

Een generieke aanpak voor DVM – Proactief regelen van de snelweg A15 in het havengebied met BOS-HbR

Thomas Schreiter
(*Technische Universiteit Delft*)

Hans van Lint
(*Technische Universiteit Delft*)

Serge Hoogendoorn
(*Technische Universiteit Delft*)

Zlatan Muhurdarevic
(*Havenbedrijf Rotterdam*)

Samenvatting

Een goede en betrouwbare doorstroming op de A15 van en naar de Rotterdamse haven is van groot economisch belang. Wij stellen een proactieve en adaptieve voertuig-classespecifieke regelaanpak voor, die optimale DVM maatregelen genereert. De aanpak is generiek en kan gebruikt worden bij wegwerkzaamheden, nieuwe DVM maatregelen, en incidenten.

Trefwoorden

Dynamisch Verkeersmanagement, classespecifieke regeling, proactieve regeling, verkeersmodel

1. Introductie

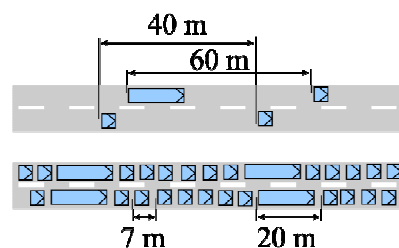
Een goede en betrouwbare doorstroming op de A15 corridor van en naar de Rotterdamse haven is van groot economisch belang. De A15 is een cruciale maar onbetrouwbare schakel in de vele goederenketens van en naar de haven. Onderzoek uit de afgelopen jaren heeft aangetoond dat met name de onbetrouwbaarheid in reistijden als gevolg van files als zeer kostbaar wordt ervaren voor zowel verladers als automobilisten. Dynamische verkeersmanagement (DVM) maatregelen, zoals toeritdosering en routing (via DRIPS of in-car) zijn zeer (kosten)effectieve middelen om (a) congestie zolang mogelijk uit te stellen en (b) als er toch file ontstaat de gevolgen daarvan (terugslag) te beheersen en beperken.

Een extra complexiteit is dat de verkeersafwikkeling sterk beïnvloed door het percentage vrachtverkeer. Een groot aandeel vrachtverkeer resulteert in een lage effectieve capaciteit en een ongunstige file op- en afbouw.

Dit laat zich eenvoudig verklaren. De effectieve capaciteit van een weg (maximaal aantal voertuigen dat per tijdseenheid kan passeren) is gelijk aan 1 gedeeld door de minimale volgtijd die voertuigen op elkaar durven aan te houden bij een bepaalde gemiddelde snelheid. Rond de 85 km/u blijkt die volgtijd gemiddeld het kleinst te zijn (iets meer dan anderhalve

seconde) en daarmee de effectieve capaciteit het grootst (ordegrootte 2300 vtg/u). De gemiddelde volgtijd is natuurlijk ook gelijk aan de gemiddelde volgafstand tussen voertuigen maal de gemiddelde snelheid die ze rijden. De consequentie daarvan is: hoe groter het percentage vrachtverkeer, hoe groter de gemiddelde volgafstand en dus hoe lager de capaciteit bij gelijkblijvende snelheid (die 85 km/u). Bij een vrachtwagen percentage van 20% kan dat oplopen tot een capaciteitsreductie in de orde van 10%.

