

(Bijdragenr. 117)

Nieuwe inzichten door expliciete beschouwing van de variabiliteit in het verkeer

Onno Miete

(Rijkswaterstaat – Dienst Verkeer en Scheepvaart)

Samenvatting

In modelstudies ter beoordeling van de effectiviteit van congestiemaatregelen, wordt doorgaans slechts één – representatief geachte – situatie doorgerekend. In werkelijkheid wordt verkeer echter gekenmerkt door een grote variabiliteit. Onderzoek heeft aangetoond dat deze variabiliteit eigenlijk expliciet meegenomen zou moeten worden in modelstudies, omdat dit tot belangrijke nieuwe inzichten kan leiden.

1. Introductie

In de afgelopen decennia heeft verkeerscongestie op snelwegen zich ontwikkeld tot een serieus probleem, met hoge maatschappelijke kosten. Overheden treffen daarom vele maatregelen om deze congestie te reduceren. Dit zijn maatregelen van zeer uiteenlopende aard, bestaande uit zowel infrastructurele maatregelen (zoals het toevoegen van extra rijstroken, verlengen van weefvakken en aanleggen van geheel nieuwe verbindingen), maatregelen op het gebied van dynamisch verkeersmanagement (zoals het realiseren van toeritdosering en aanleggen van spitsstroken), als maatregelen van financiële aard (zoals het invoeren van beprijzings- of beloningssystemen).

Voordat een dergelijke maatregel wordt genomen, wordt eerst een inschatting gemaakt van de te verwachten effecten van deze maatregel (en eventuele alternatieven). Hiertoe wordt vaak een modelstudie uitgevoerd, met behulp van een statisch of dynamisch verkeerssimulatiemodel (afhankelijk van het type maatregel). In zulke modelstudies wordt doorgaans slechts één – representatief geachte – situatie doorgerekend. In termen van de modeltoepassing betekent dit dat er met één vastgestelde verzameling inputwaarden en modelparameters wordt gewerkt, die binnen de modelstudie niet wordt gevarieerd. Soms wordt er naast de ‘representatieve’ situatie nog een aantal verstoringsscenario’s doorgerekend (bijvoorbeeld met een vooraf gespecificeerd incident), maar meestal niet meer dan dat.

Het bovenstaande betekent dat er in de huidige praktijk van modelstudies eigenlijk niet of nauwelijks rekening wordt gehouden met de variabiliteit in het verkeer. In werkelijkheid is deze variabiliteit echter aanzienlijk (1-4). De locaties, tijdstippen en lengtes van files kunnen van dag tot dag sterk verschillen, wat het gevolg is van variaties in een grote verscheidenheid aan invloedsfactoren. Dit betekent dat de geschiktheid van de huidige aanpak in feite zeer discutabel is.

Men zou kunnen denken dat deze bedenking niet van toepassing is op studies waarin gebruik wordt gemaakt van *microsimulatiemodellen*. Microsimulaties worden immers gekenmerkt door een zekere mate van stochastische variabiliteit, waardoor men altijd meerdere simulaties uit moet voeren om ‘stabiele’ uitkomsten te verkrijgen. Inderdaad worden op deze manier bepaalde soorten verkeersfluctuaties meegenomen, maar lang niet alle. Welke soorten fluctuaties er allemaal onderscheden kunnen worden komt aan de orde in paragraaf 2 van deze bijdrage.

Vanwege de twijfels omtrent de geschiktheid van de traditionele aanpak, is in het ITS Edulab – een samenwerkingsverband tussen de Technische Universiteit Delft en Rijkswaterstaat – recentelijk een onderzoek uitgevoerd waarin (de bestrijding van) verkeerscongestie beschouwd is vanuit een *probabilistisch* perspectief. De belangrijkste doelstelling van dit project was om uit te vinden in hoeverre men tot nieuwe inzichten kan komen wanneer men de variabiliteit in de dagelijkse snelwegcongestie wel expliciet/systematisch in de beschouwing betreft.

Het project omvatte vier deelstudies. Aan elk van deze deelstudies wordt in deze bijdrage een afzonderlijke paragraaf gewijd. Paragraaf 2 gaat in op het eerste deel, waarin onderzocht is welke mechanismes (factoren/processen) een rol spelen in de variabiliteit van het verkeer. Wanneer deze variabiliteit expliciet meegenomen wordt in modelstudies, is het niet eenvoudig

meer te zeggen welke indicatoren gebruikt moeten worden voor het beoordelen van de verkeerskwaliteit. Aan dit vraagstuk is aandacht besteed in de tweede deelstudie, die onderwerp is van paragraaf 3. Om na te kunnen gaan in hoeverre het meenemen van de variabiliteit tot nieuwe inzichten kan leiden, was het nodig om een model te ontwikkelen waarin de verschillende soorten variaties systematisch gemodelleerd konden worden (deelstudie 3). Dit model wordt besproken in paragraaf 4. Paragraaf 5 behandelt vervolgens de met dit model opgedane bevindingen, waarna paragraaf 6 afsluit met een aantal conclusies.

