richting Rijswijk of de A20 richting Gouda ter hoogte van het Terbregseplein). De grootste verschillen tussen model en werkelijkheid in de locatie van files bestaan uit de berekening van een te lange file op de A20 richting Gouda in het geval van 1 maart en een verschoven locatie van de file op de A20 in dezelfde richting in het geval van 19 november. De fileterugslag wordt door het model goed weergegeven.

De berekening van reistijd is in sommige gevallen redelijk en in andere gevallen matig tot slecht. In de gevallen waarin deze berekening slecht is, kan door meer tijd te steken in het kalibreren van knelpunten op bepaalde locaties verbetering worden bereikt.

Het is niet zeker of het model ook de werkelijkheid in dezelfde mate representeert wanneer een incident zich voordoet op een volstrekt andere locatie dan op de locaties die zijn gebruikt voor de kalibratie en validatie van het model. Een incident op een andere locatie zou opnieuw kunnen leiden tot onrealistische terugslageffecten, zoals het geval was bij het Kleinpolderplein (zoals in stap 2a in paragraaf 6.3). Wanneer men het model dus wil gebruiken voor de modellering van incidenten op andere locaties, dan moet het model voor deze locaties worden gekalibreerd.

Bovenstaande leidt tot de conclusie dat het model in staat is de werkelijkheid redelijk te representeren. Weliswaar wordt de reistijd voor de twee cases door het model slechts matig tot redelijk berekend, de locatie van de files die in het model worden weergegeven komt in veel gevallen in ruime mate overeen met de werkelijkheid. Wanneer meer zou worden gedaan aan de kalibratie van knelpunten op diverse plekken in het studiegebied dan kan verwacht worden dat het model de werkelijkheid goed representeert.

8 Ex ante evaluatie van infrastructuurmaatregelen

In de vorige hoofdstukken is besproken wat de mogelijkheden zijn om met het verkeersmodel Indy incidenten te simuleren. Met dit model kunnen vooraf de effecten van infrastructuurmaatregelen worden geëvalueerd. Er bestaan een aantal andere methoden met min of meer hetzelfde doel, zoals 'de Robuustheidsscanner' en 'SMARA'. Deze zullen in paragraaf 8.1 worden beschreven.

Om te inventariseren voor welke infrastructuurmaatregelen een ex ante evaluatie nuttig zou kunnen zijn wordt in paragraaf 8.2 een opsomming gegeven van maatregelen. In paragraaf 8.3 wordt vermeld op welke manier een ex ante evaluatie van deze maatregelen met behulp van Indy mogelijk is.

8.1 Andere evaluatiemethodes

Robuustheidsscanner

De Robuustheidsscanner is een methode die door de *Adviesdienst Verkeer en Vervoer* en *Grontmij* is ontwikkeld om 'de robuustheid van een verkeersnetwerk te kunnen bepalen' (Rijkswaterstaat, 2006). De methode gebruikt een statisch verkeersmodel en beschrijft dus niet de effecten van fileterugslag. De methode identificeert eerst de kwetsbare wegvakken op basis van de kans op een ongeval en de hoeveelheid verkeer die bij een incident geblokkeerd wordt. Vervolgens wordt nagegaan welk deel van het verkeer welke alternatieve routes neemt. De voordelen van de methodiek hebben vooral betrekking op het gebruik van een statisch model waardoor snel en eenvoudig resultaten kunnen worden gegenereerd (Kraaijeveld, 2008). Het model doet een belangrijke aanname over omrij-gedrag: het gaat ervan uit dat al het verkeer dat vanwege de capaciteitsbeperking vertraging zou oplopen een andere route kiest. Gemiddeld blijkt in het model 53% van de weggebruikers een alternatieve route te kiezen (Kraaijeveld, 2008). Het verkeer dat wel via de incidentplaats rijdt zal in het model geen vertraging oplopen, omdat de overgebleven capaciteit precies voldoende is voor de hoeveelheid verkeer via die route.

SMARA

SMARA is ontwikkeld door *TNO Inro*, het *Ruimtelijk Planbureau* en *Modelit* (Meeuwissen et al, 2004). Het model berekent een bandbreedte waarin reistijden voorkomen op een bepaald traject. SMARA is gebruikt door het Ruimtelijk Planbureau in het rapport dat de betrouwbaarheid van reistijden inschat (RPB, 2004).

Het model is gekalibreerd door van een aantal punten op het hoofdwegennet de variatie in gemeten reistijden op basis van lusgegevens te vergelijken met de modeluitkomsten. Voor het onderliggende wegennet zijn deze gegevens niet bekend en daar is het model dus niet op gekalibreerd.

8.2 Maatregelen die de effecten van incidenten kunnen verminderen

In een betrouwbaar netwerk weten weggebruikers van te voren hoe lang zij onderweg zullen zijn. In de ICT en in de vliegtuigindustrie wordt vaak gesproken over de 'fail-safe' strategie (faalveilig) en de 'safe-fail' strategie (veilig falen). Wanneer een systeem fail-safe

is, dan blijft het systeem volledig functioneren wanneer een onderdeel faalt. Veel systemen in passagiersvliegtuigen zijn ontworpen naar dit principe. Wanneer bijvoorbeeld één van de motoren uitvalt, dan kan het vliegtuig nog steeds blijven vliegen.

Wanneer het safe-fail principe wordt gehanteerd dan wordt geaccepteerd dat een systeem faalt, maar als het faalt, dan gebeurt het op een 'veilige', of zo goed mogelijke manier. Een voorbeeld hiervan is het landingsgestel van een vliegtuig. Wanneer het landingsgestel niet kan uitklappen, dan is er geen tweede landingsgestel beschikbaar, maar kan het vliegtuig (redelijk) veilig een buiklanding maken.

Het verschil in beide ontwerpstrategieën is dus dat bij safe-fail het systeem kan uitvallen (of de functie ervan verminderen) op een veilige manier, terwijl bij de fail-safe strategie het doel is dat het systeem niet uitvalt (Möller en Hansson, 2008).

Fail-safe strategie: een ideaalbeeld

Bij de fail-safe strategie hoort de term 'redundantie'. Een redundant systeem blijft in werking wanneer één component uitvalt. Dit is immers van groot belang voor het in de lucht houden van vliegtuig of het draaiend houden van een computernetwerk.

Men probeert daarvoor 'multiple load paths' te creëren: wanneer één pad uitvalt, dan kan een ander pad de functie van het eerste pad overnemen.

Naar deze analogie zou men een redundant verkeersnetwerk kunnen creëren door naast elke bestaande weg nog een weg te bouwen met dezelfde capaciteit en de mogelijkheid om op elk punt door te steken van de oude weg naar de nieuwe weg. In normale situaties wordt dan nog steeds de 'oude' weg gebruikt; bij incidenten kan de nieuwe weg worden gebruikt. Elke weggebruiker die stroomopwaarts van de plaats van het incident rijdt kan dan de nieuwe weg gebruiken en ondervindt dus geen vertraging. Wanneer een gebrek zich voordoet is er dus een alternatief, oftewel het systeem is 'fail-safe'. Het moge duidelijk zijn dat dit systeem niet haalbaar is, gezien de hoge kosten van de aanleg en het ruimtebeslag van infrastructuur.

Safe-fail strategie

In de 'Visie Robuust Wegennet' van de ANWB (Schrijver et al, 2008) wordt de aanleg van buffers genoemd waar weggebruikers kunnen worden 'geparkeerd' in geval van een incident. Op deze manier kan wellicht worden voorkomen dat de staart van de file een andere verkeersstroom blokkeert. Wanneer dus een incident plaatsvindt, is er nog steeds geen alternatief beschikbaar, alleen worden de gevolgen beperkt. Deze oplossing past bij het safe-fail principe. Wanneer een incident gebeurt krijgt het systeem een 'zachte landing' door een aantal weggebruikers weg te stoppen in een buffer.

Maatregelen om de robuustheid te vergroten

Zoals hierboven aangegeven is het creëren van een volledig fail-safe verkeersnetwerk niet mogelijk. Er zijn echter wel oplossingen mogelijk die in de richting van een fail-safe netwerk liggen. Hieronder zullen enkele worden genoemd.

- verhogen van het aantal afgescheiden, parallelle verbindingen (zoals parallelrijbanen)
- verbetering en uitbereiding van het provinciaal netwerk
- het aangeven van omleidingsroutes, bijvoorbeeld door middel van permanent aanwezige borden (U-borden) of door middel van matrixpanelen. Hierbij moet

rekening worden gehouden met het feit dat vrijwel alle wegen in het studiegebied een I/C-ratio hebben van meer dan 0,8. Dit betekent dat er op vrijwel geen enkele alternatieve route capaciteit beschikbaar is voor het omrijdende verkeer. Het aangeven van omleidingsroutes heeft dus alleen nut wanneer de wegcapaciteit wordt uitgebreid.

- vluchtstroken beter geschikt maken voor gebruik bij incidenten, bijvoorbeeld door het aanbrengen van belijning aan de rechterzijde en het ophangen van matrixborden boven de vluchtstrook

Wat bij een vliegtuig in de lucht vrijwel onmogelijk is, is het zo snel mogelijk vervangen van een defect onderdeel. Bij het verkeerssysteem is dit echter wel een optie. Maatregelen die hier kunnen bijdragen zijn:

- de aanleg van calamiteitendoorgangen of extra opritten voor hulpdiensten, zodat zij sneller ter plaatse zijn
- de permanente plaatsing van sleepdiensten tijdens de spits
- andere Incident Management-maatregelen

Naast de aanleg van buffers zijn er nog meer safe-fail strategieën denkbaar die de effecten van incidenten kunnen beperken, zoals:

- de permanente plaatsing van middenbermschermen die het kijken van weggebruikers naar een incident op de andere rijbaan verminderen
- verhogen doorstroom terplekke (bijvoorbeeld d.m.v. een tekstkar 'doorrijden', of zwaaiende agent)

Om de veiligheidsreserve van het systeem te vergroten kan tot slotte de verkeersvraag worden verminderd door een kilometerheffing in te voeren.

De volgende maatregelen noemt TNO die de robuustheid kunnen vergroten (Snelder et al, 2008):

- 'prijsbeleid met differentiatie naar tijd en plaats;
- robuustheid inbouwen in de logistieke ketens van goederen;
- creëren van gunstige overstappunten tussen wegennetwerk en openbaarvervoernetwerk;
- scheiden van doorgaand en stadsregionaal verkeer;
- compartimenteren door de aanleg van buffers;
- incidentmanagement;
- reisinformatie verbeteren;
- hybride transportnetwerken;
- introductie van flexibiliteit in het netwerk door bijvoorbeeld wisselstroken, afsluitbare doorsteken en flexibele kruispuntinrichtingen;
- spreiden van activiteiten;
- afstemmen, opheffen of verruimen van venstertijden;
- werktijden flexibiliseren;
- aanpakken vrachtverkeer;
- creëren van gelijkwaardige routes.'

8.3 Mogelijkheden van evaluatie

Door de dynamische eigenschappen van het model Indy is het model goed in staat de bovengenoemde maatregelen vooraf te evalueren. Naast aanpassingen van de infrastructuur kan het model ook de effecten van een verandering van de afhandeltijd door het toepassen van Incident Management beschrijven. Wanneer beprijzing wordt toegepast dan kan de verandering van de vervoersvraag ook in het model worden ingevoerd en daarmee kan de verandering van de effecten een incidenten worden berekend.

De modellen SMARA en de Robuustheidsscanner zijn minder geschikt aangezien deze niet de fileterugslag beschrijven. Zoals beschreven is in hoofdstuk 3 kan een incident dat plaatsvindt op de A13 bij Berkel en Rodenrijs tot vertraging leiden bij Gouda. Dit soort effecten ver van de incidentplaats kunnen niet door de statische modellen worden beschreven. Daarom is het van belang dat dynamische verkeersmodellen met de modellering van fileterugslag verder ontwikkeld worden.

Het probleem waarbij het model kan helpen is een objectieve afweging tussen alternatieven mogelijk maken. De opbrengst van elk alternatief kan worden gekwantificeerd en daarna worden vergeleken. Daarnaast kan een prognose worden gemaakt van de verandering van de situatie in de toekomst, of de bepaling van de baten van een maatregel in de toekomst.

Door de ex ante evaluatie van infrastructuurmaatregelen kan bijvoorbeeld antwoord gegeven worden op de volgende vragen:

- welk alternatief levert hoeveel verbetering op?
- welk alternatief kan het beste worden gekozen?

In de onderstaande tabel zijn de maatregelen weergegeven die in dit hoofdstuk aan bod zijn gekomen om de robuustheid van het netwerk te verhogen. In de tweede kolom is het doel te vinden waaraan het middel beoogt bij te dragen. In de laatste kolom is weergegeven op welke manier simulatie van de maatregel in het dynamische verkeerssimulatiemodel mogelijk is.

Tabel 8.1 Mogelijkheden van modellering van robuustheidsmaatregelen

<i>middel</i>	<i>doel</i>	<i>mogelijkheden van evaluatie van effecten</i>
verhogen van aantal alternatieve verbindingen	omrijden beter mogelijk maken	extra links in het netwerk toevoegen
beter aangeven van omleidingsroutes	aantal weggebruikers dat omrijdt verhogen	omrijpercentage verhogen
vluchtstroken beter geschikt maken voor gebruik bij incidenten	betere doorstroming ter hoogte van het incident	verhoging van de tijdelijke capaciteitswaarde tijdens het incident
aanleg van calamiteiten-doorgangen	snellere hulpverlening	kleinere incidentduur (kortere beperking van de capaciteit op de incidentlocatie)
plaatsing van sleepdiensten	snellere hulpverlening	kleinere incidentduur (kor-

op snelwegen		tere beperking van de capaciteit op de incidentlocatie)
toepassing Incident Management	snellere hulpverlening	kleinere incidentduur (kortere beperking van de capaciteit op de incidentlocatie)
toepassen middenbermschermen	kijkfiles verminderen	verhoging van de tijdelijke capaciteitswaarde van de rijbaan in tegengestelde richting tijdens het incident
verhogen doorstroom ter plekke d.m.v. aanwijzingen	betere doorstroming ter hoogte van het incident	verhoging van de tijdelijke capaciteitswaarde tijdens het incident
beprijzen	lagere verkeersintensiteit tijdens piekuren	aanpassing vertrekprofiel naar een breder en lager profiel
robuustheid inbouwen in de logistieke ketens van goederen	betrouwbare levering van goederen	verminderen van de vraag
overstappunten tussen wegennet en openbaar vervoer	betrouwbare reistijd van personen	verminderen van de vraag
scheiden doorgaand en stadsregionaal verkeer	minder hinder voor het doorgaande verkeer	extra parallelle links in het netwerk toevoegen
compartimenteren door de aanleg van buffers	vermindering van terugslag	de waarde van 'lanes' (aantal stroken) verhogen van de betreffende link (verhoogt opslagcapaciteit, zie tabel 4.3)
verbetering reisinformatie	aanpassen gedrag weggebruikers aan actuele verkeerssituatie	omrijpercentage verhogen en vertrekprofiel aanpassen (voor simulatie van verandering van vertrektijd door weggebruikers)
introductie van flexibiliteit in het netwerk door bijvoorbeeld wisselstroken, afsluitbare doorsteken en flexibele kruispuntinrichtingen	veranderingen opvangen door het netwerk	tijdelijke verhoging van capaciteit
spreiden van activiteiten	vermindering verplaatsingsafstanden	verandering O/D-matrix
afstemmen, opheffen of verruimen van venstertijden	lagere verkeersintensiteit tijdens piekuren	verandering O/D-matrix
werktijden flexibiliseren	lagere verkeersintensiteit tijdens piekuren	verandering O/D-matrix
creëren van gelijkwaardige	omrijden beter mogelijk	links in het netwerk toe-

Wanneer het model wordt gebruikt met de beschreven methode dan kunnen uitspraken worden gedaan over de baten van een maatregel of voorspellingen over de kwaliteit van het netwerk in de toekomst. De data die het model levert kan worden geaggregeerd op diverse niveaus. Het model kan een instantane snelheid of reistijd berekenen. Op basis hiervan kan bijvoorbeeld de netwerkprestatie op een bepaald moment worden bepaald. Dit zou kunnen worden vergeleken met een gestelde norm en op basis van deze vergelijking kan het beleid worden aangepast.