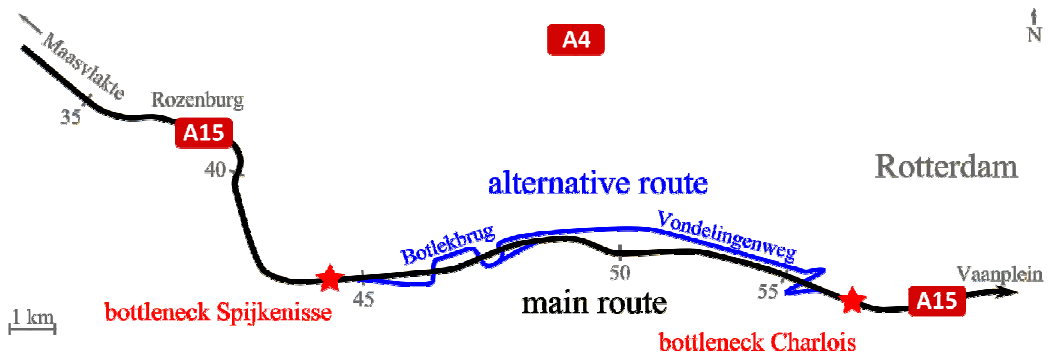
Het vrachtwagenpercentage heeft ook sterke effecten op de verkeersafwikkeling *nadat* er file is ontstaan. Figuur 1 geeft schematisch weer hoe de volgafstanden tussen auto's en vrachtwagens zich verhouden in vrije afwikkeling en congestie (file). In licht verkeer (boven) neemt een vrachtwagen ongeveer anderhalf keer zoveel ruimte in beslag dan een auto. In zwaar verkeer (file) neemt een vrachtwagen veel meer ruimte in beslag dan een auto: 2 tot 3 maal zoveel. Dat betekent dat zodra er files ontstaan, deze (boven proportioneel) sneller groeien als het vrachtwagen percentage hoog is. Sneller groeiende files leiden tot een grotere kans op file terugslag en blokkades waarmee het probleem nog groter wordt. Samenvattend: meer vrachtverkeer resulteert in lagere effectieve capaciteiten (eerder file) en - als er eenmaal file staat - in sneller groeiende files die meer ruimte beslaan.



Figuur 1 Voertuigdynamica van verschillende klassen

De vraag is dus, hoe we, gegeven het evidente economische belang van het vrachtverkeer op de A15 en deze elementaire kennis van de verkeersafwikkeling, betere DVM maatregelen kunnen bedenken. Deze vraag is te meer relevant nu er zulke grootschalige wegwerkzaamheden gepland staan op de – toch al kwetsbare - A15 corridor.

In dit paper stellen we een regelaanpak voor, die klasse-specifiek in het verkeerssysteem ingrijpt, d.w.z., een aanpak die afhankelijk van de omstandigheden DVM maatregelen optimaliseert die zijn toegespitst op vracht- of juist personenverkeer, of allebei. De aanpak biedt bovendien de mogelijkheid om expliciet het economische belang van vrachtverkeer mee te wegen. Deze aanpak is ontwikkeld in een promotie traject bij de TU Delft, in nauwe samenwerking met het havenbedrijf en de Verkeersonderneming. Het resultaat van dat promotie traject is een proof of concept, dat weliswaar niet direct op straat kan worden gezet, maar wel stapsgewijs en in samenhang met de al gaande ontwikkelingen op het gebied van verkeersmanagement in de regio kan worden uitgerold. Het prototype systeem, genoemd BOS-HbR (“Beslissingsondersteunend systeem voor het Havenbedrijf Rotterdam”) wordt in de volgende secties kort toegelicht en in simulaties toegepast op de A15 bij de haven (zie Figuur 2), onder zowel reguliere als incidentele omstandigheden. In de laatste paragraaf trekken we een aantal conclusies en bediscussiëren we hoe nu verder te gaan.



