

Multi-criteria optimalisatie voor het bepalen van de beste netwerkbrede inzet van DVM-maatregelen

Geld maakt niet gelukkig

De afgelopen jaren is het besef gegroeid dat verkeersmanagement breder kan worden ingezet dan alleen voor het verbeteren van de doorstroming. Ook op externe effecten als luchtkwaliteit, geluidsoverlast, CO₂-uitstoot en verkeersveiligheid kan dynamisch verkeersmanagement een positieve invloed hebben. Werden deze thema's voorheen nog randvoorwaardelijk meegenomen ('verkeersveiligheid mag niet slechter worden'), tegenwoordig zijn het steeds vaker doelen op zich. Reden voor de auteurs om na te gaan op welke wijze je de ideale 'brede' inzet van netwerkbreed dynamisch verkeersmanagement kunt bepalen. Oftewel: hoe weeg je wat goed is voor én doorstroming én externe effecten?

Het bepalen van de ideale inzet van dynamisch verkeersmanagement (DVM) is in feite een optimalisatieprobleem met meerdere doelstellingen. Over het algemeen heeft een dergelijk complex optimalisatieprobleem niet één oplossing. Er is dus niet één verkeersmanagementscenario waarbij zowel doorstroming als veiligheid en luchtkwaliteit optimaal zijn. Uitkomst van een dergelijke optimalisatie is een reeks oplossingen: een *Pareto optimale verzameling*. Voor elke oplossing in deze verzameling geldt dat er niet een andere oplossing bestaat die voor alle doelstellingen beter is. Wel kan een andere oplossing beter zijn voor de doorstroming, maar deze is dan weer slechter voor bijvoorbeeld verkeersveiligheid. We zoeken dus niet uit een vooraf bepaalde verzameling van managementscenario's de beste, maar we zijn op zoek naar de beste inzet van alle mogelijke scenario's.

Wij hebben bewust gekozen voor deze multi-criteria aanpak en niet voor een gewogen doelfunctie waarbij alle doelstellingen vooraf gewogen, veelal in geld uitgedrukt, bij elkaar worden opgeteld. Op deze manier zijn we in staat inzicht te krijgen in de mate waarin doelstellingen conflicterend zijn of juist samengaan. We kunnen de zogenaamde *trade-offs* boven water krijgen: hoeveel lever je in op (bijvoorbeeld) doorstroming als je (bijvoorbeeld) verkeersveiligheid wilt optimaliseren?

Uiteraard dient er uiteindelijk, nadat de Pareto optimale verzameling bekend is, nog wel een keuze uit de verzameling te worden gemaakt. Maar de inzichten in *trade-offs* maken de keuze voor een specifieke oplossing in ieder geval transparant.

Optimaliseren van DVM-maatregelen

Tot zover de globale omschrijving van de aanpak. We zullen nu inzoomen op de werkwijze, gebruikte instrumenten en op de resultaten van een modelstudie.

Waar het bij dit DVM-optimalisatieprobleem om gaat is om de beste invulling van het aanbod van infrastructuur te vinden, gegeven de doelstellingen – een multi-criteria netwerk ontwerp-probleem. De beslisvariabelen waarmee het aanbod van infrastructuur wordt beïnvloed, zijn de verkeersmanagementmaatregelen; de bereikbaarheid en de externe effecten geluidshinder,

luchtkwaliteit, klimaat en verkeersveiligheid zijn de doelen. Echter, wanneer je DVM-maatregelen inzet, moet je rekening houden met een reactie van weggebruikers, zoals een gewijzigde routekeuze. Deze weggebruikers optimaliseren zelf ook hun eigen situatie op basis van eigen doelstellingen. Dit probleem wordt opgelost met een aanpak op twee niveaus (*bilevel*). Op het hoge niveau worden de DVM-maatregelen optimaal aangepast aan het verplaatsingsgedrag van de automobilisten, op het lage niveau wordt verplaatsingsgedrag optimaal aangepast aan de verkeerscondities (beïnvloed door de DVM-maatregelen). De niveaus zijn dus afhankelijk van elkaar.

