

De Noodzaak van Probabilistisch Modelleren voor Tactische en Operationele Analyses

Simeon C. Calvert

TU Delft¹ en TNO²

Henk Taale

TU Delft¹ en TrafficQuest

Verkeersmodellen spelen een belangrijke rol bij plan- en evaluatiestudies en het analyseren van de verkeersafwikkeling bij onbekende of onzekere situaties. Recente ontwikkelingen in de verkeersmodellering houden zich bezig met het modelleren van variaties in verkeersomstandigheden. Modellen die dat doen, worden vaak probabilistisch genoemd, omdat ze gebruik maken van kansen op bepaalde variaties. Het is in verschillende gevallen aangetoond dat het modelleren met variaties noodzakelijk is om een juiste beoordeling te geven van een bepaalde situatie. Dit vanwege de niet-lineariteit van het verkeerssysteem. Echter, in de praktijk is dit vaak niet bekend. In deze bijdrage worden enkele risico's getoond van het negeren van variaties in het verkeer bij de verkeersmodellering. Dat gebeurt door middel van een beschrijving van de beschikbare Nederlandse literatuur en een case studie. In deze case wordt de noodzaak van een probabilistische aanpak aangetoond voor een scenario waarin dynamische routeinformatie panelen (DRIP's) worden ingezet om verkeer te geleiden over een alternatieve route in geval van een incident.

Daarnaast is een analyse uitgevoerd om aan te geven in welke gevallen een deterministische of probabilistische aanpak de voorkeur verdient, aangezien het gebruik niet in alle gevallen noodzakelijk is. Tot slot wordt kort stilgestaan bij het punt dat, ondanks het feit dat het vaak nodig is om variaties op het verkeer mee te nemen in een modelstudie, er geen beleid bestaat op het gebied van dynamische en probabilistische verkeersmodellering

Trefwoorden: Dynamische verkeersmodellen; Modelbeleid; Monte Carlo simulatie; Probabilistisch modelleren; Verkeersmodellering

¹ TU Delft, E: s.c.calvert@tudelft.nl; h.taale@tudelft.nl

² TNO; E: simeon.calvert@tno.nl

1. Inleiding

Het wordt algemeen erkend dat verkeersmodellen nuttige instrumenten zijn voor het analyseren van de verkeersvraag en de verkeersafwikkeling rondom onbekende of onzekere verkeerssituaties en voor het beoordelen van maatregelen op allerlei gebieden, van ruimtelijke ordening tot operationeel verkeersmanagement. Ze zijn in staat een beeld te geven hoe toekomstige scenario's uitwerken, waarvan op geen andere manier zinnige uitspraken zijn te doen.

In de loop der jaren zijn verkeersmodellen ontwikkeld voor verschillende doelen, waaronder ontwerp- en evaluatiedoelinden. 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 het soort netwerken waarnaar gekeken wordt.

Recente ontwikkelingen in verkeersmodellen laten zien dat er een toenemende aandacht is voor het modelleren van variaties in de verkeersomstandigheden en het toekennen van een bepaalde waardering (bijvoorbeeld als een gevoeligheidsscore) aan modeluitkomsten. Variaties in het verkeer zijn aanwezig in de vorm van wisselende verkeersdrukte, weersomstandigheden, of (tijdelijke) blokkades, zoals incidenten of wegwerkzaamheden, om maar een paar verschillende oorzaken van variaties te noemen. Het is voor diverse gevallen aangetoond dat modelleren met variaties noodzakelijk is om een juist oordeel over de onderzochte scenario's te kunnen geven. Dat komt omdat vooral in zwaar belaste netwerken kleine veranderingen grote gevolgen kunnen hebben. In deze bijdrage wordt nader bekeken hoe deze bevindingen tot stand zijn gekomen, wordt aangetoond dat voor specifieke situaties de noodzaak bestaat om met variaties te rekenen, en wordt nagedacht over welke invloed dit heeft op het beleid rondom stochastische en probabilistische modellen. Het doel van de bijdrage is vooral om discussie op het gebied van dergelijke modellen op te wekken en het belang van hun bijdrage te benadrukken.

