

**De toekomst voorspeld in de toekomst: files realistisch
gemodelleerd**

Maike Snelder
TNO
maaike.snelder@tno.nl

Jeroen Schrijver
TNO
jeroen.schrijver@tno.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
20 en 21 november 2008, Santpoort**

Samenvatting

De toekomst voorspeld in de toekomst: files realistisch gemodelleerd

Maatregelen die effect hebben op het verkeer zijn vaak ingrijpend, of hebben het doel ingrijpend te zijn. Daarnaast kennen dergelijke maatregelen vaak hoge kosten. Het kunnen inschatten van de verkeerseffecten van een maatregel is daarom erg belangrijk, en wereldwijd is er inmiddels een jarenlange ontwikkeling gaande in voorspellingsmethoden voor verkeerseffecten. Als de effecten van de maatregel goed voorspeld worden, kan gekozen worden voor de meest efficiënte oplossing.

Het toepassen van prognosemodellen is een veel gebruikte methode om inzicht te krijgen in de effecten van maatregelen in het wegennet. Maar elk prognosemodel bevat zijn eigen representatie van de werkelijkheid, dus welk model kan nu het beste gebruikt worden? George Box verwoordde dit in 1979 als volgt: "All models are wrong, some are useful".

Bekend is dat statische en macroscopisch-dynamische verkeersmodellen verschillende resultaten berekenen in zwaarbelaste netwerken. Dit is bijvoorbeeld het gevolg van het feit dat statische modellen de file in de bottleneck plaatsen, in plaats van ervoor, zoals dat in de realiteit gebeurt. Het heeft echter ook te maken met de mate waarin de modellen rekening houden met terugslag van files.

In dit paper wordt aangetoond dat de modelkeuze van invloed kan zijn op de informatie die voor beleidsbeslissingen (zoals de aanleg van nieuwe infrastructuur) beschikbaar is. Drie verschillende vormen van filemodellering binnen dynamische modellen zijn vergeleken:

- een variant met verticale wachtrijen in het knelpunt,
- een variant met horizontale wachtrijen voor het knelpunt,
- een LTM-variant (LTM=Link Transmission Model) met eveneens een horizontale wachtrij voor het knelpunt, maar met een nauwkeurigere modellering van de op- en afbouw van files dan in de vorige variant.

Alle drie de vormen van filemodellering zijn nauwkeuriger dan de filemodellering in de traditionele statische modellen. In dynamische modellen wordt bij alle drie de vormen van filemodellering de ontwikkeling in de tijd gemodelleerd. Bij statische modellen gebeurt dit niet. De LTM-variant geeft van deze drie vormen de opbouw en afbouw van files het meest realistisch weer. Dit blijkt onder andere uit een vergelijking die gemaakt is met een praktijksituatie.

In een voorbeeld voor de regio Haaglanden is aangetoond dat de verschillende vormen van filemodellering andere filelocaties aanwijzen. Dit betekent dat de verschillende modeltypen ook andere investeringslocaties aanwijzen en dat de evaluatie van infrastructuurmaatregelen dus ook tot verschillende kosten-batensaldo's zal leiden. Bij het nemen van infrastructurele maatregelen en bij het bepalen van de effecten hiervan moet dus goed nagedacht worden over de modelkeuze.

1. Inleiding

Maatregelen die effect hebben op het verkeer zijn vaak ingrijpend, of hebben het doel ingrijpend te zijn. Daarnaast kennen dergelijke maatregelen vaak hoge kosten. Het kunnen inschatten van de verkeerseffecten van een maatregel is daarom erg belangrijk, en wereldwijd is er inmiddels een jarenlange ontwikkeling gaande in voorspellingsmethoden voor verkeerseffecten. Als de effecten van de maatregel goed voorspeld worden, kan gekozen worden voor de meest efficiënte oplossing.

Het toepassen van prognosemodellen is een veel gebruikte methode om inzicht te krijgen in de effecten van maatregelen in het wegennet. Maar elk prognosemodel bevat zijn eigen representatie van de werkelijkheid, dus welk model kan nu het beste gebruikt worden? George Box verwoordde dit in 1979 als volgt: "All models are wrong, some are useful".