In het lage niveau bepalen we een dynamisch gebruikersevenwicht door middel van het macroscopisch dynamische verkeers-toedelingsmodel Streamline in OmniTRANS (Raadsen et al., 2010), waarin de effecten van diverse DVM-maatregelen nauwkeurig kunnen worden bepaald. De doelstellingen zijn steeds op netwerkniveau op basis van de uitvoer van Streamline berekend, waarbij emissies zijn bepaald met ARTEMIS (INFRAS, 2007), geluid met SRM (RMV, 2006) en veiligheid met een risicogebaseerd veiligheidsmodel (Jansen, 2005). De optimalisatie op het hoge niveau is uitgevoerd door toepassing van een genetisch algoritme (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II). Aldus kan de verzameling van optimale managementscenario's worden bepaald (Wismans et al., 2011).

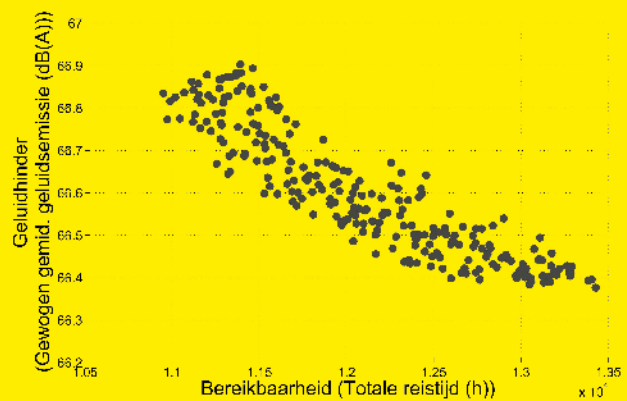
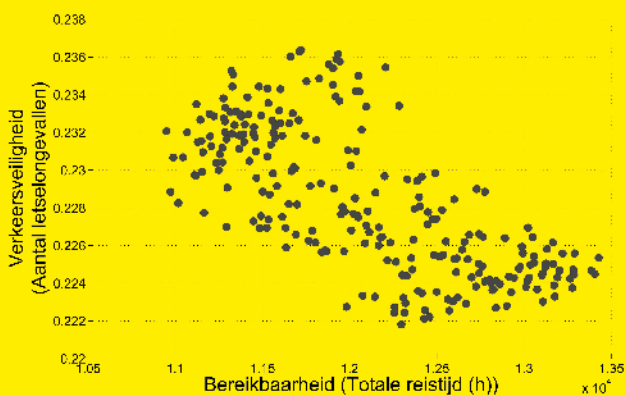
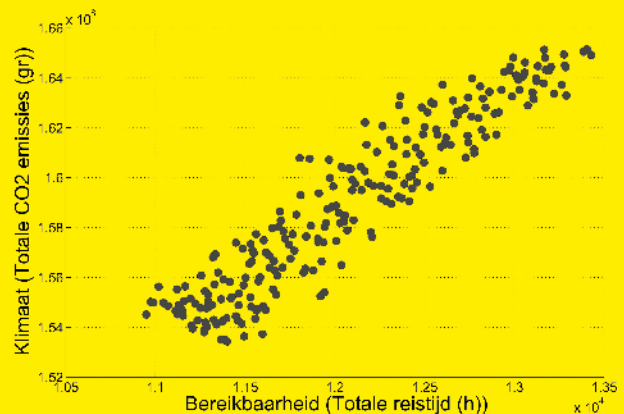
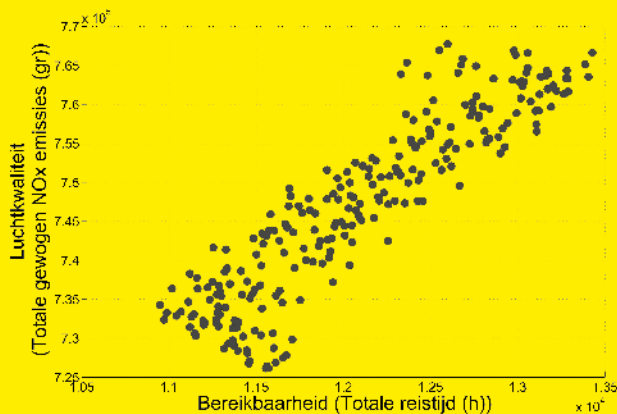
Afweging

