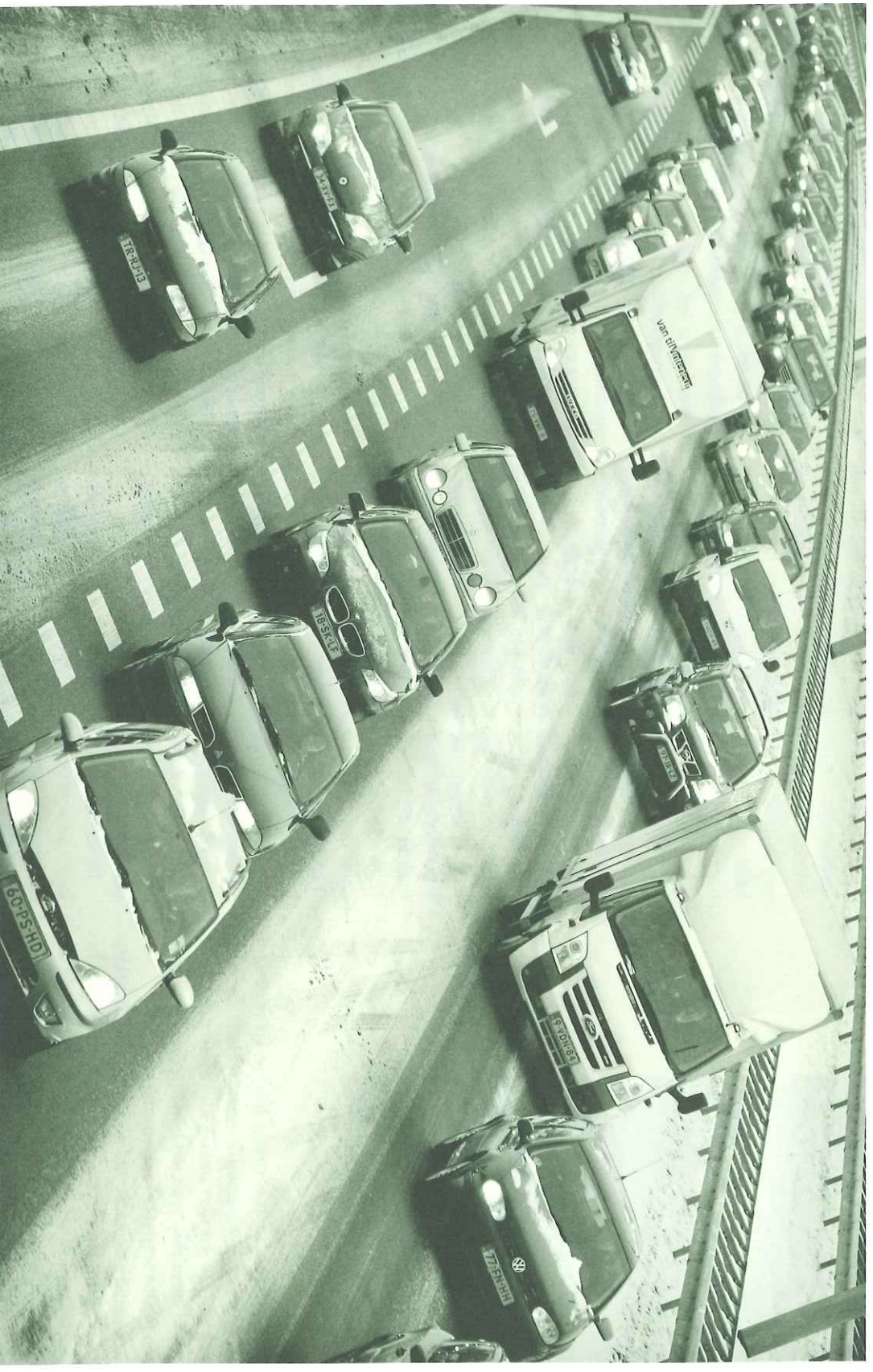


DE VOORBIJE JAREN ZIJN FILES PROBLEMATISCH TOEGENOMEN. DE OORZAAK LIJKT EENVOUDIG: TE VEEL MENSEN RIJDEN OP HETZELFDE MOMENT OP DEZELFDE PLEK MET DE WAGEN EN DE CAPACITEIT VAN DE WEGEN IS TE KLEIN OM DIE VERKEERSSTROOM TE BEHEERSEN. JE ZOU VERWACHTEN DAT WE MET ONZE WETENSCHAPPELIJKE KENNIS EN TECHNOLOGIE EEN GEPAST ANTWOORD OP HET VERKEERSVRAAGSTUK ZOUDE VINDEN. MAAR DE WERKELIJKHEID IS VEEL INGEWIKKELDER.

Wiskundige modellen in het verkeer

Sven Maerivoet



Op de vraag hoe files veroorzaakt worden bestaat een eenvoudig antwoord: te veel mensen willen op hetzelfde moment op dezelfde plaats met de wagen rijden. De capaciteit van de wegen is echter te beperkt om iedereen tegelijk te laten rijden. Hierdoor kunnen ze niet al het verkeer verwerken en ontstaan er files die tot vertragingen leiden. In steden is het vaak nog ingewikkelder, met files die aan kruispunten ontstaan.

Vroeger werden verkeersproblemen nogal intuïtief benaderd, uitgaande van puur praktische overwegingen en vuistregels. De nadruk lag bijvoorbeeld op voertuigstellingen en schattingen van de gemiddelde rijnsnelheid. Het ging meer om experimenten dan om theoretische beschouwingen. Het semina-

le werk hierrond stamt uit 1935, toen de Amerikaanse ingenieur Bruce Greenshields al die metingen in een bepaalde grafiek voorstelde, namelijk een 'fundamenteel diagram van de verkeerskunde'. Rond de jaren 1950 werd het wetenschappelijke veld echter een stuk volwassen. De Britse wiskundige John Glen Wardrop ontwikkelde de discipline die we vandaag kennen als