Bekend is dat statische en macroscopisch-dynamische verkeersmodellen verschillende resultaten berekenen in zwaarbelaste netwerken. Dit is bijvoorbeeld het gevolg van het feit dat statische modellen de file in de bottleneck plaatsen, in plaats van ervoor, zoals dat in de realiteit gebeurt. Het heeft echter ook te maken met de mate waarin de modellen rekening houden met terugslag van files.

Maar ook binnen de wereld van macroscopisch-dynamische modellen kunnen verschillende modelleringstechnieken mogelijk leiden tot verschillende beleidsconclusies. Dit heeft alles te maken met het realisme waarmee de modellen de op- en afbouw van files voorspellen.

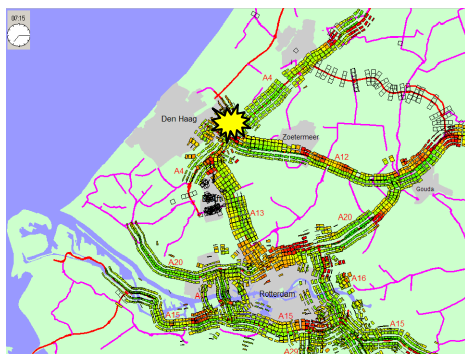
Het dynamische toedelingsmodel Indy, ontwikkeld door TNO, de Technische Universiteit Delft en de Katholieke Universiteit Leuven, beschrijft het verkeer in de tijd, en heeft daarnaast een nieuwe vorm van filemodellering die de op- en afbouw van files realistisch voorspelt. In situaties waarin congestie een rol speelt, en waar gezocht wordt naar oplossingen of veranderingen, is het belangrijk de locatie en duur van files goed te voorspellen.

Dit paper beschrijft een voorbeeldtoepassing van Indy. In deze toepassingen is onderzocht welk effect de nieuwe filemodellering heeft op de informatie die voor beleidsbeslissingen (zoals de aanleg van nieuwe infrastructuur) beschikbaar is. Dit kan leiden tot andere beleidsbeslissingen als gevolg van een betere modelleringstechniek. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het BSIK-programma Next Generation Infrastructures.

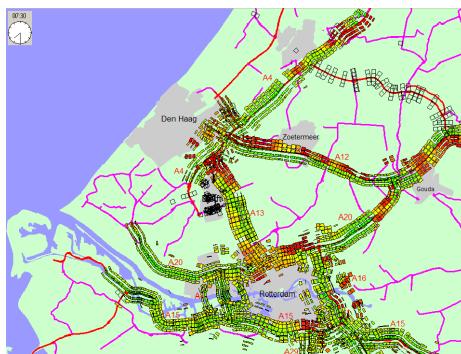
In hoofdstuk 2 van dit paper wordt een praktijkvoorbeeld gepresenteerd waaruit blijkt hoe files opbouwen en afbouwen. Het derde hoofdstuk geeft aan hoe files gemodelleerd kunnen worden in dynamische modellen. In het hoofdstuk daarna wordt aan de hand van een voorbeeld voor Haaglanden aangetoond dat verschillende modeltypen tot verschillende uitkomsten leiden en dat dit dus van invloed kan zijn op infrastructurele beslissingen. In hoofdstuk 5 wordt tot slot de conclusie gepresenteerd.

