

Verschuiving naar Probabilistische Modelling is geen keuze

Simeon C. Calvert
TU Delft & TNO
simeon.calvert@tno.nl

Henk Taale
TU Delft & TrafficQuest
h.taale@tudelft.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
22 en 23 november 2012, Amsterdam**

Samenvatting

Verschuiving naar Probabilistische Modelling is geen keuze

Verkeersmodellen spelen een belangrijke rol als nuttige instrumenten bij plan- en evaluatiestudies en het begeleiden van processen rondom onbekende of onzekere verkeerssituaties. Recentelijke ontwikkelingen in verkeersmodellering zijn gaande op het gebied van het modelleren van variatie in verkeersomstandigheden. Dergelijke modellen worden vaak probabilistisch genoemd, in verband met het gebruik van kansen op bepaalde variaties. Variaties zijn aanwezig in het verkeer in de vorm van wisselende verkeersdrukke, weersomstandigheden, of (tijdelijke) blokkades om maar een paar te noemen. Het is in verschillende gevallen aangetoond dat het modelleren met variaties vaak noodzakelijk is om juiste beoordelingen te maken, terwijl dit in de praktijk vaak niet bekend is. In deze bijdrage zijn enkele risico's aangetoond van het negeren van variaties in het verkeer bij verkeersmodellering door middel van een experimentele casus en uit de literatuur. Daarnaast is de noodzaak beargumenteerd om in bepaalde gevallen te moeten modelleren gebruikmakend van in de werkelijkheid aanwezige variaties. In de experimentele casus wordt de noodzaak van een probabilistische aanpak bewezen voor een scenario waarin DRIP's worden ingezet om verkeer te geleiden over een alternatieve route in geval van een incident. In deze casus werd gevonden dat de standaard deterministische aanpak het positieve effect van de DRIP met 9% onderschatte. Daarnaast werd voor de verdeling over de twee mogelijke routes een waarde gevonden dat een absolute ondergrens aangaf, terwijl de probabilistische aanpak liet zien dat deze routeverdeling slechts in een deel van de tijd het geval zal zijn en vaak een stuk hoger zou liggen.

Het is niet in alle gevallen nodig gebruik te maken van een probabilistisch aanpak. Wanneer het niet noodzakelijk is, kan men beter gebruik maken van een simpeler deterministische verkeersmodel, omdat deze minder rekenintensief zijn. Om op hoofdlijnen aan te geven in welke gevallen een deterministische of probabilistische aanpak de voorkeur dient, is er een korte analyse uitgevoerd waarin adviezen hierover zijn gegeven.

Onlangs het feit dat het vaak nodig is om variaties op het verkeer mee te nemen in een modelstudie, bestaat op het gebied van probabilistische verkeersmodellering weinig tot geen beleid. Het is sterk aan te bevelen dat de overheid hier meer op in zet, bijvoorbeeld door de ontwikkeling van een modellenarchitectuur. Probabilistisch modelleren zou daarbinnen een belangrijke plaats in moeten nemen.

1. Inleiding

Het wordt algemeen aangenomen dat verkeersmodellen nuttige instrumenten zijn voor het begeleiden van processen rondom onbekende of onzekere verkeerssituaties en het beoordelen van maatregelen. Ze zijn in staat een beeld te geven van toekomstige scenario's op netwerken, waarvan het in de werkelijkheid (nog) niet toereikend is om anders daar uitspraken over te doen.

Verkeersmodellen zijn ontwikkeld in de loop der jaren voor verschillende doelen, waaronder ontwerp- en evaluatiedoeleinden. Bij elke doeleinde past weer een eigen aanpak. Dit verschil in aanpak ligt o.a. op het gebied van de verkeerspropagatie, de benodigde nauwkeurigheid van de uitkomsten, de mate van flexibiliteit, en de soort netwerken waarnaar gekeken wordt.

Recente ontwikkelingen in verkeersmodellen zijn gaande, waaronder een verhoogde aandacht voor het modelleren van variatie in verkeersomstandigheden en het toekennen van gevoeligheidsscore aan modeluitkomsten. Variaties zijn aanwezig in het verkeer in de vorm van wisselende verkeersdrukte, weersomstandigheden, of (tijdelijke) blokkades, zoals incidenten of wegwerkzaamheden, om maar een paar te noemen. Het is aangetoond in verschillende gevallen dat modelleren met variaties vaak noodzakelijk is om juiste beoordelingen te maken. In deze bijdrage wordt nader bekeken hoe deze bevindingen tot stand zijn gekomen, wordt aangetoond dat voor specifieke situaties een noodzaak bestaat om met variaties te rekenen, en wordt gedacht over welke invloed dit heeft op het beleid rondom stochastisch en probabilistische modellen die met variaties rekenen.

