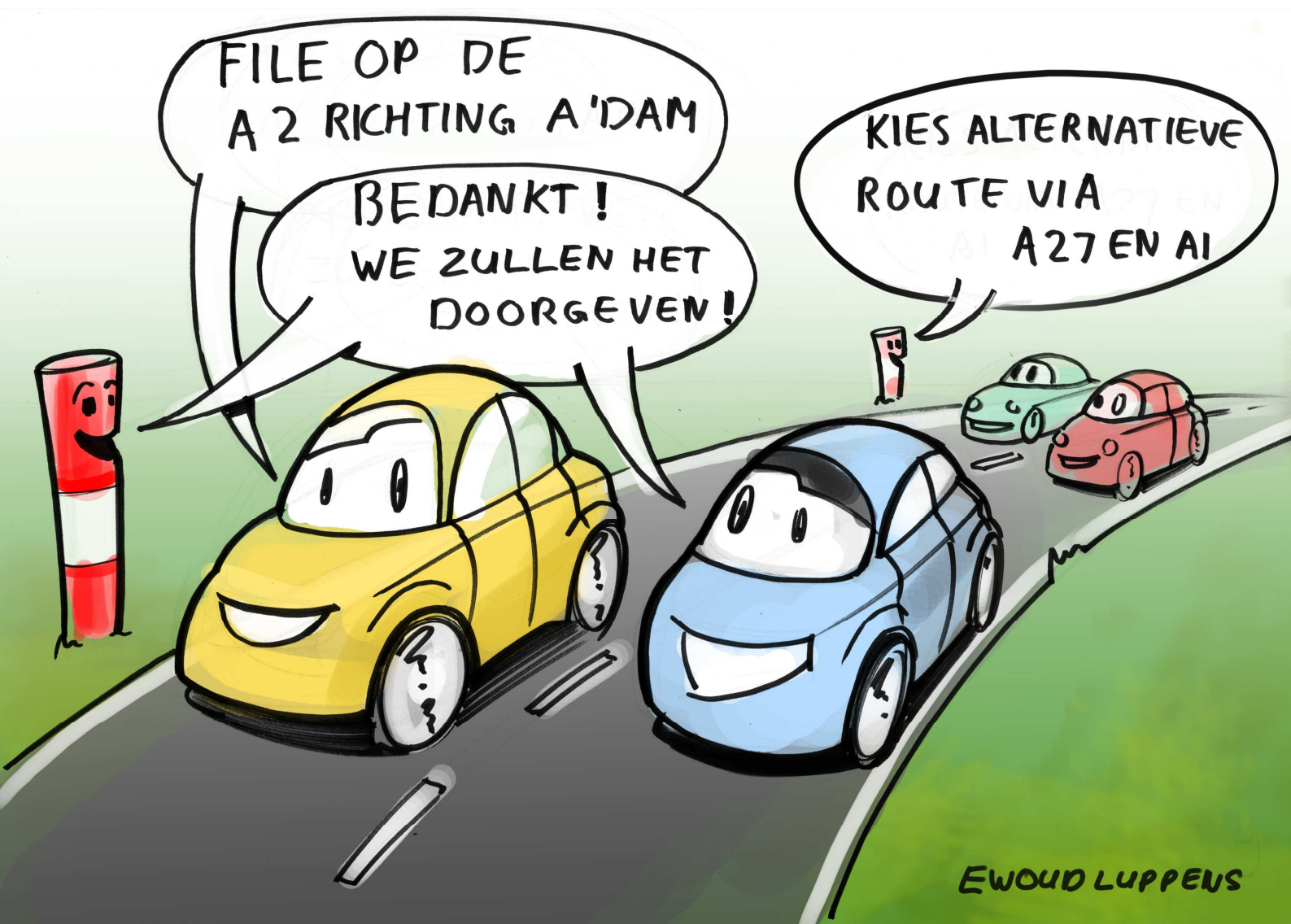


TrafficQuest rapport

Coöperatieve systemen & Automatisch rijden

State-of-the-Art achtergronddocument



Colofon

Auteurs	Isabel Wilmink Kerry Malone Aroen Soekroella Henk Schuurman
Datum	12 november 2014
Versienummer	2.0
Uitgegeven door	TrafficQuest Postbus 5044 2600 GA DELFT
Informatie	Henk Taale
Telefoon	+31 88 798 24 98

TrafficQuest is een samenwerkingsverband van





TrafficQuest
CENTRE FOR EXPERTISE ON TRAFFIC MANAGEMENT

Coöperatieve systemen & Automatisch rijden

State-of-the-Art
Achtergronddocument

12 november 2014

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	4
1. Waar hebben we het over?.....	5
1.1. Definities.....	5
1.2. Domeinen van beïnvloeding.....	6
1.3. Coöperatieve systemen en services.....	7
1.4. Doelen van automatisch rijden.....	10
1.5. Transitie en integratie wegkant-voertuig.....	12
1.6. Autonoom vs. coöperatief, manueel vs. automatisch.....	13
1.7. Communicatie.....	14
1.8. Data: uitwisseling, fusie, algoritmiek.....	16
1.9. Mogelijkheden voor versnelde implementatie.....	16
2. Hoe ver zijn we in Nederland?.....	21
2.1. Beleidscontext.....	21
2.2. Projecten in Nederland.....	23
2.3. Demonstraties van coöperatieve systemen.....	30
2.4. Testfaciliteiten en tools.....	31
2.5. Samenwerkingsverbanden en netwerken.....	34
3. Hoe ver zijn ze elders?.....	35
3.1. Europa.....	35
3.2. Verenigde Staten.....	45
3.3. Japan.....	49
3.4. Andere landen.....	54
3.5. Intercontinentale samenwerking.....	55
4. Wat hebben we er aan?.....	56
4.1. Impact coöperatieve systemen en automatisch rijden.....	56
4.2. Effecten in cijfers.....	57
5. Waar gaan we naar toe?.....	66
5.1. Constateringen op basis van de state-of-the-art.....	66
5.2. Wensen vanuit verkeersmanagement.....	67
5.3. Barrières bij invoering.....	68
5.4. Verdere aandachtspunten.....	69
Literatuur.....	71

Voorwoord

TrafficQuest inventariseert doorlopend de stand van zaken met betrekking tot verkeersmanagement en de richting waarin ontwikkelingen plaatsvinden. Verkeersmanagement staat nog maar aan het begin van veel veranderingen en ontwikkelingen. Allerlei ontwikkelingen zullen het mogelijk maken verkeersmanagement effectiever, proactiever en netwerkbreed toe te passen. Daarvoor is verdere ontwikkeling en onderzoek nodig. In het rapport "De toekomst van verkeersmanagement" wordt daarom een onderzoeksagenda gepresenteerd. Dit rapport is te vinden op de TrafficQuest website (www.traffic-quest.nl). Daar zijn ook de achterliggende rapporten over diverse aspecten van verkeersmanagement te vinden. Deze rapporten volgen steeds het stramien:

- Waar hebben we het over?
- Hoever zijn we in Nederland?
- Hoever zijn ze elders?
- Wat hebben we eraan?
- Waar gaan we naar toe?

