

# **Road Incidents and Network Dynamics Effects on driving behaviour and traffic congestion**

## **Proefschrift**

ter verkrijging van de graad van doctor  
aan de Technische Universiteit Delft,  
op gezag van de Rector Magnificus prof.dr.ir. J.T. Fokkema,  
voorzitter van het College van Promoties,  
in het openbaar te verdedigen op woensdag 2 december 2009 om 10:00 uur  
door Victor Lambert KNOOP  
doctorandus in de natuurkunde  
geboren te Arnhem.

Dit proefschrift is goedgekeurd door de promotoren:

Prof. dr. H.J. van Zuylen

Prof. dr. ir. S.P. Hoogendoorn

Samenstelling promotiecommissie:

Rector Magnificus

Prof. dr. H.J. van Zuylen

Prof. dr. ir. S.P. Hoogendoorn

Prof. dr. M.G.H. Bell

Prof. dr. ir. B. De Schutter

Prof. ir. L.H. Immers

Prof. dr. ir. W.H.K. Lam

Prof. dr. ir. J.A.A.M. Stoop

voorzitter

Technische Universiteit Delft, promotor

Technische Universiteit Delft, promotor

Imperial College London

Technische Universiteit Delft

Katholieke Universiteit Leuven

Hong Kong Polytechnical University

Lund University

Het volledige proefschrift is uitgebracht onder de titel *Road Incidents and Network Dynamics—Effects on driving behaviour and traffic congestion* bij de uitgevers:

**Next Generation Infrastructures Foundation**

PhD series on infrastructure 33

P.O. Box 5015

2600 GA Delft

The Netherlands

T: +31 15 278 2564

F: +31 15 278 2563

E: [info@nginfra.nl](mailto:info@nginfra.nl)

I: [www.nginfra.nl](http://www.nginfra.nl)

ISBN 978-90-79787-14-2

**TRAIL Research School**

TRAIL Thesis Series T2009/13

P.O. Box 5017

2600 GA Delft

The Netherlands

T: +31 (0) 15 278 6046

F: +31 (0) 15 278 4333

E: [info@rsTRAIL.nl](mailto:info@rsTRAIL.nl)

I: [www.rstrail.nl](http://www.rstrail.nl)

ISBN 978-90-5584-124-0

Kernwoorden: incidenten, verkeersstroomtheorie

Copyright © 2009 by Victor L. Knoop

Alle rechten voorbehouden.

Afbeelding omslag: [petervandorst.nl](http://petervandorst.nl)

Πάντα ῥεῖ (Alles stroomt)  
– Ἡράκλειτος ὁ Ἐφέσιος (Heraclitus van Ephese)

## Woord vooraf

Dit boekje geeft een samenvatting van het werk dat ik voor mijn promotie heb gedaan. Het poogt in begrijpelijke taal een beeld te geven van de bevindingen die ik heb gedaan. Geïnteresseerden kunnen de integrale versie (in het Engels) lezen: het proefschrift is te verkrijgen via mij of te downloaden op het web. De hoofdstukken van het proefschrift zijn vaak uitgebracht als losse artikelen. Op pagina 16 staat welke artikelen de basis vormden van dit werk.

Graag laat ik weten waarmee ik me de afgelopen 4,5 jaar op de TU Delft heb bezig gehouden: het fileprobleem. Dit is nog niet opgelost, maar er zijn wel veel nieuwe inzichten over files. Die inzichten deel ik graag.

Allereerst staat op pagina v en pagina vi de inhoudsopgave van mijn proefschrift (met de titels in het Engels en de paginanummers van het volledige proefschrift). Dit geeft een overzicht van het werk. Daarna, vanaf pagina 1, staat er per hoofdstuk een samenvatting van het proefschrift. Hoofdstuk 1 geeft daarbij de introductie en hoofdstuk 10 de conclusies. Op pagina 16 staat een verwijzing naar verdere literatuur en op pagina 17 mijn cv. Tot slot voeg ik ook de stellingen bij, een essentieel onderdeel van een promotie.

Dan volgt hier een aantal woorden van dank. Allereerst dank aan mijn promotoren Serge Hoogendoorn en Henk van Zuylen die me altijd het vertrouwen hebben geschonken en me hebben ondersteund (en gestimuleerd) in mijn onderzoek. Dank ook aan mijn collegae van Transport & Planning van de TU Delft die me geholpen hebben, maar bovenal voor een zeer plezierige tijd hebben gezorgd. Tot slot dank aan mijn ouders en mijn zus die er altijd, gevraagd en ongevraagd, voor me zijn.

– Victor L. Knoop

## Inhoud proefschrift

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Context . . . . .	2
1.3	Research objectives and questions . . . . .	3
1.4	Thesis setup . . . . .	6
1.5	Main contributions . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Change in traffic processes due to an incident</b>	<b>11</b>
2.1	Incident and direct consequences . . . . .	11
2.2	Traffic situation . . . . .	13
2.3	Feedback to travellers and travellers' choices . . . . .	13
2.4	Network policy and robustness . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Microscopic traffic behaviour around incidents</b>	<b>15</b>
3.1	Introduction . . . . .	15
3.2	Theory and behavioural hypotheses . . . . .	17
3.3	Experimental set up . . . . .	18
3.4	Data analysis approach . . . . .	22
3.5	Results . . . . .	28
3.6	Conclusions and discussion . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Motorway queue discharge rate reductions at incidents sites</b>	<b>37</b>
4.1	Introduction . . . . .	37
4.2	Literature review . . . . .	39
4.3	Data collection set-up . . . . .	41
4.4	Data analysis . . . . .	43
4.5	Resulting queue discharge rates . . . . .	47
4.6	Application: incident management . . . . .	50
4.7	Conclusions and discussion . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Influence of incidents on route choice</b>	<b>55</b>
5.1	Introduction . . . . .	55
5.2	Previous studies . . . . .	56
5.3	Methodology and data selection . . . . .	58
5.4	Incident description . . . . .	63
5.5	Observed route choice changes . . . . .	67
5.6	Conclusions and future work . . . . .	74
<b>6</b>	<b>Stochastic incident duration – impacts on delay</b>	<b>77</b>
6.1	Introduction . . . . .	78
6.2	State of the Art . . . . .	78
6.3	Theory for mathematical formulation of queue lengths . . . . .	80

6.4	Elementary Road Layouts . . . . .	82
6.5	Applying the model . . . . .	84
6.6	Other configurations . . . . .	96
6.7	Implications . . . . .	99
6.8	Conclusions . . . . .	103
<b>7</b>	<b>Consequences of spillback for blockades in a road network</b>	<b>105</b>
7.1	Introduction . . . . .	106
7.2	State of the Art . . . . .	107
7.3	Research approach . . . . .	109
7.4	Case study description . . . . .	114
7.5	Case study results . . . . .	115
7.6	Conclusions and further research . . . . .	119
<b>8</b>	<b>Link-level vulnerability indicators for real-world networks</b>	<b>121</b>
8.1	Introduction . . . . .	121
8.2	Literature-overview of methodologies to find vulnerable links . . . . .	123
8.3	Calculation of vulnerability indicators . . . . .	123
8.4	Analysis . . . . .	127
8.5	Networks . . . . .	129
8.6	Results . . . . .	130
8.7	Conclusions and recommendations . . . . .	137
<b>9</b>	<b>Risk-averse traffic assignment using a dynamic simulator</b>	<b>139</b>
9.1	Introduction . . . . .	139
9.2	Literature review . . . . .	141
9.3	Methodology . . . . .	143
9.4	Case study . . . . .	151
9.5	Results . . . . .	157
9.6	Conclusions and possible application . . . . .	160
<b>10</b>	<b>Synthesis and conclusions</b>	<b>163</b>
10.1	Aim and set-up of the chapter . . . . .	163
10.2	Findings . . . . .	163
10.3	Synthesis and conclusions . . . . .	165
10.4	Implications for policy makers and road authorities . . . . .	167
10.5	Future research . . . . .	169
<b>A</b>	<b>Processing traffic data collected by remote sensing</b>	<b>185</b>
A.1	Introduction . . . . .	185
A.2	Literature Review . . . . .	187
A.3	Transformations . . . . .	189
A.4	Vehicle Detection . . . . .	193
A.5	Conclusions . . . . .	198
<b>B</b>	<b>Statistics</b>	<b>201</b>