2. Modelleren met variaties en kansen

Zowel microscopische als macroscopische modellen kunnen stochastisch of probabilistisch zijn. Dat wil zeggen dat ze kunnen rekenen met variaties in verkeersvariabelen. Vaak worden deze variaties vertaald naar de twee hoogste niveaus van verkeersvraag en wegcapaciteit. Naast *stochastisch*, kun je een model ook *probabilistisch* noemen. Het verschil hierin wordt gekenmerkt door de manier waarop er met variaties wordt omgegaan. Met stochastisch wordt hier bedoeld dat er een nominale variatie wordt aangebracht aan één of meer verkeersvariabelen, dat mogelijk op de echte variatie lijkt, maar niet daar direct aan verbonden is. Met probabilistisch modelleren wordt wel uitgegaan van een sterke koppeling met de werkelijkheid voor de variatie van de verkeersvariabelen. Deze variatie kan een direct gevolg zijn van empirische observaties, van bewezen verkeertheorie, of een combinatie daarvan. In het vervolg wordt de term stochastisch gebruikt als kaderbegrip, waaronder probabilistisch ook valt. Verder wordt in deze bijdrage uitsluitend rekening gehouden met macroscopische verkeersmodellen. Deze keuze wordt gemaakt, omdat macroscopische modellen in de kern anders werken dan microscopische modellen, en omdat macroscopische modellen op dit vlak minder ontwikkeld zijn, terwijl ze juist belangrijk zijn in beleidsmatige processen.

Op hoofdlijnen wordt stochastiek binnen macroscopische verkeersmodellen toegepast door middel van twee methoden: Monte Carlo simulatie, en analytische modellering.

Monte Carlo simulatie is een techniek dat gebruik maakt van herhaaldelijke simulatieruns, waarin specifieke variabelen bij elke run andere waarden krijgen die uit een vooraf gedefinieerde verdeling willekeurig worden geloot. De resultaten van elke simulatierun worden samengesteld tot een verdeling die een beeld geeft van de mogelijke uitkomsten als gevolg van de aanwezige variaties op verkeer. Hoe vaker er geloot en gesimuleerd wordt, hoe completer het beeld is dat van de verdeling wordt verkregen.

De Monte Carlo methode is een veel gebruikte en onderzochte techniek, dat in vele werkelden wordt toegepast. In verkeersmodellering is het ook de heersende werkwijze voor het toepassen van stochastiek, met name omdat het een volwassen techniek is die relatief eenvoudig toe te passen is. Er hangen echter wel nadelen aan de techniek, waarvan de rekentijd de grootste is. Het is vrij goed voor te stellen dat een veelvoud aan simulatieruns de nodige tijd in beslag neemt. Dit vormt dan ook een reden waarom zuiver stochastische modellen niet (vaak) worden toegepast in praktijk. In de wetenschap zijn technieken ontwikkeld waarmee Monte Carlo simulaties efficiënter worden uitgevoerd waardoor minder runs nodig zijn. De methoden richten zich vooral op een techniek genaamd 'variance reduction'. Hierin wordt er gezorgd voor een beter spreiding in de lotingen. Hierdoor wordt sneller een representatieve verdeling van de resultaten verkregen. Er bestaan heel wat 'variance reduction' technieken, waarvan Latin Hypercube, Importance Sampling en Cross Entropy er een paar zijn die recentelijk zijn onderzocht voor toepassing bij verkeersmodellering (Calvert et al 2013).

Analytische modellering van stochastiek maakt in tegenstelling tot Monte Carlo simulatie gebruik van een enkel simulatierun. Dit wordt gedaan door met de variatie in verkeersvraag en/of capaciteiten te rekenen in de vorm van wiskundige vergelijkingen in de kern van een model. Er zijn meerdere algoritmes ontwikkeld die dit op verschillende manieren doen. Veel van deze analytische modellen nemen de verkeersvariabelen, dichtheid, snelheid en/of intensiteit, niet als een enkel waarde in de tijd en ruimte, maar als een verdeling van meerdere mogelijke waarden. Met deze verdelingen wordt vervolgens gerekend en wordt een uitkomst verkregen dat op dat van de Monte Carlo uitkomsten lijkt. Het grootste voordeel van een analytische aanpak is het feit dat de rekentijd flink lager kan liggen dan Monte Carlo, omdat men kan volstaan met één simulatierun in plaats van tientallen tot honderden. Daarentegen is de rekentijd van dat ene simulatie wel langer in verband met ingewikkelder berekeningen, en zijn analytische modellen op veel vlakken nog in ontwikkeling. Recente ontwikkelingen van dergelijke modellen zijn uitgevoerd door Jabari et al (2012), Sumalee et al (2012), die vaak voortbouwen op bestaande modellen als het Cell Transmission Model (CTM) van Daganzo (1994,95).