Dit rapport behandelt deze vragen voor het onderwerp *coöperatieve systemen en automatisch rijden*. Een eerdere versie van dit rapport verscheen in november 2011 en richtte zich vooral op coöperatieve systemen (dit was ook de titel van dit achtergrondrapport). Er gebeurt echter zo veel op het gebied van coöperatieve systemen dat actualisatie van de eerdere versie wenselijk bleek. Ook is er momenteel veel aandacht voor *automatisch rijden*, en gezien de verbanden die er zijn tussen automatisch en coöperatief rijden, zijn worden beide onderwerpen behandeld in het voorliggende State-of-the-Art achtergronddocument "Coöperatieve systemen en Automatisch rijden".

1. Waar hebben we het over?

1.1. Definities

Over de hele wereld wordt gewerkt aan systemen voor coöperatief en/of automatisch rijden, maar niet overal wordt consequent dezelfde terminologie gehanteerd. Om ons overzicht goed te beginnen, geven we enkele definities zoals we die in dit rapport gebruiken.

Coöperatieve systemen zijn Intelligente Transport Systemen (ITS) die gebruik maken van communicatie om informatie uit te wisselen. Er wordt gebruik gemaakt van communicatie tussen:

- voertuigen onderling (V2V),
- voertuigen en infrastructuur (V2I) en
- tussen infrastructuurelementen onderling (I2I).

Ook is soms sprake van V2D (tussen voertuig en apparaat (device)) en V2IP communicatie (tussen voertuig en het internet). Bij coöperatieve systemen is sprake van een zekere mate van samenwerken of onderhandelen tussen voertuigen onderling of tussen voertuigen en de infrastructuur en/of een verkeerscentrale of backoffice. In Europees verband wordt inmiddels vaak de afkorting C-ITS (voor *Cooperative ITS*) gebruikt.

In de VS wordt vooral gesproken over "connected vehicles". Daarmee wordt grotendeels hetzelfde bedoeld als bij coöperatieve systemen (de Europese term), hoewel connected ook simpelweg kan betekenen dat er in een voertuig een internetconnectie is, bijvoorbeeld via een smartphone.

N.B. De definitie van coöperatieve systemen is niet helemaal "sluitend". Aanvullend op de definitie van de EC ("Cooperative systems are ITS systems based on vehicle-to-vehicle (V2V), vehicle-to-infrastructure (V2I, I2V) and infrastructure-to-infrastructure (I2I) communications for the exchange of information"), gaan we er in onze definitie vanuit dat het hierbij gaat om draadloze communicatie. Dit geldt ook voor wat in de VS "connected vehicles" worden genoemd.

Bij *autonoom rijden* doelt men op "zelfrijdende" voertuigen, die informatie over de omgeving verzamelen op basis van eigen sensoren. Denk daarbij aan bijvoorbeeld radar, lidar (afstandsbepalings door middel van laser), GPS, en computer vision. Er is hierbij géén sprake van communicatie met andere voertuigen of de wegwijkant. Voorbeelden hiervan zijn de Amerikaanse Google auto en het Vislab voertuig in Europa.

Automatisch rijden doelt ook op "zelfrijdende" voertuigen. Deze term dekt net wat meer dan de term autonoom rijden, want bij automatisch rijden kan ook gebruik gemaakt worden van communicatie om aan de benodigde of gewenste informatie te komen (naast het gebruik van sensoren in het voertuig).

SAE International [2014] geeft een zeer compleet overzicht van niveaus van *automation* (zie Figuur 1).

Summary of SAE International's Draft Levels of Automation for On-Road Vehicles (July 2013)

SAE's draft levels of automation are descriptive rather than normative and technical rather than legal. Elements indicate minimum rather than maximum capabilities for each level. "System" refers to the driver assistance system, combination of driver assistance systems, or automated driving system, as appropriate. NHTSA's levels of automation are provided to indicate approximate correspondence.

NHTSA level	SAE level	SAE name	SAE narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Backup performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)
Human driver monitors the driving environment							
0	0	Non-Automated	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	1	Assisted	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment							
3	3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
	5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

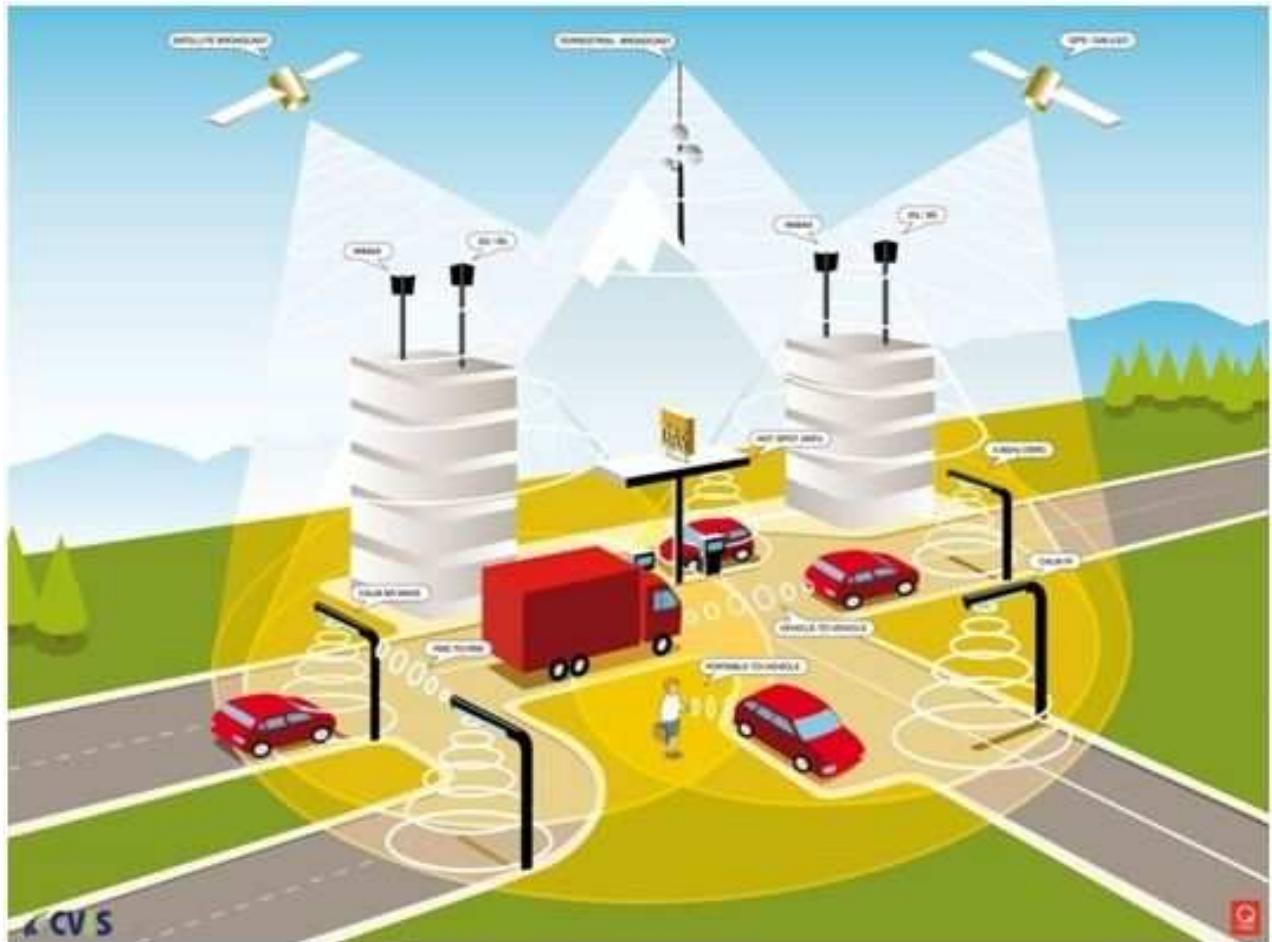
Figuur 1: Niveaus van automatisering van wegvoertuigen [SAE International, 2014]