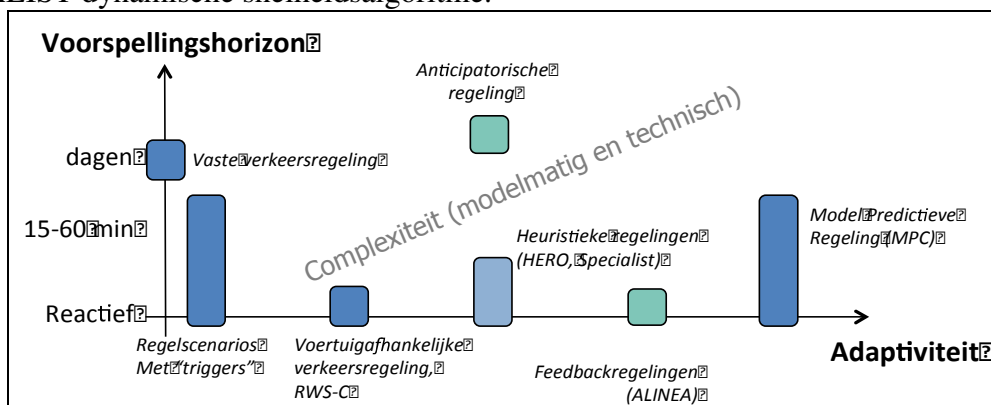
Figuur 2 Het netwerk bij de haven

2. Structuur van de regelcirkel en van BOS-HbR

Verkeersmanagement en -regelsystemen kunnen volgens verschillende filosofieën worden ontworpen. Grofweg kun je die filosofieën indelen langs twee dimensies: (1) mate van proactiviteit van de regeling (wordt er voorspeld?) en (2) de adaptiviteit van de regeling (past de regeling zich aan de huidige toestand aan en leert de regeling van zijn fouten).

Regel filosofieën

Figuur 3 laat een paar voorbeelden van zowel eenvoudige en complexe regelingen uit de praktijk zien. Een vaste verkeersregeling is vaak wel “proactief” (maakt onderscheid tussen spitsperiodes en weekdays) maar is niet adaptief. Een voertuigafhankelijke verkeersregeling is wel adaptief en hoeft daardoor ook geen lange termijn voorspellingen te doen. Ook het RWS-C toerit doseer algoritme is adaptief (kijkt naar de verkeersvraag). De regelscenario aanpak die nu in verkeersmanagement centrales operationeel is werkt op grond van triggers (grenswaarden voor intensiteiten of snelheden) en kan ook worden geclassificeerd als proactief (een scenario bevat immers een grove voorspelling voor de verkeerssituatie) maar is nauwelijks adaptief (er is geen mogelijkheid om het scenario te tunen op de huidige situatie). Helemaal aan de andere kant van het spectrum staan zogenaamde model-predictieve regelingen (model predictive control: MPC), die zowel volledig adaptief zijn als proactief. Dit is het type regeling dat we in dit paper bespreken. Tussen deze extremen (regelscenario's en MPC) bevinden zich allerlei andere filosofieën die werken op basis van feedback (bijvoorbeeld het ALINEA toeritdoseeralgoritme) en (slimme) heuristieken zoals het SPECIALIST dynamische snelheidsalgoritme.



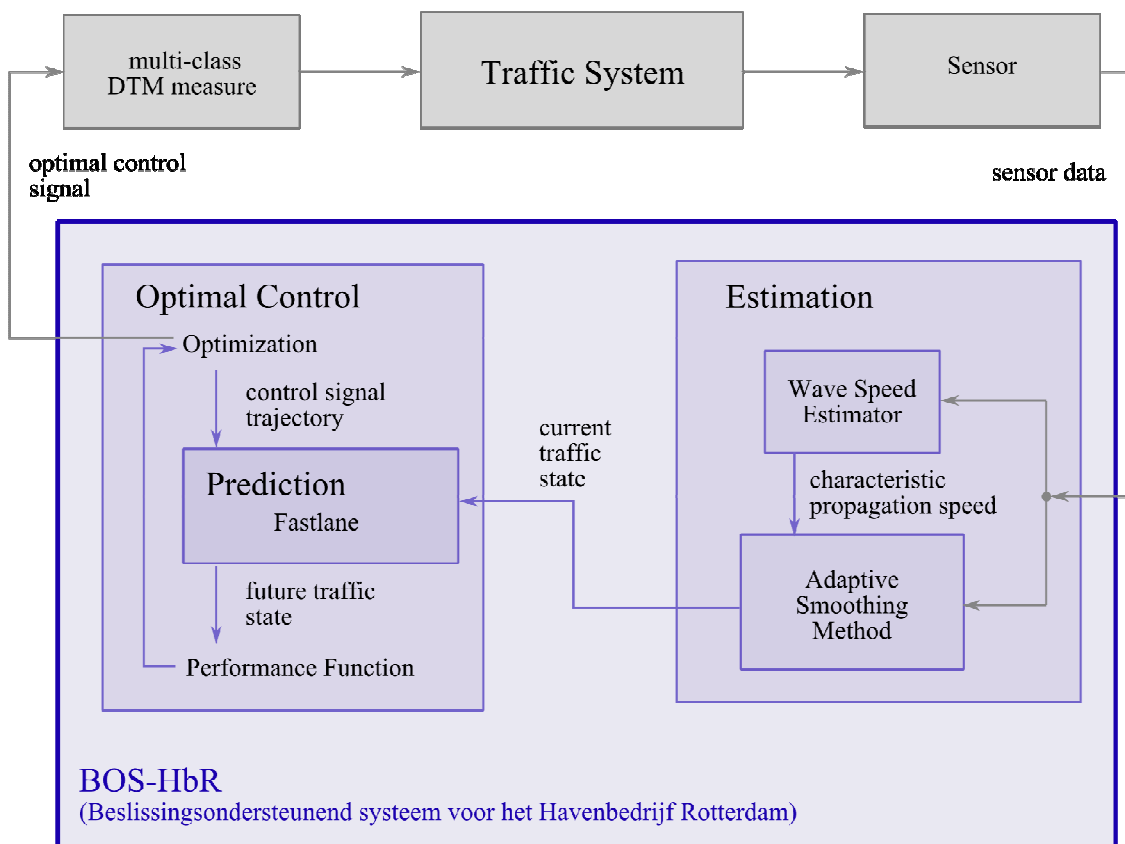
Figuur 3 Classificatie van regel filosofieën met voorbeelden