2. Mechanismes

In wezen kan het mechanisme achter verkeerscongestie (en de variabiliteit daarin) worden beschreven als een confrontatieproces tussen enerzijds de verkeersvraag (de hoeveelheid voertuigen die wil passeren) en anderzijds het verkeersaanbod (de capaciteit: de maximale hoeveelheid voertuigen die *kán* passeren) op de wegvakken van het netwerk. Zowel vraag als aanbod vertoont een aanzienlijke variatie over de tijd, waardoor de resulterende verkeerstoestand ook aan variatie onderhevig is. Voor deze variabiliteit is een groot aantal verschillende ‘bronnen’ (invloedsfactoren) aan te wijzen. Voor het verkeersaanbod (capaciteit) zijn dat: weersvariaties, lichtvariaties, wegwerkzaamheden, incidenten, verkeersregeling, variaties in de samenstelling van de verkeersstroom (zowel qua voertuigen als qua bestuurders), en de intrinsieke variabiliteit (‘willekeur’) in menselijk rijgedrag. Deze intrinsieke variabiliteit verwijst naar variaties (zowel tussen bestuurders onderling als ‘binnen’ één-en-dezelfde bestuurder) die niet verklaard kunnen worden door invloeden van buitenaf.

Voor wat betreft de variatie in de verkeersvraag hebben we in de eerste plaats te maken met een aantal systematische patronen in verplaatsingsgedrag (als functie van de tijd van de dag, de dag van de week en de periode van het jaar), gerelateerd aan bepaalde zichzelf herhalende maatschappelijke activiteitenpatronen. Andere bronnen van variabiliteit in de verkeersvraag zijn: vakanties, speciale dagen (zoals feestdagen), weersvariaties, evenementen, wegwerkzaamheden, en de intrinsieke variabiliteit (‘willekeur’) in de reiskeuzes van individuele reizigers (variaties die niet verklaard kunnen worden uit een gemeenschappelijk gedeelde externe invloedfactor).

Merk op dat verkeersinformatie (of eigen recente ervaringen) niet als (primaire) bron van variaties in de verkeersvraag gezien wordt, ook al zal deze wel een rol spelen in die variaties. Variaties naar aanleiding van verkeersinformatie bestaan immers enkel vanwege de door andere oorzaken in het verkeer aanwezige variaties. Als zulke andere (primaire) bronnen van variabiliteit niet zouden bestaan, zou het verkeer op voorhand volledig voorspelbaar zijn. Bijgevolg zou verkeersinformatie dan nooit aanleiding zijn om anders te gaan reizen.

In modelstudies volgens de traditionele (deterministische) aanpak, worden al deze (of althans de meeste) variatiebronnen buiten beschouwing gelaten. Voor de verkeersbelasting wordt simpelweg één ‘representatief’ patroon genomen, en evenzo ook voor het verkeersaanbod (capaciteiten) één verzameling van ‘representatieve’ waarden.

Hoewel het mechanisme achter verkeerscongestie (en de variabiliteit daarin) voor *gegeven* waarden van verkeersvraag en -aanbod op een wegvak beschreven kan worden als een simpel,

lokaal vraag-aanbodproces, is de werkelijkheid ingewikkelder. Deze waarden van vraag en aanbod staan namelijk niet op zichzelf, maar zijn afhankelijk van de (variabele) verkeerstoestand op andere delen van het wegennet. Deze afhankelijkheden tussen de verkeerstoestanden op verschillende onderdelen van een netwerk komen voort uit een aantal 'netwerkeffecten' van files:

- *Fileterugslag*: door zijn fysieke dimensie, kan een op een bepaald wegvak ontstane file ook op andere wegvakken (van dezelfde weg of zelfs van andere wegen) de doorstroming gaan blokkeren.
- *Dosering*: door de doorstroming te beperken, en daardoor het verkeer te vertragen, zal de op een zeker wegvak aanwezige congestie de verkeersvraag op stroomafwaarts gelegen wegvakken herverdelen over de tijd.
- *Routekeuze-effect*: wanneer er op een bepaalde route meer of minder congestie is dan gewoonlijk, kan dit weggebruikers ertoe bewegen af te wijken van hun 'standaard-route'. Dit zal een verschuiving in de verkeersvraag teweegbrengen.

Vanzelfsprekend kunnen deze mechanismes in een modelstudie enkel gemodelleerd worden wanneer de dynamiek van de verkeersstromen beschouwd wordt op netwerkniveau. Dit stelt eisen aan het te gebruiken model en het gehanteerde studiegebied. Dit studiegebied mag zich niet beperken tot het wegvak dat onderwerp van studie is, maar zal ook het omliggende netwerk moeten omvatten.