1.2. Domeinen van beïnvloeding

De memo Beter Benutten van Intelligente Mobiliteit [Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014] geeft een aantal domeinen van beïnvloeding door (coöperatieve) systemen. Zij maken daarbij onderscheid naar de volgende domeinen:

- Netwerk: 50-5 km., Pre-trip en on-trip navigeren, middels internet, 2,5/3/4G, TMC, en DAB. Diensten hiervoor worden momenteel al door veel partijen ontwikkeld.
- Lokaal: 500-0 m., beïnvloeden positie voertuig in verkeersstroom, middels Wifi-p (short-range communicatie). Op dit gebied zijn er proefprojecten, maar er zijn nog maar weinig wegen die de benodigde 'dedicated short range communication' bieden.
- Autonoom: 50-0 m., middels sensoren in het voertuig (bijvoorbeeld camera, radar). De automotieve industrie is dit volop aan het ontwikkelen (richting geautomatiseerd rijden).

Zie Figuur 2 voor een illustratie van een coöperatief systeem en verschillende manieren van communicatie daarbij.



Figuur 2: Illustratie van een coöperatief systeem (bron: CVIS project)

Bovengenoemde domeinen van beïnvloeding dekken een groot deel van de mobiliteitservices waar momenteel aan gewerkt wordt. Er zijn er echter meer denkbaar, zoals vertrektijdstipadvies, multi-modaal reisadvies (on-trip) of platooning (coöperatief, 'treintje rijden'). De volgende paragraaf gaat hier dieper op in.

1.3. Coöperatieve systemen en services

De mogelijkheid tot communicatie tussen de verschillende elementen van het verkeerssysteem betekent dat coöperatieve systemen (vergeleken met standalone systemen in voertuigen en infrastructuur-gebonden systemen) intelligenter en op basis van meer dan wel actuelere informatie kunnen functioneren. Er is in zekere zin sprake van samenwerking, of van onderhandelen tussen voertuigen onderling of tussen voertuigen en de infrastructuur en/of een verkeerscentrale of back-office. Met coöperatieve systemen kan een bestuurder verder vooruit kijken dan het stuk weg dat hij door zijn voorruit kan overzien en specifiek op hem gerichte adviezen krijgen. Als het soort informatie en de manier waarop het gepresenteerd wordt, zoveel mogelijk ingesteld worden op een bepaalde bestuurder, zal die bestuurder meer met de informatie doen en zullen dus de effecten van maatregelen (op reistijd, veiligheid, uitstoot, etc.) groter zijn. Er kan worden voortgebouwd op

al bestaande systemen, zowel in het voertuig als langs de weg. Deze kunnen met relatief kleine investeringen coöperatief en daarmee veel effectiever gemaakt worden, dan wel een veel groter bereik krijgen.

Binnen verkeersmanagement kunnen coöperatieve systemen bestuurdersgedrag op verschillende niveaus beïnvloeden:

- op strategisch niveau vooral qua routekeuze, maar het is ook denkbaar dat coöperatieve systemen bestemmingskeuze, vervoerwijzekeuze en vertrektijdstipkeuze beïnvloeden. Op dit niveau is er een relatie te leggen met Gecoördineerd Netwerkbreed Verkeersmanagement (GNV);
- op tactisch niveau: rijstrookkeuze, inhaalgedrag, volggedrag;
- op operationeel niveau: sommige coöperatieve systemen beïnvloeden (via advies of door zelf in te grijpen) elementaire taken als gas geven en remmen.

De eerste generatie van coöperatieve systemen richtte zich vooral op veiligheid. Coöperatieve systemen kunnen echter (zoals al blijkt uit de hierboven gegeven voorbeelden) ook ingezet worden om de doorstroming te verbeteren of om milieueffecten te minimaliseren, op alle wegsoorten. Er kan onderscheid gemaakt worden naar lokale (meest veiligheids-)applicaties en applicaties die op netwerkniveau werken (bijvoorbeeld een coöperatieve, stedelijke verkeersmanagement applicatie). Daarnaast kunnen sommige betalingssystemen coöperatief genoemd worden (bijvoorbeeld 'electronic toll collection') en wordt ook in het openbaar vervoer gebruik gemaakt van communicatie. Een voorbeeld hiervan is een bus of tram die zich aanmeldt bij een verkeerslicht en vervolgens prioriteit kan krijgen in de regeling. Een dergelijk systeem is in de jaren 80 al geïntroduceerd (VETAG/VECOM). Inmiddels zijn er ook varianten van dergelijke systemen voor communicatie tussen hulpdiensten en verkeerslichten.

Tabel 1 geeft een overzicht van coöperatieve systemen zoals die in Nederland toegepast zouden kunnen worden om doorstroming, veiligheid en milieu te verbeteren en om de ergernissen van de Nederlandse weggebruikers aan te pakken (zie ook [Wilmink et al., 2011b], [iMobility WG4CEM, 2013] en http://www.its.dot.gov/connected_vehicle/connected_vehicle_apps.htm).

Tabel 1: Coöperatieve diensten en services

Toepassing voor:	Waar	Voorbeelden
Doorstroming	HWN	Coöperatieve Adaptive Cruise Control (C-ACC), Lane Change Assistance, netwerkbreed gecoördineerde toeritdosering, invoegassistent, eCall, waarschuwingen (ongevallen, wegwerkzaamheden, files) en dynamische navigatieadviezen, platooning, dynamische snelheidslimiet (in-vehicle signage)
	OWN	Coöperatieve verkeerslichtenregelingen, gecoördineerde verkeerslichtenregelingen, dynamische navigatieadviezen (inclusief parkeeradvies)
Veiligheid	HWN	C-ACC, invoegassistent, Lane Change Assistance, dynamische snelheidslimiet (in-vehicle signage), eCall, waarschuwingen (file,

Toepassing voor:	Waar	Voorbeelden
		wegwerkzaamheden) en dynamische navigatieadviezen, Wrong Way Driving Warning
	OWN	Intersection Safety systemen, Cooperative Glare Reduction, inhaalassistent, detectie van en waarschuwing voor kwetsbare verkeersdeelnemers / het negeren van rode lichten en stopborden / ongevallen en obstakels / gevaarlijke bochten
Milieu	HWN	C-ACC, dynamische navigatieadviezen (op de doorgaande weg, maar ook bij tolpleinen, onderscheid makend naar personen- als voor goederenvervoer), dynamische multimodale reisadviezen, invoegassistent, platooning
	OWN	Dynamische navigatieadviezen (inclusief parkeeradvies), coöperatieve verkeerslichtenregelingen, gecoördineerde verkeerslichtenregelingen
Ergernissen van weggebruikers*	HWN, OWN	C-ACC, systemen die gevaarlijk, asociaal of agressief gedrag opmerken en doorgeven aan de bestuurder en de directe omgeving, inhaalassistent, invoegassistent, Lane Change Assistance

* Denk hierbij aan bumperkleven, agressief rijgedrag, onnodig links rijden, te lage snelheid, langdurige inhaalmanoeuvres, hinder bij in- en uitvoegen en bij wisselen rijstrook, files voorbijrijden over de vluchtstrook, beperkt en onjuist gebruik richtingaanwijzer.