## Hoofdstuk 1

### Introductie

Dit onderzoek, *Incidenten op de weg en netwerkdynamiek – Effecten op rijgedrag en congestie*, bestudeert de effecten van incidenten op het wegennetwerk. In het algemeen kan een afwijkend file-patroon veroorzaakt worden door capaciteitsreducties (minder mensen kunnen over de weg vanwege ongelukken, pechgevallen) of vraagverhogingen (meer mensen willen van de weg gebruik maken, vanwege bijvoorbeeld een voetbalwedstrijd, concert). Dit proefschrift is beperkt tot capaciteitsreducties – deze zorgen voor 25% van de totale vertraging. Belangrijker is dat onverwachte vertraging als vervelender wordt ervaren dan verwachte vertraging: er is immers geen rekening mee te houden.

De hoofdvraag van dit proefschrift is: “Hoe verandert de verkeerssituatie als gevolg van een incident op de weg”. Die vraag wordt op twee verschillende detailniveaus (verkeersstroom of individuele bestuurder) en op twee verschillende ruimtelijke schalen (alleen in de directe omgeving van het ongeluk of ook kijkend naar verdere netwerkeffecten) bestudeerd.

Op de plek van het ongeluk kijken we in eerste instantie naar het (individuele) rijgedrag van de passanten. In hoofdstuk 3 wordt beschreven dat het gedrag van automobilisten aanzienlijk anders is en dat vooral de reactietijd toeneemt. Op het niveau van verkeersstromen is de vraag wat de maximale capaciteit van de weg is: hoeveel auto's kunnen per uur over de weg nadat er een incident heeft plaatsgevonden. Uit hoofdstuk 4 blijkt dat de capaciteit 30-50% daalt bij een ongeluk. Op netwerkschaal spelen er twee relevante zaken. Ten eerste, op het niveau van de individuele reiziger, is de vraag in hoeverre automobilisten hun route aanpassen als gevolg van ongeluk. In hoofdstuk 5 staat dat tot 50% van de reizigers zijn route aanpast als het ongeluk groot is. Ten tweede is de vraag hoe de effecten van een capaciteitsreductie op een bepaald stukje weg doorwerken op de rest van het verkeersnetwerk. De file groeit immers (“plant zich voort”). Hoofdstuk 6 geeft een wiskundige beschrijving van een manier hoe dat uit te rekenen is. Daaruit blijkt dat de netwerkstructuur en incidentduur van groot belang zijn. In hoofdstuk 7 wordt geanalyseerd wat in termen van totale vertraging ongunstige plekken zijn om een incident te hebben. Daaruit blijkt dat het groeien van files naar andere wegen een belangrijke rol speelt. In de literatuur wordt een aantal indicatoren voorgesteld waarmee dat eenvoudig uit te rekenen zou zijn. Deze worden in hoofdstuk 8 kritisch tegen het licht gehouden. Hoofdstuk 9 is het laatste inhoudelijke hoofdstuk, dat beschrijft hoe risicomijdend routekeuzegedrag goed gemodelleerd kan worden. Daarmee wordt de routekeuze bedoeld die rekening houdt met mogelijke files. Bij deze modellering wordt gebruik gemaakt van de kennis van de voortplanting van files. Hoofdstuk 10 brengt deze deelonderwerpen weer bij elkaar en geeft de conclusies.

## Hoofdstuk 2

### Veranderingen in verkeersproces door een incident

Een incident zorgt voor een verandering in het complexe verkeerssysteem. De volgende aspecten zijn daarbij van belang:

1. Het aantal stroken op de weg neemt af, wat een verlaging van de capaciteit tot

gevolg heeft. Dit wordt besproken in hoofdstukken 3 en 7

2. Files groeien en verplaatsen zich door het netwerk. De effecten daarvan worden besproken in hoofdstukken 6 en 7.
3. Door (verwachte) reistijdvertraging kunnen reizigers hun keuzes aanpassen. In dit proefschrift wordt alleen onderzocht in hoeverre mensen hun route aanpassen. Andere opties, die in het kader van dit proefschrift niet zijn onderzocht, zijn het uit- of afstellen van de reis, het kiezen van een andere volgorde van de tussenbestemmingen of het kiezen van een ander vervoermiddel. Hoofdstuk 5 geeft aan in hoeverre mensen in de praktijk ervoor kiezen hun route aan te passen. Deze routekeuze heeft invloed op de effecten van de files. Hoe dat gebeurt, wordt beschreven in hoofdstukken 6 en 7. Hoofdstuk 9 laat zien hoe gemodelleerd kan worden hoe mensen hun route aan zouden kunnen passen als ze mogelijke verstoringen door files zo veel mogelijk willen vermijden.
4. Voor een wegbeheerder is het van belang te weten waar een incident tot grote files leidt. Dit heeft te maken met de dynamiek van de files in het netwerk. Dit wordt behandeld in hoofdstuk 7 en 8
5. Incidentmanagement kan helpen bij het verkleinen van de effecten van files (bijvoorbeeld door de incidentduur te verlagen. Hoe groot deze effecten kunnen zijn, wordt mathematisch uitgerekend in hoofdstuk 6.

## Hoofdstuk 3

### Individueel rijgedrag bij incidenten

De meeste weggebruikers zijn wel bekend met het fenomeen “kijkersfiles”. Aangezien er aan de weg niets verandert, moeten deze files veroorzaakt worden door het rijgedrag van automobilisten. Eigen waarnemingen zijn echter niet voldoende basis voor een wetenschappelijke onderbouwing van het fenomeen, en tot op heden ontbrak een nauwkeurige observatie daarvan. Om dat te kunnen analyseren, wilden we de bewegingen van de voertuigen van bovenaf kunnen bekijken. Het was onmogelijk dat van een vast punt te doen omdat van tevoren niet bekend is wanneer er waar een ongeluk gebeurt. Daarom hadden we een helikopter stand-by staan en hebben we gewacht op een ongeluk op de autosnelweg. Na een melding van een ongeluk vloog de helikopter zo snel mogelijk naar de locatie van het ongeval om boven de ongevalslocatie te blijven hangen. Op de videobeelden die vanuit de helikopter met zeer geavanceerde apparatuur (15.1 beelden/seconde, 1392 x 1040 pixels) zijn opgenomen, is te zien hoe automobilisten rijden rond het ongeval.