3. Verkeerskwaliteit vanuit een probabilistisch perspectief

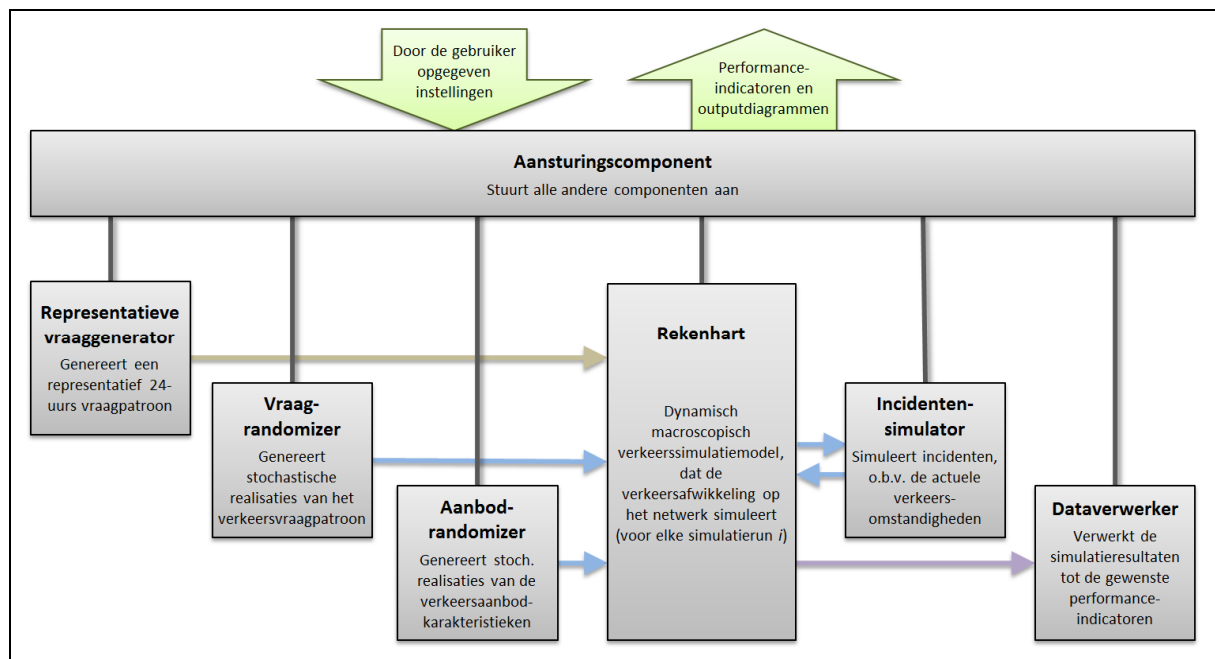
Wanneer de variabiliteit in het verkeer expliciet meegenomen wordt in de beoordeling van de verkeerseffecten van congestiemaatregelen, moet eerst besloten worden welke maatstaf gebruikt wordt voor de verkeerskwaliteit. Dit is dan namelijk niet zo eenvoudig meer. Natuurlijk vormen de door weggebruikers ondervonden vertragingen nog altijd een zeer belangrijke prestatie maat. Een complicerende factor is echter dat we in plaats van één enkele waarde voor de reistijd op een bepaalde route (op een gegeven moment van de dag), nu een hele *verdeling* hebben voor deze reistijdvariabele. Uiteraard is de relevante informatie die deze verdeling ons geeft niet beperkt tot haar gemiddelde of mediaan. Reistijdonzekerheid is immers ook een belangrijk kwaliteitsaspect, gezien het feit dat deze onzekerheid een belangrijke bijdrage levert aan de totale maatschappelijke kosten van files.

Het is moeilijk om een goede indicator te vinden voor deze reistijdonzekerheid. Het is duidelijk dat de onzekerheidskosten verband houden met bepaalde eigenschappen van de reistijdverdeling (breedte, scheefheid, etc.), maar niet precies op welke manier. De in de praktijk en internationale literatuur gehanteerde indicatoren hebben allemaal hun beperkingen, omdat elk van hen slechts een deel van de in de reistijdverdeling besloten liggende informatie weerspiegelt. Zie ook Van Lint et al. (5), die illustreren dat verschillende reistijdbetrouwbaarheidsindicatoren één-en-dezelfde situatie sterk verschillend kunnen beoordelen. Zolang de precieze relatie tussen de maatschappelijke kosten van files en de vorm en afmetingen van reistijdverdelingen onduidelijk blijft, zal er geen keuze gemaakt kunnen worden voor één bepaalde indicator, maar zal gewerkt moeten worden met een verzameling van meerdere statistieken van deze reistijdverdelingen.