Daarnaast zijn er systemen die andere doeleinden hebben, bijvoorbeeld:

- Voor beheer en onderhoud: waarnemen van de staat van de weg (d.m.v. sensoren in voertuigen), detectie te zware voertuigen.
- Allerlei applicaties die hulpdiensten voorrang geven en voertuigen in de directe omgeving waarschuwen dat er hulpdiensten aankomen.
- Mobiliteitsdiensten die multimodaal reizen makkelijker maken (systemen en apps voor reis- en parkeeradvies, deelauto's, deelfietsen, carpoolen).
- Vraagbeïnvloeding door mobiliteitsmanagementapplicaties en variabel beprijzen.
- Hieraan verwant: dynamische vrachtvervoer- en logistieke diensten (synchromodaliteit, Electronic freight exchange).
- Dynamische toegangsrestricties (gebaseerd op actuele situatie en kenmerken van voertuigen).

Bovengenoemde systemen zijn niet per se coöperatief, maar krijgen wel steeds meer coöperatieve trekjes (of hebben in ieder geval nodig dat voertuigen of reizigers 'connected' zijn).

Niet alle te bedenken services zijn al even dichtbij. In Europees verband is een aantal *day one applications* benoemd – die applicaties of services waarvan verwacht wordt dat ze op korter termijn ingevoerd (kunnen) worden. De Amsterdam Group geeft de volgende *day one applications* (Tabel 2):

Tabel 2: Day one applications [Amsterdam Group, 2013]

Voertuig-voertuig communicatie	Infrastructuur-voertuig communicatie
1. Hazardous location warning	1. Road works warning
2. Slow vehicle warning	2. In-vehicle signage
3. Traffic Jam ahead warning	3. Signal phase and time
4. Stationary vehicle warning	4. Probe Vehicle Data
5. Emergency Brake light	
6. Emergency vehicle warning	
7. Motorcycle approaching indication	

1.4. Doelen van automatisch rijden

De redenen waarom aan automatisch rijden gewerkt wordt, zijn grotendeels hetzelfde als waarom er coöperatieve systemen ontwikkeld worden. Steeds meer wordt automatisch rijden gezien als de enige mogelijkheid op de lange termijn om doelen op het gebied van verkeersveiligheid en energie-efficiëntie te bereiken. Maar er wordt ook gekeken naar het potentieel van automatisch rijden om de doorstroming te verbeteren, waarbij de verwachting is dat om een betere doorstroming te bewerkstelligen daarbij ook gecommuniceerd wordt met andere voertuigen en de wegwant [iMobility WG Automation, 2013]. Of, zoals Sebastian Thrun van Google het verwoordde in een blog [Googleblog, 2010]:

Larry and Sergey founded Google because they wanted to help solve really big problems using technology. And one of the big problems we're working on today is car safety and efficiency. Our goal is to help prevent traffic accidents, free up people's time and reduce carbon emissions by fundamentally changing car use.

[...]

According to the World Health Organization, more than 1.2 million lives are lost every year in road traffic accidents. We believe our technology has the potential to cut that number, perhaps by as much as half. We're also confident that self-driving cars will transform car sharing, significantly reducing car usage, as well as help create the new "highway trains of tomorrow." These highway trains should cut energy consumption while also increasing the number of people that can be transported on our major roads. In terms of time efficiency, the U.S. Department of Transportation estimates that people spend on average 52 minutes each working day commuting. Imagine being able to spend that time more productively.

Ook veel automobiefabrikanten zijn bezig met autonoom, dan wel automatisch rijden. Zij zien ook veel potentieel. De automobiel- en vrachtwagenfabrikanten lijken gedreven te worden door wat de klant wil, maar geven ook aan dat hun oplossingen bij kunnen dragen aan het realiseren van beleidsdoelen.

Automobiefabrikanten over automatisch rijden

Nissan is één van de fabrikanten die zich heeft uitgesproken over (in dit geval) 'autonoom rijden'. Ze willen eind 2016 verschillende technologieën op de markt brengen: een 'traffic-jam pilot', en een volledig automatisch parkeersysteem in verschillende typen voertuigen. In 2018 moet daar een automatische rijstrookwisseltoepassing bij komen, en tegen 2020 een toepassing om automatisch kruispunten over te gaan. Nissan doet hiermee overigens aan verwachtingsmanagement, want eerder streefden ze er naar om in 2020 een autonoom voertuig ontwikkeld te hebben.

Nissan ziet vier trends die ervoor zorgen dat er vraag is naar technologieën voor autonoom rijden: (1) het opkomen van megasteden, waardoor er behoefte is aan innovaties waarmee congestie en emissies verminderd kunnen worden, en verkeer beter gemanaged kan worden, (2) de behoefte van de 'digitale generatie' om 'connected' te zijn, (3) de groei van het aantal ouderen en de behoeften die zij hebben voor ondersteuning van de rijtaak om langer veilig te kunnen rijden, en (4) de noodzaak om diversiteit te omarmen, en meer specifiek om tegemoet te komen aan de wensen van vrouwen (als gebruikers en kopers van voertuigen, als beleidsmakers en managers in de auto-industrie).

Zie: <http://blog.nissan-global.com/EN/?p=12641#sthash.KlwdTZiG.dpuf>,
<http://www.autonews.com/article/20140716/OEM06/140719876/nissans-ghosn-offers-auto-driving-reality-check> en http://www.just-auto.com/news/ghosn-clarifies-nissans-autonomous-cars-timetable_id148146.aspx

Daimler wil in 2025 vrachtwagens introduceren die zelf sturen, remmen en accelereren. Zij zien dit als iets waarmee ze een concurrentievoordeel zullen hebben ten opzichte van andere makers van commerciële voertuigen.

Volkswagen heeft het niet alleen over technologieën en algoritmes. Zij geven aan dat meer nodig is om zulke voertuigen op de weg te krijgen en dat nagedacht moet worden over wat 'autonome voertuigen' zijn en wat de gevolgen ervan zijn. Dit is onderwerp van het omvangrijke project AdaptIVe (Automated Driving Applications & Technologies for Intelligent Vehicles; zie ook hoofdstuk 3). Bron: <http://www.gizmag.com/adpative-autonomous-driving-project/30695/>

Wikipedia zegt (op http://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_car), dat autonome voertuigen de volgende baten op kunnen leveren:

- Minder verkeersongevallen (doordat de systemen betrouwbaarder en sneller reageren dan menselijke bestuurders).
- Hogere capaciteit van de weg en vermindering van de congestie doordat de volgtijden lager kunnen zijn (zonder dat verkeersveiligheid in het geding komt) en omdat het verkeer beter gemanaged kan worden. (De impliceert dat er ook sprake is van coöperatie/connected zijn.)
- Meer comfort voor de bestuurders omdat zij niet meer hoeven te rijden en navigeren.
- Hogere snelheidslimieten voor autonome voertuigen.

- Minder hoge eisen aan bestuurders (oudere en jongere bestuurders zouden kunnen rijden, evenals bestuurders met een fysieke beperking of bestuurders die onder invloed zijn).
- Minder problemen met schaarste van parkeerplekken, omdat auto's hun passagiers zouden kunnen afzetten en later weer ophalen (en ondertussen op enige afstand kunnen staan). Zo zijn ook minder parkeerplekken nodig.
- Een autonoom voertuig kan zich verplaatsen naar waar het moet zijn, zoals een plaats waar passagiers opgepikt moeten worden, of de garage. Dit is vooral van belang voor vrachtwagens, taxi's en services voor autodelen.
- Minder verkeerspolitie en verzekeringen nodig.
- Een bord langs de weg nodig ('in-vehicle signage' kan deze functie overnemen), hoewel een deel van de borden nodig zal blijven.