In dit paper beschrijven we een MPC aanpak. De reden voor deze keuze is dat MPC regelingen ons veel kunnen leren over wat de optimale regeling voor een bepaald probleem is. Omdat de verkeersafwikkeling in netwerken zo'n complexe aangelegenheid is (denk aan file

terugslag, blokkades, de variabiliteit in zowel verkeersvraag als -afwikkeling), is het zeer moeilijk (zo niet onmogelijk) om grond van a-priori kennis een “optimale combinatie” van regelparameters (doseer-, groen- en cyclustijden, route adviezen) in een netwerk te vinden. Een MPC regeling vind die combinatie automatisch op grond van het vooraf gewenste regeldoel (minimalisatie totale reistijd of reiskosten bijvoorbeeld). Door goed te kijken naar MPC oplossingen is het vaak mogelijk om eenvoudiger regelingen te ontwerpen.

Ingrediënten BOS-HBR: de regelcirkel

Kenmerkend voor een regelsysteem (dus ook een MPC regelaar) is de zogenaamde regelcirkel in Figuur 4. Met behulp van sensoren worden gegevens verzameld. Als sensoren worden op de A15 de inductielussen van Rijkswaterstaat gebruikt. Zij meten de snelheid en de intensiteit gemiddeld per minuut. Op het onderliggende wegennet meet het Havenbedrijf individuele voertuigdata, onder meer de passagetijd, de voertuiglengte en de snelheid.



Figuur 4 De regelcirkel

De data worden vervolgens door een toestandsschatter (in Figuur 4 aangeduid met “Estimation”) gebruikt die data om de huidige verkeersstoestand langs het gehele traject te bepalen in de vorm van dichtheden (aantal voertuigen per km) en ruimtelijk gemiddelde snelheden. Die vertaalslag is nodig, want gegevens uit detectoren (intensiteiten, lokaal gemiddelde snelheden) geven uitsluitend informatie op doorsnedes en bevatten zowel structurele als willekeurige fouten. In BOS-HBR gebruiken we de zogenaamde Adaptive Smoothing Method (ASM), die de data in ruimte en tijd middelt en uitsmeert langs karakteristieke snelheden in overeenstemming met verkeersstroomtheorie. De ASM wordt automatisch met de “Wave Speed Estimator” gekalibreerd, welke die karakteristieke snelheden uit de data bepaalt.

De MPC regelaar berekent vervolgens op basis van de huidige toestand de optimale signalen (Optimal Control) voor de DVM maatregelen. De regelaar maakt daarbij gebruik van een voorspellingsmodel (Prediction), om de verwachte toekomstige toestand te bepalen. Hiervoor gebruiken we een verkeersafwikkelingmodel. Zo'n model is in staat om de gevolgen van zowel de DVM maatregelen te voorspellen, als ook de gevolgen van bijvoorbeeld incidenten. In dit onderzoek gebruiken wij het klassen-specifieke dynamische model Fastlane, wat de dynamica van de voertuigklassen modelleert zoals in Figuur 1.