4. Model

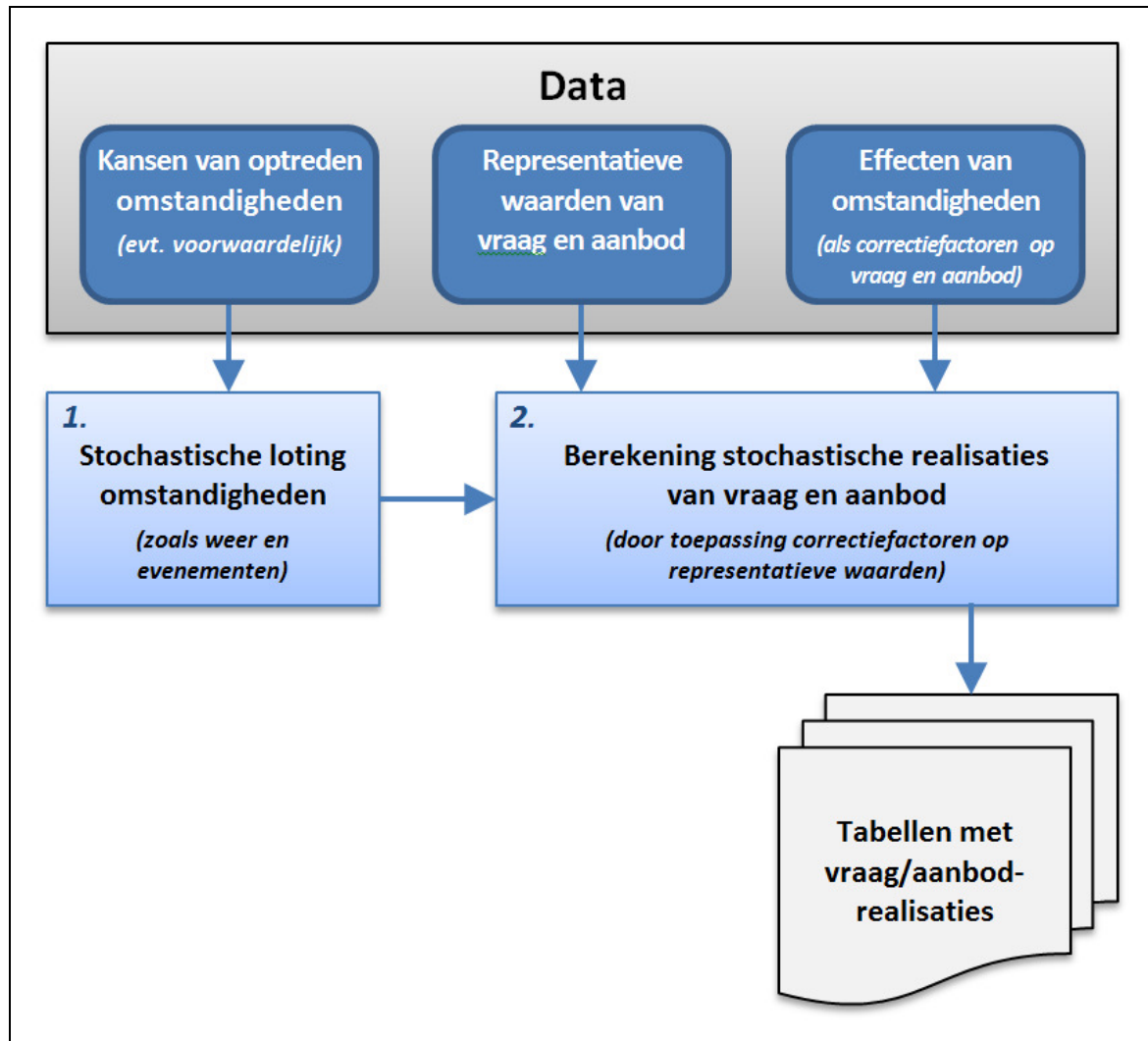
In het verleden zijn verschillende modellen ontwikkeld die iets met de variabiliteit in het verkeer doen, zie bijvoorbeeld (6-8). De beschouwde modellen blijken echter elk wel één of meerdere beperkingen te hebben die ze minder geschikt maken voor dit onderzoek. Een van de meest voorkomende beperkingen is dat het model slechts een geïsoleerd wegvak of één enkele weg beschouwt, in plaats van een *netwerk*. In paragraaf 2 is uitgelegd waarom de variabiliteit in het verkeer met zo'n model niet goed gemodelleerd kan worden.