2. Files in de praktijk

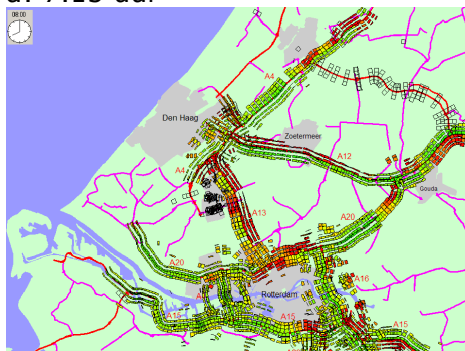
In Figuur 2.1 is weergegeven hoe files opbouwen en afbouwen in de praktijk. In deze figuren is de situatie op de weg op 11 september 2007 weergegeven. Op deze dag gebeurde rond 7.00 uur een ongeluk op de afrit bij Voorburg. Dit voorbeeld is gekozen, omdat hierbij duidelijk zichtbaar was hoe files opbouwen en afbouwen. De Figuren 2.1a t/m 2.1f zijn gebaseerd op lusdata. De kleur van de wegen geeft de snelheid weer. Groen betekent vrije doorstroming en rood betekent file. De breedte van de wegen geeft de intensiteit weer. Hoe breder de weg, hoe hoger de intensiteit. Als de weg filevrij is, is deze groen en breed. Als file ontstaat, veranderen de wegen van groen naar rood en ze worden eerst iets breder en dan smaller. Figuur 2.1a laat zien dat om 7.15 uur de file terugslaat over het Prins Clausplein. Om 8.00 uur staat op de hele A13 file en is de A12 volledig geblokkeerd tot Gouda. Om 8.45 uur staat ook de A13 volledig stil. Figuur 2.1e laat zien dat de file op de A12 oplost vanaf de voorkant van de file en kort daarna lost ook de file op de A13 op vanaf de voorkant. Pas rond 11.00 uur zijn de files opgelost.



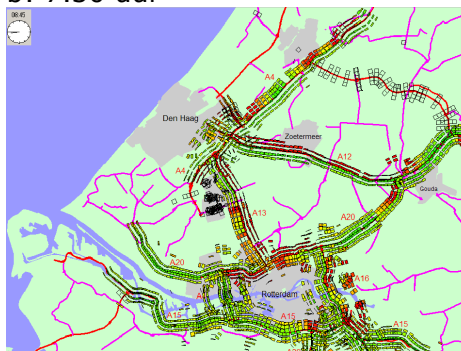
a: 7.15 uur



b: 7.30 uur



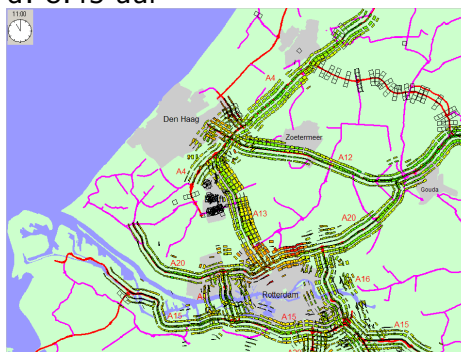
c: 8.00 uur



d: 8.45 uur



e: 10.00 uur



f: 11.00 uur

Figuur 2.1: De opbouw en afbouw van file in de praktijk (Bron: Regiolab).

3. Het modelleren van files met Indy

3.1 Indy in hoofdlijnen

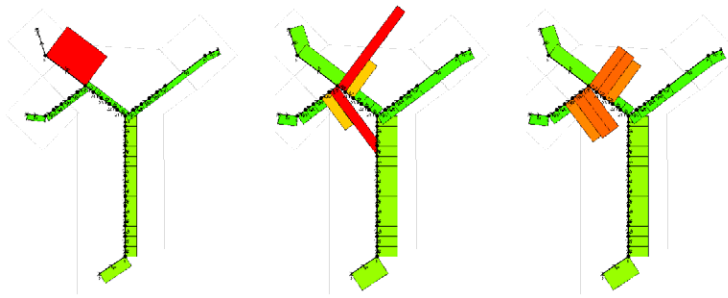
Indy is een macroscopisch dynamisch evenwichtstoedelingsmodel, dat in staat is meerdere bestuurders- en voertuigklassen te onderscheiden. Indy kan in de tijd variërende verkeerscondities voorspellen en is in staat om de locaties waar congestie optreedt accuraat te identificeren, blocking-back effecten te bepalen en een schatting te geven van de vertraging die het verkeer hiervan ondervindt. Met Indy is het bovendien mogelijk om de effecten van dynamische verkeersmanagementmaatregelen en tolheffingen te bepalen. In Bliemer (2005), Bliemer (2007) en Yperman (2007) worden de eigenschappen van Indy in detail toegelicht. In deze en de volgende paragraaf, wordt de werking van Indy en in het bijzonder de filemodellering in Indy toegelicht.