De regelaar gebruikt het voorspellingsmodel om verschillende combinaties van regelparameters te toetsen. Die combinatie die de beste prestatie oplevert, wordt uiteindelijk als beste en geïmplementeerd. De gekozen prestatie maat is daarmee bepalend voor wat de MPC regelaar zal optimaliseren. Een veel gebruikte prestatie maat is de totale (gesommeerde) reistijd. In BOS-HBR gebruiken wij de totale reiskosten, waarbij de totale reistijd gewogen wordt met de klassenspecifieke tijdswaardering (in euro's). In dit paper bedraagt die "value of time" voor vrachtwagens 45 € per uur, en voor een personenauto 15 € per uur. Uiteraard kunnen deze waarden worden aangepast en kunnen er veel meer voertuigklassen worden toegevoegd met verschillende tijdswaarderingen. Omdat de regelcirkel gesloten is en deze lus elke paar minuten wordt doorlopen is een MPC regelaar zowel proactief (voorspellend) als adaptief (er is sprake van continue feedback).

Voertuigklasse specifieke DVM maatregelen

In dit project zijn verschillende *klassenspecifieke* DVM maatregelen uitgewerkt, onder andere toeritdosering (TDI), dynamische snelheidslimieten, routing, dynamische rijstroken, et cetera. In dit paper laten we klassenspecifieke uitbreidingen van TDI's en route advies maatregelen zien. Een klassenspecifieke toeritdosering doseert de toegang tot de snelweg voor elke voertuigklasse separaat. Voor elke klasse is daarom tenminste één rijstrook nodig. In dit onderzoek wordt een klassenspecifieke TDI op the toerit van de A4 naar de A15 gesimuleerd. Verder gebruiken wij twee klassenspecifieke route advies maatregelen, die de voertuigklassen via de alternatieve route stuurt. De eerste staat bij Spijkenisse voor de Botlekbrug; de tweede staat achter de Botlekbrug, welke adviseert of op de alternatieve route te blijven, of terug naar de A15 te rijden.

De volgende secties passen BOS-HbR op de A15 toe en vergelijken de klassenspecifieke regeling met de gewone regeling en het geval zonder regeling.