Vanwege de beperkingen van bestaande modellen, is in dit project een nieuw model ontwikkeld. Figuur 1 toont schematisch de hoofdstructuur van dit model. Het model heeft een (enigszins aangepaste) bestaande verkeerssimulator als rekenhart. Dit is het dynamische macroscopische simulatiemodel JDSMART, ontwikkeld aan de TU Delft (9). De variabiliteit in het verkeer wordt gemodelleerd door met dit rekenhart een groot aantal verkeerssimulaties uit te voeren (één etmaal per simulatie), met variërende invoer. Deze invoervariaties weerspiegelen de variaties in de verkeersvraag- en -aanbodgrootheden. Vervolgens kunnen de gewenste prestatie-indicatoren (voor de verkeerskwaliteit) berekend worden uit de gecombineerde verzameling van alle simulatieresultaten.



Figuur 1: Structuur van het ontwikkelde model

De (variërende) invoer voor de verkeerssimulaties (bestaande uit verkeersvraagpatronen en aanbodwaarden) worden gegenereerd door de 'vraag- en aanbodrandomizers'. Daarbij wordt met tijdsintervallen van 5 minuten gewerkt. De verkeersvraag wordt gevarieerd op het niveau van individuele herkomst-bestemmingsrelaties, en de verkeersaanbodgrootheden op het niveau van individuele netwerkcellen (delen van wegvakken). Zoals weergegeven in Figuur 2, vindt deze (stochastische) generatie van vraag en aanbod plaats in twee stappen: (Monte Carlo-) loting van de omstandigheden en berekening van de daaruit resulterende vraag- en aanbodwaarden.



Figuur 2: Schematische uitleg van de werking van de vraag- en aanbodrandomizers

5. Casestudy

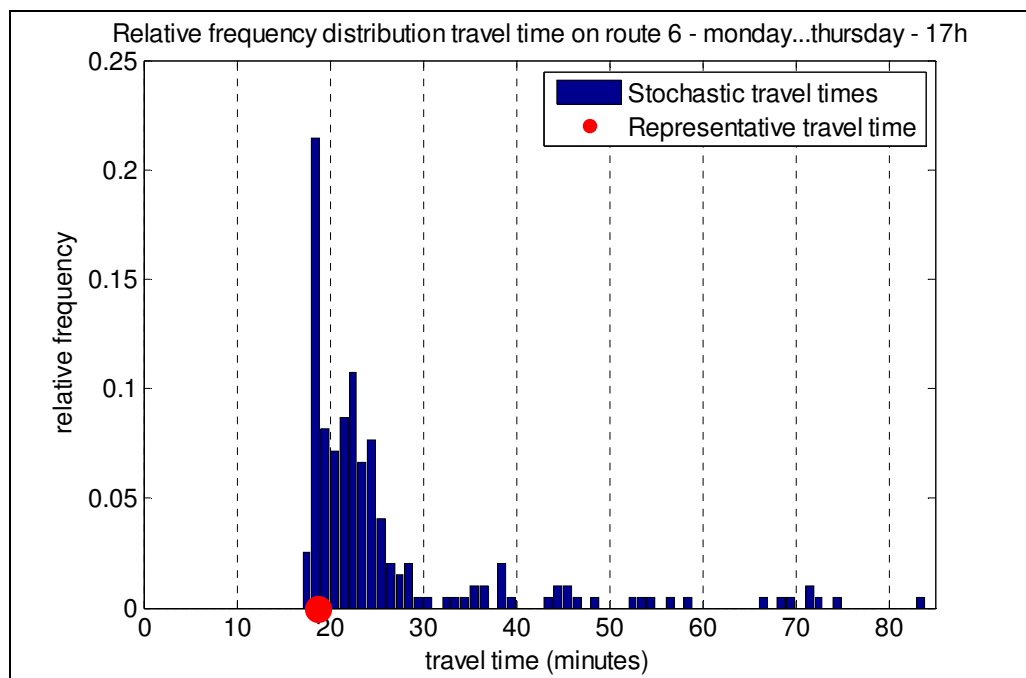
Om te verkennen welke (potentiële) nieuwe inzichten de expliciete modellering van de variabiliteit nu oplevert, zijn met het hierboven beschreven model berekeningen uitgevoerd voor een real-life wegennet van redelijke omvang. Hierbij moet opgemerkt worden dat in de betreffende analyses niet *alle* bronnen van variabiliteit meegenomen zijn: incidenten en wegwerkzaamheden zijn hierin buiten beschouwing gelaten. De volgende drie deelparagrafen zullen in het kort de resultaten van deze analyses presenteren.