Bij twee ongelukken hebben we kunnen filmen wat de mogelijkheid gaf voor referentie van de bevindingen. De video is opgebouwd uit foto's waarvan een typisch voorbeeld te zien is in figuur 2. Er wordt een auto weggetakeld en daarom rijdt het het verkeer (van links naar rechts) over de rechter strook en over de vluchtstrook. Verkeer dat de andere kant op rijdt, staat ook in de file, terwijl er daar geen obstakels zijn. De bewegende beelden laten zien dat mensen duidelijk versnellen (ook op de andere weghelft) als ze de plek van het ongeluk voorbij zijn. Het wegvak waarvan we op de camera beeld hebben is





**Figuur 1: Met de helikopter naar een ongeluk**



**Figuur 2: Een van de foto's van de video**



**Figuur 3: De file achter het ongeluk – let op de pylonnnetjes onder in beeld**

ongeveer 300 meter lang. In die 300 meter is te zien waar de auto's zich bevinden (op ongeveer 30 cm nauwkeurig); daaruit is af te leiden wat hun snelheid is en welke vertraging of versnelling automobilisten kiezen. Om te kunnen weten wat het effect van incidenten op rijgedrag is, kunnen we de precieze bewegingen van auto's analyseren. Omdat we pas na het ongeluk konden gaan vliegen, zien we niet hoe een (kijkers-)file ontstaat. In een geval zien we wel dat er geen kijkersfile is omdat er daarvoor te weinig auto's zijn. Die auto's die er wel zijn, zien we wel afremmen bij de plek van het ongeluk, wat een start van de file kan zijn.

Dat is gebeurd met behulp van bekende “voertuigvolgmodellen”. De modellen geven aan hoe bestuurders op inputsignalen (bijvoorbeeld het snelheidsverschil met je voorligger, de afstand tot je voorligger) reageren. Die reactie is vertraagd met een reactietijd. De mate waarin mensen op deze inputsignalen reageren en de reactietijd zijn parameters in het voertuigvolgmodel. Voor de voertuigen die vanuit de helikopter geobserveerd zijn, is het mogelijk de parameters te bepalen. Dat gebeurt door het voertuigvolgmodel de bewe-

ging van het voertuig te laten doorrekenen op basis van de inputsignalen. Die voorspelde beweging hangt af van de parameters die in het model gaan. De optimale parameters bepalen we nu door de parameters zó bij te stellen dat de positie van het voertuig als voorspeld door het model zo goed mogelijk overeenkomt met de positie waarop het voertuig zich ook daadwerkelijk bevindt.

Een van die geoptimaliseerde parameters is de reactietijd. De belangrijkste uitkomst van het onderzoek is dat we hebben aangetoond dat de reactietijd van bestuurders hoger is op de plek van een incident dan in normale condities. Het duurt dus lang voordat een automobilist reageert als zijn voorligger de file uitrijdt; de afstand tot de voorligger neemt daardoor toe. Er zijn grofweg twee categorieën bestuurders. De ene groep (ongeveer tweederde) heeft een enigszins grotere reactietijd (2-2.5 s) dan normaal (1.5 s), terwijl er een kleinere groep is die een véél grotere reactietijd heeft (4.5-5 s). Aangezien mensen er dus ook lang over doen om op te trekken, is dat tevens de verklaring waarom een file niet oplost. Een file zou veroorzaakt kunnen worden door een verlaging van de snelheid waarop mensen langs het ongeluk rijden – een effect dat we ook hebben waargenomen. De verlenging van de reactietijd zorgt voor een verhoging van de tijd waarop twee auto's na elkaar het punt van het ongeluk passeren. Bij de ongelukken die we in beeld hadden, was die tijd gemiddeld twee keer zo lang als normaal. Dat betekent dat er in dezelfde tijdsperiode maar de helft van de auto's langs een plek op een rijstrook (dat is het één auto brede stuk tussen twee lijnen) van de weg kan rijden. Dat effect staat nog los van de reductie van het aantal beschikbare stroken omdat een of meer rijstroken geblokkeerd zijn, bijvoorbeeld door een wrak van het ongeluk. Voor verkeer in beide richtingen (dus verkeer dat langs het ongeluk moest rijden en verkeer op de andere rijbaan) vonden we een gelijke reductie. Die reductie van ongeveer 50% is verrassend hoog. Het volgende hoofdstuk gaat in op deze reductie, maar daar wordt een onderzoek gepresenteerd waar de maximale verkeersstroom bij veel meer dan twee ongelukken bepaald is.

## Hoofdstuk 4

### Wegcapaciteit bij ongelukken

In het vorige hoofdstuk zagen we dat het gedrag van bestuurders anders is bij een ongeval. Dit leidde tot een reductie van de wegcapaciteit per strook met 50%. In dit hoofdstuk kijken we of die reducties die we bij die twee twee geflimde ongelukken van het vorige hoofdstuk vonden ook te vinden zijn bij andere incidentlocaties. Daarvoor combineren we twee databases: (1) die met ongevallen en (2) die met de verkeerssituatie. Bij die incidenten die een file veroorzaken, kunnen we de (afrij-)capaciteit meten. Dat is het aantal auto's dat per uur dat langs een plek stroomafwaarts op de weg komt rijden en dat uit de door het ongeluk veroorzaakte file kan wegrijden. Alleen in geval van een file kunnen we dat direct meten. In het geval dat de verkeersvraag kleiner is dan de capaciteit, ontstaat er geen file. In dat geval kunnen we de capaciteit niet direct meten en daarom zijn die situaties niet meegenomen voor het onderzoek.

Wegcapaciteit is specifiek voor een bepaalde plek op de weg. Over het algemeen zijn er wel richtlijnen te geven: 2000 tot 2300 voertuigen per uur per strook is een gemiddelde capaciteit van de weg voor een situatie zonder file, terwijl de maximale uitstroom uit de file (ze zogenaamde “afrijcapaciteit”) wat lager is, 1800 tot 1950 voertuigen per strook

per uur. Dat is om te rekenen naar een volgtijd, bijvoorbeeld 2 seconde volgtijd betekent 1/2 voertuig per seconde en dus 1800 voertuigen per uur. 1.5 seconde volgtijd is equivalent met 2400 voertuigen per uur. Die capaciteiten of volgtijden zijn verschillend voor verschillende wegdelen, verschillende groepen weggebruikers etc. Wat we in dit hoofdstuk beogen, is te kijken in hoeverre het gedrag de capaciteit verlaagt, en we zijn dus op zoek naar een vermenigvuldigingsfactor voor de capaciteit.

Daarvoor moeten we de capaciteit bij een ongeluk vinden, en de vergelijkbare capaciteit voor dezelfde plek voor een normale, niet-ongevalssituatie. De afrijcapaciteit in het geval van een ongeluk kunnen we meten met behulp van de tellussen in de weg. Deze tellussen van Rijkswaterstaat worden permanent gebruikt en deze gegevens waren beschikbaar voor het onderzoek. Echter, in normale omstandigheden is de plek van het ongeluk in het algemeen geen “bottleneck” en de normale afrijcapaciteit is daar dus niet direct te meten. Om de afrijcapaciteit toch te schatten, maken we gebruik van het feit dat we de relatie tussen de dichtheid (het aantal auto’s per kilometer) en de stroom (het aantal auto’s per uur) weten. Zo kunnen we uit gegevens van normale omstandigheden (vrij rijdend, soms file) de capaciteit afleiden.