3. Is stochastisch modelleren noodzakelijk?

Het is duidelijk dat voor de meeste toepassingen een betere en completere modellering van verkeer een voorkeur heeft. Voor deterministische verkeersmodellen, die rekenen met een representatieve situatie, geldt dit ook. Deze modellen zijn prima in staat om allerlei scenario's door te rekenen en resultaten terug te geven. Een gevaar hiervan ligt echter in de aanname dat een representatieve situatie bestaat in het verkeer en dat er altijd hiermee gesimuleerd mag worden. In deze paragraaf worden uit de literatuur resultaten getoond die het gevaar hiervan weergeven. Daarnaast wordt een nieuw experiment uitgevoerd. Dit experiment toont aan dat onjuiste beoordelingen van verkeersmanagement maatregelen op kunnen treden als in een model geen rekening wordt gehouden met aanwezige variaties in het verkeer. Dit wordt gedaan voor een geval waarin DRIP's worden ingezet om verkeer om te leiden in geval van een incident.

3.1 Noodzaak eerder aangetoond

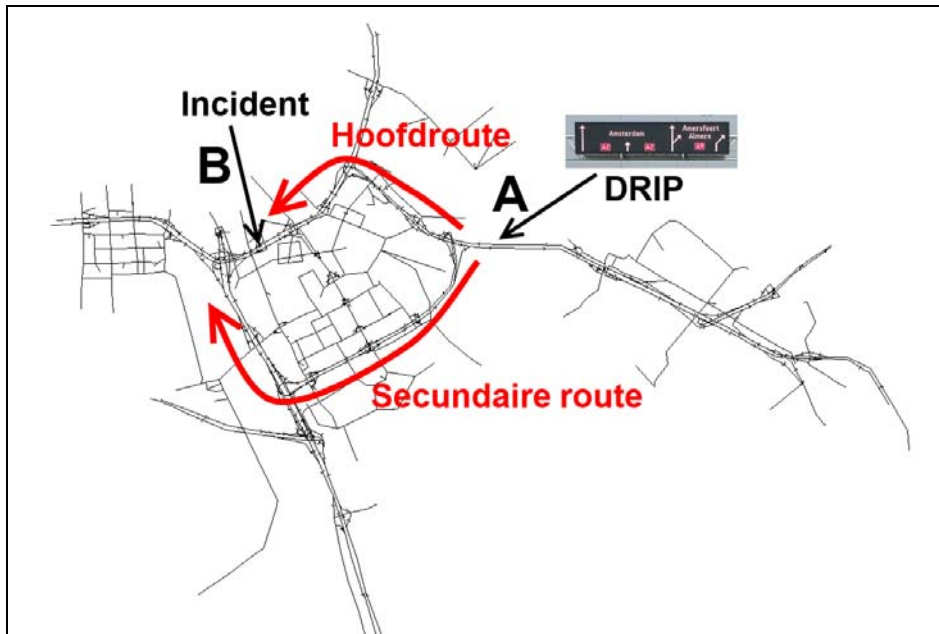
Het afgelopen decennium is er internationaal groeiende aandacht voor stochastisch en probabilistisch modelleren. Het is ook niet voor niets dat zowel onderzoekers als adviesbureaus ook in Nederland de mogelijkheden verkennen om met variaties te simuleren in plaats van een representatieve situatie. Recentelijke voorbeelden hiervan in Nederland vormen bijdragen van o.a. Hans van Lint (TU Delft) (2012), Mark van den Bos (Goudappel Coffeng) (2011), en Henk Taale (TrafficQuest) (2011).

In de bijdrage van Van Lint et al (2012) werd modelmatig aangetoond dat het negeren van variaties en alleen modelleren met een representatieve situatie kan leiden tot een aanzienlijk onderschatting van de beoordeling van spitsstroken. In hun experiment werden zowel capaciteit als verkeersvraag gevarieerd rond realistische waarden op het hoofdwegennet rondom Rotterdam. Voor de beoordeling van de spitsstrook op de A13 werd een bijna vijf keer zo hoge verbetering gevonden in de reductie van het aantal voertuigverliesuren wanneer men stochastisch modelleert ten opzichte een standaard deterministische modelrun. Dit verschil zit niet in een ineens verbeterd spitsstrookgebruik of een foutief gebruik van een deterministisch model, maar in de manier waarop er gerekend wordt. Door gebruik te maken van variaties in de modelsimulaties wordt een completer en vooral correctere weergave van de werkelijkheid verkregen. De auteurs concludeerde daarom ook dat het gebruik van werkelijke variaties een groot effect hebben op ex ante evaluaties, en in het bijzonder evaluaties ter beoordeling van verkeersmanagement maatregelen en reistijd beleid.