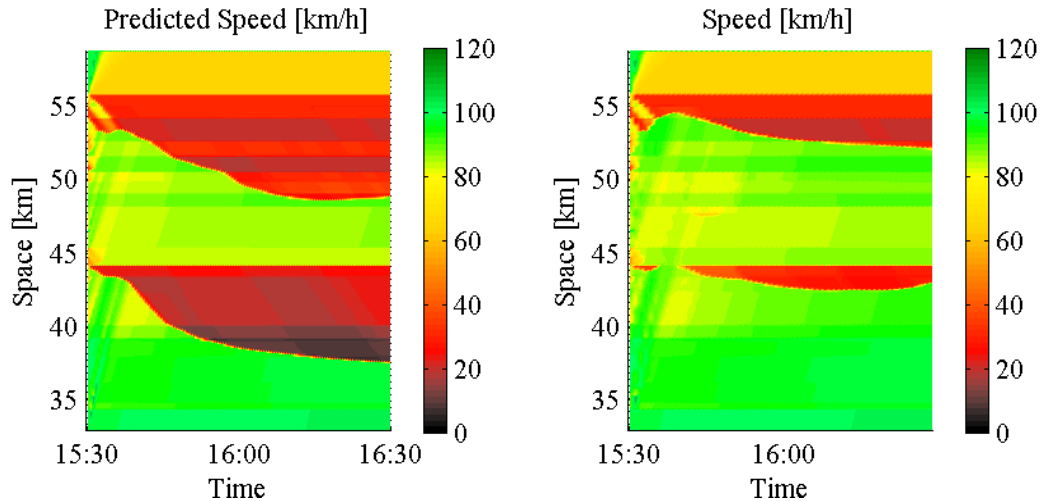
3. Resultaten: Proof of Concept

Proactieve Regeling onder Reguliere Omstandigheden

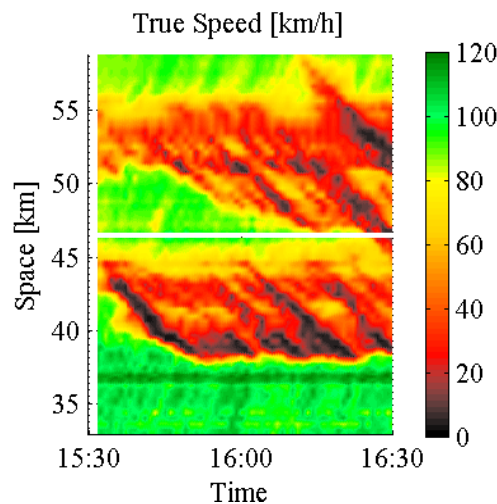
BOS-HbR werd voor meerdere avondspitsuren op de A15 toegepast. Wij presenteren hier de uitkomsten van 30-03-2011 om 15:30.

Figuur 5 (links) toont de voorspelde gemiddelde snelheden uit het verkeersmodel over ruimte en tijd zonder regeling. Duidelijk te zien zijn de reguliere congesties bij de knelpunten bij Spijkenisse en bij Charlois. Ter vergelijking toont Figuur 6 de echte toestand van die dag. De voorspelde files komen dus goed met de werkelijkheid overeen. Figuur 5 (rechts) toont de voorspelling op basis van de optimale regelsignalen. Een deel van het verkeer wordt nu via de alternatieve route geleid, zodat minder file op de A15 ontstaat. De klassenspecifieke regelaar stuurt daarbij vooral personenauto's via de alternatieve route, waarbij vrachtwagens op de snelweg mogen blijven. De reden is dat auto's sneller zijn en – in onze simulaties - een lagere

economische waarde hebben dan vrachtwagens. Personen auto's kunnen daarom sneller via de onderliggende route kunnen rijden, terwijl (kostbare) vrachtwagens op de kortere route mogen blijven. Een vergelijking met een proactieve *niet-klassenspecifieke* regelaar toont daarom een verbetering van de netwerkprestatie. Het loont om onderscheid te maken tussen voertuigklassen. Tabel 1 geeft een overzicht van de totale prestaties voor dit geval.



Figuur 5 Voorspelling onder reguliere omstandigheden; links: zonder regeling; rechts: met optimale klassenspecifieke regeling