We hebben het onderzoek in dit hoofdstuk beperkt tot driestrookssnelwegen: drie stroken de ene kant op en drie stroken de andere kant op (dit in tegenstelling tot de twee ongelukken in hoofdstuk 3 die op een tweestrookssnelweg gebeurden). De capaciteitsreducties die we vonden zijn vergelijkbaar met de capaciteitsreducties voor de andere ongelukken, besproken in hoofdstuk 3. De capaciteit per overgebleven strook is 50% lager indien een deel van de rijbaan geblokkeerd is. Dus: stel dat een van de drie stroken dicht is, dan is tweederde van het aantal stroken nog open, maar is er toch nog maar eenderde van de oorspronkelijke capaciteit over. In het geval de rijbaan volledig beschikbaar is maar er toch afleiding door een incident is (een auto op de vluchtstrook of een ongeluk aan de andere kant van de vangrail) dan zien we een verlaging van de wegcapaciteit met ongeveer 30%.

Deze reducties zijn hoog. Het is van belang dit te weten omdat de wegbeheerder kan proberen de afleiding te verminderen en daarmee de capaciteit kan verhogen. Tevens is het van belang om een goed route-advies te bepalen. Immers, de capaciteit bij het ongeluk bepaalt, samen met de verkeersvraag, de vertraging. Met de uitkomsten van dit hoofdstuk is de capaciteit bekend, en de vraag kan gestuurd worden met route-advies. Hoe een route-advies van invloed kan zijn op de verkeersvraag wordt besproken in hoofdstuk 5.

## Hoofdstuk 5

### Routekeuze bij ongevallen

Er is veel onderzoek naar hoe het aantal files verminderd kan worden door het omleiden van verkeer. Een van de onbekende variabelen daarin is in hoeverre automobilisten een alternatief route-advies daadwerkelijk opvolgen. Een in de verkeerswereld veel gehoorde veronderstelling is dat mensen aan hun route vasthouden ook als er veel vertraging is. Als alternatief is mogelijk dat mensen hun route aanpassen. Dit hoofdstuk bestudeert voor een vijftal ongevallen hoe mensen in de praktijk omrijden.

We analyseren ongelukken op de A13 bij Delft. In de beschouwde periode zijn er vijf ongelukken, twee kleine die weinig vertraging veroorzaken en drie grote die veel vertraging veroorzaken. Er zijn omrijroutes die te vinden zijn in de kaart van figuur 5.





**Figuur 4: Voorbeeld van een route-informatiepaneel**

Voor korte files is er een mogelijkheid om te rijden via de A4 en de verbindingsweg A4-A13 aan de zuidkant van Delft. Er is ook een omrijroute die verder om is, maar niet heel veel extra tijd kost, namelijk via Gouda; deze omrijroutes gelden alleen voor doorgaand verkeer, en niet voor verkeer dat in Delft moet zijn.

Opnieuw gebruiken we gegevens van de tellussen. Die geven het aantal auto's per richting van de splitsing – links of rechts. Als uitgangspunt gebruiken we de verhouding tussen het aantal auto's naar het incident en het aantal auto's richting alternatieve route. Deze verhouding wordt de splitfractie genoemd. Die splitfractie bepalen we voor dagen die vergelijkbaar zijn met de ongeluksdagen. Voor een goede referentie is het nodig dat dit dezelfde dagen van de week zijn, dat er in beide situaties geen vakantie is en dat de weersomstandigheden ongeveer gelijk zijn.

Om het effect van het incident te bepalen, bekijken we hoeveel deze splitfractie afwijkt in relatie tot de stroom auto's naar het ongeluk. Ter illustratie een getallenvoorbeeld voor verkeer komend vanuit het zuiden, de A16, dat naar links (richting Rotterdam, Delft) of rechts (richting Gouda) moet afslaan op het knooppunt Terbregtseplein bij de A20. Stel dat in normale omstandigheden van de 100 60 auto's vanuit Rotterdam bij het klaverblad richting Gouda gaan en 40 auto's richting Delft (en Rotterdam-noord). Als er vertraging is door een ongeluk op de A13 zullen reizigers die bedacht hebben via de A13 naar Den Haag en verder te gaan hun route mogelijk heroverwegen. Dit zijn – in het bovenstaande voorbeeld – (maximaal) 40 mensen, namelijk de mensen die via Delft naar Den Haag wilden. Als de verhouding tussen auto's naar links en rechts tijdens het ongeluk nu 20/80 is, dan hebben dus 20 automobilisten een andere keuze gemaakt dan normaal. Op een aantal van (maximaal) 40 is dat (minimaal) 50%.

Deze berekening van een verandering van splitfractie maken we voor de tijd die beïnvloed wordt door het ongeluk. Daar vinden we dat bij kleine ongelukken, ondanks



**Figuur 5:** Een kaart van het bestudeerde gebied met de omrijroutes via de westkant van Delft of via Gouda (maps.google.com)

een alternatief route-advies, mensen geen andere route nemen. Maar bij de grotere ongelukken kiest zo'n 50% van de mensen een alternatieve route. Dat betekent dat het geven van route-advies zinvol kan zijn, maar dat de reizigers wel bereikt moeten worden én dat het alternatief voor hen aantrekkelijker moet zijn dan de oorspronkelijke route.

Moderne media bieden een uitkomst hierin. Zowel voor het geven van alternatieve routes en file-informatie als voor het analyseren van het routekeuzegedrag zijn er nieuwe mogelijkheden. Moderne navigatiesystemen kunnen zelf een alternatieve route voorstellen als ze voorzien worden van actuele verkeersinformatie. Die informatie kan bijvoorbeeld komen via het standaardprotocol RDS-TMC. TomTom heeft een ander systeem dat de snelheden van weggebruikers bijhoudt en die informatie doorstuurt naar andere TomTom-gebruikers. Het systeem kan dan op basis van die informatie een alternatieve route voorstellen. Het is tegenwoordig steeds beter mogelijk mensen te "volgen" met zaken als navigatiesystemen en GSM's wat ideaal is om de routes van mensen terug te vinden. Ook met nummerbordherkenning is het technisch mogelijk de genomen route terug te vinden. Dit is handig voor verder onderzoek voor routekeuzegedrag.

## Hoofdstuk 6

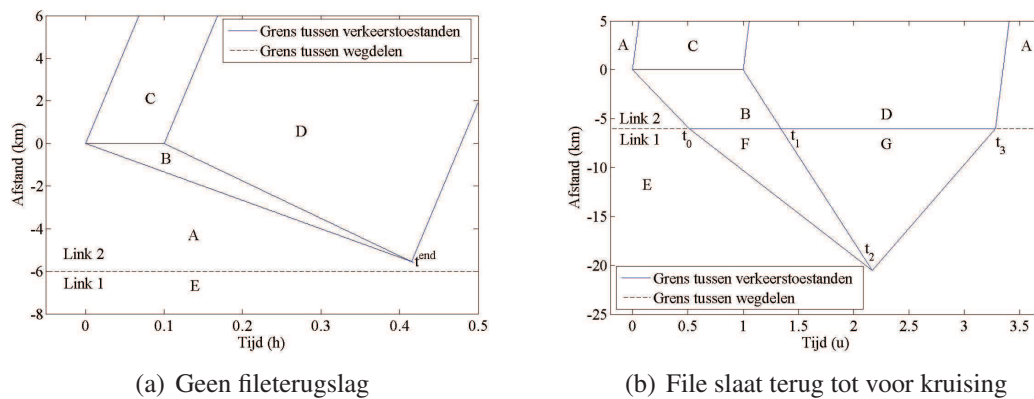
### Stochastische incidentduur – de invloed op vertraging