5.1 Congestieniveau

Uit de met het model verkregen resultaten is duidelijk dat een ‘traditionele’ modelstudie (waarin slechts één – representatief geachte – situatie doorgerekend wordt), geen goed beeld

geeft van de performance van het verkeerssysteem. Op twee punten gaat het mis. Het eerste punt is vanzelfsprekend: doordat de (dag-tot-dag) variabiliteit buiten beschouwing gelaten wordt, blijft het aspect reistijd(on)betrouwbaarheid per definitie buiten beschouwing, terwijl dat aspect toch een zeer belangrijke component vormt van de performance (verkeerskwaliteit).

Het tweede punt is minder vanzelfsprekend. Het blijkt dat een ‘representatieve’ berekening de verkeerscongestie in bepaalde opzichten onderschat. Dat wil zeggen dat de voor de ‘representatieve’ situatie (waarin alle vraag- en aanbodkenmerken een ‘representatieve’ waarde hebben, zoals gemiddelde of mediaan) berekende hoeveelheid congestie zelf niet zo representatief is. Een voorbeeld daarvan is te zien in Figuur 3. Deze figuur toont de gesimuleerde frequentieverdeling van de reistijd op een bepaalde route over het netwerk, om vijf uur 's middags (dagsoort: maandag-donderdag). De rode stip laat de met de ‘representatieve’ berekening gevonden reistijd zien. Uit de grafiek blijkt duidelijk dat de reistijd onder invloed van de variaties vaak beduidend hoger ligt dan deze deterministisch berekende waarde. Andersom ligt de reistijd niet zo vaak lager dan die deterministische waarde, en ook nooit zo veel. Dit betekent dus dat de voor de 'representatieve situatie' berekende reistijd de gemiddelde reistijd aanzienlijk onderschat, en in dit geval zelfs ook de mediane reistijd.



Figuur 3: Voorbeeld van een gesimuleerde reistijdverdeling

Deze onderschatting kan worden verklaard uit het feit dat de in de ‘representatieve’ berekening buiten beschouwing gelaten variabiliteit de verkeerskwaliteit in de praktijk overwegend *negatief* beïnvloedt. Deze overwegend negatieve invloed komt voort uit:

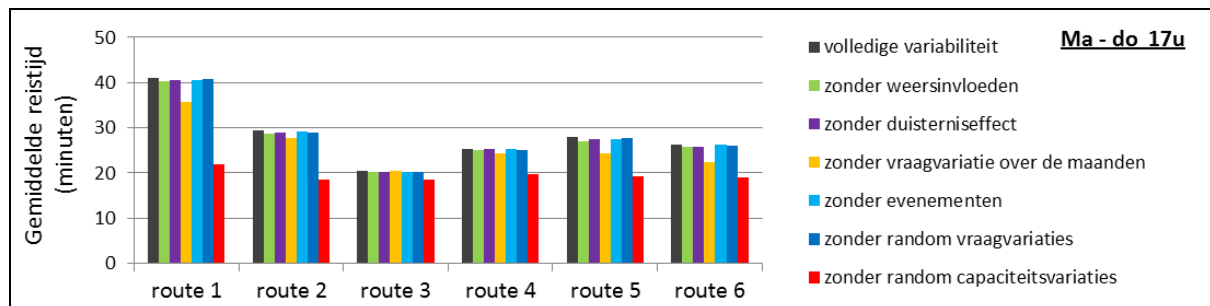
- De puur negatieve aard van een deel van de bronnen van variabiliteit (zoals slechte weersomstandigheden).
- De niet-lineariteit in het verkeerssysteem: de extra congestie die optreedt bij relatief ongunstige omstandigheden is vaak groter dan de congestiereductie bij relatief gunstige omstandigheden.

5.2 Relatieve belang van verschillende invloedsfactoren

Doordat de verschillende bronnen van variabiliteit nu expliciet worden gemodelleerd, kunnen zij ook op individuele basis in- of uitgeschakeld worden in het model. Dit biedt de mogelijkheid om te onderzoeken in welke mate elk van deze bronnen bijdraagt aan de totale congestie. Figuur 4 laat een voorbeeld zien van de resultaten die op deze manier verkregen kunnen worden.

Het diagram toont gemiddelde reistijden voor een zestal routes over het netwerk, berekend voor een bepaald tijdstip (17 uur) op bepaalde dagen van de week (maandag-donderdag). Voor elke route is die gemiddelde reistijd zevenmaal berekend met het model. Per route zijn daarom zeven staafjes te zien in het diagram. Allereerst is een berekening uitgevoerd met volledig ingeschakelde variabiliteit, wat wil zeggen dat alle variatiebronnen meegenomen werden (met uitzondering van incidenten en wegwerkzaamheden, die in de analyses buiten beschouwing gelaten zijn). De resultaten van deze berekening zijn weergegeven met de zwarte (meest linker) staafjes.