3.2 Effect van het gebruik van een DRIP bij een incident

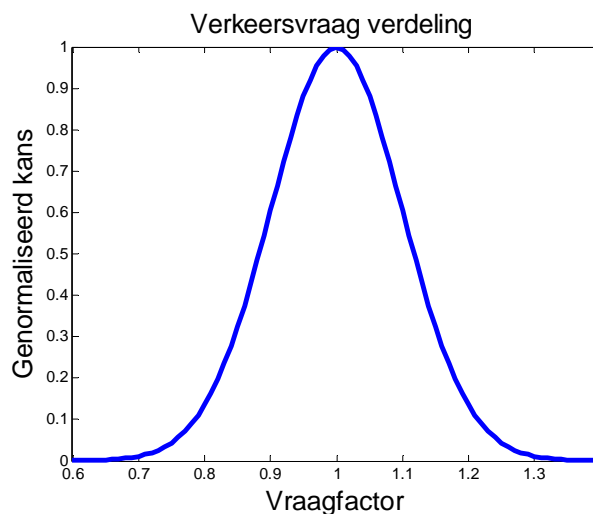
Om de noodzaak om met variaties te modelleren nog verder aan te tonen voor een andere DVM maatregel, is een experiment gedaan met een DRIP. In dit experiment wordt voor een deel van het Amsterdam-Zuidoost netwerk (zie Fig. 1) een incident gesimuleerd op locatie B op de A10 in de ochtendspits. Er wordt getoetst wat het effect is van een DRIP ter hoogte van locatie A op de A1, waarop de huidige reistijden in minuten worden weergegeven om bestuurders te adviseren over de reistijden op de secundaire route over de A9 en A2. Een vergelijking vindt plaats tussen een scenario met en een scenario zonder incident, om de positieve werking van de DRIP in geval van een incident te toetsen.

Figuur 1 Gemodelleerde Verkeersnetwerk VAN Amsterdam ZO met aanduiding van DRIP locatie (A) en incidentlocatie (B)



In het experiment worden de scenario's op twee verschillende manieren met elkaar vergeleken: de eerste waarin er met een representatieve situatie van verkeer wordt gerekend (deterministisch), en een tweede waarin er gerekend wordt met variaties die op kunnen treden in de verkeersvraag (stochastisch/probabilistisch). Deze scenario's worden vergeleken voor het aantal voertuigverliesuren (VVU) die netwerk breed optreden en er wordt gekeken wat de verschuiving is van de doorgaande route over de A10 naar de 'omleidingsroute' over de A9 en A2. De variatie in de verkeersvraag wordt aangenomen als een normale verdeling rondom de gemiddelde verkeersvraag en wordt in Figuur 2 getoond. Voor de stochastische aanpak worden 100 simulaties uitgevoerd met verschillende waarden voor de verkeersvraag geloot uit de getoonde verdeling.

Figuur 2 Cumulatieve Dichtheidsfunctie (CDF) gebruikt voor de verdeling van de verkeersvraag



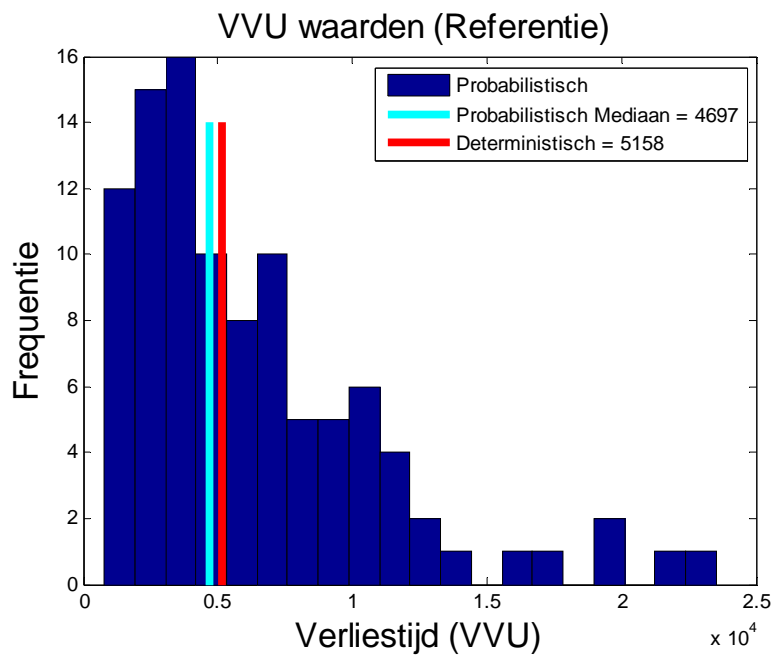
4. Resultaten van het DRIP experiment

Het experiment wordt geanalyseerd door de resultaten van de twee indicatoren: VVU en de routekeuze, te bestuderen voor zowel de deterministische als het probabilistische scenario. De hypothese is dat er een (aanzienlijk) verschil in de resultaten aanwezig zal zijn, terwijl in beide gevallen het om precies dezelfde netwerk onder dezelfde omstandigheden gaat.