verkeerskunde. Zijn uitgangspunt was verkeersstromen met wiskundige en statistische theoretische analyses te beschrijven. In vergelijking met de vroegere aanpak was dit zeer innovatief. Zo hanteerde men meer gecontroleerde experimenten en theoretische uitgangspunten om de impact van verschillende maatregelen beter te beoordelen.

Een tweede belangrijke stap werd gezet toen onderzoekers met behulp van de primitieve computers van de jaren 1960 regeltechniek gingen toepassen om opstoppingen aan tunnels en kruispunten te verminderen. Dit deden ze door bijvoorbeeld de cyclustijden van verkeerslichten dynamisch aan te passen en zo het verkeer vlotter te laten verlopen. De industrie omarmdde dit veld en doopte het om tot 'Intelligente Transportsystemen' (ITS). Na de jaren 1970 was er een onderzoeksluwere periode, waarbij vele onderzoekers terug naar hun oorspronkelijke disciplines keerden. Zij hadden immers het gevoel dat het plaatje volledig was, en ze met hun technieken geen nieuwe toepassingen meer konden vinden voor de verkeerskundige problemen. Begin jaren 1990

ontwikkelde zich een vernieuwde interesse in verkeersmodellering, mede dankzij nieuwe modellen vanuit de statistische fysica. Daarbij stelden sommigen ook 'het oude geloof' in de klassieke verkeersmodellering in vraag. Een direct gevolg hiervan was een explosie in het aantal soorten modellen, waarbij men niet altijd nakeek of alle effecten en fenomenen van die modellen ook werkelijk voorkwamen. Men stelt soms ironisch dat de modellen goed zijn, maar dat het veeleer de realiteit is die een probleem vormt.

