

# Reductie verkeersemisatie door coöperatieve systemen VK 3/2011

maandag 2 mei 2011

Mohamed Mahmud, Vakgroep Verkeer, Vervoer & Ruimte, Universiteit Twente  
Rudi Lagerweij, Vialis

## **Gebruik van coöperatieve voertuig-infrastructuursystemen voor het reduceren van verkeersemisatie en het verbeteren van de luchtkwaliteit bij geregelde stedelijke kruispunten**

**In dit geschrift wordt een algoritme ontwikkeld om de verkeersemisatie bij stedelijke geregelde kruispunten te verminderen. Het algoritme maakt gebruik van infrastructuur-voertuigcommunicatie (I2V) om bestuurders tevoren te waarschuwen over de standverandering van het verkeerslicht, om onnodige versnelling en hard remmen te voorkomen. Het algoritme is geïmplementeerd in een verkeersregeltoestel met een voertuigafhankelijk en een adaptief verkeersregelprogramma.**

Voertuigafhankelijke regeltoestellen gebruiken detectoren om aankomende voertuigen op te merken en beslissen afhankelijk van het aanbod op de actieve groenfase of deze verlengd of beëindigd moet worden. Adaptieve regeltoestellen hebben naast detectoren een verkeersmodel en nemen deze beslissing op grond van het verkeersaanbod op de gehele kruising (Van Katwijk, 2008). Het belangrijkste nadeel van voertuigafhankelijke regelingen is dat het verkeer vanuit de andere ('rode') richtingen niet beschouwd wordt, waardoor 'tunnelvisie' ontstaat. De huidige adaptieve regeltoestellen beschouwen milieuaspecten niet expliciet. Evenals andere regeltoestellen richten zij zich vooral op verbetering van de verkeersdoorstroming en het verminderen van vertragingen. Hoewel dat kan bijdragen aan het verminderen van verkeersemisaties, hebben recente onderzoeken aangetoond dat dit niet altijd het geval is. Kun & Lei (2007) hebben ontdekt dat de inrichting van een exclusieve busstrook de doorstroming verbeterde, maar de totale emissie deed toenemen. In het algemeen zijn adaptieve regelprogramma's gebaseerd op een reistijdmodel waarmee de ontwikkeling van wachtrijen in het netwerk wordt berekend. De huidige reistijdmodellen houden echter geen rekening met voertuigkarakteristieken omdat de gebruikelijke detectiemiddelen uitsluitend aanwezigheid, aantallen en soms snelheid en lengte aangeven.