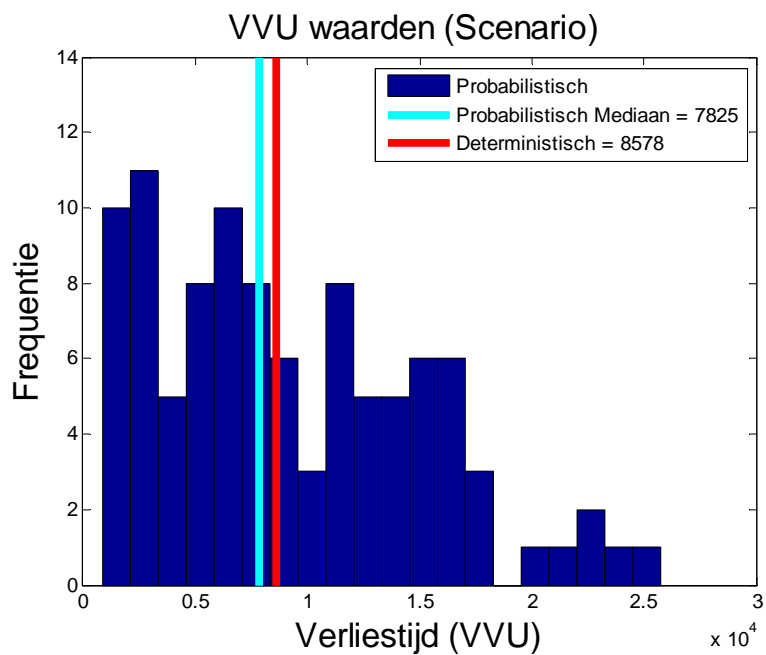
De voertuigverliesuren (VVU) voor het referentiescenario zonder incident worden getoond in Figuur 3. Hierin zijn de representatieve resultaten van zowel het probabilistische aanpak (licht blauw) en van de deterministische modelrun (rood) weergegeven. Daarnaast is de verdeling van de VVU-waarden te zien die de probabilistische mediaan opmaken. Wanneer men rekening houdt met variatie op het netwerk wordt een hoger VVU waarde gevonden ten opzichte van het geval waarin dat niet wordt gedaan; 5158 versus 4697. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat er in de representatieve deterministische aanpak geen rekening wordt gehouden met de gevolgen van zwaardere verkeersomstandigheden die doorgaans een versterkt effect hebben op de verkeersprestatie. Er wordt enkel rekening gehouden met de 'gemiddelde' situatie. Het effect hiervan is in het incidentscenario nog beter zichtbaar (Figuur 4). In dit scenario blijven de variaties in de verkeersvraag gelijk aan de referentie, maar de variatie voor de VVU-waarden ten gevolgen van congestie wegens het incident zijn groter. Omdat het probabilistische aanpak juist deze variaties in de VVU-waarde beter observeert, zijn de verschillen in het incidentscenario nog groter.

Wanneer de resultaten van beide aanpakken naast elkaar worden legt in Tabel 1, blijkt dat er een verschil van maar liefst 9% aanwezig is tussen de beoordelingen. Dit verschil komt voort uit het onvermogen van de deterministische aanpak om om te gaan met de aanwezige variaties in het model, die in werkelijkheid ook aanwezig zijn. Het betreft hier geen geringe verschil dat bij afwezigheid in een evaluatie van een maatregel, DRIP's in dit geval, van invloed kan zijn op het beslissingsproces.

Figuur 3 VVU waarden van het referentiescenario



Figuur 4 VVU waarden voor het incidentscenario



Tabel 1 Voertuigverliesuren van de referentie en incident scenario

<i>Scenario\Aanpak:</i>	Deterministisch	Probabilistisch	Vershil VVU Aanpak
Referentie	4697	5158	
Incident Scenario	7825	8578	
Vershil VVU Scenario	3128	3420	292 (9%)