De 'Berkeley school' keurde het idee van spontane spookfiles af en stelde dat er altijd een geometrische verklaring voor een file was, de zogenaamde 'flessenhalzen'

In grote lijnen ontstonden er twee denkscholen over de manier waarop files ontstaan. De ene, hoofdzakelijk in Duitsland gevestigd, legde zich toe op het fenomeen van spookfiles. Op basis van luchtfoto's ontdekten de ingenieurs Joseph Treterer en Jeffrey Myers hoe een file schijnbaar uit het niets ontstond in een drukker verkeersstroom. Een van de bekendste personen in deze school is de fysicus Boris Kerner, die veel kritiek oogstte bij de verkinging van zijn theorieën. Dit kwam wellicht doordat hij tijdens zijn presentaties vaak luidop de stelling uitte dat 'alle bestaande verkeerstheorieën verkeerd zijn'. Nadien gebruikte zijn kompaan Dirk Helbing Kerners theorie om alle mogelijke filepatronen in kaart te brengen, waarvan Martin Treiber dan weer het bestaan bewees op basis van empirische gegevens. Aan de andere kant stonden voornamelijk onderzoekers van de Universiteit van Californië: Carlos Daganzo, Robert Bertini, Michael Cassidy, Juan Carlos Muñoz en wijlen Gordon Newell zijn slechts enkelen die tot deze 'Berkeley school' behoren. Zij keurden het idee van spontane spookfiles af en stelden dat er altijd een geometrische verklaring voor een file was, namelijk de zogenaamde 'flessenhalzen' (*bottlenecks*) aan wegversmallingen, ongevallen, tunnels, weeftrakken of bochten. In hun theorie kon een file nog lang blijven duren nadat de oorzaak ervan verdwenen was, wat dan ook een spookfile kon verklaren.

Omdat zoveel theorieën ontwikkeld werden in dit ontluikende vakgebied, kwam de onderzoeksgemeenschap al sinds december 1959 bij elkaar tijdens het driejaarlijks georganiseerde Internationaal Symposium van Transport- en Verkeerstheorie.

Het wetenschappelijke veld heeft zich intussen ook enorm verbreed en allerlei aspecten van sociale, psychologische, milieu- en economische aard worden erbij betrokken (bijvoorbeeld rekeningrijden als een middel om vraag en aanbod meer in lijn met elkaar te krijgen). Die onderzoeksruimte weerspiegelt zich positief in een exponentieel groeiend aantal publicaties. Die zijn vaak van wisselende kwaliteit, omdat goede modellen maken zoals in alle wetenschappelijke disciplines een ware kunst is.

In de verkeerskunde beschrijven we in eerste instantie de fysieke voortbewegingen van verkeersstromen, waarbij we verschillende uitgangspunten hanteren. Een belangrijk verschil is het niveau van gedetailleerdheid waarmee de modellen werken. Zo zijn er de macroscopische modellen, die een situatie het minst gedetailleerd beschrijven. Verkeer wordt benaderd als een niet-visceuze samendrukbare vloeistof die door een netwerk van buizen stroomt (denk aan autosnelwegen). Stel dat er een wegversmalling is waarbij het aantal rijstroken afneemt, dan doen we alsof de buis smaller wordt. Als er veel verkeer is, komt dat overeen met een groot debiet van water in de buis. Omdat de buis versmalt, kan er niet zoveel water door, waarbij zich een schokgolf vormt die zich tegengesteld aan de stroming voortplant. We kennen dit fenomeen in het dagelijks leven als een filegolf. In het midden van de jaren 1950 ontwikkelden de wiskundigen James Lighthill, Gerald Whitham en Paul Richards het schoolvoorbeeld in deze klasse van modellen, ook wel gekend als het LWR-model. Het model combineert op elegante wijze de verbanden tussen de dichtheid, intensiteit en gemiddelde snelheid van een stroom voertuigen. Het doet weinig aannames, gebruikt een eenvoudige en intuïtieve voorstelling en geeft toch realistische en correcte oplossingen. Het beschrijft bijvoorbeeld de basisdynamiek aan een verkeerslicht, of de effecten van een versmalling in de weg. Aanvullend bestaan er naast het LWR-model nog talloze varianten die meer verfijningen bieden, zoals golven van stoppend en startend verkeer of van vrachtwagens naast personenwagens.