Naast instantane snelheid of reistijd kan het model trajectorieën leveren, waardoor de reistijd op een bepaald traject of voor een bepaalde herkomst en bestemmingsrelatie kan worden geschat. Dit kan worden vermenigvuldigd met het aantal voertuigen (ook door het model berekend) op een bepaald moment op het gewenste traject en dit levert de totale reistijd op. Wanneer de totale reistijd zonder congestie hiervan wordt afgetrokken kan de totale voertuigverliestijd worden berekend.

Zoals in het rapport beschreven worden bij de totale voertuigverliestijd ook de effecten van de blokkade van andere verkeersstromen die niet langs de incidentlocatie komen berekend. Deze terugslageffecten zorgen voor een goede representatie van netwerkbrede effecten. Dit levert dus belangrijke extra informatie op ten opzichte van statische modellen. Met het dynamische verkeersmodel beschikt de besluitvormer over betere informatie en kan daardoor dus betere beslissingen nemen.

9 Conclusies en aanbevelingen

In de inleiding van dit rapport is de vraagstelling geformuleerd. Hierop wordt in dit hoofdstuk een antwoord gegeven. De hoofdvraag luidt:

Hoe kunnen infrastructuurmaatregelen ex ante worden geëvalueerd op hun invloed op de effecten van incidenten?

Vanwege de eerder gemaakte keuze van TNO om het dynamische verkeerstoedelingsmodel Indy verder te ontwikkelen zijn in dit onderzoek de mogelijkheden onderzocht om met dit model vooraf de effecten van infrastructuurmaatregelen te evalueren.

Huidige situatie

Het huidige wegennetwerk in de Regio Rotterdam is tijdens de ochtendspits sterk belast. Hierdoor ondervinden veel weggebruikers een reistijd met een grote variatie. Van de geselecteerde trajecten in het studiegebied hebben vooral de A20 richting Gouda en de A12 in beide richtingen een onbetrouwbare reistijd in de ochtendspits. Hierbij zijn reguliere situaties en niet-reguliere situaties nauwelijks te onderscheiden.

Door de hoge belasting van het netwerk hebben kleine veranderingen in capaciteit als gevolg van een incident grote gevolgen. Ook een kleine verandering in de verkeersvraag kan grote effecten hebben. Een model dat een dergelijk systeem beschrijft is daarom ook instabiel. Dit blijkt ook uit de modellering met Indy. Een kleine verandering in een linkspecifieke parameter kan leiden tot het ontstaan van een knelpunt op een heel ander punt in het model.

Groote studiegebied

Indy kent (door een beperking van het computergeheugen) een beperking in het aantal paden dat gemodelleerd kan worden. Daarnaast moet vanwege de hoge rekentijd van het model vooraf een afweging worden gemaakt tussen de grootte van het studiegebied en de mate van detaillering.

Om incidenten te modelleren waarbij een aantal stroken tijdens de ochtendspits worden afgesloten is het nodig dat het studiegebied groot genoeg is. Een incident op de A13 kan leiden tot een file bij Gouda. Daarnaast verdient het ook de voorkeur dat een model gedetailleerd is, om relatief kleine infrastructuraanpassingen (zoals spitsstroken) te kunnen modelleren, om te zorgen voor een correcte spreiding van het verkeer over het netwerk en om omleidingsroutes via het onderliggende wegennet mogelijk te maken. Een groot en gedetailleerd model met de meest geavanceerde filesimulatie leidt tot een hoge rekentijd. Een gedetailleerd model van de regio Rotterdam heeft een rekentijd van 32 uur.

Padgeneratie

De Monte Carlo padgeneratie die in Indy wordt gebruikt is erop gericht om meerdere alternatieve routes te zoeken in een situatie zonder belasting van het netwerk. Deze routes schelen wat betreft reistijd hoogstens enkele minuten van elkaar. Wanneer grote incidenten plaatsvinden dan worden ook routes bruikbaar die een hoge extra reistijd zouden opleveren in een congestievrije situatie. Deze routes worden dus niet door de padgeneratiemodule gegenereerd, tenzij heel veel iteraties worden uitgevoerd. Wanneer

echter een groot aantal iteraties wordt uitgevoerd, ontstaan veel paden die niet bruikbaar zijn voor grote verkeersvolumes.

Kalibratie en validatie

Tijdens de kalibratie zijn een aantal stappen uitgevoerd die een model hebben opgeleverd die de werkelijkheid redelijk representeert. Achtereenvolgens zijn een aantal generieke parameters aangepast, kalibratietrajecten zijn toegevoegd, de padgeneratie is aangepast, onrealistische files zijn verwijderd, de vermenigvuldigingsfactor van de belasting van het netwerk is gekalibreerd en geïdentificeerde dagelijkse knelpunten hebben een passende capaciteitswaarde in het model gekregen.

Tijdens de validatie van het model is gebleken dat een model kan worden geconstrueerd dat incidenten redelijk kan simuleren. De locatie van files komt die door het model berekend wordt komt redelijk overeen met de werkelijkheid. De terugslageffecten worden door het model goed gerepresenteerd. Ook de berekening van de reistijd voor relevante trajecten komt redelijk overeen met de werkelijkheid. Dit blijkt uit een RMSPE van ongeveer 0,3.

Bij de validatie zijn alleen incidenten gekozen die op (ongeveer) dezelfde locaties hebben plaatsgevonden als de incidenten waarop is gekalibreerd. Aangezien een incident op een andere locatie in het model soms onrealistische terugslag-effecten kan hebben, kan niet worden gegarandeerd dat een simulatie van een incident op een andere locatie dezelfde mate van representativiteit heeft.

Omrijden

De omrij-module zorgt voor een verschuiving van verkeer van een route via het incident naar een andere route. Met de module kan binnen korte tijd verkeer in het model op een ander pad zetten. Zoals vermeld blijkt het model hiermee een redelijke simulatie van de werkelijkheid te kunnen maken. Om een betere simulatie te maken kan worden afgewogen om de omrij-module te verbeteren of een en-route methodiek in Indy te implementeren. Daarbij moet het volgende overwogen worden.

- 1 In Indy moet een vast percentage van weggebruikers die omrijden door de modelleur worden ingevoerd. Bij de en-route routekeuze wordt het gedeelte dat omrijdt door het computerprogramma bepaald op elk keuzemoment.
- 2 In Indy worden de weggebruikers die omrijden vanaf het keuzepunt via een andere route geleid. Bij en-route routekeuze kan een weggebruiker na een keuzemoment alsnog omkeren, terugrijden en vanaf het keuzepunt via de alternatieve route rijden. Dit gebeurt als omstandigheden op de geplande route van de weggebruiker verslechterd zijn na het passeren van het keuzepunt.
- 3 Met gebruik van de huidige omrij-module in Indy kunnen alleen weggebruikers die een route gepland hadden langs de incidentlocatie een andere route kiezen in geval van een incident. De effecten van een incident zijn echter ook voor weggebruikers merkbaar die een route gepland hebben die niet langs de incidentlocatie gaat. In werkelijkheid zal ook een deel van deze weggebruikers een andere route kiezen. De en-route routekeuze kan wel voor deze weggebruikers een andere route berekenen.
- 4 De omrij-module in Indy verdeelt al het verkeer dat omrijdt gelijkmatig over alle beschikbare alternatieve routes. Hierdoor kan het voorkomen dat een route

door een stad even sterk wordt belast als een route via snelwegen (bijvoorbeeld via de andere zijde van de ring). Hierdoor zal op de route door de stad door de kleinere capaciteit een veel grotere reistijd ontstaan. Bij de en-route routekeuze zullen in dat geval meer weggebruikers de snelwegroute kiezen dan de route door de stad. Dit is waarschijnlijk realistischer.

Wanneer een weggennetwerk robuuster wordt, dan zullen er meer mogelijkheden om om te rijden bestaan. Daarnaast worden weggebruikers steeds beter geïnformeerd over de verkeerssituatie. Dit zorgt ervoor dat de omrij-opties vaker zullen worden benut. Het wordt dus steeds meer van belang om het omrijden juist te modelleren.

Aanbevelingen

De bovenstaande conclusies leiden tot de volgende aanbevelingen:

- 1 Draaitijd van de modellen verkleinen om in kortere tijd een groot en gedetailleerd simulatiemodel te kunnen bouwen.
- 2 Een afweging maken tussen het verbeteren van de omrij-module en de padgeneratiemodule in Indy en de ontwikkeling en implementatie van de en-route methodiek in Indy.
- 3 Output van het model beter toegankelijk maken, zodat een gebruiksvriendelijk model ontstaat dat voldoende vertrouwen krijgt van de gebruikers.
- 4 Wanneer men ook de terugslag van files op het onderliggende weggennet wil modelleren dient een verkeerslichtregeling aan het model te worden toegevoegd.

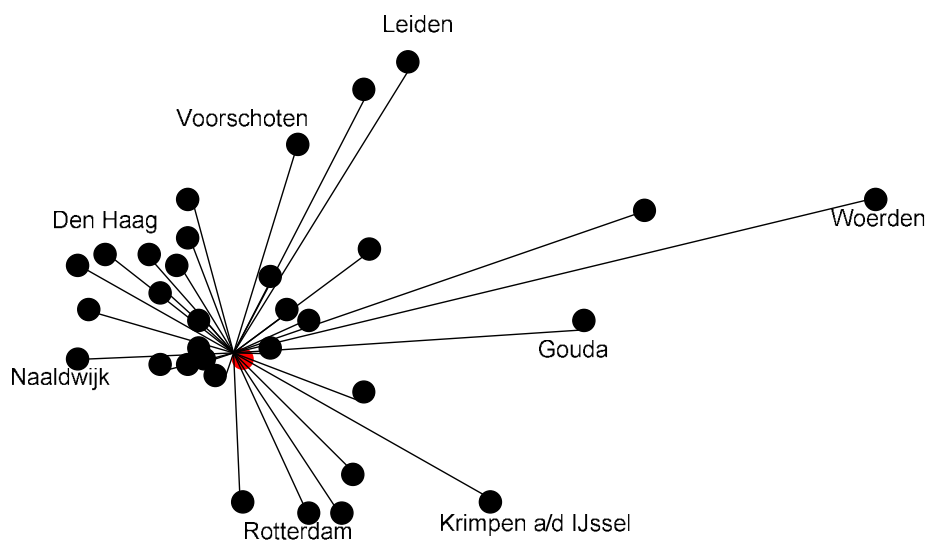
Epiloog van de auteur

In deze epiloog zal een beschouwing worden gegeven van het fileprobleem. ‘Het fileprobleem’ wordt daartoe eerst beperkt tot de files die zich in de ochtendspits voordoen. Zoals in dit onderzoek is aangegeven zijn deze files het meest kritisch en veroorzaken deze files de meeste economische schade.

Het fileprobleem kent een grote diversiteit aan oorzaken. Factoren die bijvoorbeeld invloed hebben zijn: de welvaart, economie, belasting en accijnzen, bevolkingsomvang en grootte van de beroepsbevolking, spreiding van locaties, woonvoorkeuren, olieprijs, aanschafkosten van auto's, kwaliteit en beschikbaarheid van het openbaar vervoer, kwaliteit van de leefomgeving, werktijden, et cetera. De overheid en private partijen hebben invloed op deze factoren. Sommige factoren kunnen niet beïnvloed worden door (Nederlandse) actoren.

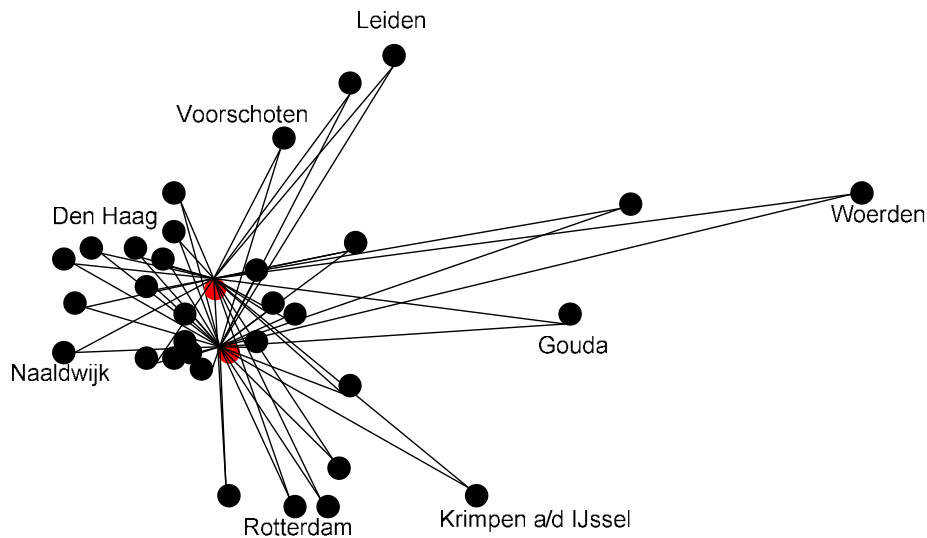
De hoeveelheid factoren en onvoorspelbaarheid van sommige van deze factoren maken het systeem waarin het fileprobleem zich voordoet complex. Daarnaast veranderen de factoren continu. Het probleem speelt zich dus af in een complexe en dynamische omgeving.

In deze complexe en dynamische omgeving zijn het uiteindelijk individuen die de keuze maken voor een bepaalde modaliteit. De keuze voor de auto kan aan de hand van een voorbeeld worden verklaard. In dit voorbeeld wordt een bedrijf (bedrijf I) gekozen dat gevestigd is in een pand dichtbij de oprit van de A13 in Delft. Van de 61 werknemers van het bedrijf wordt verwacht dat zij elke werkdag tussen 8 uur en 9 uur beginnen met werken. In de figuur hieronder is te zien waar de werknemers van het bedrijf wonen en wat het relatiepatroon daardoor is. (In werkelijkheid wonen nog 10 werknemers in het centrum van Den Haag, Delft of Rotterdam, maar voor de overzichtelijkheid zijn deze relaties weggelaten.)



Woonplaatsen werknemers van bedrijf I

Bedrijf 2 heeft hetzelfde aantal werknemers en is ook gevestigd in Delft, maar dan twee kilometer noordelijker, bij de volgende op- en afrit van de A13. De werknemers van dit bedrijf zijn elk een buurman van de werknemer van het andere bedrijf. Het relatiepatroon van deze twee bedrijven samen levert daarmee onderstaand beeld.



Woonplaatsen werknemers van bedrijven 1 en 2

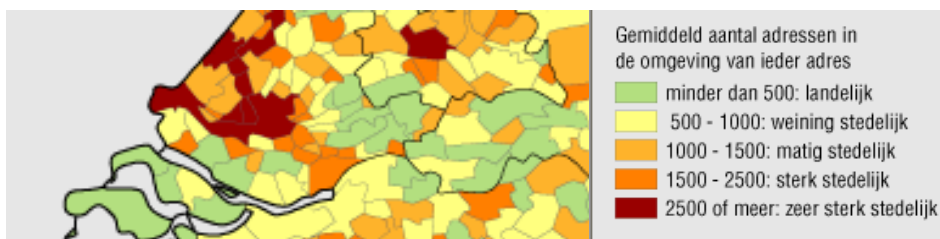
Wanneer dit wordt gedaan voor alle bedrijven in de regio zal een grote weerwar van relaties ontstaan. Daarvan zijn de meeste relaties dun: elke werkrelatie levert één relatie op van de woning van de persoon naar de werkplaats of kantoor van de persoon.