## **Coöperatieve systemen**

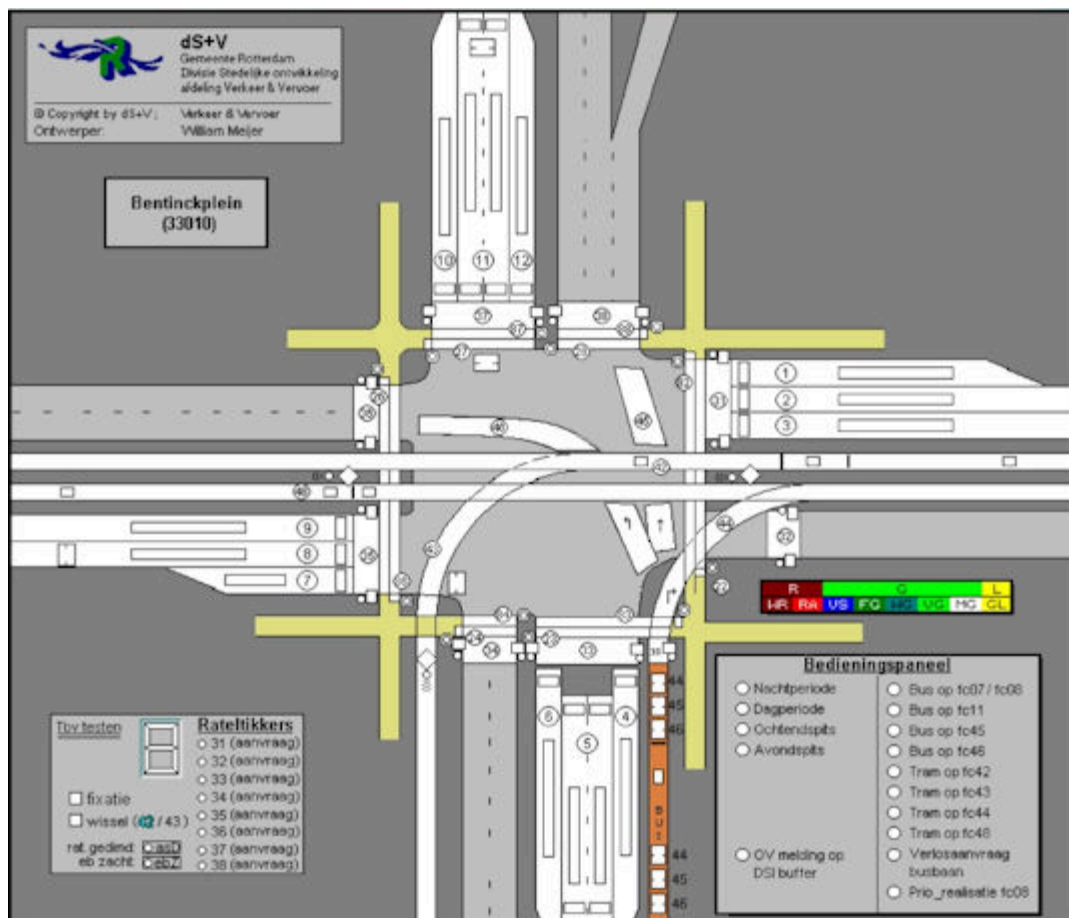
Coöperatieve systemen zijn recentelijk onderwerp van studie in verschillende Europese projecten, zoals CVIS, SAFESPOT en COOPERS. De ontwikkelde toepassingen in deze projecten richten zich voornamelijk op veiligheid en doorstroming en niet specifiek op leefbaarheidsaspecten. Hoewel toepassingen op het gebied van doorstroming de emissies helpen verminderen, zijn grotere reducties haalbaar bij toepassingen die specifiek gericht zijn op milieuaspecten. Een aantal milieuvriendelijke coöperatieve toepassingen zijn in ontwikkeling als onderdeel van het EU-project eCoMove. De effecten op emissies zijn echter nog niet volledig gekwantificeerd. Door gebruik te maken van coöperatieve systemen kunnen voertuigen en infrastructuur met elkaar communiceren via voertuig-voertuig (V2V) of voertuig-infrastructuur (V2I of I2V) -communicatie. Met V2V en V2I zal informatie beschikbaar zijn over de locatie van voertuigen en bijvoorbeeld de weersomstandigheden. Coöperatieve systemen kunnen zo een bijdrage leveren aan een verhoogde verkeersveiligheid en efficiëntie. Bovendien kunnen de systemen bijdragen aan een reductie van de uitstoot van schadelijke stoffen. Het systeem kan bijvoorbeeld aan een bestuurder een persoonsgebonden advies geven om onnodig optrekken en remmen te voorkomen, of om een energiezuinige route te nemen.

## **Onderzoekslocatie en regeltoestellen**

De onderzoekslocatie is een enkel kruispunt op het Bentinckplein in Rotterdam. Deze locatie is gekozen vanwege de aanwezigheid van een meetpunt voor de luchtkwaliteit. Het kruispunt heeft vier armen, waarbij de hoofdrichting (Statenweg) noord-zuid loopt en de zijrichting (Bentinckplein) oost-west. Openbaarvervoerlijnen (bussen en trams) en fiets- en voetgangersverkeer worden mede beschouwd.

Het verkeersregeltoestel 33010 is verantwoordelijk voor het gehele kruispunt en heeft 39 signaalgroepen; 1 tot 12 voor auto's, 22-24, 26-28, 82-84 en 86-88 voor fietsers, 30-38 voor voetgangers en 42-46 en 48 voor openbaar vervoer.

Figuur 1 toont de locatie van de signaalgroepen. De buslijnen rijden op de richtingen 7, 11, 45 en 46, terwijl de trams zich richten op de signaalgroepen 42, 43, 44 en 48. De bussen op de richtingen 45 en 46 delen een vrije baan met de tram op richting 44.