In Figuur 3.1 is het stroomdiagram van Indy weergegeven. Hieronder worden de verschillende onderdelen van Indy kort toegelicht:

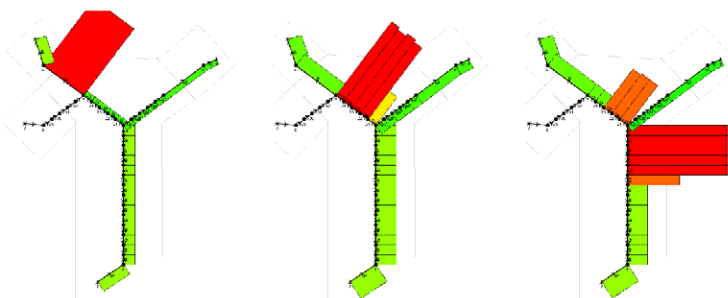
- *Routegeneratie* kan op drie manieren plaatsvinden:
 - o via Monte-Carlo sampling: na aanbrengen van perturbaties op de linkkosten wordt telkens de kortste route gezocht; indien deze voldoende verschilt van al bekende routes, wordt deze in de routeset opgenomen.
 - o Statische evenwichtstoedeling: elk herkomst-bestemmingspaar beschikt slechts over die routes die in een statische evenwichtstoedeling voorkomen.
 - o Een routeset zoals gebruikt in een vorige simulatie.
- *Routekeuze* gebeurt in elke iteratie vóór de toedeling van verkeer aan het netwerk op basis van een multinomiaal logitmodel. Men geeft als gebruiker de tijdstap op waarbinnen de routekeuze constant blijft. De routekeuze vindt plaats voor een vaste vervoervraag (herkomst-bestemmingsmatrix). Deze matrix moet dus buiten het model bepaald worden, met behulp van een vervoersprognosemodel zoals TRASMOVE, het LMS of het NRM.
- *Toedeling van verkeer aan het netwerk* gebeurt volgens de gekozen routestromen. Tijdens de afwikkeling blijven alle routestromen onderscheiden terwijl ze wel interacties met elkaar vertonen. Verkeerstoedeling kan op drie manieren plaatsvinden. Deze worden in de volgende paragraaf toegelicht.

De gebruiker stelt een vast aantal uit te voeren iteraties in. Is dit aantal groter dan 1 dan wordt het resultaat bepaald volgens de 'method of successive averages' (MSA). Hierbij wordt voor elk herkomst-bestemmingspaar de routekeuze bepaald aan de hand van een logit model met als input voor de nutsfunctie de routekosten uit de vorige iteratie. Deze routekeuze wordt gewogen met die uit de vorige iteraties, zodat het proces met zekerheid convergeert (de gebruiker krijgt als uitvoer onder meer informatie over hoe goed deze geconvergeerde toestand het gezochte gebruikersevenwicht benadert).

overeen met de fileopbouw en afbouw zoals deze in de praktijk plaatsvindt (zie hoofdstuk 2).

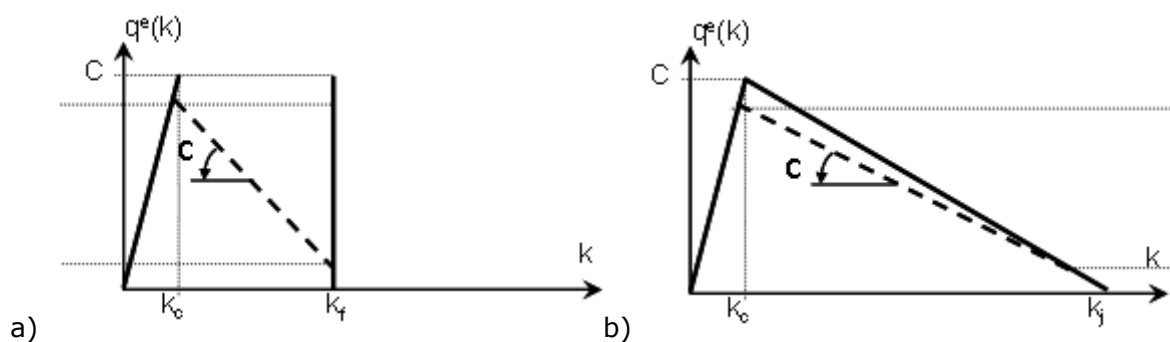


Figuur 3.2: Opbouw van file volgens een statische (links), dynamische (midden) en LTM- filemodellering.