Vervolgens is deze modelberekening zes keer herhaald, waarbij steeds één enkele bron van variabiliteit uitgeschakeld werd. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven met de gekleurde staafjes. Hoe verder zo'n gekleurd staafje onder het zwarte staafje blijft (d.w.z. hoe verder de gemiddelde reistijd onder haar waarde bij volledige variabiliteit ligt), hoe meer de betreffende variatiebron blijkbaar bijdraagt aan het totale gemiddelde congestieniveau. Natuurlijk blijft deze analyse niet beperkt tot de gemiddelde reistijden, maar moeten ook de andere congestie-indicatoren beschouwd worden.



Figuur 4: Effecten van het uitschakelen van individuele bronnen van variabiliteit

Uit de binnen het onderzoeksproject uitgevoerde tests is gebleken dat met name de random capaciteitsvariatis (d.w.z. de variatis ten gevolge van de intrinsieke variatis in menselijk rijgedrag) een zeer belangrijke bijdrage leveren aan de congestie tijdens de spitsperiodes. Wanneer deze variatiebron uitgeschakeld werd in de modelberekeningen, gaven de diverse congestie-indicatoren een aanzienlijke verbetering te zien. In de weekendcongestie blijken evenementen een relatief belangrijke rol te spelen.

Dit soort informatie kan belangrijke inzichten opleveren ten aanzien van het vraagstuk hoe files het meest effectief/efficiënt kunnen worden verholpen. De bovengenoemde bevindingen wijzen er bijvoorbeeld op dat spitscongestie relatief effectief bestreden zou kunnen worden door maatregelen te nemen die de impact van de intrinsieke variabiliteit in menselijk rijgedrag beperken (zoals de invoering van Advanced Driver Assistance Systems die actief taken van de bestuurder overnemen).

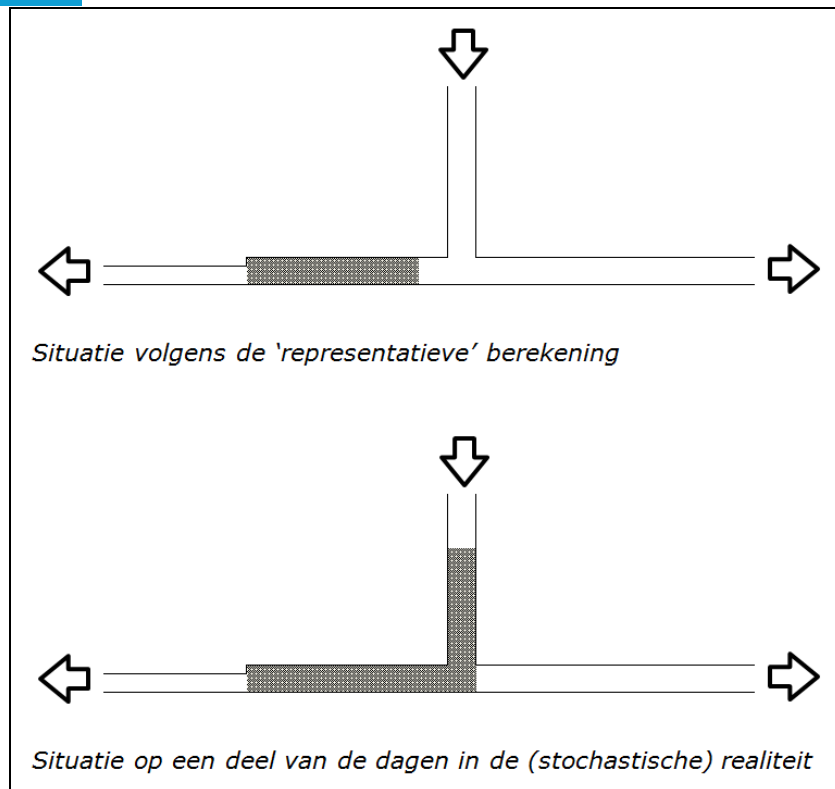
5.3 Ex-ante evaluatie van maatregelen

De mate waarin het modelleren van de variabiliteit tot nieuwe inzichten kan leiden in ex-ante evaluaties van maatregelen is onderzocht door in het real-life testnetwerk een hypothetische spitsstrook te veronderstellen, en de effectiviteit van die spitsstrook op twee verschillende manieren te evalueren: volgens de traditionele aanpak (waarbij enkel een ‘representatieve’ situatie gesimuleerd wordt) en volgens de nieuwe aanpak (waarbij de variabiliteit expliciet gemodelleerd wordt).