Wikipedia noemt ook diverse barrières, onder andere:

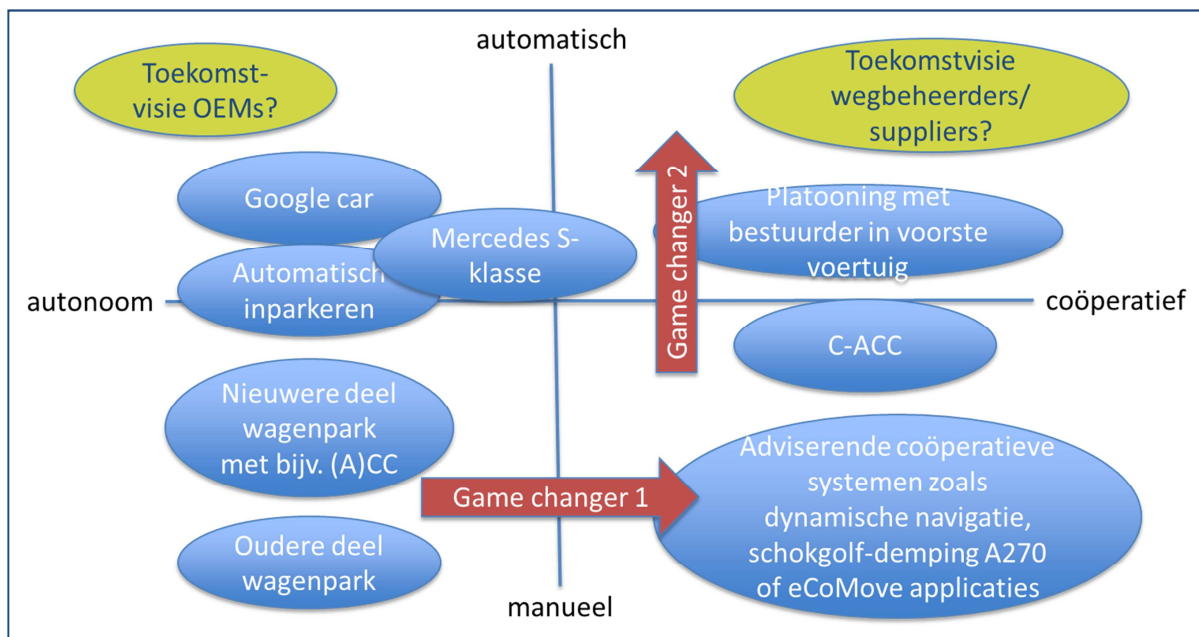
- De aansprakelijkheid bij schade is nog niet geregeld.
- Niet iedere bestuurder is bereid de controle uit handen te geven.
- Het is onbekend hoe betrouwbaar de software voor autonoom rijden is.
- Er kan op diverse manieren misbruik gemaakt worden van autonome voertuigen:
 - Aspecten met betrekking tot cybersecurity: voertuigen, en de communicatie (V2V en V2I) kunnen gehackt worden.
 - Autonome voertuigen zouden als bom gebruikt kunnen worden.
- Een wettelijk kader en regulering zijn nodig voordat 'zelfrijdende' voertuigen de weg op mogen.
- Bestuurders hebben op een gegeven moment niet genoeg (manuele) rijervaring meer om adequaat in te grijpen als de situatie dat vereist.
- Het is onduidelijk welke problemen kunnen ontstaan als autonome voertuigen interactie hebben met manueel gereden voertuigen. Ook is nog niet duidelijk wat gebeurt als een autonoom voertuig bij een (niet door dit voertuig te vermijden) ongevalssituatie moet kiezen welke kant het opgaat (of: wat, in de directe omgeving, het gaat raken).

1.5. Transitie en integratie wegkant-voertuig

Sommigen verwachten dat de verkeer- en vervoerwereld er nu klaar voor is om wegkantsystemen af te bouwen en alle diensten in-car aan te bieden. Dit is echter vooral het geval voor niet-tijdkritische, adviserende diensten. Voor veel veiligheid gerelateerde toepassingen, en ook een aantal toepassingen gericht op het voorkomen/oplossen van congestie is het voorlopig nog nodig om ook wegkantsystemen in te zetten (short range communicatie – DSRC). De overgang naar verkeersmanagement gebaseerd op systemen in het voertuig zal geleidelijk zijn, en wegkant- en in-car systemen zullen geruime tijd naast elkaar bestaan. Daarmee wordt integratie belangrijk: idealiter werken wegkant en in-car systemen samen, en creëren daarmee meerwaarde.

1.6. Autonoom vs. coöperatief, manueel vs. automatisch

Figuur 3 geeft de assen aan waarop de ontwikkelingen zich afspelen. Enerzijds is er de ontwikkeling van autonoom naar coöperatief rijden, anderzijds is er de ontwikkeling van manueel rijden naar automatisch rijden. Veel van de voertuigen waar we nu mee rondrijden zijn autonoom (hoewel misschien al wel connected – veel weggebruikers hebben een smartphone bij zich) en worden grotendeels manueel bestuurd, soms ondersteund door systemen als (adaptive) cruise control. In het duurdere segment vinden we doorgaans het eerst innovatieve systemen, bijvoorbeeld in de Mercedes S-klasse¹.



Figuur 3: Autonoom, automatisch en coöperatief

Coöperatieve systemen bevinden zich vaak nog in het proefstadium. Voorbeelden hiervan zijn: schokgolfdemping op de A270, en de coöperatieve eco-traffic management & control applicaties in eCoMove (zie www.ecomove-project.org). Enkele coöperatieve systemen zijn al wel (commercieel) actief, bijvoorbeeld het FREILOT-systeem in Helmond (communicatie tussen verkeerslichten en vrachtwagens/hulpdiensten). Veel studies geven aan dat er grote maatschappelijke baten te halen zijn met coöperatieve systemen, qua veiligheid, energie-efficiëntie/emissies en doorstroming. Maar de implementatie van coöperatieve systemen is complex, want er zijn veel partijen bij betrokken. De automotive industrie lijkt het soms vooral te hebben over autonome, automatische systemen, hoewel ook zij veel onderzoek doen naar coöperatieve systemen. Het lijkt in ieder geval er wel op dat op korte termijn al vrijwel alle voertuigen 'connected' zullen zijn.

¹ De Mercedes S-klasse (vanaf 2013) heeft diverse applicaties voor autonoom rijden. Zoals Wikipedia zegt: "The W222 S Class comes closer than any production car to having the ability to drive autonomously" (zie verder http://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_S-Class#Sixth_Generation_W222_.282013-present.29).

Er zijn twee *game changers* (Figuur 3) te onderscheiden en met *game changers* bedoelen we grote stappen in de ontwikkeling, die grote impacts kunnen hebben op de verkeersafwikkeling en daarmee verkeersveiligheid en milieu. De eerste is de overgang van autonoom naar coöperatief rijden. In eerste instantie zal het vooral om adviserende systemen gaan, waarmee al veel winst te behalen is (denk aan geavanceerde informatie- en navigatiesystemen en communicerende eco-driving support systemen). Verregaande automatisering van de rijtaak (ook in autonome vorm) zal nog even op zich laten wachten. De 'human factor' is hierbij erg belangrijk, vooral bij de stap van *automation level 2* naar *automation level 3* (game changer 2; zie ook Figuur 1). Ook moet de wettelijke context (Vienna convention) hiervoor aangepast worden. De overgang van level 2 naar 3 kan echter voor nog grotere baten zorgen (er van uitgaande dat daarmee menselijke inefficiëntie wordt vermeden) en is dus de moeite waard om te verkennen.