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, te weten verkeersvraag en wegcapaciteit. Naast stochastisch, kun je een model ook probabilistisch noemen. Het verschil wordt bepaald 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, die 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 verkeerstheorie, 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 belangrijker 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 die gebruik maakt van herhaalde simulatieruns, waarin voor elke run specifieke variabelen 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, die in veel werkvelden wordt toegepast. In de verkeersmodellering is het ook de meest gebruikte methode voor het rekenen met stochastiek, met name omdat het een volwassen, relatief eenvoudig toe te passen, techniek is. Er kleven echter ook wel nadelen aan deze techniek, waarvan de rekentijd de grootste is. Het is makkelijk voor te stellen dat een veelvoud aan simulaties de nodige tijd in beslag neemt. Dit vormt dan ook een reden waarom zuiver stochastische modellen niet (vaak) worden toegepast in de praktijk. In de wetenschap zijn technieken ontwikkeld waarmee Monte Carlo simulaties efficiënter worden uitgevoerd waardoor minder runs nodig zijn. Deze methoden richten zich vooral op manieren om 'variance reduction' te krijgen. Daarmee wordt gezorgd voor een beter spreiding in de lotingen en wordt er sneller een representatieve verdeling van de resultaten verkregen. Er bestaan aardig wat 'variance reduction' technieken, waarvan Latin Hypercube, Importance Sampling en Cross Entropy recent zijn onderzocht voor toepassing bij verkeersmodellering (Calvert et al 2013).

Analytische modellering van stochastiek maakt, in tegenstelling tot Monte Carlo simulatie, gebruik van een enkele simulatie. Dit wordt gedaan door met de variatie in verkeersvraag en/of capaciteiten te rekenen met behulp van wiskundige vergelijkingen in de kern van het model. Analytische bevat hier ook numerieke methoden. 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 die op de Monte Carlo uitkomsten lijkt. Het grootste voordeel van een analytische aanpak is dat de rekentijd flink lager kan liggen dan bij Monte Carlo simulaties, omdat men kan volstaan met één simulatie in plaats van tientallen tot honderden. Daarentegen is de rekentijd van die ene simulatie wel langer in verband met meer en meer ingewikkelde berekeningen. Bovendien zijn analytische modellen op veel vlakken nog in ontwikkeling. Recente ontwikkelingen van dergelijke modellen zijn uitgevoerd en gerapporteerd door Jabari et al (2012), Sumalee et al (2012). Deze studies bouwen voort op bestaande modellen zoals het Cell Transmission Model (CTM) van Daganzo (1994, 1995).

3. Is stochastisch modelleren noodzakelijk?

Het is duidelijk dat voor de meeste toepassingen een betere en meer complete modellering van verkeer de voorkeur heeft, boven één met veel versimpelingen en aannames. 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. De aanname die hierbij gedaan wordt is dat een representatieve situatie bestaat in het verkeer en dat daar altijd mee gesimuleerd mag worden. Deze aanname kan niet altijd gedaan worden, omdat het verkeerssysteem niet-lineair is. Dat wil zeggen dat kleine veranderingen grote gevolgen kunnen hebben, zeker in zwaar belaste netwerken. Dit komt omdat verstoringen niet alleen gevolgen hebben voor het betreffende wegvak zelf, maar door veranderingen van de capaciteit en blokkade effecten, ook voor een veel groter deel van het netwerk (Hoogendoorn, 2011). In deze paragraaf worden resultaten uit de Nederlandse literatuur getoond die het risico hiervan weergeven. Daarnaast wordt een nieuw experiment uitgevoerd. Dit experiment toont aan dat een onjuiste beoordeling van verkeersmanagement maatregelen op kan treden indien in een model geen rekening wordt gehouden met aanwezige variaties in het verkeer. Het experiment wordt gedaan voor een situatie waarin DRIP's worden ingezet om verkeer om te leiden in geval van een incident.