Een vergelijking van beide evaluatieresultaten laat zien dat het modelleren van de variabiliteit inderdaad belangrijke nieuwe/gewijzigde inzichten kan opleveren in de effectiviteit van een maatregel. Het blijkt zelfs dat de traditionele manier van evalueren tot een aanzienlijke onderschatting van de baten kan leiden! Dit komt doordat:

- een ‘representatieve’ berekening de verkeerscongestie in bepaalde opzichten onderschat (zie 5.1), en daarmee de met maatregelen te bereiken verbeteringen eveneens onderschat.
- een traditionele modelstudie geen kwantitatieve informatie geeft over de verbeteringen in reistijdbetrouwbaarheid (zie 5.1). In het geval van de spitsstrook blijken die verbeteringen aanzienlijk.
- het in een traditionele modelstudie onopgemerkt kan blijven dat een maatregel niet alleen lokaal verbetering brengt, maar – door fileterugslag te verhelpen – ook op andere netwerkdelen. Wanneer deze fileterugslag slechts op een deel van de dagen optreedt, is het namelijk goed mogelijk dat die terugslag in de simulatie van de ‘representatieve’ situatie ook zonder de spitsstrook al helemaal niet voorkwam. Zie ook het voorbeeld in Figuur 5.

Uiteraard zal de mate en aard van de nieuwe/gewijzigde inzichten in de effectiviteit van een maatregel sterk context- en maatregel-specifiek zijn.



Figuur 5: Voorbeeld van een situatie met fileterugslag die niet optreedt in de 'representatieve' simulatie, waardoor de potentiële baten van de oost-westverbinding genomen maatregelen onderschat kunnen worden in een evaluatie volgens de traditionele aanpak.

6. Conclusie

Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Met de traditionele modelstudies (waarin slechts één – representatief geachte – verkeerssimulatie uitgevoerd wordt, implicerend dat de invloed van variaties niet meegenomen wordt) kan geen goed beeld verkregen worden van de verkeerskwaliteit. De (on)betrouwbaarheid van reistijden kan niet gekwantificeerd worden, en de berekende hoeveelheid congestie kan significant lager uitvallen dan wat als representatief kan worden gezien.
- Wanneer de variabiliteit in het verkeer expliciet gemodelleerd wordt, kunnen nieuwe inzichten verkregen worden in de mate waarin de verschillende (variabele) invloedsfactoren bijdragen aan het totale congestieniveau. Dit biedt kansen om congestie effectiever/efficiënter te bestrijden.
- Wanneer er in modelstudies niet expliciet rekening gehouden wordt met de variabiliteit in het verkeer, kan belangrijke informatie met betrekking tot de effecten van maatregelen tegen congestie worden gemist. Bijvoorbeeld dat de maatregel ook elders in het netwerk tot verbetering leidt, door – slechts op onregelmatige basis

optredende – fileterugslag te verhelpen. Zo kunnen de baten van een maatregel (in termen van o.a. reistijdreducties) aanzienlijk onderschat worden in traditionele modelstudies!

Het uitgevoerde onderzoek toont hiermee voor de praktijk aan dat we er goed aan doen de variaties in het verkeer niet langer te negeren in modelstudies, maar hier systematischer aandacht aan te gaan geven bij het selecteren en evalueren van maatregelen tegen congestie. Idealiter zou dit gedaan moeten worden met een model waarin de verschillende variatiebronnen expliciet gemodelleerd worden, zoals het model dat in dit onderzoek ontwikkeld is. Dit model is echter nog in onderzoekstadium, en daarmee niet direct geschikt voor (kwantitatieve) toepassing in de praktijk.

7. Literatuur

1. Chen, C., A. Skabardonis & P. Varaiya (2003), *Travel-Time Reliability as a Measure of Service*, Transportation Research Record 1855, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp. 74-79
2. AVV (2004), *Betrouwbaarheid van reistijden*, Rotterdam
3. Brilon, W., J. Geistefeldt, & M. Regler (2005), *Reliability of Freeway Traffic Flow: A Stochastic Concept of Capacity*, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Maryland, pp. 125 – 144 (ISBN: 0 08 044680 9)
4. Higgins, N., G. List & S. Eisenman (2003), *Uncertainty analysis for two freeway sites*, Transportation Research Record 1852, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp. 87-95
5. Lint, J.W.C. van, H.J. van Zuylen & H. Tu (2008), *Travel time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story*, Transportation Research Part A 42, pp. 258-277
6. Brilon, W., J. Geistefeldt & H. Zurlinden (2007), *Implementing the Concept of Reliability for Highway Capacity Analysis*, Transportation Research Record 2027, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp. 1-8
7. Botma, H. (1999), *Queueing Model To Determine Variability of Recurrent Congestion at Freeway Link over a Year*, Transportation Research Record 1678, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, pp. 83-89
8. Mehran, B. & H. Nakamura (2009), *Considering travel time reliability and safety for evaluation of congestion relief schemes on expressway segments*, IATSS Research Vol.33, No. 1, pp. 55-70
9. Zuurbier, F.S. (2010), *Intelligent Route Guidance (TRAIL Thesis Series no. T2010/8)*, TRAIL Research School