1.7. Communicatie

Voor coöperatieve systemen wordt gebruik gemaakt van verschillende communicatietechnologieën. Het is uiteraard van groot belang dat de verschillende elementen van coöperatieve systemen op eenduidige manier met elkaar communiceren, zodat voertuigen onderling en voertuigen en wegkant (of backoffice) elkaar goed verstaan. Er heeft heel wat afstemming plaatsgevonden om regels en normen op te stellen waarmee een eenvormige uitrol van systemen in Europa kan plaatsvinden, zoals de ITS Directive [EC, 2010] voorstaat. De website <http://its-standards.info/> geeft informatie over standaardisatie voor ITS en C-ITS (coöperatieve ITS) en wie zich daar allemaal mee bezig houden. Verder houdt ook het CAR 2 CAR Communication Consortium zich bezig met dit onderwerp (zie ook <http://www.car-to-car.org/>). Hun doelen zijn:

- Het ontwikkelen van Europese standaarden voor C-ITS, validatieprocessen, realistische implementatietrajecten en business modellen waarmee de penetratiegraad omhoog gaat, en een roadmap voor V2V en V2I systemen.
- Het bijdragen aan communicatiestandaarden voor V2I communicatie, afgestemd met de V2V standaard.
- Het bevorderen van het wereldwijd afstemmen van de C2C communicatiestandaarden.
- Het onder de aandacht brengen van een vrij te gebruiken Europese frequentiebereik voor V2V toepassingen en de voordelen van gezamenlijke toepassing van C-ITS door alle stakeholders.
- Het demonstreren van de toepasbaarheid (technisch en commercieel) van het C2C systeem.

In de VS biedt AASHTO soortgelijke ondersteuning.

In februari 2014 publiceerden CEN en ETSI de 'Release 1 specifications' voor coöperatieve ITS. Dit is een basis set van standaarden, zoals gevraagd werd door de EC in 2009, die het mogelijk maakt dat voertuigen van verschillende fabrikanten met elkaar en met de infrastructuur kunnen communiceren. In de praktijk van coöperatieve systemen wordt onderscheid gemaakt naar short en long range communicatie.

Short range communicatie

Short range communicatie wordt voornamelijk gebruikt voor tijdkritische applicaties, bijvoorbeeld veiligheidsapplicaties, maar ook bij elektronische tolheffing. Meestal wordt dit aangeduid als Dedicated Short Range Communication (DSRC). Bij toepassing van DSRC wordt gebruik gemaakt van de IEEE 802.11 standaard, en dan specifiek 802.11p, een Wi-Fi-variant voor ITS, voor de real-time uitwisseling van data tussen snel rijdende voertuigen en de wegwijk, in de daarvoor gereserveerde ITS band van 5.9 GHz (5.85-5.925 GHz)².

In de VS wordt gewerkt aan regelgeving die het verplicht zal stellen om nieuwe voertuigen klaar te maken voor Dedicated Short Range Communication (DSRC). Dit ondersteunt de invoering van nieuwe veiligheidsapplicaties. Het U.S. Department of Transportation bracht op 18 augustus 2014 een 'Advance Notice of Proposed Rulemaking to Begin Implementation of Vehicle-to-Vehicle Communications Technology' (zie <http://www.regulations.gov/#!docketDetail;D=NHTSA-2014-0022>). uit, met daarbij een analyse van onderzoeksresultaten met betrekking tot technische haalbaarheid, privacy en security, en schattingen van de kosten en veiligheidsbaten. Gevraagd wordt nu om reacties van het publiek op deze bevindingen, ter ondersteuning van het activiteiten die nodig zijn om de regelgeving in te voeren waarmee uiteindelijk V2V systemen in lichte voertuigen verplicht worden.

Long range communicatie

Voor niet-tijdkritische toepassingen wordt long range communicatie gebruikt, via de cellulaire netwerken (2,5-3-4G)³. Hierbij is veelal sprake van communicatie met een server in een back-office. Bij deze vorm van communicatie moet rekening gehouden worden met de volgende aspecten [Netten et al., 2012]:

- vertragingen in de communicatie (ordegrootte 1-3 seconden voor communicatie tussen het voertuig en de wegwijk en weer terug naar het voertuig);
- de frequentie van de communicatie (service providers hebben hun communicatiesystemen mogelijk niet opgezet voor hoogfrequente toepassingen, zeg eens per 10 seconden data-uitwisseling);
- congestie in de communicatienetwerken (bij hoge aantallen voertuigen die communiceren);
- betrouwbaarheid (komen alle berichten in goede orde aan, en op tijd).

Communicatie via de smartphone en navigatiesystemen is al heel gebruikelijk. Voertuigen zijn op allerlei manieren al verbonden met backoffices. Verbondenheid, lokaal, met de wegwijk is nog minder gebruikelijk (zowel als het gaat om short range als long range communicatie).

Er wordt ook gewerkt aan een link tussen de smartphone van de bestuurder en het 'infotainment system' in voertuigen. Het Car Connectivity Consortium houdt zich hiermee bezig: het heeft een open industriële standaard ontwikkeld voor de integratie van smartphones in het voertuig, genaamd MirrorLink (zie <http://www.mirrorlink.com/about-mirrorlink>). Ook zijn richtlijnen opgesteld

² Zie voor meer informatie http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11p

³ Het gaat hier om bijvoorbeeld communicatie via General packet radio service (GPRS~2,5G), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS~3G), en Long-Term Evolution (LTE~4G).

voor het ontwikkelen van toepassingen die de standaard in het voertuig gebruiken. Het consortium heeft een transparant certificatieproces ingericht voor connectiviteit en toepassingen.