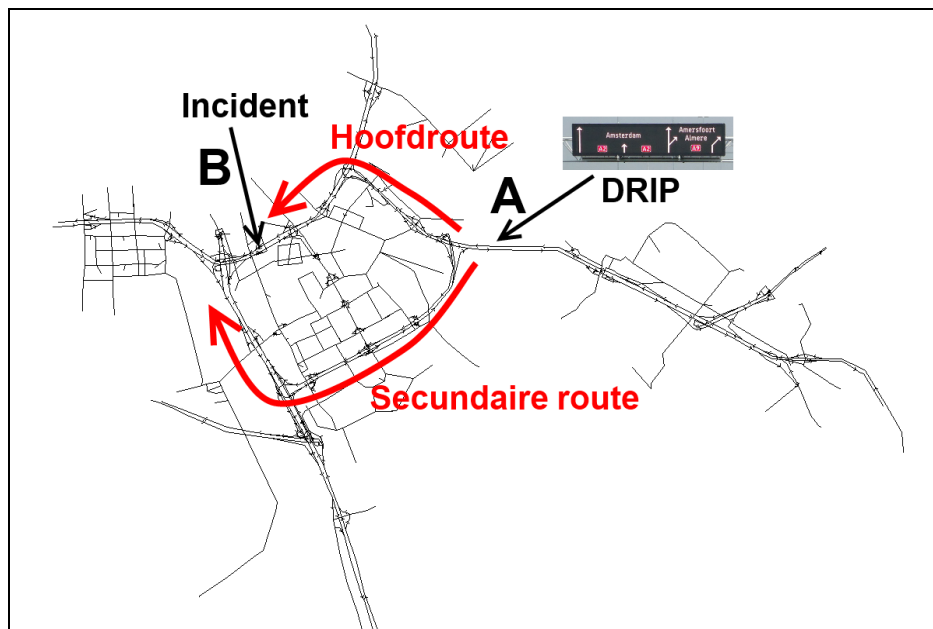
3.1 *Voorbeeld vanuit de literatuur*

Het afgelopen decennium is er internationaal groeiende aandacht voor stochastisch en probabilistisch modelleren. Het is niet voor niets dat ook in Nederland zowel onderzoekers als adviesbureaus de mogelijkheden verkennen om met variaties te simuleren in plaats van met 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) wordt modelmatig aangetoond dat het negeren van variaties, en dus alleen modelleren met een representatieve situatie, kan leiden tot een aanzienlijk onderschatting van de effecten van spitsstroken. In hun experiment worden zowel capaciteit als verkeersvraag gevarieerd rond realistische waarden op het hoofdwegennet rondom Rotterdam. Voor de beoordeling van de spitsstrook op de A13 wordt een bijna vijf keer zo hoge verbetering gevonden in de reductie van het aantal voertuigverliesuren wanneer men stochastisch modelleert vergeleken met een standaard deterministische modelrun. Dit verschil zit niet in een plotseling verbeterd spitsstrookgebruik of een foutief gebruik van een deterministisch model, maar in de manier waarop er gerekend wordt. De werkelijke spreiding van mogelijke uitkomsten leidt vooral bij drukkere omstandigheden tot een onevenredige hoge vertraging. Dit komt voor een groot deel door netwerkeffecten, waarbij congestie sneller door het netwerk verplaatst. Deze drukkere omstandigheden worden nauwelijks geregistreerd door een deterministisch berekening, waardoor de werkelijkheid anders wordt weergegeven. Door gebruik te maken van variaties in de modelsimulaties wordt een completer en vooral correctere weergave van de werkelijkheid verkregen. De auteurs concluderen daarom ook dat het gebruik van werkelijke variaties een groot effect kan hebben op ex ante evaluaties, en in het bijzonder evaluaties ter beoordeling van verkeersmanagement maatregelen en reistijd beleid.