Figuur 3.3: Afbouw van file volgens een statische (links), dynamische (midden) en LTM- filemodellering.

Het verschil tussen de dynamische variant en de LTM-variant wordt hieronder aan de hand van de fundamentele diagrammen in Figuur 3.4 in iets meer detail uitgelegd.



Figuur 3.4: Verband tussen dichtheid k en de bijhorende intensiteit q^e en golfsnelheden c , links (a) volgens de dynamische variant in Indy en rechts (b) volgens de LTM-variant in Indy.

In werkelijkheid is de filedichtheid afhankelijk van de verkeerstoestand. Als de uitstroom van de schakel door een knelpunt stroomafwaarts wordt begrensd, neemt de filedichtheid die hoort bij deze lagere intensiteit toe. In de verkeersstroomtheorie wordt dit weergegeven in een fundamenteel diagram (bijvoorbeeld van driehoekige vorm, zie Figuur 3.4b). Theoretisch kan aangetoond worden dat een overgang van vrije doorstroming (op de stijgende tak van het diagram, met dichtheid $k < k_c$) naar file (dalende tak van het diagram, met dichtheid $k > k_c$) zich als een schokgolf

stroomopwaarts verplaatst, met een golfsnelheid c die men vindt als de verbinding van de overeenkomstige punten in het fundamenteel diagram. In Figuur 3.4 is deze schokgolf met een stippellijn weergegeven. De helling van de dalende tak van het diagram geeft dus de maximale snelheid weer waarmee een file terugslaat. In de praktijk ligt deze snelheid rond de 20 km/u. De LTM-filemodellering werkt volgens deze schokgolftheorie. De dynamische variant kent daarentegen slechts één filedichtheid k_f . Het fundamenteel diagram ziet er dan uit zoals in Figuur 3.4a is weergegeven. De filetak staat nu vertikaal: alle filetoestanden hebben dezelfde dichtheid, welke ook de intensiteit is waarmee het verkeer stroomt. Deze minder realistische vorm van filemodellering zit in de meeste dynamische modellen.

Alle drie de vormen van filemodellering zijn nauwkeuriger dan de filemodellering in de traditionele statische modellen. Doordat Indy dynamisch is, wordt bij alle drie de vormen van filemodellering de ontwikkeling in de tijd gemodelleerd. Bij statische modellen gebeurt dit niet. De term statisch voor de eerste vorm van filemodellering van Indy is wellicht verwarrend. Statisch staat in deze voor de plek van de file en niet voor de tijd.

4. Een toepassing op de regio Haaglanden

Om het effect van de verschillende typen van filemodellering duidelijk te maken is een voorbeeld doorgerekend voor de regio Haaglanden. Met Indy is een dynamische toedeling gemaakt voor de regio Haaglanden met de drie in het voorgaande hoofdstuk genoemde vormen van filemodellering. De verkeerssimulaties lopen van 6.00 uur tot 12.00 uur op een gemiddelde werkdag.

4.1 Netwerk en vervoervraag

In Figuur 4.1 is het netwerk van Haaglanden weergegeven. Het netwerk is een uitsnede van het netwerk uit het NRM-Randstad.



Figuur 4.1: Uitsnede van het NRM-netwerk voor de regio Haaglanden in 2000

Tabel 4 1 en Tabel 4 2 beschrijven de netwerkeigenschappen van de regio Haaglanden en het aantal verplaatsingen in deze regio.

Tabel 4.1: Kenmerken van het netwerk van de regio Haaglanden.

	2000
Links	2015
Knopen	1122
Zones	211

Tabel 4.2: Aantal vracht- en autoverplaatsingen in de regio Haaglanden in 2000.