Gegeven dit relatiepatroon is de auto een uitermate geschikt vervoermiddel voor deze bewegingen. Dit heeft met name te maken met de van deur tot deur eigenschap en de individuele routekeuze die men dan heeft.

Deze keuze wordt versterkt door de aanwezigheid van een uitgebreid snelwegennetwerk. Dit zorgt, even afgezien van de files, voor een snelle, comfortabele en veilige reis. Gezien de hierboven beschreven relatief korte relaties is een dergelijk uitgebreid snelwegennetwerk niet nodig. Snelwegen met de hogere ontwerpsnelheid dan andere wegen bedoeld voor lange-afstandsrelaties. Dat deze relaties niet veel voorkomen heeft ook te maken met de ligging van de regio aan de kust en het ontbreken van goede doorgaande noord-zuid verbindingen. Alleen voor de routes Leiden < > Antwerpen en verder en Zierikzee < > Noord-Holland komt het verkeer wel door deze regio, maar heeft het geen herkomst of bestemming in de regio. Wanneer men een herkomst of bestemming heeft die noordelijker ligt dan Leiden of zuidelijker dan Zierikzee, dan is een route via Utrecht aantrekkelijker. Verondersteld kan worden dat het aandeel van de genoemde doorgaande routes klein is. Pas wanneer de A4 wordt doorgetrokken (Midden Delfland én A4-Zuid) of de Dammenroute (N57) in Zeeland met een eventuele Oranjetunnel aantrekkelijk wordt gemaakt, zal de regio te maken krijgen met een behoorlijke hoeveelheid interregionaal verkeer.

Daarmee is de hoeveelheid snelwegen in de regio groot. Het uitgebreide snelwegennetwerk heeft ertoe geleid dat het reizen met de auto voor veel relaties een korte reistijd oplevert (vaak lager dan het openbaar vervoer).

Het openbaar vervoer heeft een zekere kritieke massa nodig om rendabel te zijn. Tussen woongebieden en werkgebieden met een hoge omgevingsadressendichtheid⁷ zoals Rotterdam, Delft, Den Haag en Leiden bestaat deze kritieke massa. Hier kan een hub-and-spoke systeem gevormd worden, waarbij in de huidige situatie de treinstations fungeren als hubs en het voor- en natransport (bijvoorbeeld fiets, bus of tram) als spokes. Wanneer het woongebied, danwel het werkgebied zich bevindt in een gebied met een lage omgevingsadressendichtheid, zoals in Pijnacker of in het Westland, dan bestaat er geen grote kritieke massa.



Omgevingsadressendichtheid per gemeente 1 januari 2006 (Bron: RIVM, CBS)

Een vervoerssysteem kan alleen succesvol zijn wanneer het aansluit bij het point-to-point relatienetwerk dat bestaat in de gebieden buiten de gebieden met een hoge omgevingsadressendichtheid. Het systeem moet dus voorzien in een grote spreiding van dunne relaties. Daarom zijn kleine eenheden die zich over een uitgebreid netwerk kunnen bewegen nodig. Van de huidige vervoerssystemen komen auto's hiervoor het meest in aanmerking.

Wanneer een transportsysteem wordt verbeterd dan passen mensen na verloop van tijd hun gedrag daarop aan. Annema (2002)⁸ stelt dat het reistijdbudget van mensen wereldwijd gemiddeld 1,1 uur per persoon per dag is, 'ongeacht de economische, sociale en geografische situatie'. Dit komt overeen met de cijfers van het CBS (zie tabel op volgende pagina). Dit betekent dat een sneller transportsysteem waarschijnlijk zal leiden tot de verhuizing van mensen verder van hun werkplek. Dit blijkt ook uit het feit dat na de aanleg van de Noordtunnel van de A15 de huizenprijzen in Noord-Brabant sneller stegen dan in de rest van Nederland. Door de komst van de tunnel werd het aantrekkelijker om in Noord-Brabant te wonen terwijl men bleef werken in de regio Rotterdam.

⁷ RIVM, 2008, 'De omgevingsadressendichtheid is gedefinieerd als het gemiddeld aantal adressen binnen een cirkel met een straal van 1 kilometer. Met deze maatstaf wordt beoogd de mate van concentratie van menselijke activiteiten weer te geven', zie http://www.rivm.nl/vtv/object_map/o1848n21780.html

⁸ Verschenen in 'Verkeer en Vervoer in hoofdlijnen', Van Wee, B. en Dijst, M.

Dagelijkse reistijdbesteding, gemiddelde voor de hele Nederlandse bevolking (CBS Stat-Line, 2008)

<i>jaar</i>	<i>Reisduur per persoon per dag minuten</i>
1995	61,84
1996	60,99
1997	62,96
1998	61,84
1999	61,79
2000	60,76
2001	59,98
2002	59,36
2003	59,91
2004	61,36
2005	60,24
2006	60,87
2007	60,72

Gezien bovenstaande overwegingen zal alleen het aanleggen van meer asfalt (op termijn) niet leiden tot vermindering van de files, maar slechts een stijging van de vraag. Het gaat erom om een wegennet te creëren met een betrouwbare reistijd. Daarom kunnen het beste op korte termijn de volgende maatregelen worden genomen:

- uitbereiding van Incident Management
- incidentdetectie op alle Rijkswegen in de Randstad tijdens ochtend en avondspits (die in alle omstandigheden werkt, ook bij mist)
- meer en betere informatievoorziening aan de weggebruiker via meer matrixborden, het liefst voor elke afrit
- het creëren van redundantie bij de huidige benuttingsmaatregelen (zodat bijvoorbeeld een spitsstrook open kan blijven bij mist, stroomstoringen of kabelbreuk).
- knelpunten aanpakken en 'ontbrekende delen' in het huidige netwerk aanleggen, zoals de A4 Midden-Delfland

Op lange termijn zijn wellicht de volgende opties interessant:

- het aanbieden van alternatieven via een nieuw individueel transportnetwerk (bijvoorbeeld de geautomatiseerde snelweg)
- beprijzen voor het verminderen van de vraag
- aantrekkelijker maken van de binnensteden en meer woningen bouwen in de centra (in plaats van de aanleg van meer Vinex-wijken) om meer mensen met het openbaar vervoer te laten reizen

- aantrekkelijk maken om te wonen waar men werkt door het vrijmaken van sociale woningen, de overdrachtsbelasting te verlagen en een verhuispremie te bieden
- het openbaar vervoer versnellen door het voor- en natransport te versnellen (gebruikmaken van taxi en fietsvoorzieningen verbeteren), de overstaptijd beperken en treinen harder laten rijden. Overstappunten aantrekkelijk maken voor automobilisten.

De conclusie is dat het niet mogelijk is met een enkele maatregel, zoals het aanleggen van meer asfalt, het fileprobleem op te lossen. Uitgaande van de huidige situatie, waarbij een grote vervoersvraag bestaat in een netwerk met een groot aantal dunne relaties, moet gezocht worden naar maatregelen om dat relatiepatroon te veranderen en moet een vervoerssysteem ontworpen worden dat aansluit bij het relatiepatroon.

Literatuur

- Adams, K. (2008), afstudeeronderzoek 'Veiligheid en doorstroming rond incidenten'
- Aerodata International Surveys (20089), luchtopnamen geraadpleegd op 13 januari 2009 via Google Earth
- Balakrishna, R., Antoniou, C., Ben-Akva, M., Koutsopoulos, H.N., Wen, Y. (2007), *Calibration of Microscopic Traffic Simulation Models*, In: in Transport Research Record, No. 1999
- Bliemer, M.C.J. (2004), 'INDY 2.0 Model Specifications'
- Commissie Elverding (2008), 'Sneller en Beter. Advies Commissie Versnelling Besluitvorming Infrastructurele Projecten'
- Corthout, R., Tampère, C., Immers, B. (2008), 'Marginal Incident Computation: an efficient algorithm to determine congestion spillback due to incidents'
- Daly, A. (2000), 'National Models' in *Handbook of Transport Modelling*, edited by Hensher, D.A. and Button. K.J.
- Deckers, L. en Martens, G. (2005), 'Weggebruiker wijkt niet snel af van route: stedelijke DRIP – evaluatie: comfortabel, maar weinig effectief', in *Verkeerskunde*, vol. 56, no. 2, pp 50-53
- Emmerink, R.H.M., Axhausen, K.W., Nijkamp, P., and Rietveld, P. (1995), 'The potential of information provision in a simulated road transport network, with non-recurrent congestion', *Transpn. Res.-C*, volume 3, no. 5, pp. 293-309.
- Federal Highway Administration, FHA (2000), 'Traffic Incident Management Handbook', November 2000.
- Federal Highway Administration, FHA, U.S. Department of Transportation (2006), 'Freeway Management and Operations Handbook, final report', September 2003 (updated 2006)
- Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation (2007), 'Traffic Analysis Toolbox Volume IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software'
- Hall, R.W. (1993), 'Non-recurrent congestion: How big is the problem? Are traveler information systems the solution?', *Transpn. Res.-C*. Vol. 1, no. 1, pp. 89-103

Kim, S.J., Kim, W., Rilett, L.R. (2005), 'Calibration of Microsimulation Models Using Nonparametric Statistical Techniques' in Transport Research Record, No. 1935

Knoop, V.L., Hoogendoorn, S.P., van Zuylen, H.J. (2007a), 'Capacity reduction at incidents: empirical data collected from a helicopter'.

Knoop, V.L., Viti, F., Tu, H., Jagtman, E., Van Zuylen, H.J. (2007b), 'Road side accessibility of the Harbour of Rotterdam, Incident analysis on A15', TRAIL Research School and TU Delft

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, KNMI (2008), 'Daggegevens van het weer in Nederland, station Rotterdam', geraadpleegd op 10 september 2008 via www.knmi.nl > klimatologie > daggegevens

Kouwenhoven, M., Siemonsma, H., and Van Grol, R. (2006), 'Voertuigverliesuren door Incidenten. Hoeveel kan incidentmanagement bijdragen aan de vermindering van files?', Rand Europe

Kraaijeveld, R. (2008), afstudeeronderzoek 'Onderzoek naar de indentificatie van kwetsbare wegvakken'

Levinson, D. (2003), 'The value of advanced traveller information systems for route choice', *Transportation Research Part C* 11, pp. 75–87

Li, H. (2005), 'Calibration and validation of MARPLE', published by AVV Transport Research Center

Li, M. (2008), 'Robustness Analysis for Road Networks, a framework with combined DTA models', proefschrift

Ma, J., Dong, H., Zhang, H.M. (2007), 'Calibration of Microsimulation with Heuristic Optimization Methods', in Transport Research Record, No. 1999

Meeuwissen, A.M.H., Snelder, M., Schrijver, M. (2004), 'Statistische analyse variabiliteit reistijden voor SMARA', TNO Inro 2004-31

Minesota Department of Transportation (2004), 'Advanced CORSIM Training Manual'

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008a), 'MobiliteitsAanpak, Vlot en veilig van deur tot deur'

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DGP, (2008b), 'Beleidskader Benutting, Achtergronddocument'

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2002), 'Handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen, versie 2'

- Möller, N., Hansson, S.O. (2008), 'Principles of engineering safety: Risk and uncertainty reduction', *Reliability Engineering and System Safety* 93, (2008) pp. 776-783
- Mouwen, A., Martens, G.J., Weiland, P.IJ. (2004), 'Evaluatie stedelijke DRIPs, eindrapport', Gemeente Rotterdam
- Ngoduy, D., Hoogendoorn, S.P., (2003), 'An automated calibration procedure for macroscopic traffic flow models'
- Ngoduy, D., Hoogendoorn, S.P., Van Zuylen, H.J. (2004), 'Comparison of Numerical Schemes for Macroscopic Traffic Flow Models' in Transport Research Record, No. 1876
- Rakha, H., Van Aerde, M., Bloomberg, L., Huang, X. (1998), 'Construction and Calibration of a Large-Scale Microsimulation Model of the Salt Lake Area, in Transport Research Record, No. 1644
- Van Reisen, M. (2006), 'Incidentele files, de kenmerken, de kosten en het beleid', discussion paper nr.50, SEO Amsterdam.
- Richards, A., and McDonald, M. (2007), 'Questionnaire surveys to evaluate user response to variable message signs in an urban network', *IET Intell. Transp. Syst.*, 1, 3, pp. 177-185
- Rijkswaterstaat, (2006), 'De Robuustheidsscanner, Op zoek naar zwakke schakels in een netwerk' in 'Verkeer & Vervoer, Modellen', 11e jaargang, nummer 34, februari 2006
- Rice, J., and Van Zwet, E., (2004), 'A Simple and Effective Method for Predicting Travel Times on Freeways', *IEEE Transactions on intelligent transport systems*, VOL. 5, NO. 3, pp. 200 – 207
- Ruimtelijk Planbureau, RPB (2004), 'Behalve de dagelijkse files. Over betrouwbaarheid van reistijd'
- De Ruiter, J.C.C., Schouten, W.J.J.P., and Frijdal, J.H. 'Berekenen van reistijden door het MoniBas system', Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat (AVV) en Belmont Innovatie & Management, (datum onbekend)
- RWS Adviesdienst Verkeer en Vervoer (2006), 'Monitoring ten behoeve van Reistijdinformatie, Catalogus van monitoringsystemen gericht op reistijdinformatie'
- Rykiel, E.J., Jr. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling*, 90:229-244

Sanwal, K., Petty, K., Walrand, and J., Fawaz., (1996), 'An extended macroscopic model for traffic flow', *Transpn. Res.-B*, Vol 30, No. 1, pp.1-9

Schrijver, J., Immers, B., Snelder, M., and De Jong, R., (2006), 'Effecten van de landelijke invoering van incidentmanagementmaatregelen op de voertuigverliestijd in het netwerk', TNO

Schrijver, J., Egeter, B., Immers, B., Snelder, M. (2008), 'Visie robuust wegennet ANWB', TNO-rapport, 2008-D-R0661/C

Snelder, M., Schrijver, J., Landman, R., Mak, J., Minderhoud, M. (2008), 'De kwetsbaarheid van Randstedelijke vervoernetwerken uit verkeerskundig perspectief', TNO-rapport voor de Raad voor Verkeer en Waterstaat, 2008-D-R-0882/A

Toledo, T., Ben-Akiva, M.E., Darda, D., Jha, M., Koutsopoulos, H.N. (2004), 'Calibration of Microscopic Traffic Simulation Models with Aggregate Data', in *Transportation Research Record* no. 1876

Toledo, T., Koutsopoulos H.N. (2004), 'Statistical Validation of Traffic Simulation Models', in *Transport Research Record* no. 1876

Van Toorenburg, J.A.C., Nijenhuis, T.A., (2007), 'Capaciteitsbeperking door incidenten', Amersfoort: Transpute.

Van Toorenburg, J.A.C., (1998), 'Vervolgonderzoek Dynamische Route Informatie Panelen (DRIPs) rond de Ring van Rotterdam. Effecten van het gehele systeem', Bureau Transpute, Gouda.