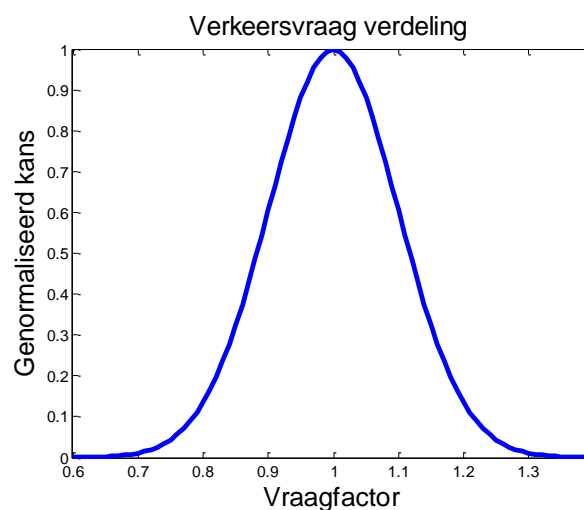
3.2 *Effect van het gebruik van een DRIP bij een incident*

Om de noodzaak met variaties te modelleren voor een andere DVM maatregel aan te tonen, is een experiment gedaan met een DRIP. In dit experiment wordt een deel van het Amsterdam-Zuidoost netwerk gebruikt (zie Fig. 1). In dit netwerk wordt een incident gesimuleerd op locatie B op de A10-Zuid 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 (VUU) 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. Voor de variatie in de verkeersvraag wordt aangenomen dat dit een normale verdeling is rondom de gemiddelde verkeersvraag, zoals getoond in Figuur 2. 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