Figuur 1. Signaalgroepen op het kruispunt Bentinckplein (klik op de afbeelding voor een vergroting)

Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van het bestaande, voertuigafhankelijke regelprogramma van het Bentinckplein en als alternatief is het vooruitziende adaptieve regelalgoritme toegepast, zoals dat ontwikkeld is door Van Katwijk (2008). Dit regelprogramma onderscheidt zich van het voertuigafhankelijke programma doordat:

- de verkeerssituatie op het gehele kruispunt wordt afgewogen en niet alleen de beëindiging van de actieve groenfase;
- beslissingen gebaseerd zijn op een lange-termijnanalyse op grond van bovenstroomse verkeersinformatie; vooruitziend naar de komende 120 s;
- het regelprogramma een flexibele fasevolgorde heeft.

### Opzet van het modelraamwerk

In dit onderzoek is een opzet gekozen met een verkeersmodel en een emissiemodel. Voor het simuleren van individuele voertuigbewegingen is het microscopisch simulatiemodel VISSIM gebruikt (PTV, 2007). Voor de emissieberekening is EnViVer gebruikt (Ligterink c.s., 2008). Alleen de ochtendspits (7:00-8:00 u) is gemodelleerd. De verkeerssamenstelling was 92 procent lichte voertuigen (LDV), 7 procent zware voertuigen (HDV) en 1 procent bussen.

Bij de onderzochte variant met communicatie van de infrastructuur naar het voertuig (I2V) werd aangenomen dat bestuurders informatie ontvangen over de (verwachte) stand van hun verkeerslicht op 300 m van de stopstreep. Wanneer het licht rood is, wordt aangenomen dat bestuurders geleidelijk afremmen (met een vertraging van 0,45 m/s<sup>2</sup>) tot de stopstreep of het einde van de wachtrij. Als het verkeerslicht groen toont, wordt aangenomen dat bestuurders geleidelijk afremmen wanneer hun rijtijd tot het kruispunt groter is dan de resterende groenduur. In andere gevallen wordt geen actie ondernomen en vertonen bestuurders hun gebruikelijke gedrag.

## Resultaten en discussie

Na calibratie van het microscopisch verkeersmodel werden tien stochastisch onafhankelijke simulaties verricht voor elk van de regelprogrammavarianten. De resultaten werden vergeleken op basis van de gemiddelde reistijd en de vertraging per signaalgroep, en de totale verkeersemissie.

### Voertuigafhankelijk regelprogramma zonder en met I2V-communicatie

In het algemeen blijven de gemiddelde reistijd en de vertraging voor alle signaalgroepen gelijk. Dit geeft aan dat het geleidelijk vertragen van voertuigen die het kruispunt naderen de verkeersprestatie niet beïnvloeden. Een gepaarde t-toets toonde aan dat de gemiddelde reistijd en de vertraging per voertuig bij de programmavariant met I2V-communicatie alleen toenam voor de bus op richting 45. Dit kan worden verklaard door het feit dat de hoofdrichtingen langer groen krijgen in het geval van geleidelijke vertraging van naderende voertuigen.

Tabel 1 toont de resulterende emissie bij het regeltoestel met voertuigafhankelijk programma. Het regelprogramma met I2V-communicatie reduceert zowel de totale verkeersemissie als de emissie voor de LDV en HDV-voertuigcategorie voor alle stoffen. Deze vermindering is vooral te danken aan de rustige ritpatronen (trajectoriën) van de voertuigen, waarbij de I2V-communicatie zorgde voor minder gevallen van vertraging tussen -1 en -3 m/s<sup>2</sup>.

De emissie door de bussen nam echter toe met 5 procent voor zowel CO<sub>2</sub> als NO<sub>x</sub>, en met 3 procent voor PM<sub>10</sub>. Dit is gedeeltelijk te wijten aan de toename van de reistijden voor de bussen op richting 45. Extra emissie werd gegenereerd door de bussen op de (auto)richtingen 7 en 11 door dat zij gehinderd werden door langzaam vertragende auto's.