Van Lint, J.W.C. and Miska, M., Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Afdeling Transport & Planning, (2006), 'Evaluatie en Analyse van Reisinformatie', eindrapport

Van Zuylen, H.J., 'Traffic theory for ITS simulation', document behorend bij college CT5804, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Afdeling Transport & Planning, (2007)

VerkeersInformatieDienst (VID, 2008), 'Nieuwsberichten' geraadpleegd via internetsite www.vid.nl op 15 december 2008

Vonk, T., and Van der Horst, R., (2006), 'Gebruikersonderzoek Reistijdverwachting. Resultaten van de I-meting', TNO

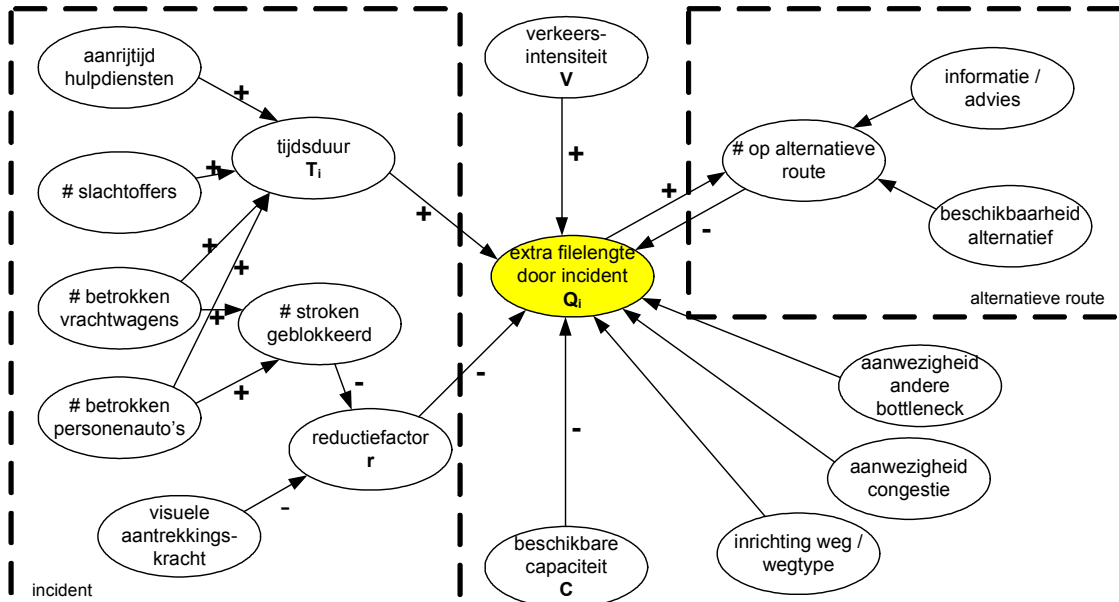
Wardman, M., Bonsall, P.W., and Shires, J.D. (1997), 'Driver response to variable message signs: a stated preference investigation', *Transpn Res.-C*, Vol.5, No. 6, pp. 389-405
Yperman, I, (2007), 'The Link Transmission Model for Dynamic Network Loading', proefschrift Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Ingenieurswetenschappen

Yperman, I., Stada, J., Immers, B. (2003), 'Punctuele logistiek dankzij een robuust netwerk', Katholieke Universiteit Leuven

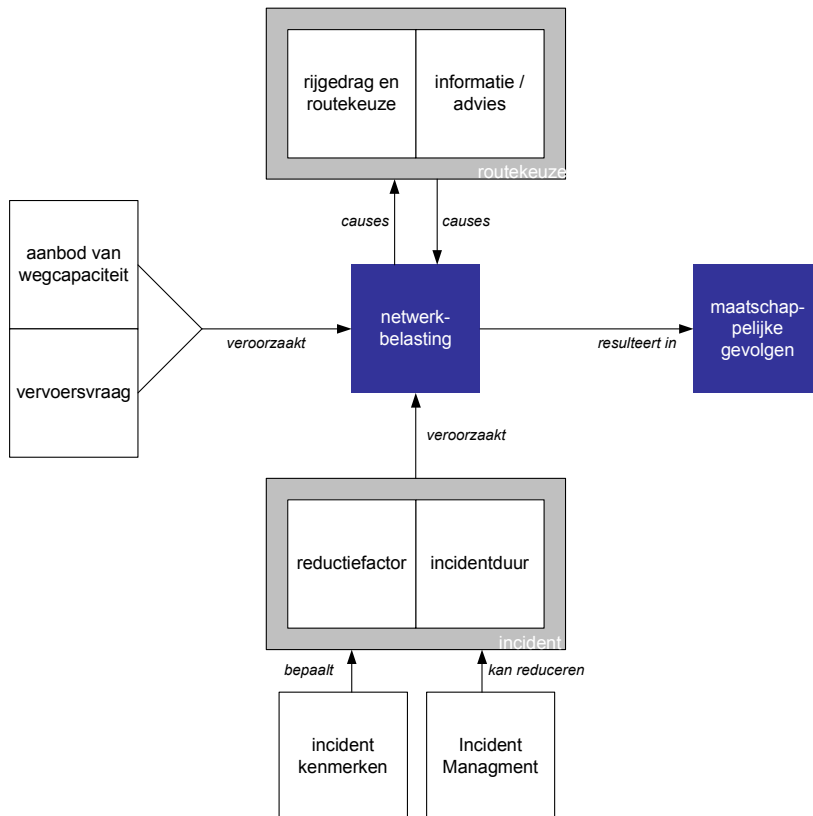
Zhang, X., and Rice, J.A. (2003), 'Short-term travel time prediction', *Transportation Research Part C* 11 pp. 187–210

Zhang, X., Jiyang, B., Sun, L., Hoogendoorn, S., Hoogendoorn-Lanser, S. (2007), 'Estimation of Incident Duration with a Combined Classification Tree and Regression Method

Bijlage I Causale analyse



In de bovenstaande figuur is een causale analyse afgebeeld waarin de factoren zijn aangegeven die invloed hebben op de extra filelengte die ontstaat door een incident. De plus- en mintekens geven aan of een factor een positieve of negatieve invloed heeft op een andere factor. Bij een aantal factoren is geen plus- of minteken weergegeven, aangezien deze verbanden niet eenduidig positief of negatief zijn.



De factoren die benoemd zijn in de causale analyse van de vorige pagina zijn in bovenstaand diagram gegroepeerd. Deze groepering vormt de basis van de indeling van het literatuuroverzicht in hoofdstuk 2.

Bijlage 2 Weergegevens van geselecteerde dagen (2007)

	Dekkingsgraad bewolking	minimaal zicht (km)	minimum tem- peratuur (°C)	maximum tem- peratuur (°C)	hoeveelheid neerslag (mm)
6 maart	geheel bewolkt	4.5	8.2	10.1	14.2
13 maart	half bewolkt	0.1	0.4	13.3	0.0
20 maart	half bewolkt	9.0	-1.2	8.6	0.8
27 maart	onbewolkt	10.0	6.6	15.9	0.0
3 april	half tot zwaar bewolkt	5.0	4.7	9.8	0.1
10 april	geheel bewolkt	4.6	8.1	14.8	0.0
17 april	half bewolkt	2.9	4.7	13.5	0.0
24 april	zwaar bewolkt	6.0	10.4	20.9	0.0
1 mei	onbewolkt	24.0	8.1	21.5	0.0

KNMI (2008), daggegevens van het weer van het station Rotterdam

Meivakantie: 28-04-2007 t/m 06-05-2007

Bijlage 3 Ongevalsegegevens

Ongeval op A4 zorgt voor lange files

23 januari 2007, 07:51

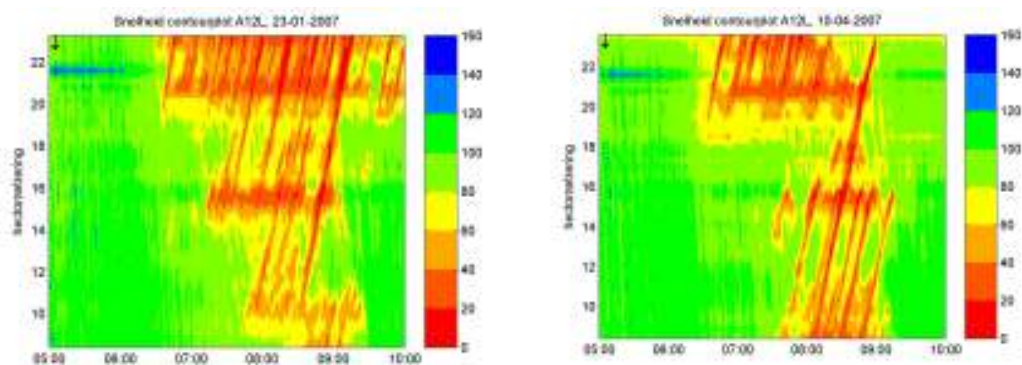
Al vroeg in de ochtendspits waren zes voertuigen betrokken bij een ongeval op de A4. Op het Prins Clausplein waren in de richting Amsterdam enige tijd 2 rijstroken afgesloten. Het ongeval heeft geen verband met de gladheid waarvoor vooraf is gewaarschuwd. Bij het ongeval viel een lichtgewonde met nekkachten.

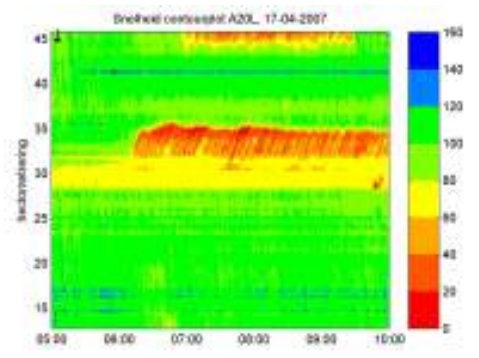
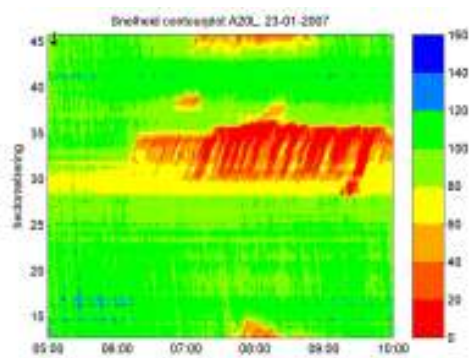
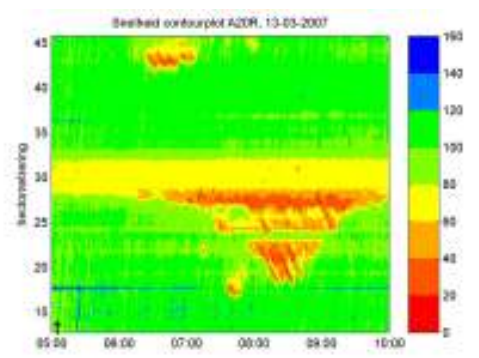
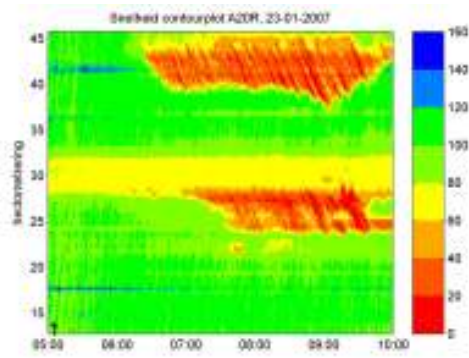
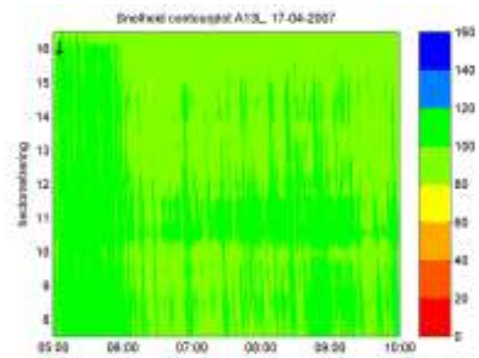
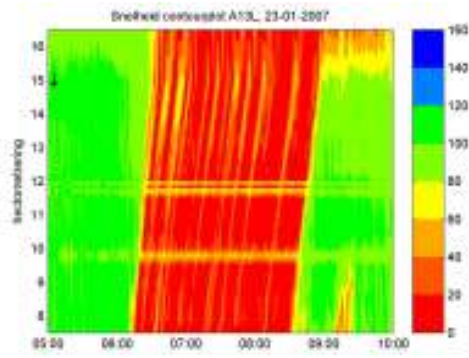
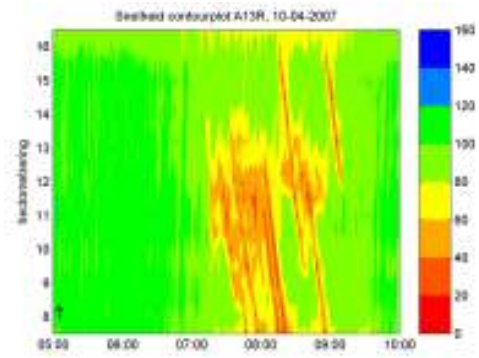
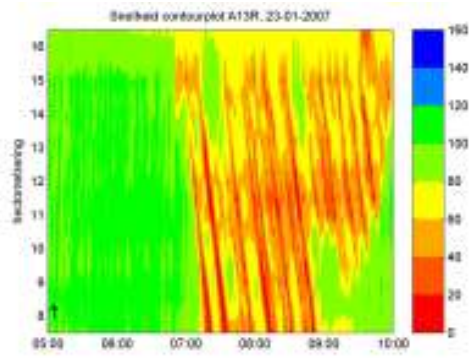
Omdat er olie en brandstof op de rijbaan terecht was gekomen werd een zoabcleaner ingeschakeld om alles te reinigen. Even voor half negen werden de rijstroken weer vrijgegeven.

Op de A4 richting Amsterdam kwam een file van 6 kilometer te staan. Ook het verkeer op de A13 had er last van, voor het knooppunt Ypenburg stond een lange file van 13 kilometer. Het verkeer richting Den Haag werd op het Kleinpolderplein omgeleid via Gouda. Ook op de A12 en de A20 moest het verkeer rekening houden met grote vertraging.