1.8. Data: uitwisseling, fusie, algoritmie

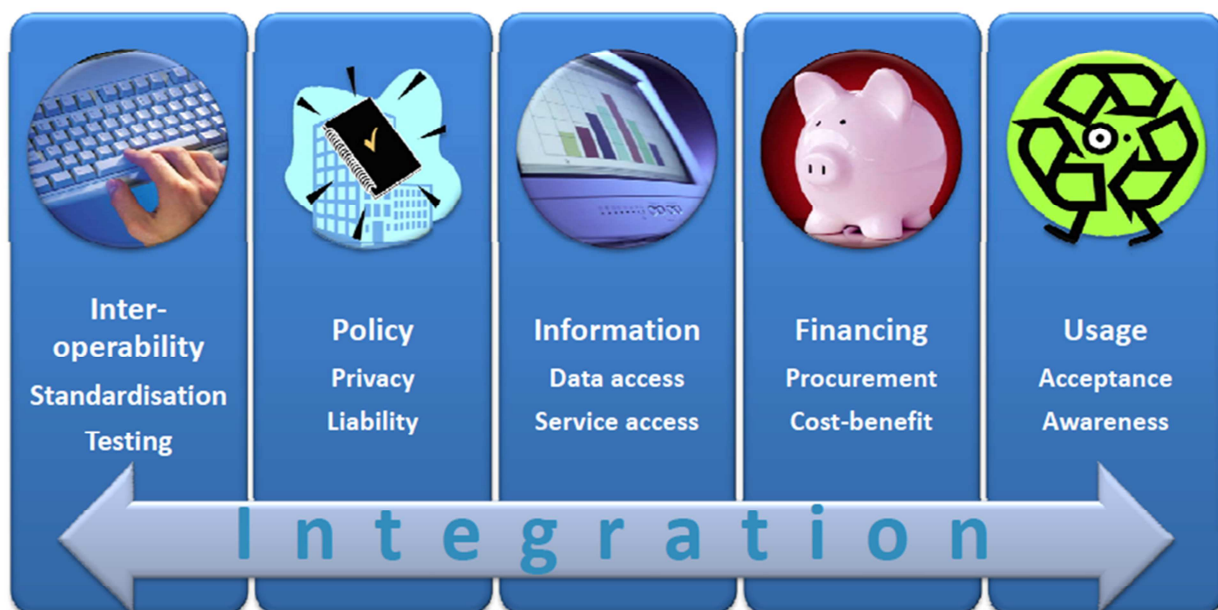
Data-uitwisseling vindt plaats tussen voertuigen onderling (momenteel alleen nog in proeven), tussen voertuigen en de wegkant (ook nog voornamelijk in proeven, hoewel er al een enkele commerciële toepassing is, zoals FREILOT in Helmond), en tussen voertuigen en een backoffice. Dit laatste gebeurt op grote schaal. Denk bijvoorbeeld aan de informatie die door service providers wordt doorgegeven aan navigatiesystemen of verkeersinformatie apps. Ook geven grote aantallen voertuigen (of de daarin vervoerde smartphones) informatie door over positie en snelheid.

Datafusie behelst het combineren van informatie uit meerdere databronnen, om zo nieuwe informatie af te leiden. Dit kan op verschillende niveaus: het verwerken van ruwe data, het afleiden van kenmerken en patronen en het nemen van beslissingen. De verwachting is dat het samenbrengen van verschillende databronnen zal leiden tot een aanzienlijke verbetering in zowel de kwaliteit als de compleetheid van de informatie die uit verkeersgegevens gehaald kunnen worden. Of dat met minder budget en moeite gegevens van gelijkblijvende kwaliteit verkregen kunnen worden. Zie [TrafficQuest, 2014] voor meer uitleg over de rol van datafusie in verkeersmanagement. [Wilmink et al., 2014] rapporteert de resultaten van een recente pilot met datafusie, uitgevoerd om te verkennen wat de mogelijkheden zijn van (nu verkrijgbare) floating car data (FCD) en datafusie van FCD met gegevens uit vaste meetlocaties, voor de Nationale Databank Wegverkeersgegevens (NDW). Bij coöperatieve systemen zal vaak gebruik van datafusie worden gemaakt. Bijvoorbeeld door gegevens die de voertuigen delen met elkaar en de wegkant te fuseren met gegevens die uit infrastructuur gebonden systemen komen. In hoofdstuk 2 komt een aantal projecten aan de orde waarin datafusie een rol speelt (o.a. de Praktijkproef Amsterdam).

Diverse datafusie-algoritmes worden al toegepast. Op dit gebied vinden echter nog veel ontwikkelingen plaats. De komende jaren zal ook nagedacht moeten worden over hoe data-uitwisseling en -fusie kunnen bijdragen aan effectiever verkeersmanagement.

1.9. Mogelijkheden voor versnelde implementatie

Een aantal zaken moet goed geregeld worden om coöperatief en automatisch rijden mogelijk te maken. Figuur 4 laat zien welke 'enablers' van belang zijn. Op deze enablers wordt daaronder verder ingegaan.



Figuur 4: Enablers – aspecten die belangrijk zijn voor de implementatie van coöperatieve systemen en automatisch rijden (bron: [Meyer, 2014])

Interoperabiliteit

Interoperabiliteit is nodig om te garanderen dat boodschappen die verstuurd zijn ontvangen en begrepen kunnen worden, bijvoorbeeld door on-board units (OBU's) van voertuigen van elke auto fabrikant, en/of door de wegw kant units van elke fabrikant. Hiervoor is standaardisatie van bijvoorbeeld de inhoud en opbouw van de boodschap nodig. Het doel van standaardisatie is om interoperabiliteit in een 'multi-vendor, multi-network, multi-service' omgeving te garanderen. Deze standaardisatie is een internationale aangelegenheid, omdat voertuigen grenzen oversteken. Voorbeelden van internationale instanties die hiermee bezig zijn, zijn ETSI en CEN. Om te toetsen of units aan standaarden voldoen, vinden "interoperability testing events" plaats, zoals de ETSI Plugtests™ events. Hierbij kunnen partijen garanderen dat hun implementatie interoperabel is. Het testen vindt plaats op verschillende goed uitgerust locaties in Europa, onder anderen DITCM in Helmond en in Nice. Interoperabiliteit is ook belangrijk voor het voortbestaan van services: multi-vendor, multi-platform en internationale interoperabiliteit is een vereiste om continuïteit te realiseren [C-ITS Platform, 2014].

Beleid (privacy, aansprakelijkheid)

Er is beleid nodig betreffende privacy en aansprakelijkheid. In de context van coöperatieve systemen en automatisch rijden betreft privacy het beschermen van mensen zodat informatie die opgeslagen of gedeeld wordt door gebruik van het systeem niet zonder expliciete toestemming gebruikt kan worden. Data zoals positiebepaling gecombineerd met andere gegevens maken het mogelijk om persoon specifieke informatie af te leiden, wat als een inbreuk op de privacy bestempeld wordt. Coöperatieve systemen worden gezien als een "(personal) data-intensive area", met

als gevolg dat er een aantal issues gerelateerd aan dataprivacy en databescherming geregeld moet worden. Principes geformuleerd in relevante European Directives⁴ specificeren niet onder welke omstandigheden het verwerken van data toegelaten is. Het gevolg is dat er veel ruimte is om systemen die persoonlijke data gebruiken te ontwerpen en te gebruiken. Privacy aspecten moeten vroeg in de ontwerpfase van applicaties en ook in de systeemarchitectuur meegenomen worden [COBRA, 2013].

Coöperatieve systemen en 'grotendeels en volledig geautomatiseerd rijden' (levels 4 en 5 volgens SAE, zie paragraaf 1.1) zijn ook 'aansprakelijkheid gevoelig' [COBRA, 2013]. Automatisch rijden maakt gebruik van sensoren en software om de bestuurder veilig te vervoeren. Hoe hoger het niveau van automatisering, hoe meer taken het voertuig overneemt van de bestuurder. Als er iets fout gaat, bijvoorbeeld in de sensor van een leverancier of de software van de automobielfabrikant, wordt de schuldvraag complex. Coöperatieve systemen zijn complexe systemen waarin vele partijen, verantwoordelijkheden en bevoegdheden een rol spelen. De groeiende technische afhankelijkheden tussen voertuigen onderling en tussen voertuigen en de infrastructuur kunnen leiden tot specifieke kwetsbaarheden. Er kan sprake zijn van bijvoorbeeld het falen van de apparatuur langs de weg, een storing in de communicatie tussen de apparatuur langs de weg en het voertuig, onnauwkeurigheid van de verzonden berichten, of een storing in de telecommunicatiesystemen. Een beschadiging kan ook worden veroorzaakt door een defect van de apparatuur in het voertuig. In het geval van veiligheidssystemen kan dit leiden tot de conclusie dat een ongeval (mede) kan worden toegeschreven aan fouten in het systeem, bijvoorbeeld als geen waarschuwing werd gegeven terwijl er wel een gevaarlijke situatie optrad. Dit geldt voor zowel automatisch rijden als voor coöperatieve systemen [COBRA, 2013].