Uit eerdere hoofdstukken weten we hoe de capaciteit van de weg verandert in incidentsituaties. Met een bekende relatie tussen het aantal auto's per kilometer en het aantal auto's per uur is dan uit te rekenen hoe de file als gevolg van een ongeluk opbouwt en afbouwt. Een typisch, simpel voorbeeld is te vinden in figuur 7. Dit is een plaats-tijddiagram. Op





**Figuur 6: Filewaarschuwingen op een navigatiesysteem**



**Figuur 7: Weg-tijddiagram van een file bij een incident**

een plek is een capaciteitsreductie. Daarachter bouwt zich een file op, waarbij de filestaart naar achteren beweegt. Op het moment dat de weg weer vrijgegeven wordt, gaan de auto's van de kop van de file rijden, maar groeit de file aan de achterkant nog steeds aan. Het stuk in de driehoek is dus de file. Afhankelijk van de stroom bij het ongeluk is het rustig of druk vóór ("stroomafwaarts van") het ongeluk.

Voor het simpele geval dat er een ongeluk is op een rechte weg en er geen invloed is van verkeer dat eraf gaat of erbij komt, is eenvoudig uit te rekenen wat de vertraging zal zijn. Dit is uit te drukken in een (analytische) formule waarin de overgebleven wegcapaciteit, de verkeersvraag en vooral de incidentduur belangrijke factoren zijn.

De incidentduur zorgt voor een verlenging van de fileduur en voor een verhoging van het aantal mensen dat tegelijkertijd in de file staat. Dit heeft dus een dubbel effect, en wiskundig uitgedrukt is het effect op de totale vertraging kwadratisch. Voorbeeld: een ongeluk van een uur levert bijvoorbeeld een vertraging van 100 voertuiguren. In dat geval levert een ongeluk van twee uur een totale vertraging van  $2 \times 2 \times 100 = 400$  voertuigverliesuren en een ongeluk van drie uur  $3 \times 3 \times 100 = 900$  voertuigverliesuren. Dat betekent dat de vertraging uitrekenen met de gemiddelde ongeluksduur niet de gemiddelde vertraging



**Figuur 8: Voorbeelden van fileterugslag**

oplevert. In het voorbeeld: één ongeluk van een uur en één van drie uur levert gemiddeld  $(900+100):2=500$  voertuigverliesuren, terwijl een ongeluk van twee uur 400 voertuigverliesuren geeft. Dit hoofdstuk geeft een formule om de goede vertraging uit te rekenen.

Het wordt ingewikkelder als er netwerkstructuren worden meegenomen. In het hoofdstuk wordt gekeken naar een splitsing, maar daarbij wordt al aangetoond dat één netwerkelement al van groot belang kan zijn. Zeker wanneer fileterugslag optreedt, het effect dat een file achter aangroeit tot een splitsing en dan ook verkeer de andere kant op hindert, wordt de totale vertraging plotseling veel groter. De conclusie van dit hoofdstuk is dan ook dat deze fileterugslag zo veel mogelijk voorkomen moet worden. Een goede manier om dat te doen is door in de incidentduur zo veel mogelijk te beperken. Dat levert tevens een sterke bijdrage aan de verlaging van de vertraging in het geval er toch fileterugslag plaatsvindt.

## Hoofdstuk 7

### Consequenties van fileterugslag bij blokkades in een wegennetwerk

Dit hoofdstuk bestudeert wat de invloed is van de netwerkstructuur indien er een ongeval plaatsvindt. Files groeien naar achteren toe en indien de file de op-/afritten en knooppunten gaat verstoppen, worden mensen die niet langs de eigenlijke bottleneck hoeven toch gehinderd. Dat noemen we fileterugslageffecten. Een voorbeeld daarvan (en hoe sommigen het omzeilen) is te zien in figuur 8.

We nemen een testnetwerk, het netwerk van Rotterdam, bestaande uit 468 wegverbindingen, zogenaamde “links”. Eén voor één blokkeren we een link en rekenen we met een computer-simulatiemodel de verkeerssituatie door. Dat programma berekent de totale vertraging. We hebben nu een lijst van plaatsen van ongelukken en bijbehorende vertragingen. Daaruit kunnen we opmaken op welke plek een ongeval de grootste vertraging veroorzaakt; die stukken weg noemen we “kwetsbare links”. Verrassenderwijs zijn dat niet alleen ongevallen op hoofdwegen die grote vertraging veroorzaken. Als er op een van de doorgaande wegen in de stad een blokkade is, dan slaan de files terug de autosnelweg op. Ze blokkeren dan de verkeersstroom in beide richtingen, wat een grote vertraging oplevert.

In de praktijk wordt vaak gewerkt met modellen waarin de fileterugslag niet verwerkt



zit. Daarom voeren we dezelfde analyses uit met een gewijzigd computermodel waarbij er geen fileterugslageffecten optraden. Het is zo aangepast dat de files niet langer groeien dan tot de eerste kruising die ze, achteruit groeiend, tegenkomen. Uit onze analyses blijkt echter dat de resultaten van de twee modellen volstrekt onvergelijkbaar zijn. Het is onmogelijk een (enigszins) goede volgorde van kwetsbare links te vinden als je een computermodel zonder fileterugslag gebruikt.

Dat is de eerste conclusie. De andere conclusie is dat fileterugslageffecten – blijkbaar – voor een aanzienlijk deel van de vertraging zorgen. Op bijvoorbeeld de volgende manieren is daartegen iets te doen.

1. Automobilisten die naar verschillende richtingen rijden, moeten zo vroeg mogelijk fysiek gescheiden worden.
2. Automobilisten moeten een advies krijgen een alternatieve route te kiezen of automobilisten moeten zelfs verplicht worden een alternatieve route te volgen. In een enkel geval zie je bijvoorbeeld dat een afrit dicht gaat (zaterdag bij IKEA). Alle verkeer wordt dan verplicht door te rijden. Het verkeer met een bestemming bij de afrit zal dan geen ander verkeer ophouden.

## Hoofdstuk 8

### Kwetsbaarheidsindicatoren voor links voor echte netwerken

In wetenschappelijke literatuur worden verschillende indicatoren gepresenteerd waarmee de zogenaamde kwetsbaarheid van een link (wegdeel) voor het wegennetwerk bepaald kan worden. De kwetsbaarheid van een link geeft aan hoe groot de effecten van een incident op die link zijn. Het geeft niet aan wat de kans is op een incident.

In het vorige hoofdstuk hebben we een methode laten zien waarmee die kwetsbaarheid uit te rekenen is: simpelweg voor elke link een blokkade simuleren en dan de vertraging uitrekenen. Twee belangrijke nadelen van deze methode zijn: (1) het is geen gericht zoekproces en – daarmee samenhangend – (2) het kost heel veel rekentijd. Daarom zou het handig zijn als er een methode was die de kwetsbaarheid van een link kan voorspellen op basis van in de praktijk meetbare gegevens, zoals bijvoorbeeld het aantal auto's dat van de weg gebruik maakt. Om de kwetsbaarheid van een nieuw te ontwerpen wegennetwerk te bepalen zouden deze gegevens ook uit een computersimulatie van het verkeer op een “gewone dag” van het netwerk verkregen kunnen worden.