Laatst gewijzigd: 23 januari 2007, 08:51

(Bron: VID, 2008)





Druk rond Rotterdam door vroege aanrijding

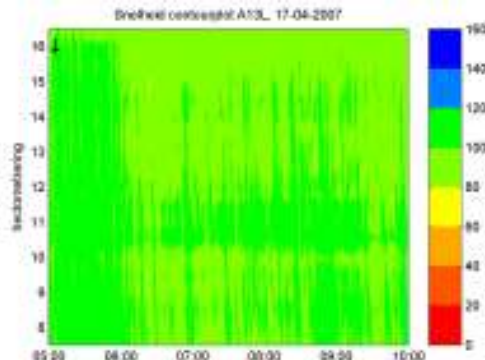
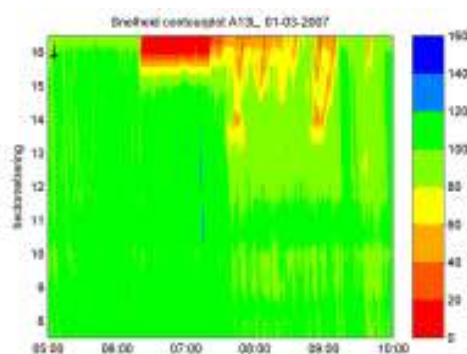
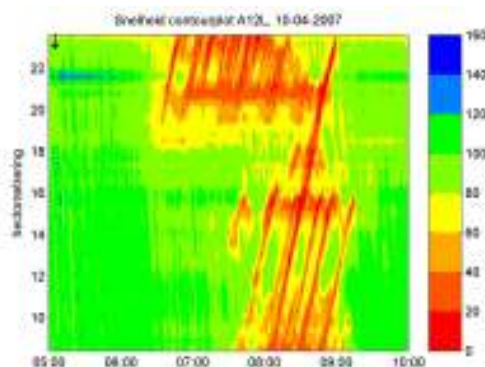
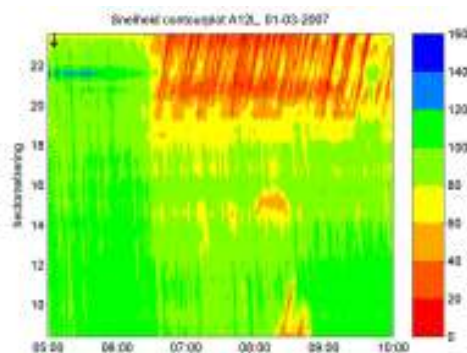
1 maart 2007, 08:55

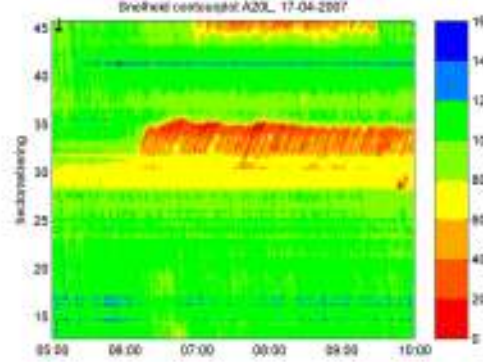
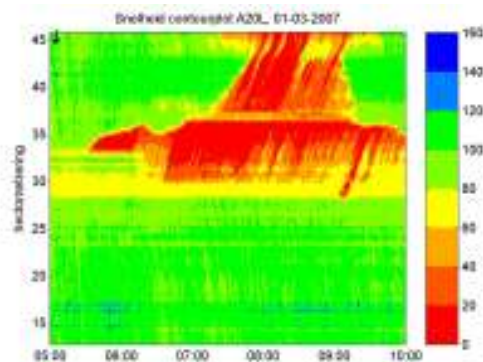
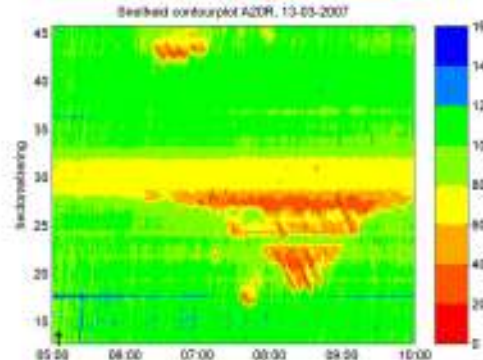
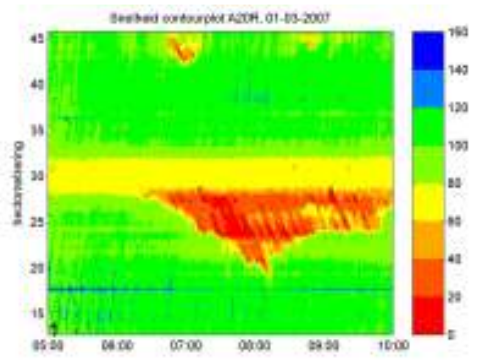
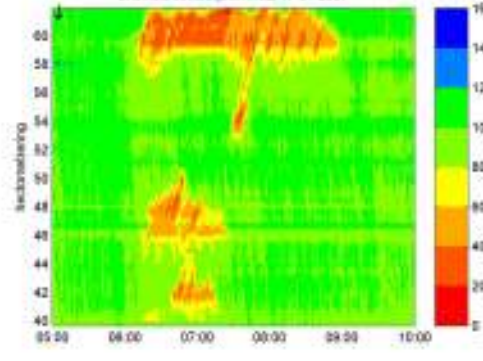
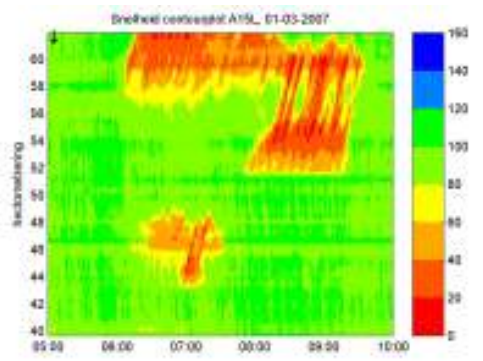
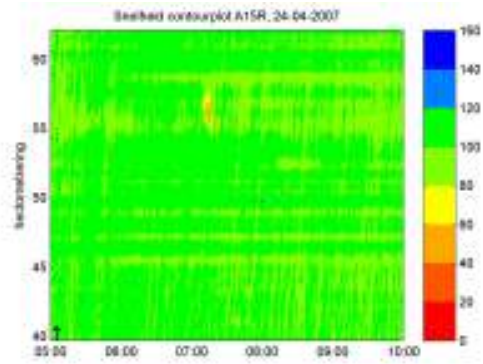
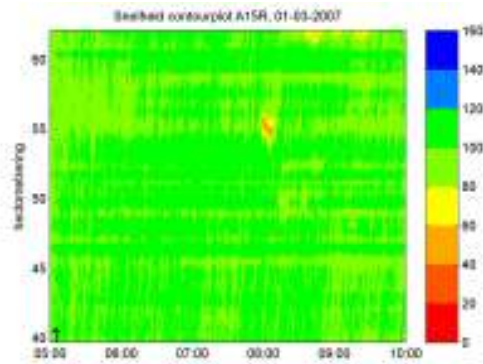
Door een ongeval vanmorgen op de A13 richting Rijswijk zijn lange files ontstaan rond Rotterdam. Twee auto's botsten rond kwart voor zeven op elkaar op de A13 net na de afslag Berkel en Rodenrijs. Gedurende ruim een half uur was daar twee rijstrook afgesloten, het verkeer ging deels over de nog niet in gebruik zijnde spitsstrook.

Door de file die ontstond liep het al snel vast op de A20 en de A16, in beide gevallen groeiden de files aan tot meer dan 15 kilometer lengte.

Laatst gewijzigd: 1 maart 2007, 08:55

(Bron: VID, 2008)





Vertraging rond Rotterdam door ongeval A16

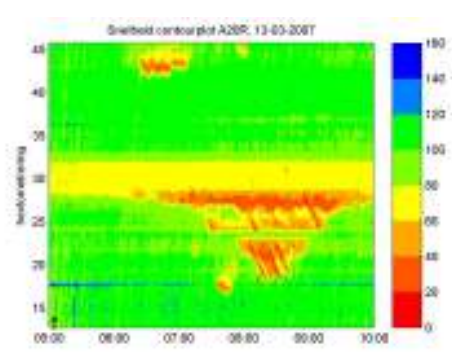
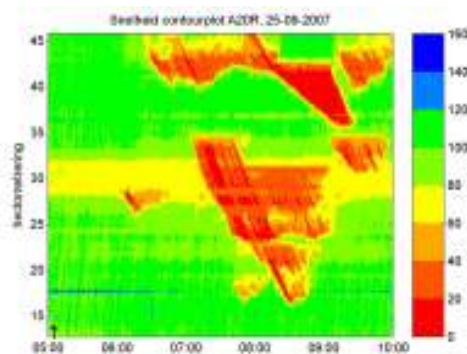
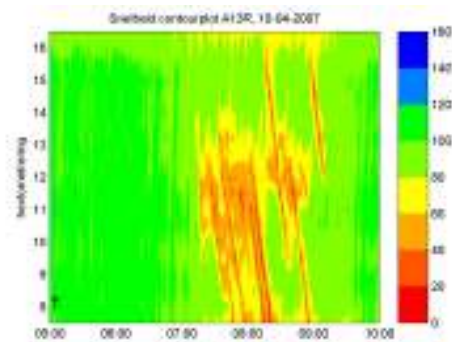
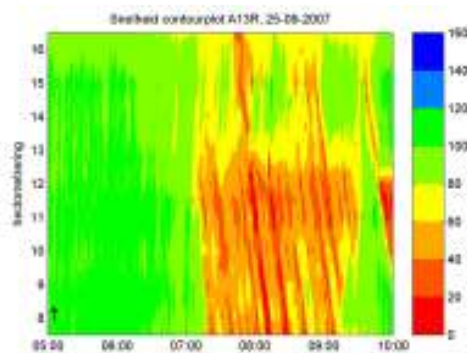
25 september 2007, 07:46

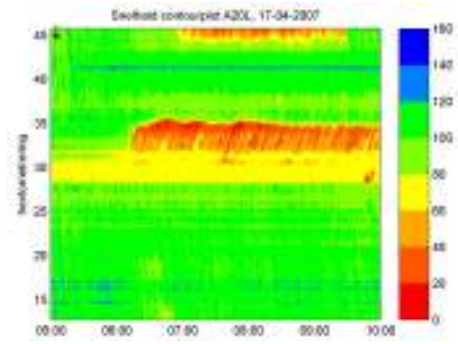
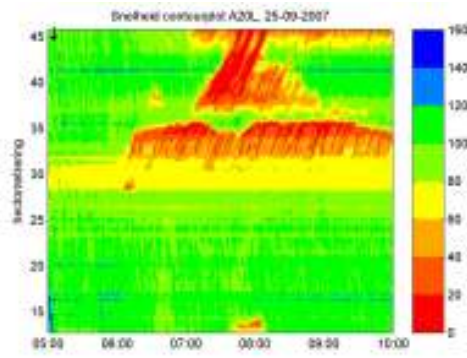
Een ongeval op de A16 richting Breda heeft vanochtend gezorgd voor veel vertraging rond Rotterdam. De aanrijding deed zich kort voor 07:00 uur voor, net na de verbingsboog vanaf de A20 naar de A16. Daardoor kon het verkeer vanaf de A20 niet de A16 op. Zowel vanuit Gouda als vanuit Hoek van Holland leidde dit tot een file van zo'n 6 kilometer.

Op de A16 ontstond een kijkersfile. Het verkeer vanuit Breda richting Rotterdam kwam over een afstand van zes kilometer vast te staan ter hoogte van het knooppunt Terbregseplein. Over de toedracht van het ongeval is niets bekend, Rond 08:00 uur was de rijbaan weer vrij, maar verliep de doorstroming nog wel moeizaam door het grote verkeersaanbod.

Laatst gewijzigd: 25 september 2007, 07:56

(Bron: VID, 2008)





Kleine ravage op de A20

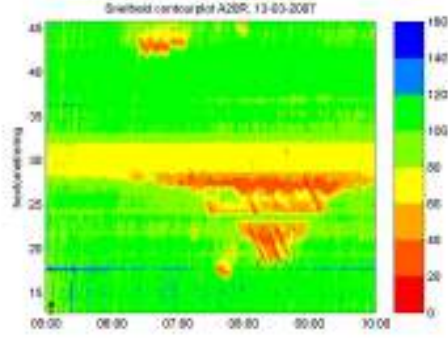
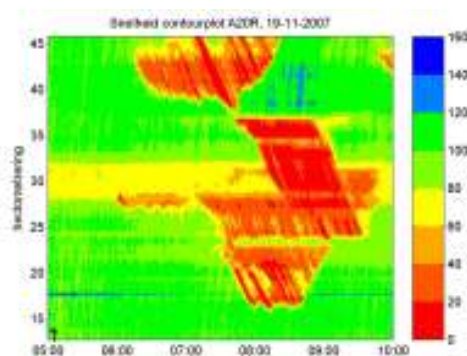
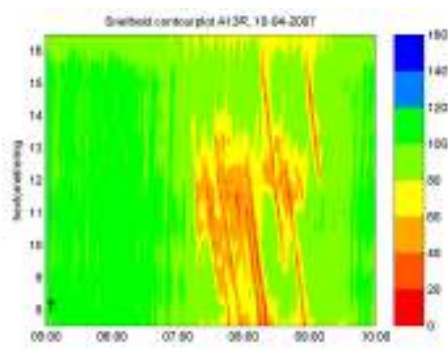
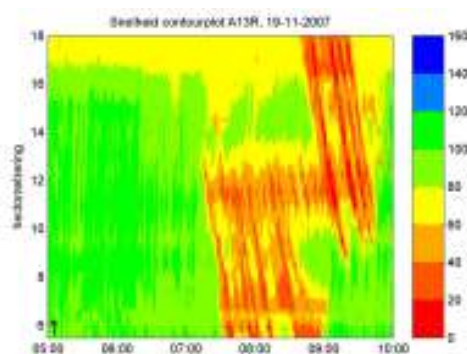
19 november 2007, 08:31

Drie personenauto's en een vrachtwagen raakten maandagmorgen om even na acht uur betrokken bij een ongeval op de A20 ter hoogte van Prins Alexander.

Vanwege grote blikshade had Rijkswaterstaat 3 rijstroken voor het verkeer in de rijrichting vanuit Hoek van Holland richting Rotterdam ter hoogte van Prins Alexander afgesloten. Om 8.30 uur kwam er 20 km file te staan.

Laatst gewijzigd: 20 november 2007, 14:39

(Bron: VID, 2008)



Rijstroken A13 afgesloten na aanrijding

12 december 2007, 07:40

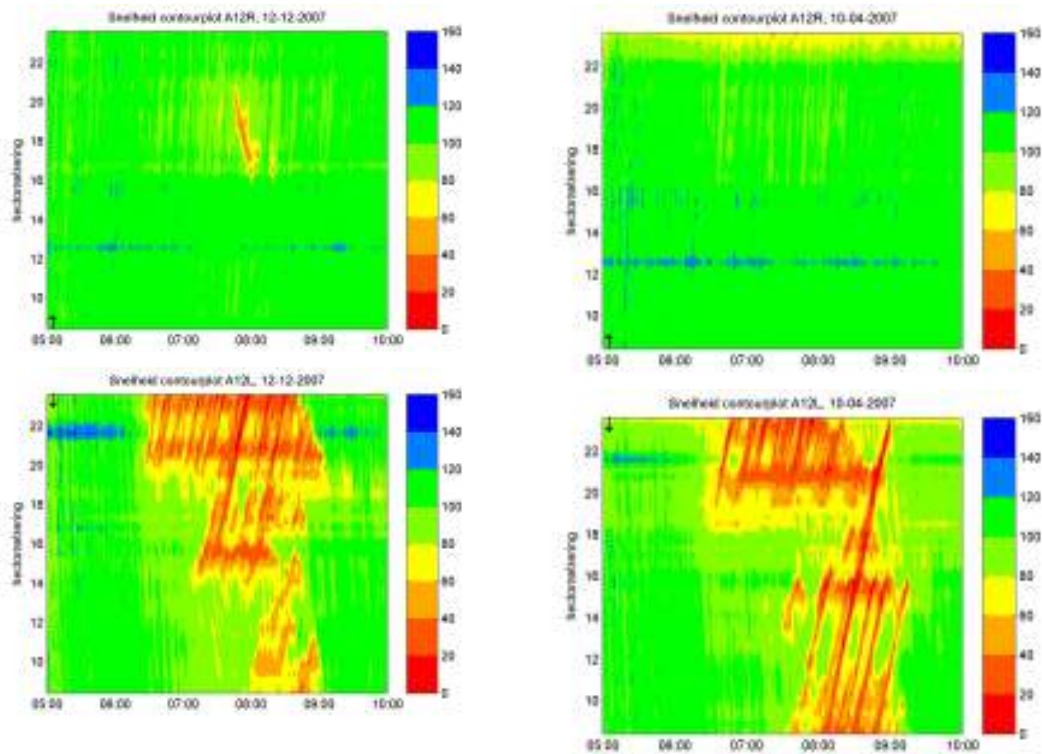
Vier personenwagens zijn woensdagochtend rond 07:00 uur betrokken geraakt bij een aanrijding op de A13. Aanvankelijk werd alleen blikshade gemeld en ging men ervan uit dat de rijbaan snel weer vrij zou zijn.