Tabel 1: Verkeersemissie voertuigafhankelijk regelprogramma

variant/uitgestoten stoffen		CO <sub>2</sub> (g)	NO <sub>x</sub> (g)	PM <sub>10</sub> (g)
voertuigafhankelijk regelprogramma	Totaal	537325,1	1926,1	102,4
	LDV	363745,7	815,6	62,6
	HDV	164440,6	1017,6	36,1
	Bus	9143,7	66,8	3,6
voertuigafhankelijk regelprogramma met I2V-communicatie	Totaal	-7,4%	-7,7%	-3,9%
	LDV	-6,7%	-8,2%	-4,4%
	HDV	-9,5%	-8,1%	-3,7%
	Bus	+5,7%	+5,8%	+3,4%

### Adaptief regelprogramma zonder en met I2V-communicatie

In het algemeen blijven gemiddelde reistijd en vertraging bijna gelijk voor alle signaalgroepen.

Tabel 2 laat zien dat het adaptieve regelprogramma met I2V-communicatie zowel de totale verkeersemissie als de emissie voor de LDV- en HDV-voertuigcategorie doet afnemen.

De emissie door de bussen nam licht toe, maar deze toename was statistisch niet significant.

Tabel 2: Verkeersemissie adaptief regelprogramma

variant/uitgestoten stoffen		CO <sub>2</sub> (g)	NO <sub>x</sub> (g)	PM <sub>10</sub> (g)
adaptief regelprogramma	Totaal	452406,3	1580,6	89,9
	LDV	31290,7	700,1	55,0
	HDV	132246,5	827,3	31,7
	Bus	7252,2	53,2	3,1
adaptief regelprogramma met I2V-communicatie	Totaal	-6,4%	-7,3%	-2,4%
	LDV	-5,8%	-7,4%	-3,1%
	HDV	-8,2%	-7,6%	-1,9%
	Bus	+0,9%	+0,9%	+3,5%

## Conclusies

Het belangrijkste resultaat van dit onderzoek is de ontwikkeling van een algoritme voor de reductie van verkeersemisatie bij geregelde kruispunten, gebruikmakend van infrastructuur-voertuigcommunicatie. Dit algoritme kan worden gebruikt door wegbeheerders om de verkeersemisatie op knelpunten te verminderen om op deze wijze bij te dragen aan het voldoen aan de EU-grenswaarden.

Het gebruik van I2V-communicatie blijkt de verkeersemisatie bij zowel voertuigafhankelijke als adaptieve regelprogramma's te verminderen. Deze reductie is vooral te danken aan de geleidelijke vertraging van voertuigen die het kruispunt naderen, die minder vaak vertragen in het gebied van -1 tot -3 m/s<sup>2</sup>. Bovendien heeft het geleidelijk afremmen tijdens de rood- en de groenfase geen negatieve gevolgen voor de verkeersprestatie.

Om de totale impact van coöperatieve systemen op de omgeving te kunnen kwantificeren, wordt aanbevolen de invloed van V2I-communicatie ook te onderzoeken. Met V2I-communicatie kunnen voertuigen informatie sturen naar het verkeerslicht over het voertuigtype en de richting om de instellingen van de groenfases verder te kunnen verbeteren. Bovendien wordt aanbevolen om het systeem in een werkelijke proefopstelling te testen, om de modelresultaten te valideren.

*Het onderzoek van Mohamed Mahmod aan de Universiteit Twente is mede mogelijk gemaakt door bijdragen van Dr. Ir. Cornelis Lely Stichting, TNO en Vialis.*

## Referenties

- Kun, C. en Y. Lei (2007). Microscopic Traffic-Emission Simulation and Case Study for Evaluation of Traffic Control Strategies. *J Transpn Sys Eng & IT* 7(1): 93 - 100.
- Ligterink, N., J. van Baalen, A. Eijk, W. Mak, W. Broeders, en P. Vortisch (2008). Predicting Local Vehicle Emissions Using VERSIT+ and VISSIM. 7th European Congress and Exhibition on the Intelligent Transport Systems and Services, Genève, Zwitserland.
- PTV - Planung Transport Verkehr AG (2007). *VISSIM version 5.0 User Manual*. Karlsruhe Duitsland.
- Van Katwijk, R. T. (2008). *Multi-Agent Look-Ahead Traffic-Adaptive Control*, TRAIL Research School. Delft. Proefschrift.