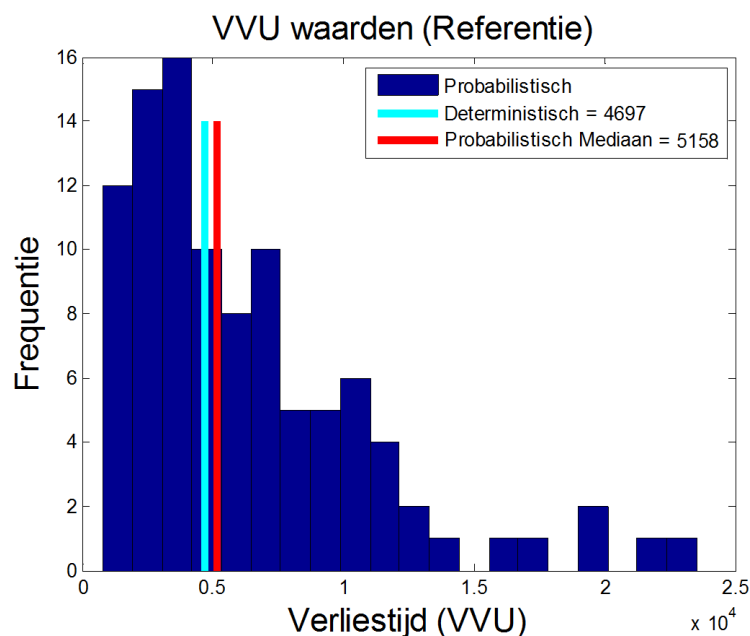
4. Resultaten van het DRIP experiment

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

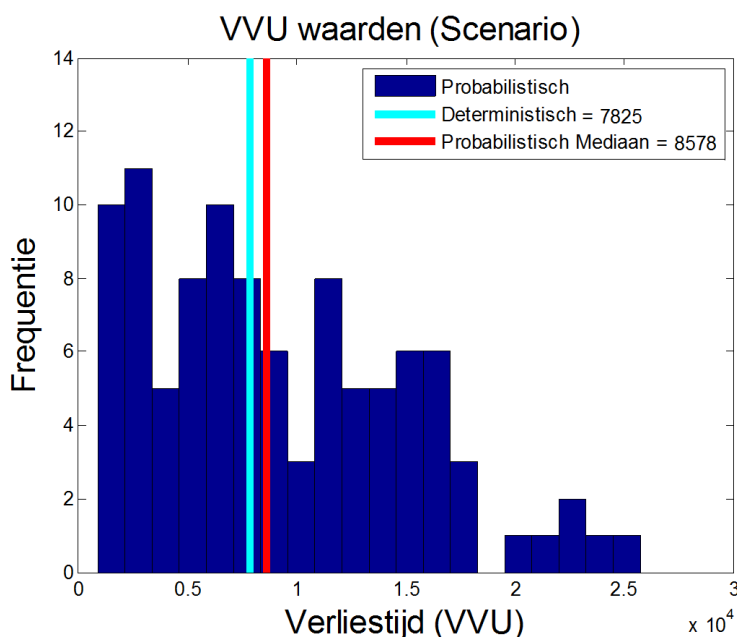
4.1 Voertuigverliesuren

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 als histogram waaruit de probabilistische mediaan is bepaald (donker blauw). De histogram komt tot stand uit de iteraties van de Monte Carlo simulatie. 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 versterkend 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 gevolge van congestie wegens het incident zijn groter. Omdat de 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 gelegd in Tabel 1, blijkt dat er een verschil van 9% aanwezig is tussen de beoordelingen. Dit verschil komt voort uit het onvermogen van de deterministische aanpak om goed om te gaan met de aanwezige variaties in het model, die in werkelijkheid ook aanwezig zijn. Het betreft hier een behoorlijk verschil dat indien dit niet wordt meegenomen in de evaluatie van de DRIP maatregel, van invloed kan zijn op het beslissingsproces over het wel of niet plaatsen van een DRIP.



Figuur 3 VVU waarden van het referentiescenario



Figuur 4 VVU waarden voor het incidentscenario

Tabel 1 Voertuigverliesuren van de referentie en incident scenario's

Scenario\Aanpak:	Deterministisch	Probabilistisch	Verschil VVU tussen aanpak
Referentie	4697	5158	
Incident Scenario	7825	8578	
Verschil VVU Scenario	3128	3420	292 (9%)

4.2 Routekeuze

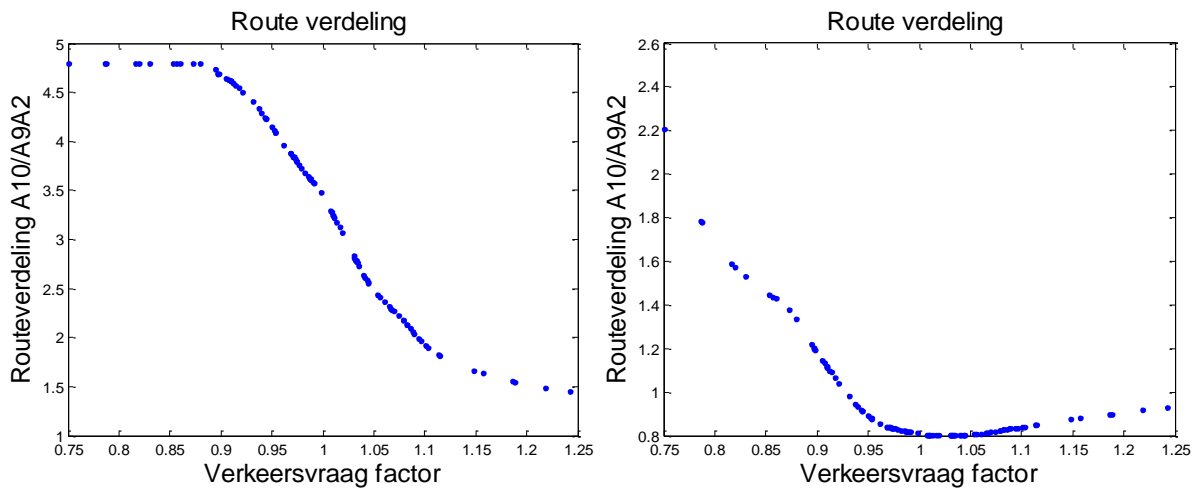
Als aanvulling op de VVU resultaten is ook gekeken naar de verdeling van de routekeuze over de twee aanwezige routes vanaf de A1 naar de A10-Zuid. Het betreft hier de hoofdroute over de A10-Oost, en een secundaire route over de A9 en A2 naar de A10. De verdeling over deze routes is uitgezet tegen de hoogte van de verkeersvraag. Voor het deterministische scenario is de waarde van de verkeersvraag 1.0. 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 bijvoorbeeld betekent dan dat er twee keer zoveel verkeer voor de A10 route kiest in vergelijking met de A9-A2 route.

Voor het referentiescenario blijft de A10 altijd de voorkeursroute in verband met een kortere reistijd. Bij een drukker wordende verkeersstoestand 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. Bij de deterministische aanpak bleek de routeverdeling 0,8 te zijn, wat een routeratio geeft van 0,8:1,0 in het voordeel van de A9-A2. 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 gebruikt 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.