Aan het andere einde van het spectrum zitten de microscopische modellen, die zeer gedetailleerd zijn. Zij geven expliciete beschrijvingen van hoe voertuigen op elkaar reageren. Een klassiek voorbeeld is een 'voertuig-volg'- of 'volg-de-leider'-model, oorspronkelijk ontwikkeld door een groep mensen aan het onderzoekslaboratorium van General Motors. Dit type model berekent bijvoorbeeld elke tiende van een seconde hoe de versnelling, snelheid en positie van een voertuig veranderen in functie van de reactietijd, de voertuiglengte, de snelheid, de tussenafstand en het snelheidsverschil met de voorligger. Er bestaan bovendien ook modellen die het kiezen van een rijstrook nabootsen. Sommige modellen zijn gebaseerd op optimale snelheden, op de psychologische effecten bij de inschatting van de

afstand tot de voorligger, op voertuigen die in hokjes worden gestoken en elke seconde een aantal hokjes vooruitspringen, of op wachtrijen zoals aan een kassa. De submicroscopische modellen gaan nog verder. Zij houden rekening met bewegingen van de rem-, gas- en koppelingspedalen, de ligging van het voertuig op de weg, bandenslijtage, rolweerstand, motorverbruik of koppel, ... Die modellen komen uit de academische wereld, maar we kennen ze ook van dichtbij bij huis. Denk maar aan de spelletjes waarmee je op je pc, Xbox of PlayStation kan racen, van Formule 1-wagens tot monstertrucks.

De verschillende modellen spreken elkaar niet tegen, en het hangt van situatie tot situatie af welk model het meest geschikt is. Als je de verkeerspatronen in een heel land wilt modelleren, dan heeft het weinig zin om elk kruispunt individueel mee te nemen en denk je eerder macroscopisch. Als je daarentegen eerder geïnteresseerd bent om de lokale doorstroming aan een aantal kruispunten te optimaliseren, dan zou een microscopisch model beter geschikt zijn.

Het LWR-model combineert op elegante wijze de verbanden tussen de dichtheid, intensiteit en gemiddelde snelheid van een stroom voertuigen

De opkomst van betere en snellere computers zorgde ook voor een grotere bloei in het domein. Modellen konden in software worden geprogrammeerd, en studie bureaus en beleidsmakers kochten die dan als commerciële producten aan. Terwijl de vorige modellen zich vooral op de fysieke beweging van verkeer concentreerden, kwam hun volledige potentieel pas naar boven bij de ontwikkeling van de transportplanningsmodellen. Die modellen gebruiken vaak macroscopische modellen om de stroming van het verkeer te beschrijven, maar voegen daar nog een laag aan toe om beleidsvragen door te kunnen rekenen. In Vlaanderen worden deze ook wel strategische verkeersmodellen genoemd. Zij steunen vaak op een aanpak in opeenvolgende stappen. In eerste instantie brengen we de verkeersvraag in kaart. Hoeveel mensen wonen waar? Waar werken zij? Waar gaan ze uit? Waarom willen ze zich verplaatsen? Hoe verplaatsen ze zich (bijvoorbeeld met de auto, met het openbaar vervoer, te voet of met de fiets)? Welke wegen nemen zij? Moderne modellen hebben ook een economische invalshoek, waarbij men rekening houdt met wanneer mensen juist vertrekken, en of

zij te vroeg, op tijd dan wel te laat aankomen. Sommige gedetailleerde modellen zijn gebaseerd op dagboeken waarin mensen al hun transportactiviteiten beschrijven. Ook kijkt men naar het goederenvervoer, zoals bijvoorbeeld het aantal vrachtwagens dat zich over de wegen verplaatst en andere cargo die via het spoor en water worden vervoerd.