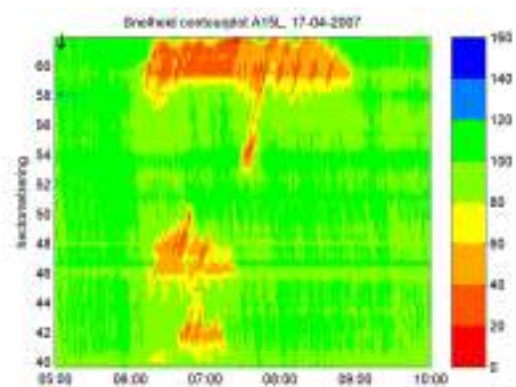
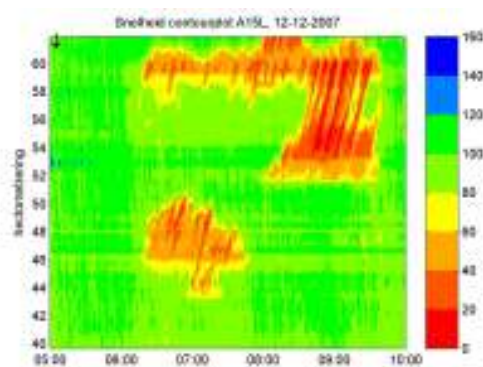
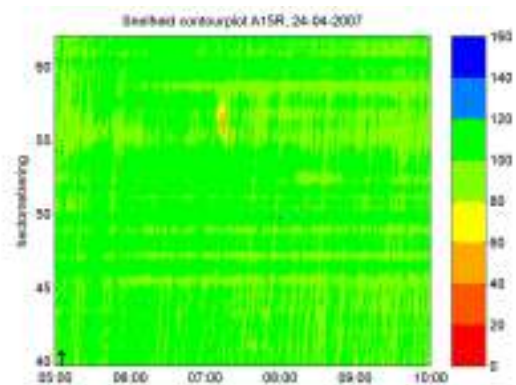
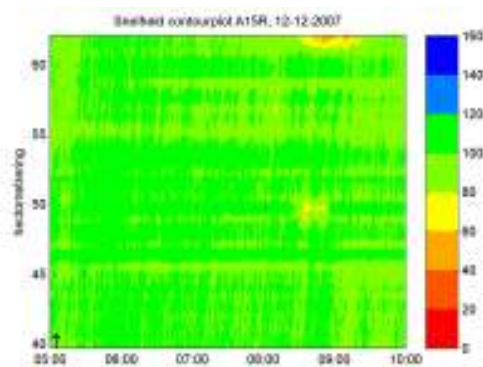
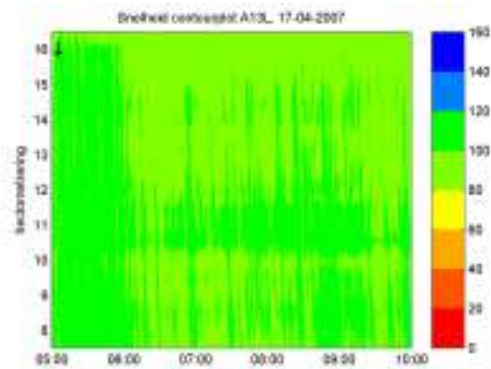
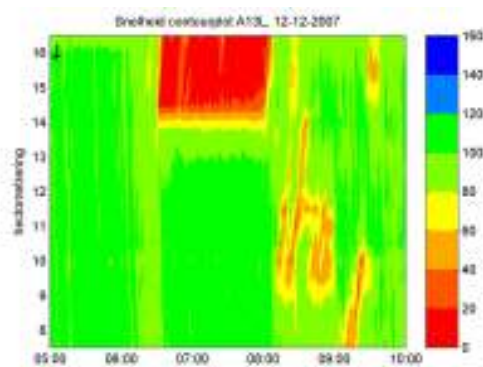
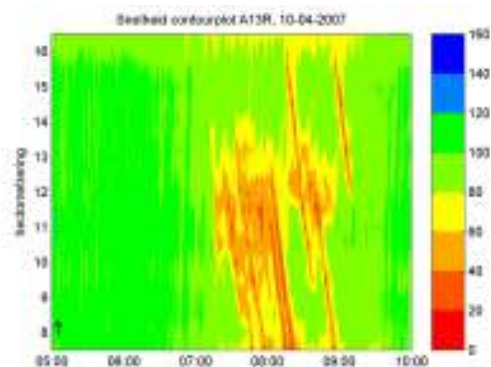
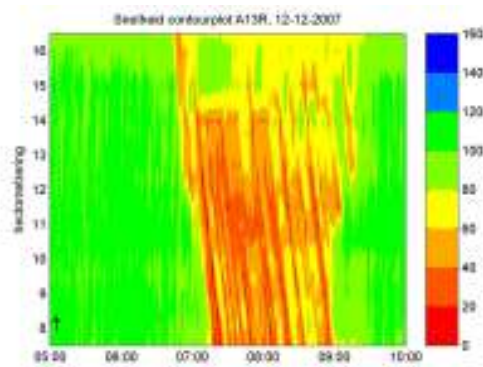
Later werd echter toch om een ambulance gevraagd, waardoor de afhandeling van het ongeval vertraging opliep. Twee rijstroken van de rijbaan richting Rijswijk werden afgesloten tussen Berkel en Rodenrijs en Delft-Zuid.

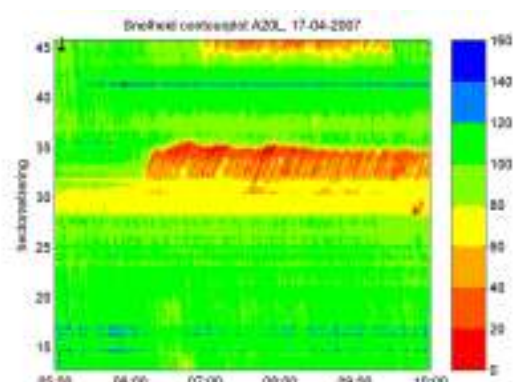
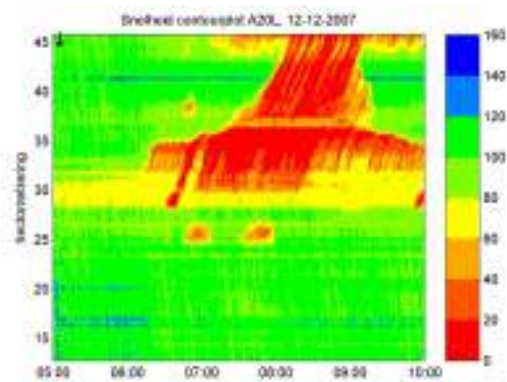
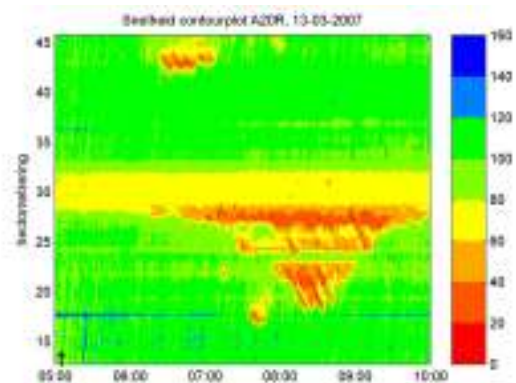
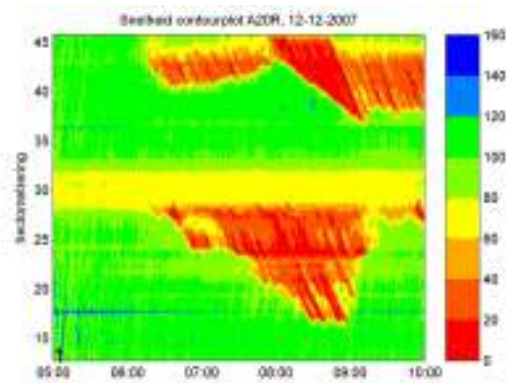
Kort na 08:00 uur is de rijbaan weer vrijgegeven.

Laatst gewijzigd: 12 december 2007, 08:10

(Bron: VID, 2008)







Bijlage 4 Indy jobs

Evenwichtstoedeling (15 iteraties)

```
require "OtIndy.rb"
indy = OtIndy.new

indy.duration = [270,30]

indy.load = [1,1,1000,1,1,1]
indy.showLogScreen = true
indy.loadingFactor = 3
indy.stopAssignment = 270
indy.demandThreshold = 7
#indy.performDTA = false

indy.departureFractions =[0.05, 0.10, 0.17, 0.22, 0.30, 0.26, 0.20, 0.18, 0.15]

indy.pathIterations = 25
indy.aggregation = 15           # minutes
indy.timeStep = 10              # seconds
indy.iterations = 15
indy.pathOverlap = 0.85

indy.blockingBack = "PHYSICAL"
indy.storePaths = true
indy.storePathResults = true
indy.modelPar = [10, 150, 1200, 125]

# Running INDY
indy.execute
```

Enkele toedeling (1 iteratie, zonder padgeneratie)

```
require "OtIndy.rb"
indy = OtIndy.new

indy.duration = [270,30]

indy.load = [1,1,1000,1,1,1]
indy.showLogScreen = true
indy.loadingFactor = 3
indy.stopAssignment = 330
indy.demandThreshold = 7

indy.departureFractions =[0.05, 0.10, 0.17, 0.22, 0.30, 0.26, 0.20, 0.18, 0.15]

indy.aggregation = 5           # minutes
indy.timeStep = 10             # seconds
indy.iterations = 1

#indy.pathIterations = 1
#indy.pathOverlap = 0.85

indy.pathGeneration ="NONE"
indy.pathTable = "pathlinks"
indy.pathCostTable = "pathcost.db"
indy.initialPathFlows=true
indy.useTrafficControls = true
#indy.performDTA = false

indy.blockingBack = "PHYSICAL"
#indy.storePaths = false
indy.storePathResults = true
indy.modelPar = [10, 150, 500, 125]

# Running INDY
indy.execute
```

Bijlage 5

Afritcapaciteiten

In deze bijlage zijn de buffercapaciteiten van afritten in het studiegebied weergegeven. Wanneer een gedetailleerde modellering van afritten wordt gemaakt, dan kunnen deze capaciteiten van pas komen.

snelweg	baan	afritnr	naam	werkelijkheid	model	nieuwe modelle- ring
				totale lengte (m)	lengte (m)	
A4	Li	14	Delft Zuid	0		
A4	Li	13	Den Hoorn	776	570	2
A4	Li	12	Den Haag Zuid	1960	1970	1
A4	Li	11	Rijswijk	1426	2120	1
A4	Li	10	Plaspoelpolder	1748	320	6
A4	Li	9	Rijswijk C	1201	240	6
A4	Li	8	Leidschendan	1986	360	6
A12	Re	6	Zoetermeer C	2972	590	6
A12	Re	7	Zoetermeer	1514	210	8
A12	Re	8	Bleiswijk	1875	280	7
A12	Re	9	Zevenhuizen	500	0	
A12	Re	10	Waddinxveen	469	100	5
A12	Re	11	Gouda	901	320	3
A12	Re	12	Reeuwijk	557	210	3
A12	Li	12	Reeuwijk	1053	160	7
A12	Li	11	Gouda	826	480	2
A12	Li	10	Waddinxveen	450	130	4
A12	Li	9	Zevenhuizen	300	0	
A12	Li	8	Bleiswijk	997	310	4
A12	Li	7	Zoetermeer	1155	240	5
A12	Li	6	Zoetermeer C	0	0	
A12	Li	4	Voorburg	1184	270	5
A12	Li	3	Bezuidenhout	1178	270	5
A12	Li	2	Centrum	1066	770	2
A12	Re	2	Centrum	0	0	
A12	Re	3	Bezuidenhout	0	0	
A12	Re	4	Voorburg	0	0	
A13	Re	7	Rijswijk	0	0	
A13	Re	8	Delft-Noord	1201	1310	1
A13	Re	9	Delft	625	260	3
A13	Re	10	TU Delft	2092	1460	2
A13	Re	11	Berkel en Rodenrijs	590	360	2
A13	Li	7	Rijswijk	0	0	
A13	Li	8	Delft-Noord	892	290	4
A13	Li	9	Delft	1070	1500	1
A13	Li	10	TU Delft	1404	300	5
A13	Li	11	Berkel en Rodenrijs	768	960	1
A13	Li	12	Overschie	0	0	
A4	Re	14	Delft Zuid	0	0	
A4	Re	13	Den Hoorn	1450	1740	1

A4	Re	12	Den Haag Zuid	1903	510	4
A4	Re	11	Rijswijk	1435	320	5
A4	Re	10	Plaspoelpolder	654	170	4
A4	Re	9	Rijswijk C	0	0	
A4	Re	8	Leidschendan	624	240	3
A4	Re	16	Vlaardingen-Oost	575	210	3
A4	Li	16	Vlaardingen-Oost	705	230	4
A16	Re	27	Pr. Alexander	0	0	
A16	Re	26	Kralingen	734	410	2
A16	Re	25	Centrum	1608	290	6
A16	Re	24	Feijenoord	0	0	
A16	Li	25	Centrum	1903	500	4
A16	Li	26	Kralingen	728	900	1
A16	Li	27	Pr. Alexander	898	190	5
A29	Re	20	Barendrecht	1059	540	2
A29	Li	20	Barendrecht	879	360	3
A15	Re	12	Brielle	2580	310	9
A15	Re	13	Pothof	0	0	
A15	Re	14	Rozenburg	1668	150	12
A15	Re	15	Havens 4100-5200	768	180	5
A15	Re	16	Spijkenisse	0	0	
A15	Re	17	Hoogvliet	0	0	
A15	Re	18	Pernis	0	0	
A15	Re	19	Charlois	0	0	
A15	Re	20	IJsselmonde	1480	450	4
A15	Re	21	H.I. Ambacht	1806	1670	2
A15	Li	12	Brielle	1523	460	4
A15	Li	13	Pothof	1840	180	11
A15	Li	14	Rozenburg	643	230	3
A15	Li	15	Havens 4100-5200	1381	160	9
A15	Li	16	Spijkenisse	1110	150	8
A15	Li	17	Hoogvliet	0	0	
A15	Li	18	Pernis	0	0	
A15	Li	19	Charlois	0	0	
A15	Li	20	IJsselmonde	0	0	
A15	Li	21	H.I. Ambacht	0	0	
A20	Re	6	Maasdijk	699	350	2
A20	Re	7	Maassluis	470	320	2
A20	Re	8	Vlaardingen-WV	768	250	4
A20	Re	9	Vlaardingen	1058	1000	2
A20	Re	10	Schiedam-N	704	180	4
A20	Re	11	Schiedam	633	230	3
A20	Re	12	Sp. Polder	1649	1270	2
A20	Re	13	zie knpt Kleinpolder- plein	0	0	
A20	Re	14	zie knpt Kleinpolder- plein	0	0	
A20	Re	15	Crooswijk	733	0	
A20	Re	16	Schollevaar	2650	270	10
A20	Re	17	Nieuwerkerk a/d IJssel	683	90	8

A20	Re	18	Moordrecht	604	310	2
A20	Li	6	Maasdijk	625	240	3
A20	Li	7	Maassluis	517	210	3
A20	Li	8	Vlaardingen-W	1018	240	5
A20	Li	9	Vlaardingen	952	830	2
A20	Li	10	Schiedam-N	512	210	3
A20	Li	11	Schiedam	1011	1020	1
A20	Li	12	Sp. Polder	1149	640	2
			zie knpt Kleinpolder-			
A20	Li	13	plein	0	0	
A20	Li	14	Centrum	862	200	5
A20	Li	15	Bestaat niet	0	0	
A20	Li	16	Schollevaar	915	360	3
A20	Li	17	Nieuwerkerk a/d IJssel	780	200	4
A20	Li	18	Moordrecht	486	220	3