Ook hieruit komt de noodzaak om te rekenen met variaties weer naar voren. 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. Dit kan consequenties hebben voor keuzes in o.a. routeadviezen die gegeven worden voor DRIP's of op andere wijzen.



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

a) links: referentie

b) rechts: incident-scenario

5. Toepassingsgebied voor stochastische modellen

Hoewel met het voorgaande is geprobeerd aan te tonen 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 deterministische modellen zijn doorgaans het gemak in de toepassing, de relatief korte rekentijd, en de 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 is, 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>
<ul style="list-style-type: none"> • Grote variaties in input variabelen • Inputverdeling is makkelijk te bepalen en is betrouwbaar • Variatie in input variabel(en) heeft een versterkt effect op modeluitkomsten • Congestieve netwerk met hoge congestieve turbulentie • Uitgebreid en/of detail analyse van de netwerkprestatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Beperkte variatie in input variabelen • Inputverdeling is niet makkelijk te bepalen of is onbetrouwbaar • Variatie in input variabel(en) heeft een beperkt effect op modeluitkomsten • Netwerk zonder congestieve of met een lage congestieve turbulentie • Algemeen beeld van de netwerkprestatie

Variaties in input variabelen leiden logischerwijs tot variaties in modeluitkomsten. Wanneer deze variaties groot zijn, zal dat ook tot uitdrukking komen in de resultaten 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 in hoge mate gevoelig zijn voor congestie. 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 de voorkeur verdient.

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 wel beleid voor de ontwikkeling en toepassing van verkeersmodellen (Rijkswaterstaat, 2012, en Duijnisveld et al, 2010), maar daarbij wordt vooral gekeken naar de toepassingsmogelijkheden en de ontwikkelingen die daarvoor nodig zijn. Er is geen beleid dat gericht is op modelvernieuwing. Voor strategische vraagstukken wordt vaak een beroep gedaan op het Landelijk Modellsysteem (LMS) of het Nederlands 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 is dat dus wel nodig. En een goed beeld van de effecten van benutting op bereikbaarheid, leefbaarheid en veiligheid wil het ministerie graag hebben om investeringsopties tegen elkaar af te kunnen wegen, zowel voor wat betreft de planning van benuttingsmaatregelen als de operationele inzet.

Om rekening te kunnen houden met dynamische variaties, zal er dus meer moeten worden geïnvesteerd in modelontwikkeling. Voor dynamische modellen worden deze investeringen nu vooral door marktpartijen gedaan. Maar ook de overheid kan een belangrijke rol spelen, bijvoorbeeld door het aangeven van het kader en de randvoorwaarden 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. Concreet kan hierbij gedacht worden het gebruik van dynamische modellen in aanvulling op de strategische modellen. Vragen ten aanzien van het ontwerp en de effecten van beleidsvoorstellen kunnen dan beter beantwoord worden. 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 verkeerssituaties 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 de veroorzaakte overlast van het incident. Voor de experimentele casus bleek de standaard deterministische aanpak 9% minder effect van de DRIP te laten zien. 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 over 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 voor welke niet.

Rondom het gebruik van probabilistische modellen bestaat op dit 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

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

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.

Calvert, S.C., Taale, H., Snelder, M. & Hoogendoorn, S.P. (ingediend voor journal publicatie in 2015). Application of Advanced Sampling for efficient Probabilistic Traffic Modeling.

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.

Duijnisveld M.A.G., van der Waard, J., van den Berg, M. (2010). Roadmap verkeers- en vervoersmodellen: strategische verkeersmodellen voor beleidsdoeleinden. Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, 25 en 26 november 2010, Roermond.

Hoogendoorn, S.P. (2011). Sturen op verkeersstromen - Waarom we niet zonder verkeersmanagement kunnen. Diërsede TU Delft, januari 2011.

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

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.

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

Rijkswaterstaat, DVS (2012). Kwaliteitskader Strategische Verkeers- en Vervoermodellen. Dienst Verkeer & Scheepvaart, 30 juni 2012.

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.

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.