Onderzoekers gebruiken verkeersmodellen ook om uitgaande van metingen op een aantal plaatsen een schatting te maken van de toestand in het hele netwerk. Daarop voortbouwend probeert men ook de toekomst te voorspellen. Op die manier dienen verkeersmodellen om het effect van een bepaald beleid door te rekenen. Hierbij is veel mogelijk. Hoe kunnen we bijvoorbeeld de verkeerslichten beter op elkaar afstemmen? Of wat is het effect als we een lichtengeregeld kruispunt door een rotonde vervangen? Wat gebeurt er als men op de E40 een extra rijstrook legt? Wat gebeurt er als men een nieuwe lijn van het openbaar vervoer inlegt, en hoeveel extra personen zal die aantrekken? Wat is de invloed van een slimme kilometerheffing op de mobiliteit in Vlaanderen? Loont het om de Oosterweelverbinding te realiseren, of zal dit meer geld kosten dan ze opbrengt? Wat is het effect als we de ring rond Brussel verduubbelen? Hoe verstrekkend zijn de gevolgen indien er zich een ongeval op een autosnelweg voordoet? Hoeveel schadelijke uitlaatgassen veroorzaakt de transportsector? Wat zijn de file- en milieueffecten als er een groot winkelcentrum komt? Hoe erg worden de files in 2020? Verhoogt de verkeersveiligheid indien we maar 110 km/u op autosnelwegen mogen rijden? Wat gebeurt er als iedereen daar 130 km/u mag rijden? Wat is het gevolg van een hoger parkeertarief in de binnenstad? Wat als een extra parking wordt aangelegd?

Een model zet onzinnige, slechte of kwaliteitsloze invoer meestal netjes om in onzinnige, slechte of kwaliteitsloze uitvoer

Vaak volgen onderzoekers hetzelfde stramien om een antwoord op al die vragen te bieden. Eerst brengen zij de huidige situatie goed in kaart (aan de hand van de eerder vermelde vragen wie?, wat?, waar?, wanneer?, hoe?,...). Vervolgens passen ze aan de hand van bepaalde beleidsmaatregelen de situatie in het model aan. Hierbij worden bijvoorbeeld wegen toegevoegd, afgesloten, tol geheven en zo meer. Daarna berekenen ze op basis van een toekomstige

verkeersvraag wat de impact op de files is. En met extra rekenwerk schatten ze hoeveel schadelijke gassen er uitgestoten worden en waar, en hoe die zich verspreiden en wat de gevolgen voor de gezondheid zijn.

De verkeerskunde is nu zo ver gevorderd dat we denken dat we bijna alles met een computer kunnen simuleren. Maar hier zijn wel enkele waarschuwingen nodig. Een model moet immers goed bij de werkelijkheid aansluiten. We noemen dit het proces van kalibratie. En hoe ingewikkelder en groter de modellen, hoe sterker hun honger naar goede invoergegevens. Daarbij is het credo 'garbage in, garbage out' (GIGO) zeker van toepassing. Een model zet onzinnige, slechte of kwaliteitsloze invoer (de 'rommel') meestal netjes om in onzinnige, slechte of kwaliteitsloze uitvoer. Voorbeelden van deze rommel zijn slechte metingen en foutieve gegevens zoals te veel of te weinig verkeer of onjuiste snelheidsbeperkingen. Het heeft niet veel uitleg nodig om in te zien dat het erg gevaarlijk is om modellen ondoordacht te gebruiken, en een politiek beleid op foute uitkomsten te baseren.