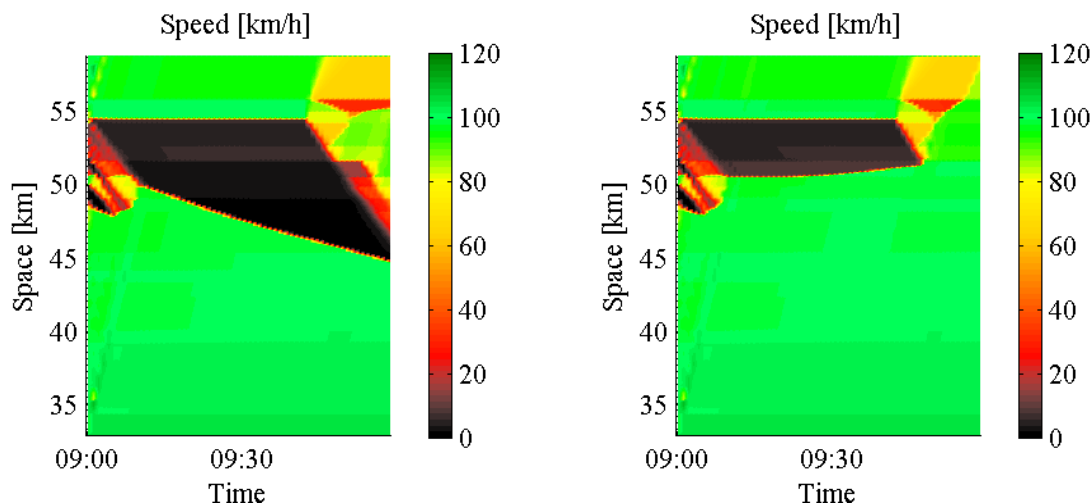


Figuur 6 Ter vergelijking, echte toestand onder reguliere omstandigheden

Proactieve Regeling onder Incidentele Omstandigheden

Op 18-04-2011 gebeurde een ongeluk op de A15 bij kilometer 54. Deze locatie, de resterende capaciteit en de verwachte duur van het ongeluk werd aan BOS-HbR meegegeven. Figuur 7 (links) toont de voorspelling zonder regeling. Het ongeluk duurde tot 9:45 en veroorzaakte een lange file. Zelfs na het oplossen van het ongeluk stond nog steeds file op de A15. Figuur 7 (rechts) toont de voorspelling onder de optimale regeling. Het verkeer wordt via de alternatieve route omgeleid. Bovendien wordt de klassenspecifieke TDI op de A4 geactiveerd, zodat geen fileterugslag op de A15 ontstaat. De file is daardoor duidelijk korter. In vergelijking met een *niet-klassenspecifieke* regelaar presenteert de klassenspecifieke regelaar ook hier beter (zie Tabel 1), omdat hij de kostbare vrachtwagens bij de TDI prioriteit geeft:

eerst wordt de wachtrij van de vrachtwagens opgelost, daarna de wachtrij van de auto's. De regelaar doet dit om twee redenen: ten eerste vanwege het verschil in economische waarde en ten tweede vanwege het verschil in effect op de verkeersafwikkeling (zoals uitgelegd in de inleiding van dit paper). Die twee effecten versterken elkaar en leiden ertoe dat deze classespecifieke combinatie van DVM maatregelen gunstig uitpakt.



Figuur 7 Voorspelling onder incidentele omstandigheden; links: geen regeling; rechts: optimale klassenspecifieke regeling

Tabel 1 Resultaten van alle simulaties: totale reiskosten

	Reguliere Omstandigheden	Incidentele Omstandigheden
Klasse specifieke Regeling	44000 €	39800 €
Niet-klasse specifieke Regeling	44700 €	40000 €
Geen Regeling	47900 €	45500 €

4. Conclusies

In dit paper demonstreerden we een proactieve regelsysteem (BOS-HbR) die het verkeer op de A15 en het onderliggende wegennet klassenspecifiek regelt. In de voorbeelden hebben we gekeken naar classespecifieke toeritdosering en routing en in beide gevallen blijkt dat door het verkeer klassenspecifiek aan te sturen, de totale netwerk prestatie beter is dan onder een gewone, niet-classespecifieke aanpak.

Door een verkeersafwikkelingmodel te gebruiken, is het systeem flexibel voor uitbreidingen en veranderingen. Nieuwe infrastructuur, zoals de uitbreiding van de weg of nieuwe DVM maatregelen, kunnen direct toegevoegd worden. Verder kunnen meerdere klassen gemodelleerd worden, denk aan volle en lege vrachtwagens of bussen. Het doel van de optimale regelaar kan ook op andere manieren gedefinieerd worden dan op basis van totale reiskosten; denk daarbij aan (classespecifieke) voertuigverliesuren, emissies, of een reistijdgarantie op een route voor een bepaalde voertuigklasse.

Een prototype van BOS-HbR draait nu online een schat en voorspelt de verkeerstoestand op de A15. Bovendien worden optimale regelsignalen voor de twee classespecifieke

herrouteringsmaatregelen berekend. Op www.regiolab-delft.nl/boshbr zijn die resultaten in real-time beschikbaar.

Literatuur

Schreiter, Thomas; Landman, Ramon; Van Lint, Hans; Hegyi, Andreas; Hoogendoorn, Serge: "Vehicle-class Specific Route-guidance of Freeway Traffic by Model-predictive Control", Proceedings of the 91th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2012

Schreiter, Thomas; Van Lint, Hans; Hoogendoorn Serge: "Multi-class Ramp Metering: Concepts and Initial Results," Proceedings of IEEE Intelligent Transport Systems Conference (ITSC), Washington, D.C., 2011

Van Lint, Hans; Hoogendoorn, Serge; Schreuder, Marco: "Fastlane: New Multiclass First-Order Traffic Flow Model", Proceedings of the 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2008

Treiber, Martin; Helbing, Dirk: "Reconstructing the Spatio-Temporal Traffic Dynamics from Stationary Detector Data", Proceedings of Cooper@tive Tr@nsport@tion Dyn@mics, 2002

Schreiter, Thomas; Van Lint, Hans; Yuan, Yufei; Hoogendoorn, Serge: "Propagation Wave Speed Estimation of Freeway Traffic with Image Processing Tools," Proceedings of the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2010