Bijlage 6 Gebruikte queries voor de uitvoerbestanden

link5_2data1.db

```
SELECT link5_2data1.linknr, link5_2data1.time, link5_2data1.inflow, link5_2data1.outflow,  
link5_2data1.dynspeed  
FROM link5_2data1  
WHERE (((link5_2data1.linknr)=16138 Or (link5_2data1.linknr)=17056 Or  
(link5_2data1.linknr)=15681 Or (link5_2data1.linknr)=16106 Or (link5_2data1.linknr)=20457  
Or (link5_2data1.linknr)=20474 Or (link5_2data1.linknr)=18645 Or (link5_2data1.linknr)=6666  
Or (link5_2data1.linknr)=18856 Or (link5_2data1.linknr)=5275));
```

pathcost.db

```
SELECT pathcost.[Origin centroid], pathcost.[Destination centroid], pathcost.PathNo, path-  
cost.TimeInterval, pathcost.TravelTime, pathcost.PathLength  
FROM pathcost  
WHERE (((pathcost.[Origin centroid])=74) AND ((pathcost.[Destination centroid])=275) AND  
((pathcost.PathNo)=1)) OR (((pathcost.[Origin centroid])=275) AND ((pathcost.[Destination  
centroid])=74) AND ((pathcost.PathNo)=1)) OR (((pathcost.[Origin centroid])=177) AND ((pa-  
thcost.[Destination centroid])=298) AND ((pathcost.PathNo)=1)) OR (((pathcost.[Origin cen-  
troid])=298) AND ((pathcost.[Destination centroid])=177) AND ((pathcost.PathNo)=1)) OR  
(((pathcost.[Origin centroid])=225) AND ((pathcost.[Destination centroid])=121) AND ((path-  
cost.PathNo)=1)) OR (((pathcost.[Origin centroid])=121) AND ((pathcost.[Destination centro-  
id])=225) AND ((pathcost.PathNo)=1)) OR (((pathcost.[Origin centroid])=61) AND ((path-  
cost.[Destination centroid])=73) AND ((pathcost.PathNo)=1)) OR (((pathcost.[Origin centro-  
id])=73) AND ((pathcost.[Destination centroid])=61) AND ((pathcost.PathNo)=1));
```

Bijlage 7 Gebruikte trajectorieën uit model

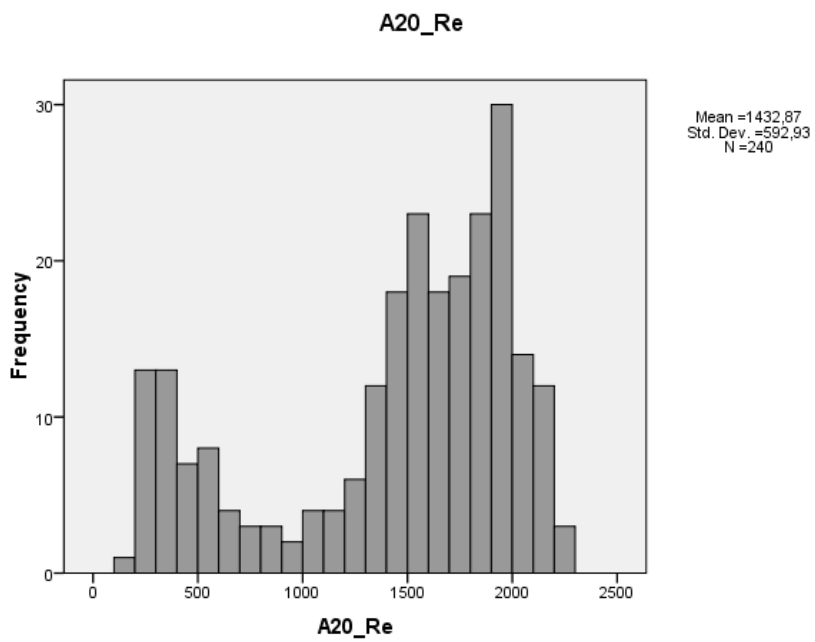
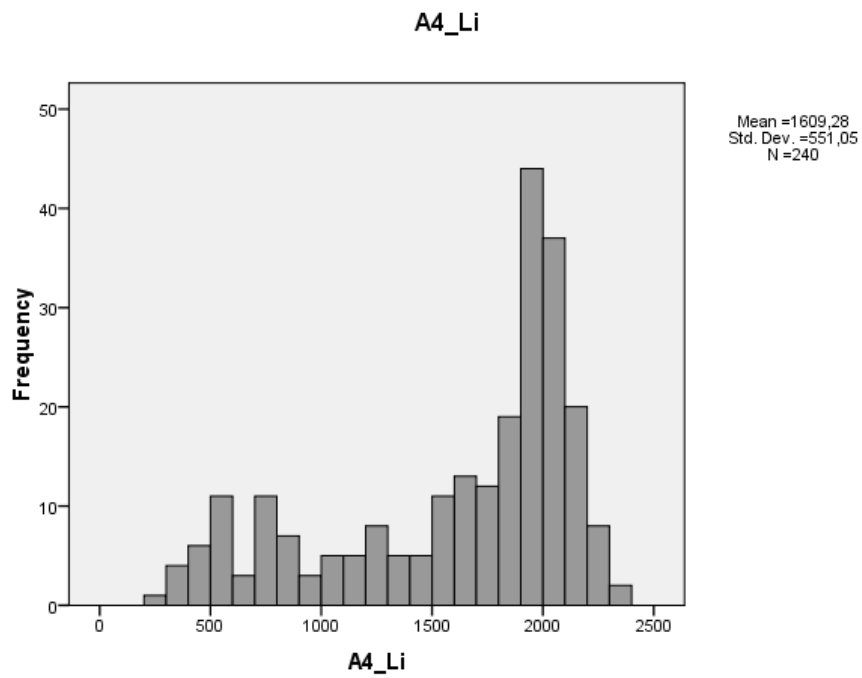
traject code	weg	baan	van	naar	herkomst zone	bestemming zone
I2L	A12	Li	Waddinx- veen	Nootdorp	79	77
I2R	A12	Re	Nootdorp	Waddinxveen	77	78
I3L	A13	Li	Berkel en Rodenrijs Delft-N	Delft-N	80	81
I3R	A13	Re		Berkel en Rodenrijs	82	83
I5L	A15	Li	IJsselmonde	Rozenburg	86	84
I5R	A15	Re	Rozenburg	IJsselmonde	84	85
20L	A20	Li	Moordrecht	Maasdijk	89	87
20R	A20	Re	Maasdijk	Moordrecht	87	88

Bijlage 8

Modellering incidenten

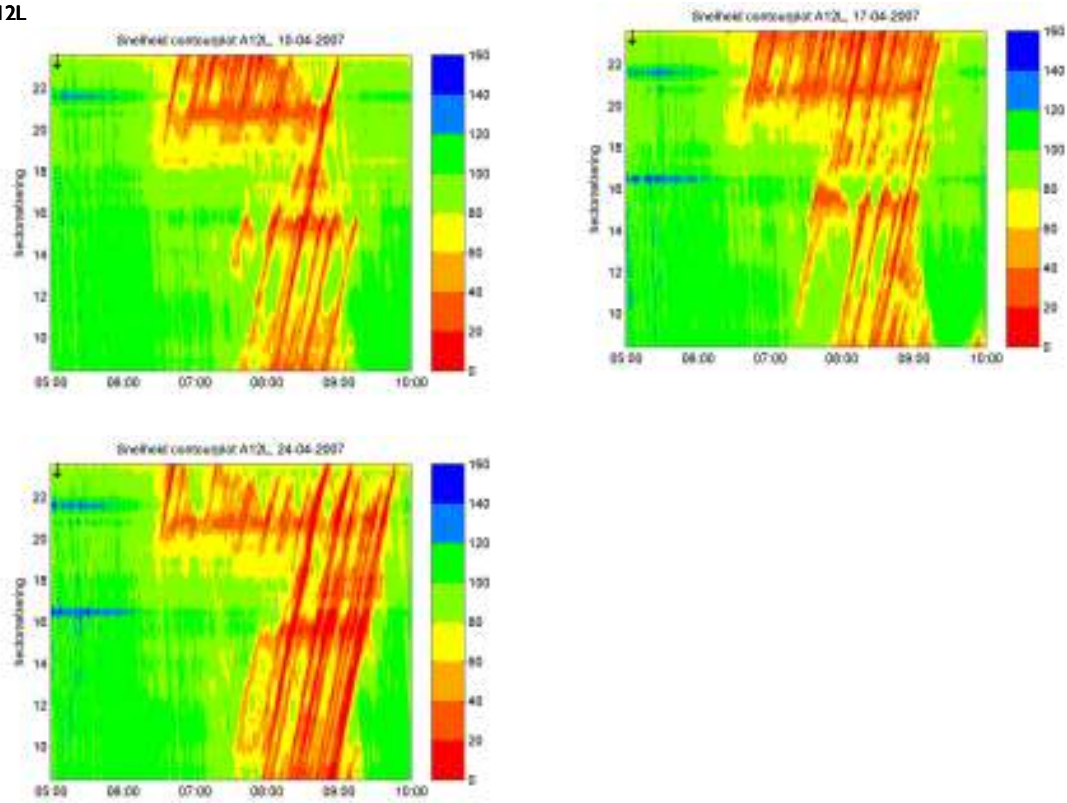
datum (ddmmjj)	start	start- tijd (min)	start tijd (sec)	eind	eindtijd (min)	eind- tijd (sec)	duur (min)	linknr	rich- ting	restca- paciteit (vtg/uur)
121207	6:33 uur	93	5580	8:04 uur	184	11040	91	3296	1	
010307	6:25 uur	85	5100	7:20 uur	140	8400	55	3296	1	1400
230107	5:48 uur	48	2880	8:25 uur	205	12300	157	2115	1	4000
250907	6:58 uur	118	7080	7:39 uur	159	9540	41	3335	1	1200
191107	7:45 uur	165	9900	8:54 uur	234	14040	44	3331	1	1500

Bijlage 9 Variatie in de capaciteit van een knelpunt

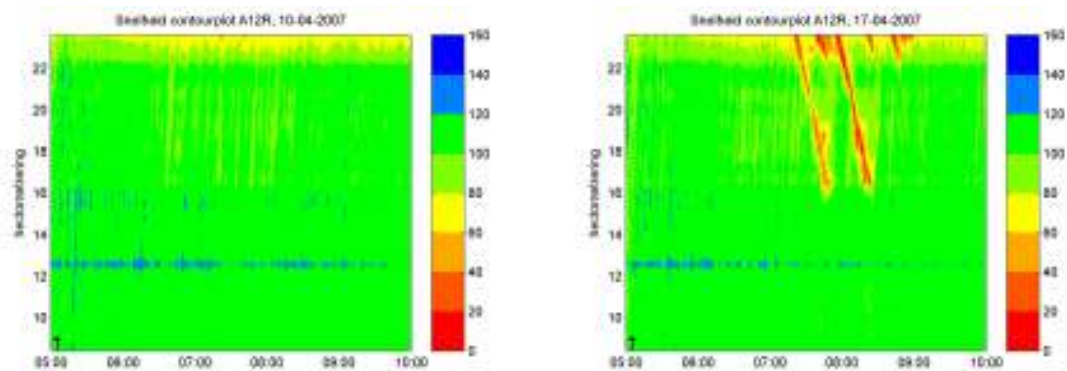


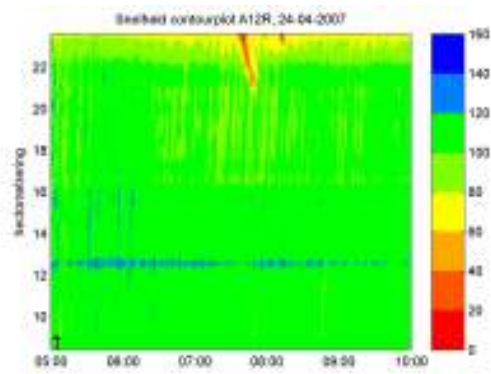
Bijlage 10 Snelheidscontourplots van dagelijkse files

A12L

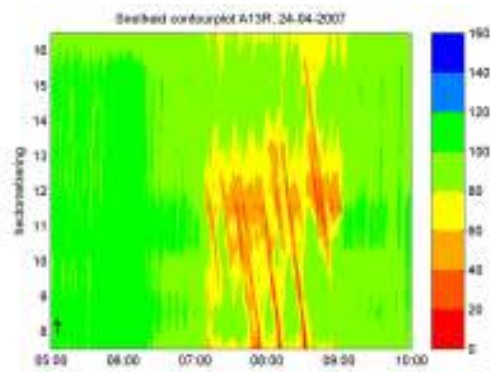
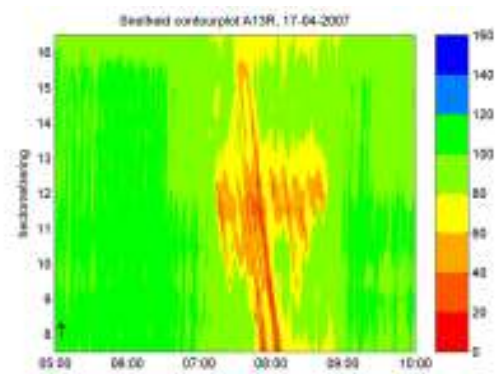
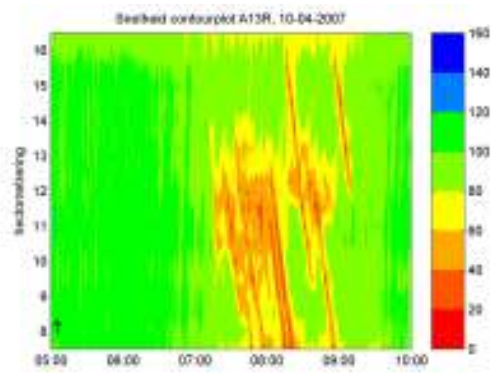