	2000
6.00 – 7.00 uur	73.145
7.00 – 8.00 uur	131.384
8.00 – 9.00 uur	129.295
9.00 – 10.00 uur	86.352
10.00 – 11.00 uur	77.209
11.00 – 12.00 uur	73.145

4.2 Resultaten

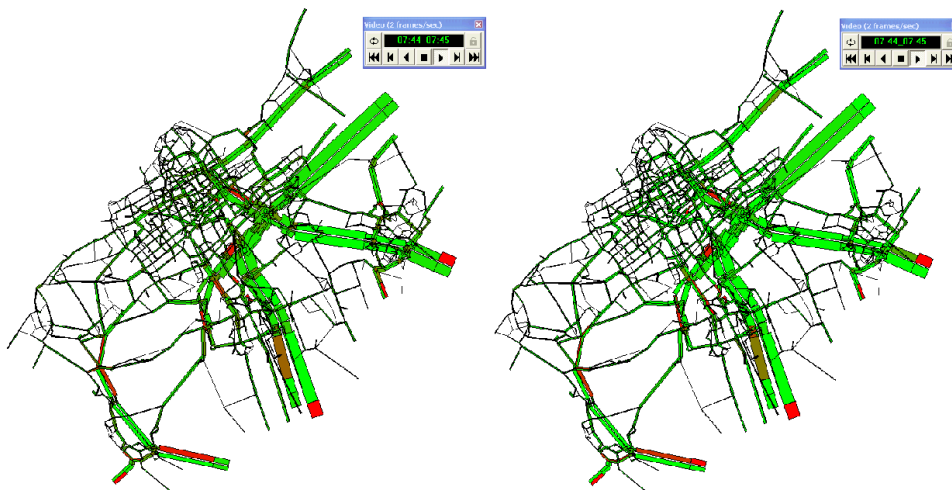
De resultaten van de modelanalyse zijn weergegeven in Figuur 4.2 t/m Figuur 4.5. De kleuren in deze figuren komen overeen met de snelheidsratio. Een groene kleur betekent dat de verhouding tussen de gerealiseerde snelheid en de maximumsnelheid groter is dan 0.6. Hoe groener, hoe beter de doorstroming. Op de rode wegen staat het verkeer vrijwel stil. Daarnaast geldt dat bredere wegen (de dikte van de balkjes) een hogere intensiteit hebben dan de smalle wegen.

Figuur 4.2 geeft de toestand op de weg weer volgens de toedeling met statische filemodellering om 7.45 uur. Uit deze figuur blijkt dat deze variant van Indy in staat is om een aantal knelpunten te identificeren. Het eerste knelpunt is het knelpunt op de A13 richting Den-Haag voor Delft-Zuid. In praktijk houdt de file meestal al één afslag eerder op bij Berkel en Rodenrijs. Doordat het netwerk aan de randen niet nauwkeurig is dit onderscheid niet te maken. Het tweede knelpunt ligt op de A13 richting Rotterdam voor het Kleinpolderplein. Het Kleinpolderplein zelf zit niet in het netwerk. Dit plein is in praktijk een knelpunt doordat de capaciteit op het Kleinpolderplein lager is dan de capaciteit van de snelwegen die op plein samenkomen. Deze verlaagde capaciteit is gesimuleerd door de capaciteit van de laatste link in het netwerk die aan het Kleinpolderplein grenst te verlagen tot de capaciteit van het Kleinpolderplein. Hierdoor is het toch mogelijk om de files op de A13 in het model mee te nemen. Het derde knelpunt is te vinden bij Zoetermeer op de A12 richting Utrecht en tot slot is op de Utrechtsebaan het ontstaan van een file richting Den Haag zichtbaar aan de groen-rode kleur.



Figuur 4.2: Gerealiseerde snelheid bij de statische filemodellering om 7.45 uur.