Elke conclusie die uit een model komt, moet goed worden geëvalueerd. Waren er voldoende gegevens beschikbaar? En wat met de ouderdom, accuratheid en kwaliteit van die gegevens? Zijn er misschien nieuwe bronnen beschikbaar? En zijn de conclusies ook logisch, en haalbaar? Het is opvallend dat onderzoekers niet altijd kritisch genoeg naar de modellen kijken. Vertonen de modellen soms vreemd gedrag? Hebben ze nog genoeg verklaringskracht, wetende dat modellen een vereenvoudigde versie van de werkelijkheid zijn en niet alles kunnen wat men maar zou willen? Maakte men daarbij de juiste keuzes? Een extreem voorbeeld van dit laatste is dat de snelheden op de wegen wel belangrijk zijn, maar niet de kleuren van de auto's. Modellen gaan er bijvoorbeeld vaak van uit dat mensen rationele beslissingen nemen, en ook alle mogelijke informatie tot hun beschikking hebben. In de praktijk is dat zelden het geval, waardoor de resultaten een vertekend beeld kunnen geven. Onderzoekers gebruiken voor belevingsvragen al eens eenvoudiger modellen die de dynamiek van het verkeer niet goed weerspiegelen, waardoor files zwaar onder of overschat werden. Gelukkig begint dit besef nu in de sector door te dringen, met conferenties die speciaal rond deze onderwerpen georganiseerd worden. De bedoeling is dat je met een kritische blik naar de resultaten kijkt, je gezond verstand gebruikt en goed besef wat er wel en niet in het model zit.

Modellen worden ook gebruikt om voorspellingen op lange termijn te doen. Maar hoe zeker zijn we bijvoorbeeld over de manier waarop verkeerslichten aan kruispunten binnen tien jaar geregeld zijn? En in welke mate kloppen onze voorspellingen van tien

jaar geleden? Een recente studie toonde aan dat we niet altijd leren uit onze fouten. Onderzoekers, verkeersplanologen en beleidsmakers gebruiken modellen die opgeblazen resultaten gaven. Achteraf gezien bleek dat de baten van infrastructureuprojecten voor de weg tot twintig procent en voor het spoor zelfs tot vijftig procent werden overschat. Net daarom is het belangrijk dat beleidsmakers achteraf ook kijken of ze wel de juiste beslissing hebben genomen.

Modellen gaan er vaak van uit dat mensen rationele beslissingen nemen en over alle mogelijke informatie beschikken

Een verkeersmodel maakt een berekening volgens de randvoorwaarden die je zelf oplegt. En afhankelijk van wat je kiest zullen de resultaten anders zijn. Wil je meer en vlottter verkeer door het netwerk pompen? Wil je de veiligheid drastisch verhogen? Moeten het milieu en de leefbaarheid verbeteren? Beleidsmakers willen graag alles, wat in de praktijk niet altijd mogelijk is. Daarom moeten ze de juiste afwegingen en keuzes maken.

Tot slot geven we nog twee belangrijke aandachtspunten mee om met voldoende vertrouwen de uitkomsten van onze modellen te geloven. Voorreestpleiten we voor een transparant en open beleid met afdoende kansen om tussendoor bij te sturen. Daarnaast breken we een lans voor nog meer interdisciplinaire evolutie in de verkeerskunde. Zelfs het meest complexe verkeerskluwen ontstaat nog altijd vanuit individueel menselijk gedrag. Het is onafwendbaar dat zowel psychologen als verkeerskundigen dichter naar elkaar toe zullen groeien bij de modellering. ●

Bert Flyvbjerg, Mette K. Skamris Holm en Søren L. Buhl, 'Inaccuracy in Traffic Forecasts', in: *Transport Reviews*, 2006, (26) 1, 1-24.
Robert Bertini (ed), '75 Years of the Fundamental Diagram for Traffic Flow Theory: Greenshields Symposium', in: *Transportation Research Circular*, 2011, nr. E-C149, juni.