Er zijn negen verschillende indicatoren voorgesteld in de literatuur. In dit hoofdstuk vergelijken we deze indicatoren met elkaar en met de uitkomst van een volledige analyse verkregen door het hele netwerk door te rekenen (zoals in het vorige hoofdstuk). We gebruiken drie verschillende netwerken om een aantal verschillen aan te tonen.

De resultaten zijn zeer verrassend. Geen van de indicatoren blijkt goed overeen te komen met de analyses die verkregen worden door het netwerk volledig door te rekenen. Ook zijn de negen indicatoren onderling tegenstrijdig: als de ene indicator een link als kwetsbaar aanmerkt, geeft de andere die link weer een lage kwetsbaarheidsscore. De indicatoren blijken zelfs niet geschikt om een eerste schifting te maken tussen mogelijk kwetsbare links en helemaal geen kwetsbare links.

Tot slot is geprobeerd te kijken of een combinatie van de indicatoren nog een enigszins voorspellende waarde heeft. Daartoe is een deel van de links apart genomen (een kalibratieset) en voor dat deel is de beste combinatie van indicatoren bepaald om de kwetsbaarheid van de links optimaal te voorspellen. Daaruit komt bijvoorbeeld dat indicator 1 een gewicht van 3 krijgt, indicator 2 een gewicht van 2,4 enzovoort. De gecombineerde waarde is dan de som van de gewogen indicatoren. Daarna hebben we die combinatie van indicatoren getest op de overige links, een zogenaamde validatieset. Het blijkt dat wanneer er meer dan één indicator meegenomen wordt in de combinatie, de voorspellende waarde verslechtert. Dit komt omdat de gewichten van de indicatoren bepaald worden voor een bepaalde set, maar er in de kwetsbaarheidsscore ten opzichte van de indicatoren geen herkenbare lijn in aanwezig is. Als er te veel mogelijkheden zijn de waarden van de kwetsbaarheidsfunctie aan te passen aan de specifieke kalibratieset, dan zal dat tijdens de kalibratie gebeuren. Het gevolg is een sterk fluctuerende kwetsbaarheidsindicator als functie van de indicatoren, met als gevolg grotere verschillen in kwetsbaarheid bij de validatieset. Echter, omdat er geen lijn zit in de waarden worden de verkeerde links heel kwetsbaar voorspeld. Dus is de voorspellende waarde kleiner indien er meer indicatoren worden meegenomen.

De conclusie is dat het voorspellen van kwetsbaarheid ofwel inzicht in de verkeersstromen ofwel veel geduld en rekenkracht vereist.

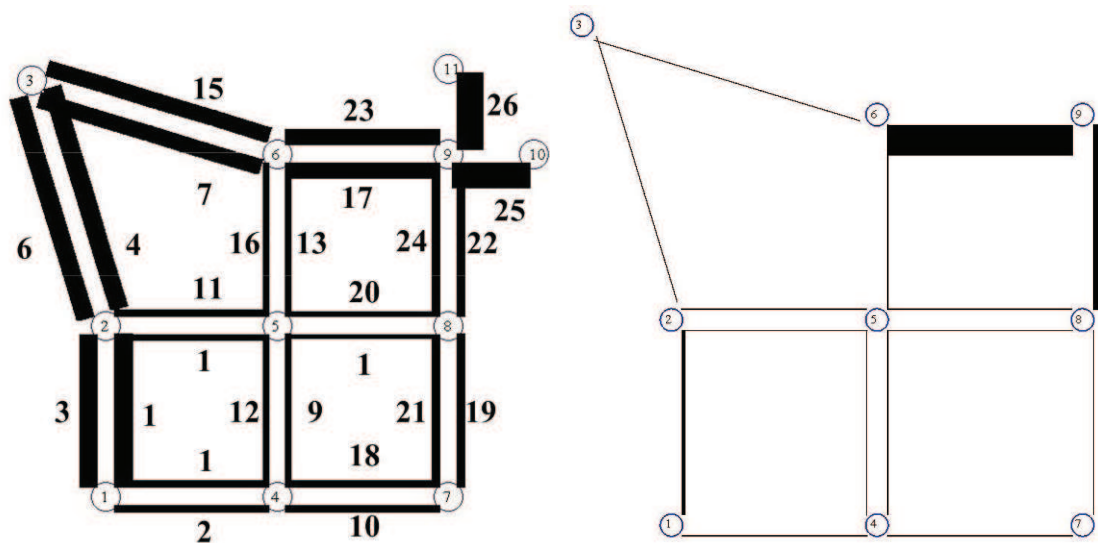
## Hoofdstuk 9

### Risico-mijdende verkeerstoedeling in een dynamische verkeerssimulatieprogramma

Reizigers kiezen vaak voor een risico-mijdende route: ze kiezen liever voor een trage, maar betrouwbare route dan voor een onbetrouwbare route die gemiddeld sneller is. Er bestaat een methode om te kijken welke routes gemeden worden. Routes worden gemeden omdat er een mogelijkheid is dat ze soms erg veel vertraging opleveren. Risico-mijdende routekeuze betekent uitgaan van de slechtste situatie waarbij het ongunstigste geval optreedt. Een risico-mijdende gebruiker kan bijvoorbeeld uitgaan van een ongeval op het meest ongunstige punt. Echter, welk punt het meest ongunstig is, hangt af van welke route hij kiest – en welke route de andere gebruikers kiezen.

Dit hoofdstuk behandelt de theoretische benadering van dit probleem. De gekozen benadering gaat uit van een speltheoretisch probleem waarbij reizigers eerst een route kiezen en er dan in de hoofden van de risico-mijdende gebruikers een “kwade geest” (deze term wordt gebruikt om de theorie te beschrijven) is die een voor hen zo nadelig mogelijke plek kiest om een ongeval te laten plaatsvinden. Ze zullen – per definitie van risico-mijdend – uitgaan van dit risico en daarop hun route aanpassen. Op die aangepaste route komt weer een andere reactie van die “kwade geest” en zo blijven de zetten zich herhalen totdat een evenwicht zich instelt.

De bijdrage van dit onderzoek is dat de invloed van de “kwade geest” meegenomen wordt op meer wegdelen dan op de plaats van het ongeval en op meer tijden dan het tijdstip van het ongeval. Zo wordt fileterugslag (zie hoofdstuk 7) meegenomen én het feit dat de file langer blijft staan dan de duur van het ongeluk. Het effect is dat mensen de routes die risicovol zijn zullen mijden. In ons simpele voorbeeld is er een snelweg om een stad heen, een route door de stad en een provinciale weg langs de andere kant van de stad.



(a) De breedte van de links geeft de grootte van de (b) De breedte van de links geeft de verwachte kans van toeslaan van de “kwade geest” aan

**Figuur 9: Het gebruikte netwerk en de geanticipeerde ongevalskansen**

Waar een niet-risico-mijdende gebruiker de snelweg neemt, in dit voorbeeld, zien we dat hij van deze logische weg afwijkt om een betrouwbaardere route te krijgen.

De waarde van dit hoofdstuk is vooral methodologisch. Om het praktisch toe te passen is het eerst nodig dat nagegaan wordt in hoeverre reizigers inzicht hebben in de risico's en die risico's meenemen in hun route-keuze. Het hoofdstuk introduceert een formule waarmee dat uitgedrukt kan worden. Tevens geeft het aan hoe er met verschillende gebruikersklassen gewerkt kan worden. Op het moment dat die inventarisatie heeft plaatsgevonden voor een bepaald netwerk, is het mogelijk een routekeuzesimulator te maken waarbij mensen aangeven hoe risico-mijdend ze zijn en afhankelijk daarvan een bepaalde route voorgesteld krijgen.