A12R

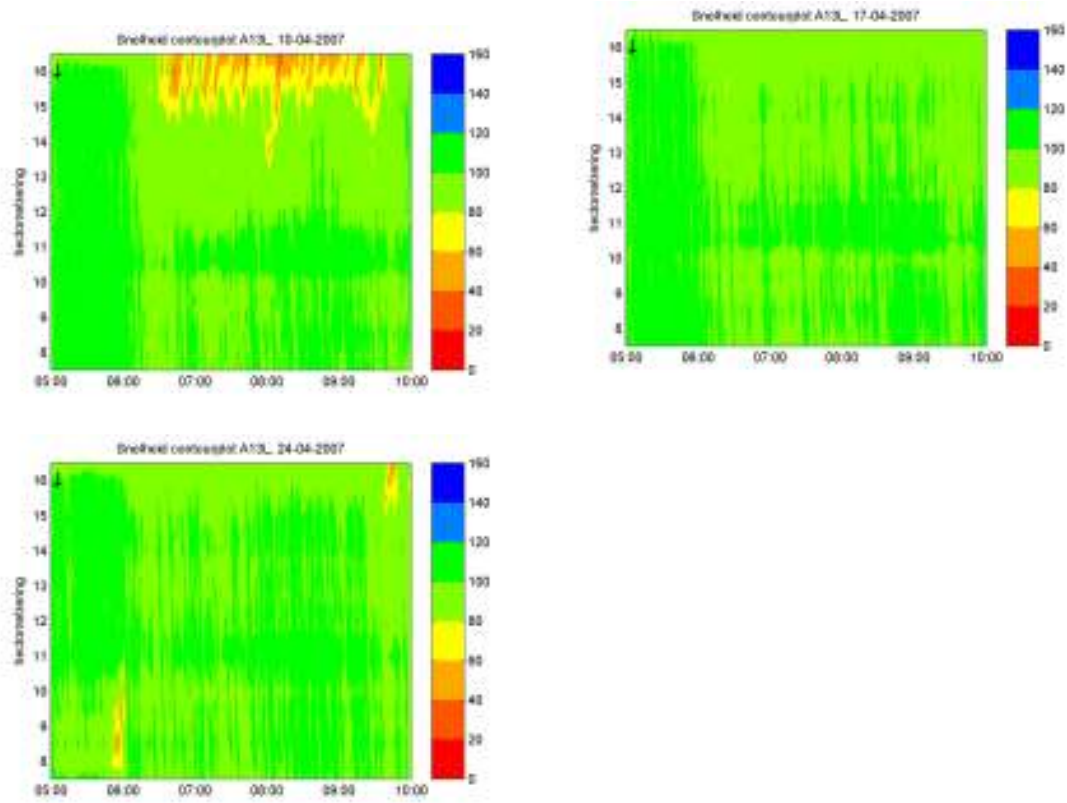




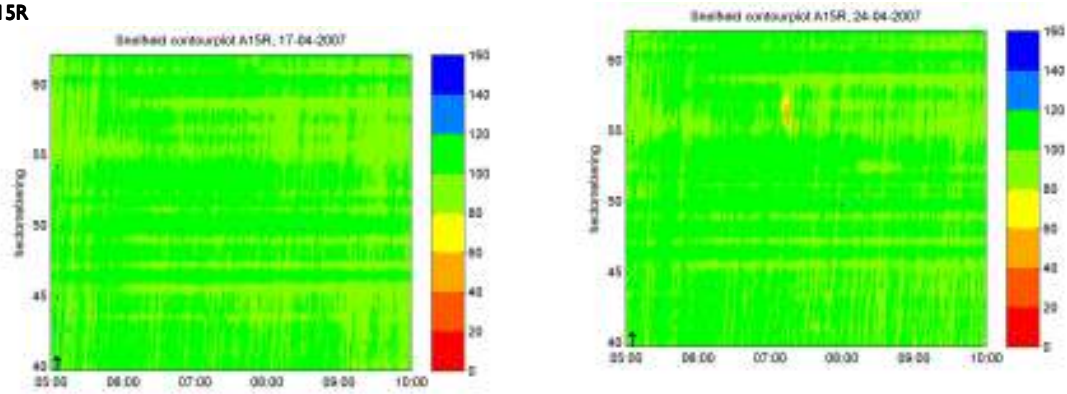
A13R



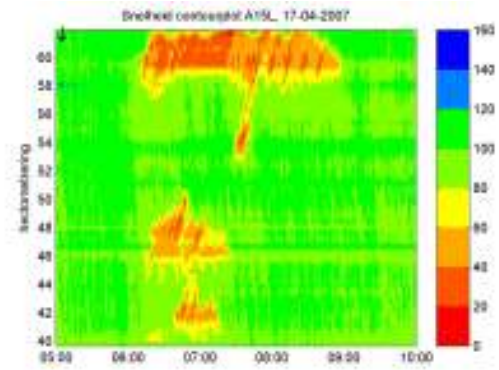
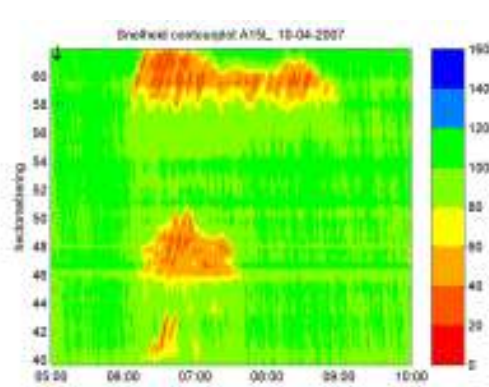
A13L



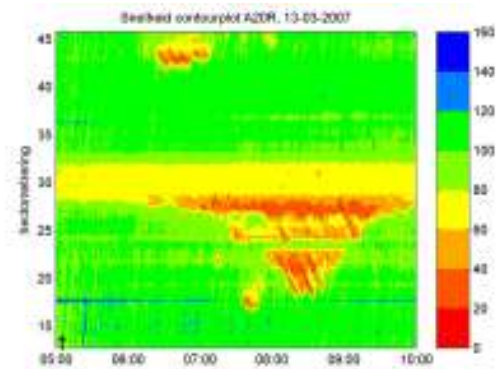
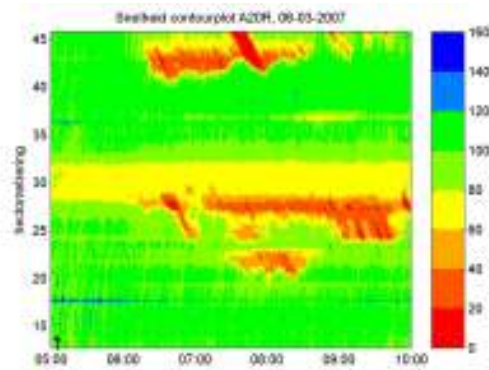
A15R



A15L

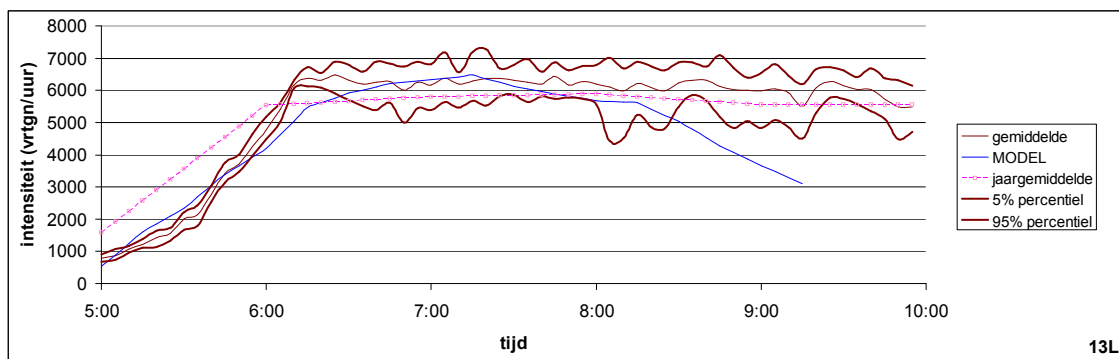


A20R

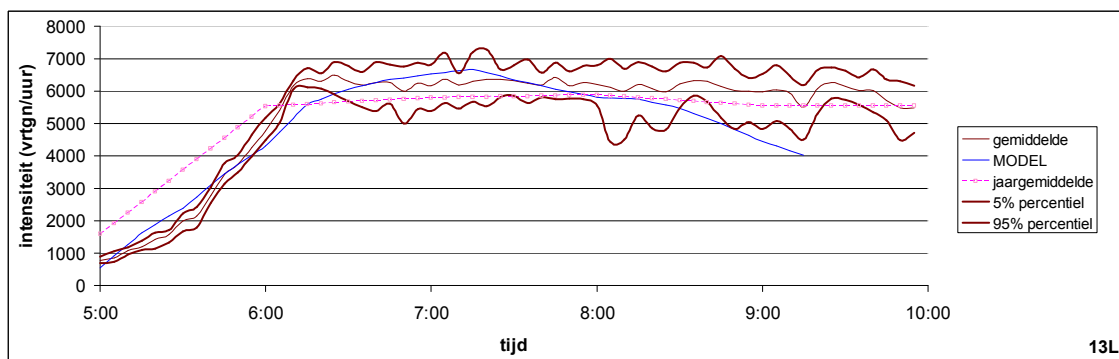


Bijlage II

Aanpassing vertrekprofiel



origineel profiel (RMSPE = 0.19)



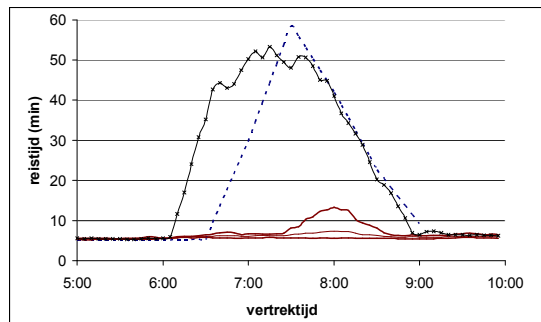
verbeterd profiel (RMSPE = 0.16)

Bijlage 12

Kalibratie omrijpercentage

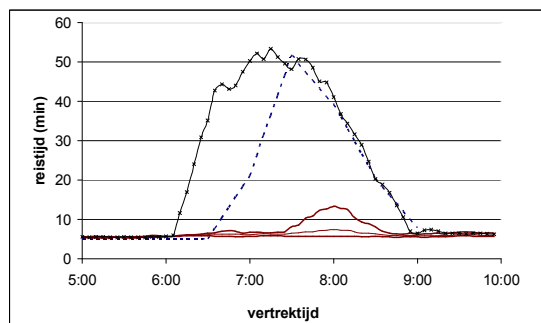
AI3L, 23 januari 2007

0%



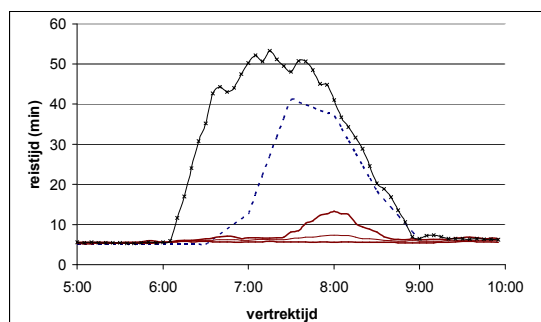
RMSPE = 0.36

7%



RMSPE = 0.36

15%

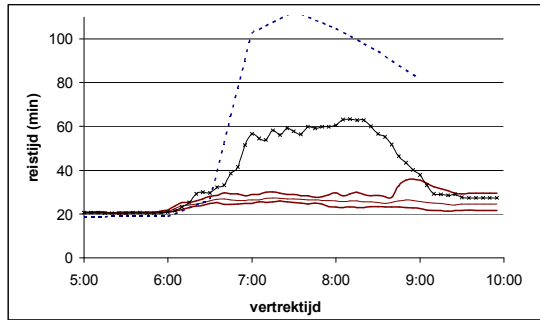


RMSPE = 0.39

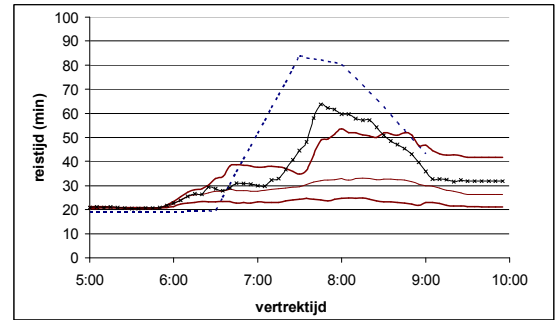
A20L, 12 december 2007

A20R, 12 december 2007

0%

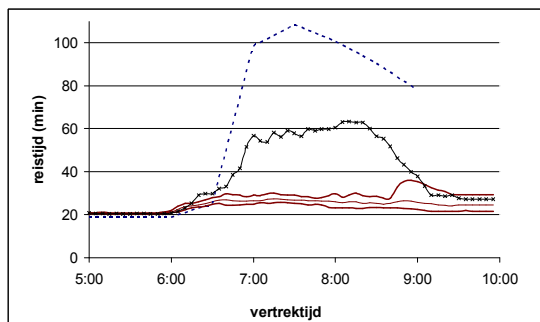


RMSPE = 0.66

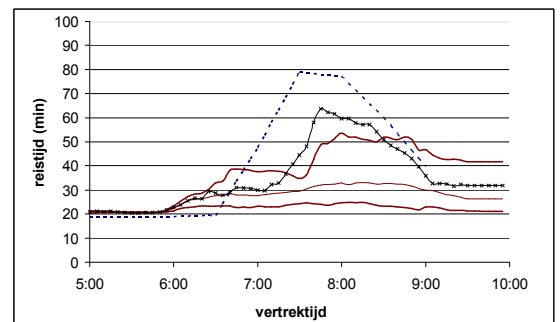


RMSPE = 0.43

7%

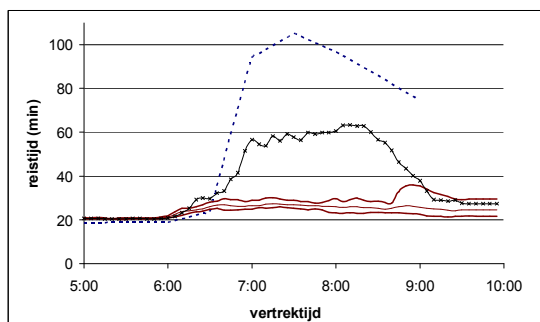


RMSPE = 0.60

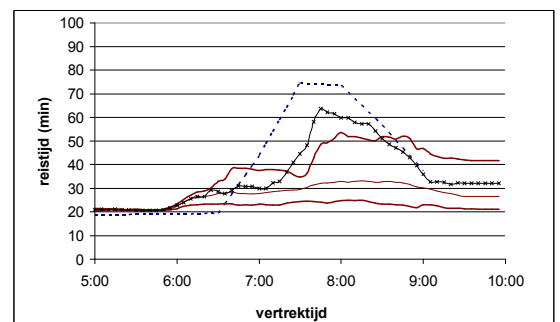


RMSPE = 0.37

15%



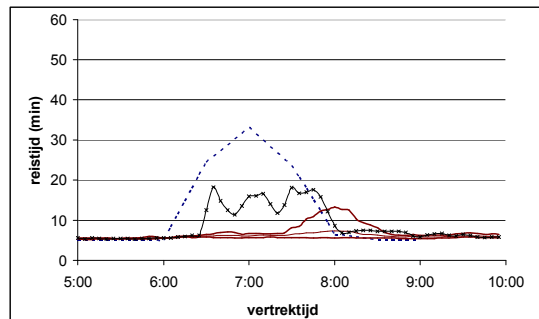
RMSPE = 0.55



RMSPE = 0.31

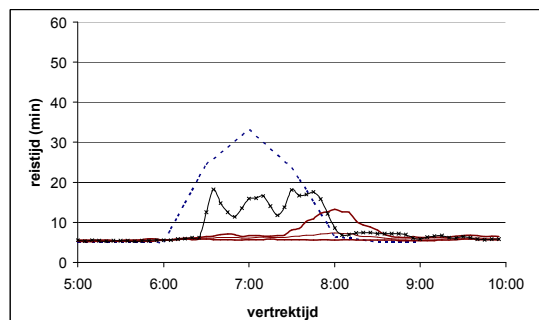
A13L, 12 december 2007

0%



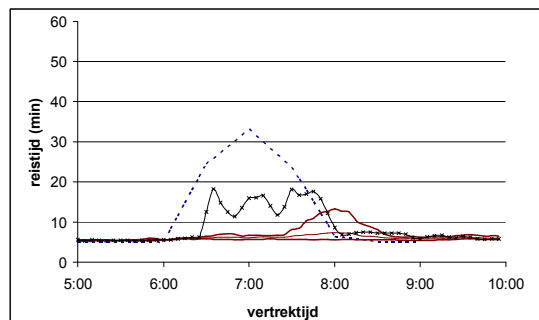
RMSPE = 0.51

7%



RMSPE = 0.51

15%



RMSPE = 0.51

Bijlage 13 Vertraging door knoopvertragingsmodel

	lengte links (km)	snellheid (km/uur)		
tijdstap (s)		3	10	20
	0,1	80	36	18
	0,2	96	72	36
	0,3	100	72	54
	0,4	100	96	72
	0,5	100	100	90
	0,6	100	100	72
	0,7	100	100	84
	0,8	100	100	96
	0,9	100	100	100
	1	100	100	100