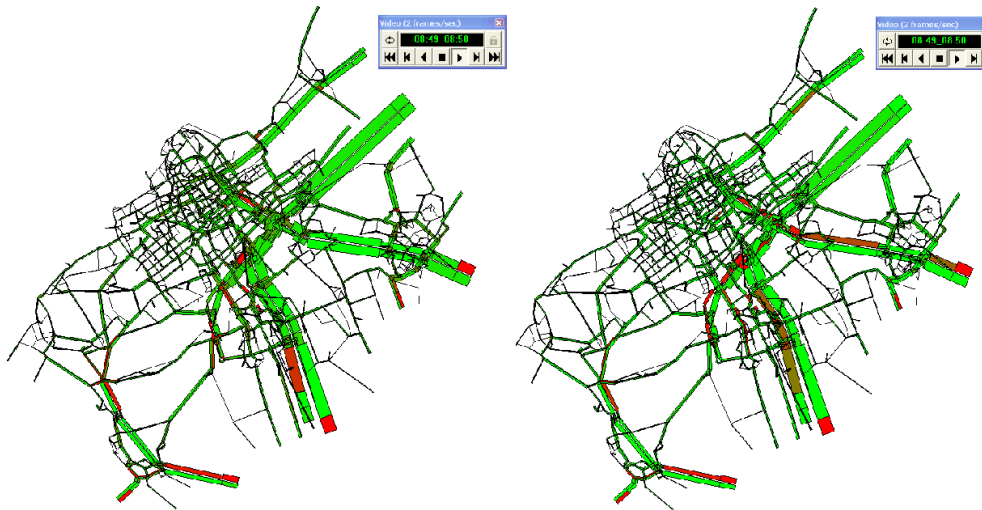
In Figuur 4.3 is de toestand op de weg om 7.45 uur weergegeven zoals die uit de toedelingen met de dynamische vorm van filemodellering en de LTM-variant blijkt. Op dit tijdstip is het verschil tussen beide varianten op het oog niet zichtbaar. Er is echter wel een duidelijk verschil met de statische variant. Dit is vooral op de A12 richting Utrecht en op de A13 richting Den Haag zichtbaar. In de statische variant zijn alle voertuigen 'opgestapeld' in de knelpunten. Hierdoor wordt de snelheid in deze knelpunten heel laag (rode kleur). In de andere twee varianten ontstaat een 'horizontale wachtrij' stroomopwaarts van het knelpunt. Hierdoor zijn de schakels voor de knelpunten op de A12 en de A13 rood.



Figuur 4.2: Gerealiseerde snelheid bij de dynamische filemodellering (links) en de LTM-filemodellering (rechts) om 7.45 uur.

Figuur 4.4 geeft de toestand een uur later op de weg weer om 8.45 uur. In deze afbeelding is het verschil tussen de dynamische filemodellering en de LTM-modellering duidelijker. In de rechter figuur hebben de files zich veel meer verspreid over het netwerk. Dit komt overeen met de theoretische verschillen tussen beide modelleringen:

- bij de dynamische vorm van filemodellering blijft de kop van de file altijd voor het knelpunt staan. Ook als het knelpunt weg is. Hierdoor lijkt het alsof de auto's aan de achterkant van de file de file verlaten.
- in het LTM model rijden de voertuigen aan de voorkant van de file de file uit. Dit is duidelijk zichtbaar als de bottleneck verdwijnt. De kop van de file verplaatst zich dan naar achter (stroomopwaarts). Ook als de bottleneck niet verdwijnt, verlaten de auto's aan de voorkant van de file de file. De dichtheid op wegen is hierdoor lager en de file slaat sneller terug naar achteren.



Figuur 4.5: Gerealiseerde snelheid bij de dynamische filemodellering (links) en de LTM-filemodellering (rechts) om 8.45 uur.

In Figuur 4.6 is een verschilplot weergegeven tussen de LTM-variant en de statische variant van filemodellering. Een grijze kleur in deze figuur betekent dat beide varianten evenveel files voorspellen. Rood betekent dat LTM meer files voorspelt en groen betekent dat de dynamische variant meer files voorspelt. Hierbij is de dichtheid, het aantal voertuigen per kilometer, als indicator gebruikt voor files. Deze figuur laat duidelijk het verschil zien tussen beide vormen van filemodellering. De statische variant geeft in het knelpunt een hele hoge dichtheid weer. Dit is te zien aan de groene balkjes. De LTM-variant zet de file voor het knelpunt. Op de rode wegen staat dus file die door terugslag veroorzaakt wordt. Uit de figuur blijkt dat beide vormen van filemodellering de files dus op een andere locatie voorspellen. Figuur 4.7 is een vergelijkbare figuur waarin het verschil tussen de LTM-variant en de dynamische variant is weergegeven. Deze figuur laat zien dat deze twee vormen van filemodellering eveneens andere locaties van files voorspellen.