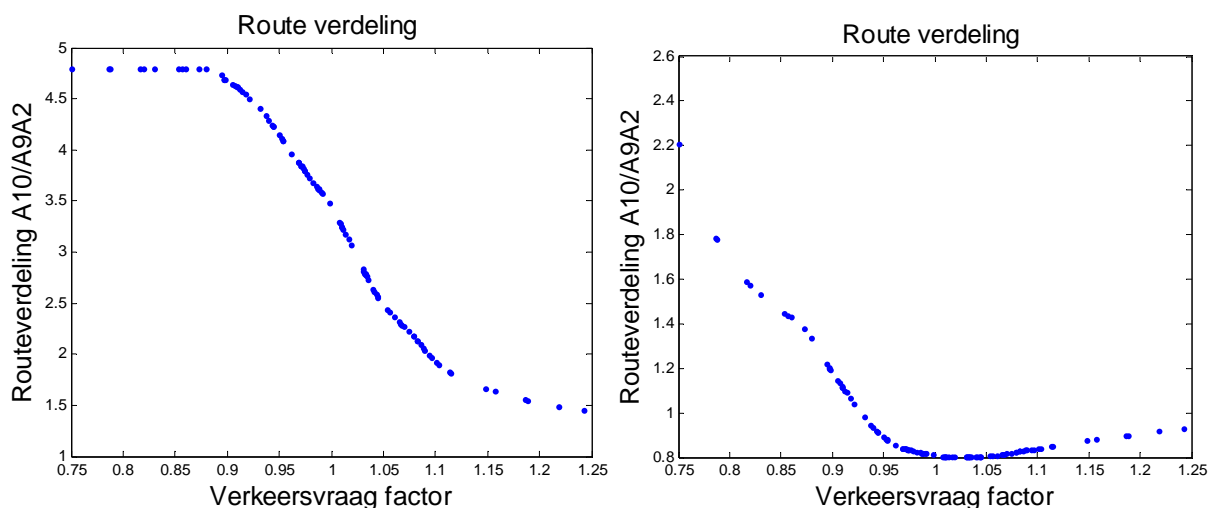
Als aanvulling op de VVU resultaten is ook gekeken naar de verdeling van de routekeuze over de twee aanwezige routes vanaf de A1 naar de A10-Zuid. Dit wordt uitgezet tegen de variatie in verkeersvraag. Voor het deterministische scenario is de waarde van de verkeersvraag 1,0. Het betreft hier de hoofdroute over de A10-Oost, en een secundaire route over de A9 en A2 naar de A10. In Figuur 5 worden deze routeverdelingen getoond, waarbij de getoonde waarde het verkeer over de A10 gedeeld door het verkeer over de A9&A2 weergeeft. Een waarde van 2 betekent bijvoorbeeld dat twee keer zoveel verkeer voor de A10 route kiest dan voor de A9&A2 route.

Voor het referentiescenario blijft de A10 altijd de voorkeursroute in verband met een lager reistijd. Bij een drukker wordende verkeerstoestand wordt de route A9&A2 wel aantrekkelijker. In het deterministisch geval is een routeverdeling van 3 aanwezig, wat een vrij goede totaalbeeld geeft van alle variaties. De routeverdeling van het incidentscenario daarentegen is een stuk minder symmetrisch rond de deterministische waarde van 0.8. Het incident op de A10 veroorzaakt een verschuiving van verkeer van de A10-route naar de A9&A2-route zodanig dat beide routes ongeveer evenveel gebuikt worden voor verkeer vanaf de A1 richting het westen. Bij minder drukte (lage verkeersvraag) blijkt de A10 aantrekkelijker, omdat het incident minder congestie veroorzaakt, terwijl bij hogere waarden van de verkeersvraag beide routes ongeveer in balans blijven rond een routeverdeling van 0,8-0,9.

Hieruit blijkt weer de noodzaak om te rekenen met variaties. Voor het incidentscenario zou zonder variatie een routeverdeling van 0.8 worden aangenomen, terwijl dit een absolute ondergrens is, en de routeverdeling bij het meenemen van de echte variaties in veel gevallen hoger ligt.

Figuur 5 Routeverdeling (A10/A9&A2) als functie van de verkeersvraag:

a) links: referentie b) rechts: incident-scenario



5. Toepassingsgebied voor stochastische modellen

Hoewel er aangetoond is dat rekenen met variaties vaak geen keuze is, maar een noodzakelijkheid, geldt dit niet voor alle gevallen waarin verkeersmodellen nodig zijn. De grootste voordelen van deterministisch modellen zijn doorgaans het gemak, de relatief korte rekentijd, en het beperkte omvang van de benodigde input data. Daarentegen bieden stochastische modellen een verhoogde mate van nauwkeurigheid en de mogelijkheid om gevoeligheidsanalyses toe te passen. Omdat het niet altijd mogelijk of gewenst is stochastische modellen toe te passen, moet worden nagedacht in welke gevallen het noodzakelijk is. Om inzicht te geven in de gevallen wanneer een stochastische of probabilistische aanpak nodig, en wanneer dit minder het geval is, is een overzicht samengesteld en getoond in Tabel 2.

Tabel 2 Toepassingsgebieden voor probabilistisch en deterministisch modellen (Bewerking uit Calvert et al, 2012).

Probabilistisch Model	Deterministisch Model
<i>Toepassen als...</i>	<i>Toepassen als...</i>
Grote variaties in input variabelen	Beperkte variatie in input variabelen
Inputverdeling is makkelijk te bepalen en is betrouwbaar	Inputverdeling is niet makkelijk te bepalen of is onbetrouwbaar
Variatie in input variabel(en) heeft een versterkt effect op modeluitkomsten	Variatie in input variabel(en) heeft een beperkt effect op modeluitkomsten
Congestieve netwerk met hoge congestieve turbulentie	Netwerk zonder congestieve of met een lage congestieve turbulentie
Uitgebreid en/of detail analyse van de netwerkprestatie	Algemeen beeld van de netwerkprestatie

Variaties in input variabelen leiden logischerwijs tot variaties in modeluitkomsten. Wanneer deze variaties groot zijn, zal dat ook in de resultaten groter zijn en heeft een stochastische aanpak de voorkeur. Een deterministische aanpak voldoet wanneer variaties beperkt zijn. Eveneens voldoet een deterministisch model als de betrouwbaarheid van de variaties niet hoog is.