De optimalisatie resulteert in een Pareto optimale verzameling van oplossingen. Uit deze oplossingen moet uiteindelijk een keuze worden gemaakt waarbij een vorm van multi-criteria analyse kan worden toegepast. Hiervoor zijn diverse methoden beschikbaar, waarbij de kostenbatenanalyse, die voor veel infrastructuurprojecten wordt gebruikt, er één is. Er bestaan echter ook andere methoden zoals de gewogen som, gewogen product en Electre III. Bij deze methoden hoeven de doelen niet gemonetariseerd (in geld uitgedrukt) te worden, maar zijn er wel weegfactoren nodig om de mate van belangrijkheid van de doelen te kunnen bepalen (Triantaphyllou et al., 1998). De methoden verschillen in de mate waarin de uitkomsten op de doelfuncties als exacte uitkomsten worden beschouwd en de wijze waarop de uitkomsten met elkaar worden vergeleken. Al deze methoden hadden ook vooraf kunnen worden meegenomen in het optimalisatieprobleem, waardoor het multi-criteria netwerkontwerp probleem wordt omgebogen tot een optimalisatieprobleem met slechte één doelfunctie. Maar zoals eerder toegelicht, door dat niet te doen verkrijgen we waardevolle informatie voor de afweging: inzicht in de trade-offs.

Almelo

In een modelstudie van het netwerk van Almelo zijn diverse afweegmethoden toegepast om de resultaten en verschillen te demonstreren. Het gemodelleerde netwerk bestaat uit de belangrijk-

Pareto optimale oplossingen in twee dimensies, waarbij steeds bereikbaarheid is afgezet tegen andere doelen.



ste stroomwegen en gebiedsontsluitingswegen. De vervoersvraag is verhoogd om zo de afwikkelingsproblemen te vergroten. De beschouwde DVM-maatregelen zijn de instelling van zeven verkeersregelinstanties, vooral op de ring, en de instelling van een dynamische maximumsnelheid op de A35 in beide richtingen. De doelstellingen die worden geoptimaliseerd zijn voor bereikbaarheid de totale reistijd, voor verkeersveiligheid de totale hoeveelheid letselongevallen, voor luchtkwaliteit de totale gewogen NO_x -emissie, voor klimaat de totale CO_2 -emissie en voor geluidshinder wordt de gewogen gemiddelde geluidsemissie gebruikt. De weging voor luchtkwaliteit en geluidshinder is hierbij afhankelijk van de mate van verstedelijking, aangezien voor deze externe effecten de locatie waar de stoffen en geluid worden uitgestoten van belang is (in tegenstelling tot bijvoorbeeld CO_2). We beschouwen verder een spitsperiode van drie uur, die is opgedeeld in zes discrete tijdsintervallen waarvoor steeds een andere instelling van de maatregelen kan worden gekozen. Op deze wijze zijn er in totaal $6,36 \times 10^{45}$ oplossingen mogelijk.

Voor de monetaarisatie van de doelen op bereikbaarheid en de externe effecten is gebruik gemaakt van het handboek opgesteld binnen de Europese studie IMPACT (Maibach et al., 2008). In deze studie zijn monetaire waarden vastgesteld voor het internaliseren van externe effecten. Deze zijn vergelijkbaar met de waarden zoals we die in Nederland gebruiken, bijvoorbeeld binnen OEI bij MIT-planstudies.

Pareto optimale oplossingen

In de figuren links worden de Pareto optimale oplossingen van de optimalisatie getoond in twee dimensies. Let wel, dit zijn alle Pareto optimale oplossingen voor de gelijktijdige optimalisatie van bereikbaarheid, klimaat, luchtkwaliteit, verkeersveiligheid en geluidshinder. De figuren tonen dat de doelstellingen bereikbaarheid, klimaat en luchtkwaliteit in dit geval met name op een lijn liggen en tegengesteld zijn aan verkeersveiligheid en geluidshinder. Dus grosso modo betekent dit dat verbeteren van de doorstroming ook een vermindering van de uitstoot van CO_2 tot gevolg heeft. Echter, er is niet een oplossing die alle doelstellingen die op een lijn liggen tegelijkertijd optimaliseert. De oplossing die bijvoorbeeld het beste scoort op luchtkwaliteit, resulteert in 6% hogere totale reistijd. In verliesuren is dit zelfs 29% hoger. Nadere beschouwing van de oplossingen leert dat de optimalisatie van bereikbaarheid zich richt op het vermijden van congestie en het gebruik van de volledige capaciteit van de beschikbare routes, wat ook goed blijkt te zijn voor het klimaat. Luchtkwaliteit richt zich op het vermijden van congestie en hoge snelheden en zoekt naar de beste balans tussen het minimaliseren van de hoeveelheid verkeer door de stad en de mate van congestie op de snelweg. Voor verkeersveiligheid is het belangrijk dat het gebruik van de relatief veilige snelwegroutes wordt gemaximaliseerd en stedelijke routes worden vermeden. Het aspect geluid ten slotte tracht de snelheden zo laag mogelijk te houden en stedelijke routes te ontzien.