## Hoofdstuk 10

### Conclusies

In dit hoofdstuk leggen we de verbanden tussen de bevindingen die in de verschillende onderzoekshoofdstukken beantwoord zijn. Allereerst is gevonden dat bestuurders een langere reactietijd hebben bij het passeren van een ongelukslocatie. In het bijzonder hebben de meesten een iets verhoogde reactietijd en een minderheid heeft een sterk verhoogde reactietijd tot ongeveer 5 seconde. Daarom zijn de volgafstanden ook ongeveer zo verdeeld. Daardoor gaan er minder auto's per uur over de weg, en is de capaciteit van de weg per overgebleven strook dus lager. De capaciteitsreductie die we voor 90 incidenten bepaald hebben komt grotendeels overeen met de capaciteitsreductie voor de ongevallen waarbij we met de helikopter individuele voertuigen gevolgd hebben: 50% reductie als er iets op de rijbaan staat, 30% reductie als er alleen maar afleiding is (bijvoorbeeld als de vluchtstrook bezet is of als mensen kijken naar de andere rijbaan). Op basis van dit onderzoek concluderen we dat dezelfde veranderingen in rijgedrag die we gevonden hebben bij de

twee ongelukken ook bij andere ongelukken plaatsvinden. Deze effecten zouden kunnen verminderen door de afleiding weg te nemen, bijvoorbeeld door kijkschermen te plaatsen – een maatregel waarmee nu al geëxperimenteerd wordt.

Als doorgerekend wordt wat de effecten van ongevallen zijn, blijkt fileterugslag een belangrijke rol te spelen. Dit blijkt al als de vertraging rond één individuele kruising berekend wordt, maar ook als de vertragingen in een compleet netwerk bepaald worden door de effecten met een computermodel door te rekenen. De negatieve gevolgen van fileterugslag zijn het meest effectief te voorkomen als de incidentduur beperkt wordt.

Een andere manier om de effecten te beperken is door het wegennetwerk goed te ontwerpen. Dan moet het voldoen aan de volgende vijf eigenschappen. Ten eerste heeft een goed ontworpen netwerk voldoende elementen die in normaal gebruik overvloedig zijn. Dat kan betekenen dat er voldoende capaciteit is om het verkeer om te leiden in geval van een ongeluk, maar dat betekent ook dat auto's die in de file moeten staan een plaats kunnen krijgen waarbij ze auto's in andere richtingen niet hinderen. Ten tweede moeten verschillende sub-netwerken onafhankelijk van elkaar kunnen opereren. Een probleem in het ene subnetwerk moet niet leiden tot problemen in het andere subnetwerk. Het gebied kan een subnetwerk bepalen (ongeluk bij Utrecht moet niet voor problemen bij Amsterdam zorgen) of het type weg kan het subnetwerk bepalen (een ongeluk in de stad moet niet voor files op de snelweg zorgen). Als er alleen maar snelweg is, is het ook handig om lokaal verkeer op de snelweg (ringweg) fysiek te scheiden van het verkeer langs de stad, bijvoorbeeld door een vangrail. Ten derde moet de verkeersafwikkeling na een ongeluk snel weer normaliseren, wat bijvoorbeeld kan door voldoende bergingsvoertuigen op strategische plekken te stationeren. Ten vierde dient het netwerk flexibel te zijn, bijvoorbeeld door ervoor te zorgen dat er alternatieve routes zijn en dat er voldoende mogelijkheden zijn reizigers daarover te informeren. Helemaal flexibel wordt een netwerk als stroken bijvoorbeeld voor verkeer in twee richtingen gebruikt kunnen worden ("wisselstroken"). Over het algemeen zijn er (elektronische) regelingen nodig om de flexibiliteit van het netwerk optimaal te gebruiken. Ten vijfde is het van belang dat er balans in het netwerk is, wat wil zeggen dat er een goede mix is tussen hoofdwegen en andere wegen voor verkeer over lange en korte afstand.

De routekeuze van reizigers blijkt verder van belang. Als reizigers goed geïnformeerd worden gaan ze omrijden op het moment dat er een ongeluk is. Een simulatiestudie liet zien dat reizigers ook een andere route kiezen op het moment dat ze risico-mijdend zijn. Dat laatste is goed om mee te nemen in toekomstige routeplanners.

Hoewel dit onderzoek, *Incidenten op de weg en netwerkdynamiek – Effecten op rijgedrag en congestie*, een aantal vragen beantwoordt, zijn er ook twee nieuwe vragen naar boven gekomen. Ten eerste is de vraag waardoor het rijgedrag bij reizigers verandert. Daarvoor moeten psychologische testen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld met bestuurders in een simulator waarbij hun attentie-niveau en hun rijgedrag tegelijk gemeten kan worden. Ook zou dat onderzoek duidelijk moeten maken wat eraan gedaan kan worden om mensen effectief te blijven laten rijden zodat de capaciteit van de weg niet te ver daalt: kijkschermen zijn een optie, maar wellicht zijn er andere, effectievere opties. Ten tweede hebben we gebruik gemaakt van tellussen in de weg om de routekeuze te bepalen. Moderne technieken als GPS en GSM zullen in de toekomst een duidelijker beeld kunnen

geven van de keuzes die mensen maken. Daarbij moet wel meegenomen worden dat die moderne technische hulpmiddelen niet alleen informatie geven aan de onderzoeker over de gemaakte keuze, maar allicht ook zelf invloed hebben op de keuze. Die keuze hoeft overigens niet beperkt te zijn tot het nemen van een andere route, maar de informatie kan er ook voor zorgen dat mensen op een ander moment reizen, een ander vervoermiddel nemen of hun reis veranderen of annuleren. Mochten nieuwe technieken deze keuze beïnvloeden, dan is het interessant te kijken wat het effect is indien deze technieken door meer mensen gebruikt worden.

Methodologisch zijn er enkele nieuwe onderzoeksgebieden naar voren gekomen. Ten eerste toont dit onderzoek aan dat verkeersstromen ook op (kleine) netwerken analytisch uitgerekend kunnen worden (hoofdstuk 6) mét behoud van de stromingseigenschappen van verkeer. Het is interessant te kijken of deze methode ook voor grotere gebieden toegepast kan worden. Verder is er aangetoond dat indicatoren berekend uit de dagelijkse verkeerspatronen niet kunnen aangeven op welke plekken ongevallen de meeste vertraging veroorzaken. Daarom is de vraag welke andere methode dit wel kan aantonen. Tot slot is het nuttig uit te zoeken welke routes reizigers prefereren en of er een zekere mate van risico-mijding ingebouwd dient te worden bij routeplanners.

## Verdere literatuur

Hoofdstukken 3 tot 8 zijn een bewerkte versie van apart uitgebrachte artikelen. Dit zijn:

Hoofdstuk 3:

Knoop, V.L., Van Zuylen, H.J. and Hoogendoorn, S.P. (2009) Microscopic Traffic Behaviour near Accidents. IN Lam, W.H.K., Wong, S.C. and Lo, H.K. (Eds.) *Proceedings of the 18th International Symposium of Transportation and Traffic Theory*. 16-18 June, Hong Kong, China. Springer, New York.