Het komt vaak voor dat variatie in een bepaalde input variabele een versterkend effect heeft op bepaalde modeluitkomsten. Dit geldt in het bijzonder bij netwerken die een hoge mate van congestiegevoeligheid hebben. In deze congestieve netwerken heeft een kleine aanpassing, in bijvoorbeeld de verkeersvraag, een sterke invloed op de mate van congestievorming. In deze gevallen met hoge volatiliteit dient men met een stochastisch model te rekenen.

In veel modelstudies, en met name planstudies, is men niet direct op zoek naar een detail analyse van het verkeer of naar een specifieke analyse van bepaalde locaties of maatregelen. In deze gevallen wordt vaak getracht een algemeen beeld te schetsen van (toekomstige) verkeerstoestanden en zal men kunnen voldoen met een algemene indicatie zoals dat door een deterministisch model wordt gegeven. Het tegenovergestelde is eveneens van toepassing wanneer een nauwkeurige kwantitatieve analyse nodig is, dan is een stochastische aanpak eerder gewenst. Om deze reden wordt hier, maar ook elders (van Lint et al, 2012, en Taale et al, 2011), er voor gepleit dat voor de beoordeling van o.a. DVM maatregelen een stochastische aanpak sterk de voorkeur heeft.

6. Beleid rondom modellen

Bij de uitvoering en invulling geven aan bepaalde beleidsvoornemens is het vaak zinvol om op voorhand inzicht te krijgen in de effecten van een mogelijk toe te passen maatregel, maatregelpakket of een heel programma van maatregelen. Modellen kunnen daarbij een goede rol spelen. Met modellen kunnen eenvoudig en relatief goedkoper de verschillen tussen alternatieven worden onderzocht en kan er veel gemakkelijker geëxperimenteerd worden, iets wat in de praktijk vaak niet mogelijk is.

In Nederland is er geen gericht beleid voor de ontwikkeling en toepassing van verkeersmodellen. Voor strategische vraagstukken wordt vaak een beroep gedaan op het Landelijk Modelsysteem (LMS) of het Nieuw Regionaal Model (NRM). Ook zijn deze modellen voorgeschreven in planprocedures. Naast modules die de verkeersvraag voorspellen, bevatten deze modellen ook een module om de verkeersafwikkeling te bepalen. Het gaat daarbij om een statische en deterministische toedeling van een bepaalde verkeersvraag op het netwerk voor een bepaalde periode (bijvoorbeeld etmaal of ochtendspits). Variaties in vraag en aanbod worden daarbij niet meegenomen, wat voor de meeste toepassingen ook niet nodig is. Momenteel is er een ontwikkeling om onzekerheden te incorporeren door het gebruik van scenario's. Door elk scenario door te rekenen wordt een indruk gekregen van de bandbreedte van de effecten.

Voor het doorrekenen van de effecten van benutting worden soms dynamische modellen gebruikt, zij het dat dit niet gemeengoed is. Dat is ook wel te begrijpen. De toepassing van dynamische modellen vraagt veel kennis en gedetailleerde invoerdata, die soms niet of lastig te verzamelen is. Verder is de rekentijd vaak een factor van belang, zeker bij microscopische modellen. Ook is er niet veel vraag naar, omdat de perceptie is dat een dynamische modeltoepassing complex is en lang duurt. Toch wordt ingezien dat er ontwikkelingen nodig zijn. In een rapport voor het Ministerie van Infrastructuur en Milieu constateert MuConsult (2011) naar aanleiding van een sessie met modelexperts dat "het effect van benuttingsmaatregelen sterk wordt bepaald door schommelingen in het verkeersaanbod en de wegcapaciteit en dat hiermee in de praktijk geen rekening wordt gehouden". Om een goed beeld te krijgen van het effect van benutting, iets wat het beleid graag wil, is dat dus wel nodig.

Om rekening te houden met dynamische variaties, zal er meer moeten worden geïnvesteerd in modelontwikkeling. Voor dynamische modellen worden deze investeringen nu vooral door marktpartijen gedaan. Indien de overheid dit wil stimuleren zal zij zelf ook moeten investeren en het kader en de randvoorwaarden moeten aangeven waarbinnen modellen kunnen worden ontwikkeld en toegepast. Eén van de manieren daartoe is de modellenarchitectuur. Volgens een moderne definitie is een architectuur "een conceptuele beschrijving van een complex systeem". Het systeem bestaat in dit geval uit de verkeersmodellen en alles daaromheen. Een architectuur gaat niet alleen over de techniek, maar is nuttig voor alle aspecten van modellen. Door dat te beschrijven en vast te leggen ontstaat overzicht en structuur. Juist dat is belangrijk om het gebruik van modellen beheersbaar te houden en ook nodig om modellen beter op elkaar te laten aansluiten en meer profijt te hebben van de toepassingen. Architectuur kan ook behulpzaam zijn om het kennisniveau te verhogen en om inzicht te bieden in de samenhang van ontwikkelingen binnen verkeersmodellen op de middellange en lange