De getoonde Pareto optimale verzameling geeft ook informatie over de trade-offs. Zo blijkt in deze studie bijvoorbeeld dat je 30 kg CO_2 in de spits kunt besparen als je accepteert dat de reistijd per voertuig gemiddeld 1 seconde toeneemt.

Monetaarisatie als compensatieprincipe

Bij het monetaariseren van de effecten om de beste oplossing te kunnen bepalen uit de Pareto optimale verzameling, blijkt dat

reistijdverschillen tussen de oplossingen dusdanig dominant zijn voor de uitkomst dat externe effecten geen rol meer spelen in de keuze. De oplossing die de bereikbaarheid optimaliseert, scoort het beste – zelfs als we een onzekerheidsmarge meenemen van 10% in de gebruikte monetaire waarden. Anders gezegd, als afgesproken wordt dat monetaarisatie de weging is waarop de externe effecten meegenomen zouden moeten worden in de optimalisatie van DVM-maatregelen, dan kan worden volstaan met het optimaliseren van de bereikbaarheid. Het lijkt echter niet wenselijk dat doelstellingen gerelateerd aan de leefbaarheid worden genegeerd. Zeker ook omdat de monetaire waarden die worden gebruikt, betwistbaar zijn en het correct waarderen van de effecten ook wordt gezien als een van de grootste problemen van het uitvoeren van een kostenbatenanalyse (Mouter et al., 2011). Op basis van de gemiddelde trade-offs tussen de doelstellingen blijkt dat de prijzen van de externe effecten minimaal een factor 20 hoger dienen te liggen, willen deze effecten vergelijkbaar meetellen als reistijdskosten. Het ligt daarom voor de hand om bij de optimalisatie van bereikbaarheid en de externe effecten met behulp van DVM-maatregelen binnen een netwerk ook andere methoden van multi-criteria analyse te overwegen. Een mogelijk interessante methode is Electre III. Dit is een fuzzy methode die rekening kan houden met de onzekerheden die gepaard gaan met de uitkomsten op de individuele doelfuncties.

Tot slot

Binnen het onderzoek is een raamwerk ontwikkeld dat de netwerkprestatie op het gebied van bereikbaarheid en de externe effecten van verkeer gelijktijdig kan optimaliseren door de inzet van DVM-maatregelen op strategisch niveau. Het monetaariseren van de effecten leidt uiteindelijk tot het negeren van de leefbaarheidsdoelstellingen, dus kunnen we ons afvragen of geld echt gelukkig maakt. Enkel de doelstellingen die op een lijn liggen met bereikbaarheid zullen in dit geval profiteren van een dergelijke afweging. Naast een kritische blik op de waardering die wordt gebruikt bij een kostenbatenanalyse is het het overwegen waard om andere methoden te beschouwen die meer recht doen aan de kwaliteit van de data die wordt gebruikt en het beslisproces waarbinnen de afweging wordt gemaakt. Door niet vooraf de weging mee te nemen in de optimalisatie en daarmee de enkele beste oplossing te bepalen, maar een multi-criteria optimalisatie uit te voeren, kan daarbij waardevolle informatie worden geleverd voor dit beslisproces. 

De auteurs



Luc Wismans is senior onderzoeker Transportinnovatie en -modellering, Goudappel Coffeng BV en promovendus aan de Universiteit Twente.

Eric van Berkum is hoogleraar en voorzitter van de vakgroep Verkeer, Vervoer en Ruimte van de Universiteit Twente.

Michiel Bliemer is senior onderzoeker Transportinnovatie en -modellering, Goudappel Coffeng BV en universitair hoofddocent aan de TU Delft.