Hoofdstuk 4:

Knoop, V.L., Hoogendoorn, S.P. and Adams, K. Incidents at Motorways: Capacity Reductions and the Effects of Incident Management. *European Journal of Transportation and Infrastructure Research*. Geaccepteerd voor publicatie.

Hoofdstuk 5:

Knoop, V.L., Hoogendoorn, S.P. and Van Zuylen, H.J. (2009) Route Choice Under Exceptional Traffic Conditions, in: *International Conference on Evacuation Management*, 23-25 september 2009, Den Haag.

Hoofdstuk 6:

Knoop, V.L., Hoogendoorn, S.P. and Van Zuylen, H.J. (2010) Stochastic Incident Duration – Impacts on Delay, in: *Proceedings of the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.*, 10-14 January 2010, Washington D.C. Geaccepteerd voor publicatie.

Hoofdstuk 7:

Knoop, V.L., Hoogendoorn, S.P. and Van Zuylen, H.J. (2008) The Influence of Spillback Modelling when Assessing Consequences of Blockings in a Road Network *European Journal of Transportation and Infrastructure Research*, Vol. 8, nr. 4, pp. 287-300.

Hoofdstuk 8:

Knoop, V.L., Hoogendoorn, S.P., Snelder, M. and Van Zuylen, H.J. (2010) Reliability of link-based vulnerability indicators, in: *Proceedings of the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 10-14 January 2010, Washington D.C. Accepted for publication.

Bijlage A gaat over de verwerking van helikopterdata. Die is apart verschenen: Knoop, V.L., Hoogendoorn, S.P. and Van Zuylen, H.J. (in press) Processing Traffic Data collected by Remote Sensing. *Transportation Research Records*

Uiteraard staat het werk meer gedetailleerd beschreven in het proefschrift zelf. De volledige versie daarvan is te downloaden, onder andere via de repository van de TU Delft. Daarin staan vele referenties naar gerelateerd werk.



## Curriculum vitae



Victor L. Knoop werd op 10 juli 1981 in Arnhem geboren. In 1999 behaalde hij zijn diploma aan het “Stedelijk Gymnasium Arnhem”. Daarna begon hij twee studies aan de Universiteit Leiden, wiskunde en natuurkunde. Nadat hij beide propedeuses in een jaar had gehaald, is hij verder gegaan met natuurkunde. Als onderdeel van zijn studie verbleef hij 10 maanden op de École Polytechnique Fédérale de Lausanne in Zwitserland waar hij een onderzoeksproject deed naar vloeistofstromingen. Het laatste deel van zijn studie besteedde hij aan een stage bij TNO. Daar modelleerde hij verkeerslawaaï in een microscopisch verkeerssimulatieprogramma. Hij behaalde zijn doctoraaldiploma natuurkunde aan de Leidse Universiteit in februari 2005.

Tijdens zijn studie was Victor Knoop actief in de Leidse academische gemeenschap. Hij was voorzitter van de studievereniging voor wiskunde, natuurkunde, sterrenkunde en informatica, “De Leidsche Flesch” van februari 2001 tot april 2002. Van september 2002 tot september 2003 was hij lid van het bestuur van de faculteit van wiskunde en natuurwetenschappen van de Universiteit Leiden.

In mei 2005 startte Victor Knoop zijn promotieonderzoek bij de afdeling Transport & Planning aan de Technische Universiteit Delft. Naast zijn promotieonderzoek werkte hij aan verschillende onderzoeksprojecten, onder andere voor Rijkswaterstaat en het havenbedrijf Rotterdam. Als onderdeel van zijn betrekking aan de TU Delft heeft Victor Knoop in 2006 drie maanden stage gelopen bij “Arane adviseurs in verkeer en vervoer”. Daar werkte hij aan een evaluatie van dynamische verkeersborden.

Victor Knoop doceerde in het masters-vak “verkeersstroomtheorie en simulatie”. Bovendien heeft hij tijdens zijn promotie verschillende studenten begeleid bij hun afstudeerwerk.

Een deel van zijn promotieonderzoek heeft Victor Knoop uitgevoerd aan Imperial College in Londen. Van oktober 2007 tot januari 2008 ontwikkelde hij een methode voor een risico-mijdende routekeuze. Voor dit verblijf heeft hij een beurs toegewezen gekregen van de “IDEA league”, een netwerk van vooraanstaande Europese universiteiten in natuurwetenschap en techniek.

Victor Knoop had een actieve inbreng in de onderzoeksschool TRAIL. Zo was hij bijvoorbeeld voorzitter van de promovendi-raad van maart 2007 tot het einde van zijn promotie. Hij was ook actief buiten de academische wereld. In 2004 werd hij lid van een sociaal-liberale politieke jongerenorganisatie. Daar was hij bestuurslid van de Internationale Commissie van juni 2007 tot oktober 2008. Deze commissie zat hij voor van juni tot oktober 2007.

Ook na zijn promotie zal Victor Knoop blijven werken bij de afdeling Transport & Planning van de Technische Universiteit Delft. Hij heeft recentelijk een persoonlijke (Rubicon) beurs toegekend gekregen van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) voor een onderzoek met de titel *Hoe files ontstaan*. Hij zal dit onderzoek uitvoeren aan de École Nationale des Travaux Publics de l’État in Lyon.

Stellingen behorende bij het proefschrift:

**Incidenten op de weg en netwerkdynamiek – effect op rijgedrag en congestie**

Victor Knoop, 2 december 2009

1. Bij incidenten worden bestuurders van motorvoertuigen afgeleid van de rijtaak. Dit zorgt voor gedragsverandering waardoor de wegcapaciteit wordt verlaagd.
2. Routeadvies kan een belangrijke bijdrage leveren aan het verhogen van de robuustheid van het wegennet.
3. Een wegennetwerk is robuuster indien verkeer naar verschillende richtingen in een vroeg stadium gescheiden wordt omdat dit de fileterugslageffecten beperkt.
4. Het effect van files op het hoofdwegennet komt versterkt naar voren omdat de media deze ook melden aan de mensen die er niets mee te maken hebben.
5. Er zijn situaties waar ook op een economisch verantwoord ontworpen wegennetwerk terugkerende files staan. Het is echter niet zo dat de verkeersvraag zo ver stijgt dat er ondanks nieuwe wegen een “wet van behoud van file” bestaat.
6. Om sluipverkeer te weren is het verbeteren van de hoofdroute een betere maatregel dan het verslechteren van de sluiproute.
7. Het zou het verkeer ten goede komen als de overheid het rijbewijs zou beschouwen als een bewijs van bekwaamheid die regelmatig bijgeschoold en/of getoetst moet worden.
8. Een economische recessie is net als een kijkersfile: niemand wil het, maar hij wordt door de mensen zelf veroorzaakt.
9. In de Nederlandse politiek zijn de peilingen van het zeteltal van partijen in de besluitvorming van groter belang dan de eigenlijke zetelverdeling.
10. Een gebruikelijke reactie op een vraag waarvan men het antwoord niet weet is: “Goede vraag.” Dit doet echter het bedenken en stellen van goede vragen tekort.
11. Als regeren vooruitzien is, worden motorrijders in Nederland opgeleid tot goede regenten.

Deze stellingen worden opponeerbaar en verdedigbaar geacht en zijn als zodanig goedgekeurd door de promotoren prof. dr. H.J. van Zuylen en prof. dr. ir. S.P. Hoogendoorn