termijn. Andere voordelen van een architectuur zijn dat deze de communicatie ondersteunt, omdat partijen een zelfde 'taal' spreken en zelfde definities hanteren, en dat deze standaardisatie bevordert, waardoor ontwikkelingen sneller kunnen verlopen. Door in te zetten op een dergelijke modellenarchitectuur kan de eerste stap worden gezet, waardoor de modelontwikkeling in Nederland een impuls krijgt. Een belangrijke en noodzakelijke ontwikkeling als probabilistisch modelleren zal daarvan profiteren.

7. Conclusie

Verkeersmodellen spelen een belangrijke rol bij plan- en evaluatiestudies in het verkeer. Vaak wordt hiervoor gebruik gemaakt van deterministische verkeersmodellen die één representatieve verkeerssituatie bekijken, terwijl de werkelijkheid vol variatie zit. In deze bijdrage is het risico aangetoond voor het negeren van deze variaties en is de noodzaak beargumenteerd van een aanpak waarin variaties wel worden meegenomen. Deze aanpak wordt hier probabilistisch genoemd, omdat het rekening houdt met de kansen van het optreden van deze variaties. Voor een scenario waar er door middel van een DRIP routeadvies wordt gegeven bij een incident, is aangetoond dat een deterministisch model de situatie onvoldoende goed kan beoordelen. Voor de probabilistische aanpak kon wel een volledig beeld worden verkregen van de routekeuze en het veroorzaakte overlast van het incident. Voor de experimentele casus bleek het standard deterministische aanpak 9% af te wijken voor de bepaling van de VVU-waarden ten gevolge van het incident. Bovendien gaf deze aanpak slechts het ondergrens aan van de verdeling van de routekeuze, terwijl de werkelijke routeverdeling, rekening houdend met variatie, in veel gevallen hoger lag.

Probabilistische modellen zijn in het algemeen tot meer in staat dan deterministische modellen, maar zijn niet altijd nodig. In bepaalde gevallen hebben ze geringe voordelen, terwijl dergelijke modellen wel rekenintensiever zijn. Een aanbeveling is daarom gedaan voor welke gevallen probabilistische modellen de voorkeur dienen en wanneer niet. Rondom het gebruik van probabilistische modellen bestaat op het moment weinig beleid. Het is echter wel belangrijk dat de overheid mede gaat investeren in de modelontwikkeling. Dat kan door in te zetten op een modellenarchitectuur waarbinnen afspraken worden gemaakt over de ontwikkeling en toepassing van modellen. Het probabilistisch modelleren is daarbinnen een ontwikkeling die zeker gestimuleerd zal moeten worden.

Referenties

Calvert, S.C., Taale, H., Snelder, M. & Hoogendoorn, S.P. (wordt gepubliceerd 2013). Improving Probabilistic Traffic Modelling through Advanced Sampling. *Ingediend bij* EURO Journal on Transportation and Logistics.

Jabari, S.E., Liu, H.X. (2012). A stochastic model of traffic flow: Theoretical foundations. *Transportation Research Part B: Methodological* 46 (1):156-174

Sumalee, A., Zhong, R., Pan, T., Szeto, W. (2011). Stochastic cell transmission model (SCTM): A stochastic dynamic traffic model for traffic state surveillance and assignment. *Transportation Research Part B: Methodological* 45 (3):507-533

Daganzo, C.F. (1994). The cell transmission model: A dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory. *Transportation Research Part B: Methodological* 28 (4):269-287

Daganzo, C.F. (1995). The cell transmission model, part II: network traffic. *Transportation Research Part B: Methodological* 29 (2):79-93

Lint, J.W.C. van, Miete, O., Taale, H., Hoogendoorn, S.P. (2012). A systematic framework for the assessment of traffic measures and policies on the reliability of traffic operations and travel time. 91th meeting of the Transportation Research Board

Bos, M. van den (2011). De bandbreedte rondom simulatie-uitkomsten. PLATOS Colloquium 2011, Utrecht, 9 maart 2011

Taale, H., Lint, J.W.C. van, & Hoogendoorn, S.P. (2011). Probabilistisch verkeersmanagement: Rekening houden met de variatie in verkeer. *NM Magazine*, 6(1), 30-32

Calvert, S.C., Taale, H., Snelder, M. & Hoogendoorn, S.P. (2012). Probability in Traffic: a challenge for modelling. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (DTA 2012)*, Martha's Vineyard, MA, VS, Juni 4-6 2012

MuConsult (2011). Methodiek evaluatie benuttingsmaatregelen – Ex-ante evaluatie: vuistregels en modellen. Rapport voor het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, februari 2011