Beide figuren tonen aan dat de modelkeuze van invloed kan zijn bij het nemen van infrastructurele beslissingen. Als bijvoorbeeld maatregelen bedacht worden om de Utrechtsebaan of het Prins Clausplein te verbeteren, kan het voorkomen dat de statische variant en de dynamische variant een negatief resultaat laten zien in een kosten-batenanalyse, waar de LTM-variant misschien een positief resultaat laat zien. Dit komt doordat de filemodellering in de LTM-variant aangeeft dat op deze locaties files staan, terwijl dit niet blijkt uit de andere twee vormen van filemodellering. Een

infrastructuurmaatregel heeft grotere baten als het niveau van congestie door de maatregel sterk teruggedrongen kan worden.



Figuur 4.6: Verschil in dichtheid tussen de LTM-variant en de statische variant van filemodellering om 8.45 uur.



Figuur 4.7: Verschil in dichtheid tussen de LTM-variant en de dynamische variant van filemodellering om 8.45 uur.

In Tabel 4.3 en Tabel 4.4 zijn de resultaten weergegeven bij de verschillende vormen van filemodellering. Het aantal voertuigkilometers is vrijwel gelijk bij alle vormen van filemodellering. Alleen bij de LTM-variant is deze 0,3% hoger dan in de andere varianten. Doordat er meer file staat, wordt meer gebruik gemaakt van alternatieve routes die gemiddeld gezien iets langer zijn. Uit de gemiddelde snelheid en de totale reistijd bij de drie varianten blijkt dat de statische variant 4% à 5% minder file voorspelt dan de andere twee varianten. Daarnaast blijkt uit de tabellen dat de LTM-variant meer file voorspelt dan de dynamische variant. Dit komt overeen met de eerdere constatering op basis van Figuur 4.6.

Tabel 4.3: Vervoersprestatie bij de verschillende vormen van filemodellering (absolute waarden)

Filemodellering	Voertuigkilometers (km)	Totale reistijd (uur)	Gem. Snelheid (km/uur)
Statisch	6506027	140092	46,4
Dynamisch	6505406	145453	44,7
LTM	6528395	146551	44,5

Tabel 4.4: Vervoersprestatie bij de verschillende vormen van filemodellering (index statisch =100)

Filemodellering	Voertuigkilometers	Totale reistijd	Gem. Snelheid
Statisch	100	100	100
Dynamisch	100.0	103.8	96.3
LTM	100.3	104.6	95.9

5. Conclusie

In dit paper hebben we laten zien dat de modelkeuze van invloed kan zijn op de informatie die voor beleidsbeslissingen (zoals de aanleg van nieuwe infrastructuur) beschikbaar is. Drie verschillende vormen van filemodellering binnen dynamische modellen zijn vergeleken:

- een variant met verticale wachtrijen in het knelpunt,
- een variant met horizontale wachtrijen voor het knelpunt,
- een LTM-variant (LTM=Link Transmission Model) met eveneens een horizontale wachtrij voor het knelpunt, maar met een nauwkeurigere modellering van de op- en afbouw van files dan in de vorige variant.

Alle drie de vormen van filemodellering zijn nauwkeuriger dan de filemodellering in de traditionele statische modellen. In dynamische modellen wordt bij alle drie de vormen van filemodellering de ontwikkeling in de tijd gemodelleerd. Bij statische modellen gebeurt dit niet. De LTM-variant geeft van deze drie vormen de opbouw en afbouw van files het meest realistisch weer. Dit blijkt onder andere uit een vergelijking die gemaakt is met een praktijksituatie.

In een voorbeeld voor de regio Haaglanden is aangetoond dat de verschillende vormen van filemodellering andere filelocaties aanwijzen. Dit betekent dat de verschillende modeltypen ook andere investeringslocaties aanwijzen en dat de evaluatie van infrastructuurmaatregelen dus ook tot verschillende kosten-batensaldo's zal leiden. Bij

het nemen van infrastructurele maatregelen en bij het bepalen van de effecten hiervan moet dus goed nagedacht worden over de modelkeuze.

Referenties

Bliemer M.C.J. (2005) *INDY 2.0 Model Specifications*, Delft University of Technology.

Bliemer M.C.J. (2007) Dynamic Queuing and Spillback in an Analytical Multiclass Dynamic Network Loading Model, in: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2029, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.

Yperman I. (2007) *The Link Transmission Model for Dynamic Network Loading*, Catholic University of Leuven, Leuven.