Informatie

Informatie is een breed onderwerp dat een verband heeft met privacy (zie hierboven), data management, data eigendom, en continuïteit en kwaliteitseisen van diensten in de EU. C-ITS diensten zullen enorme hoeveelheden gegevens produceren die vervolgens verzameld, verzonden en verwerkt moeten worden (datamanagement). Dit zal complexe datamanagement- en uitwisselingsstructuren vereisen die verder gaan dan wat nu bestaat. Het waarborgen van de kwaliteit, de traceerbaarheid en de betrouwbaarheid van de gegevens van een beveiligde waardeketen is een grote uitdaging. Toegankelijkheid van data, en wie eigenaar is van de data, zijn belangrijke factoren bij het aanbieden van diensten. Veel functies (in voertuigen, in smartphones en navigatiesystemen) genereren (probe) data, en het zou zonde zijn als daar steeds maar één partij gebruik van kan maken – dit vertraagt de uitrol van coöperatieve systemen.

Financiering

Bij financiering gaat het om het kunnen laten zien van de baten en kosten, en inkoopstrategieën.

Kosten en baten. Omdat bij coöperatieve systemen zo veel partijen betrokken zijn, is de financiering van de invoer van coöperatieve systemen lastig – want waar liggen de kosten, waar de baten,

⁴ Lidstaten zijn verplicht om European Directives in eigen wetgeving te implementeren.

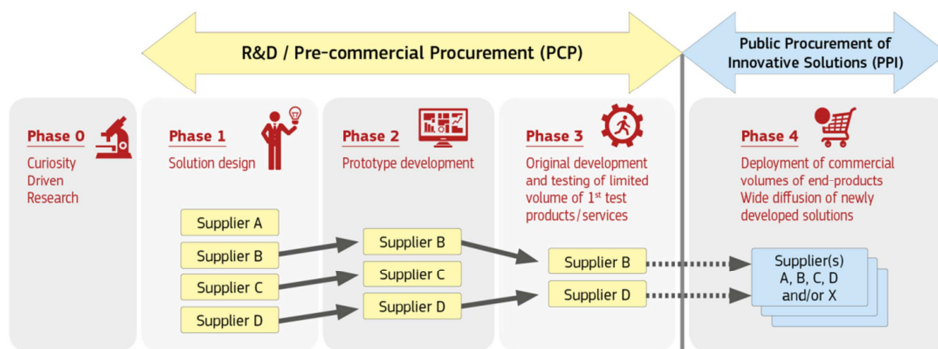
en hebben de partijen die kosten hebben wel (genoeg) baten? De bij de implementatie betrokken partijen moeten een positieve business case voor het aanbieden van een product hebben, anders zullen ze er niet aan beginnen. Dat wil zeggen, dat de partijen hogere baten dan kosten hebben (bij een bepaalde gekozen service, techniek en organisatievorm). Welke kosten en baten ten laste van een bepaalde stakeholder komen, zullen afhankelijk zijn van de rol van een stakeholder. Een commerciële partij zal allereerst naar gemaakte kosten en daadwerkelijke opbrengsten kijken. Een overheid zal, naast gemaakte kosten en daadwerkelijke opbrengsten, ook kijken naar socio-economische kosten en baten, voornamelijk baten. Voorbeelden van baten zijn de gemonetariseerde verandering in het aantal doden en gewonden in het verkeer, verandering in voertuigverliesuren, en veranderingen in milieueffecten. Daadwerkelijke veranderingen in kosten kunnen ook gereïaliseerd worden, als plannen om te investeren in bepaalde infrastructuur niet uitgevoerd hoeven te worden door de uitrol van coöperatieve systemen.

Automatisch rijden heeft qua deployment heel andere kenmerken dan coöperatief rijden. Hier is degene die een nieuw voertuig koopt degene die bepaalt of daar functies voor automatisch rijden in moeten zitten. Als er vraag is, zal er meer aanbod komen. Maar voordat voertuigen met een hoog niveau automatisering door een willekeurige bestuurder gebruikt mogen worden, moet de bestaande wetgeving (en typegoedkeuring procedures) wel aangepast worden. Hierbij zijn de automobiel en vrachtwagenfabrikanten, toeleveranciers, het ministerie en RDW betrokken.

Procurement

Deployment is soms ook complex omdat er in de bestaande inkoopprocedures van betrokken partijen barrières zijn die innovatie moeilijk maken. Daarom is er binnen het werkveld van coöperatieve systemen en automatisch rijden interesse in smart procurement aanpakken. Procurement (aanbesteding) is de inkoop van goederen, diensten of werken vanuit een externe bron. Procurement in de context van coöperatieve systemen en automatisch rijden is op dit moment een uitdaging. Het gaat hier om innovatieve oplossingen, die nog niet in grote getallen op de markt zijn en er zijn geen standaard, robuuste oplossingen die al jaren ingekocht worden. Vooral de overheid heeft te maken met regels die het moeilijk maken hierin effectief te zijn. In deze gevallen kan "Public Procurement" een alternatieve procedure bieden. Mogelijkheden zijn (zie ook Figuur 5, bron <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/innovation-procurement>):

- "Pre-Commercial Procurement" (PCP): PCP kan worden gebruikt wanneer er nog geen producten op te markt zijn. In dit geval zijn de vereiste verbeteringen technologisch uitdagend en zijn onderzoek en ontwikkeling nodig om de oplossing verder te brengen. PCP kan dan de voor- en nadelen van alternatieve concurrerende oplossingen vergelijken en gebruikt worden om de risico's van de meest veelbelovende innovaties stap voor stap te reduceren. Een wegbeheerder als Rijkswaterstaat is betrokken bij projecten op dit gebied, zoals de EU-projecten CHARM en V-Con (zie http://cordis.europa.eu/fp7/ict/pcp/projects_en.html).
- "Public Procurement of Innovative Solutions" (PPI): PPI maakt het mogelijk om uitdagingen in de publieke sector innovatief aan te pakken, in situaties waarbij oplossingen bijna of al in kleine hoeveelheden op de markt zijn en geen nieuw onderzoek en ontwikkeling nodig is.



Figuur 5: Procurement in verschillende fasen van marktrijpheid

Door het ontwikkelen van een toekomstgerichte innovatieve inkoopstrategie die gebruik maakt van PCP en de PPI op een complementaire manier, kunnen publieke aanbesteders innovatie van de vraagzijde aanjagen.

Gebruik

Het uiteindelijke gebruik (usage) van coöperatieve systemen of automatisch bestuurde voertuigen bepaalt of de beoogde baten bereikt worden. Daarbij spelen twee aspecten: 'awareness' en 'acceptance'. Men moet zich er van bewust zijn dat coöperatieve systemen en automatische voertuigen bestaan. En men moet bereid zijn ze (op de beoogde manier) te gebruiken. Gebruik hangt in eerste instantie af van de daadwerkelijke aanschaf van een automatisch voertuig of een coöperatief systeem. Deze technologieën moeten dus in ieder geval bekend zijn bij de potentiële gebruiker. Begrip van het systeem en willingness-to-buy moeten ook aanwezig zijn.

Gebruik van het systeem is ook afhankelijk van de acceptatie van het systeem door de bestuurder. Als een bestuurder een systeem aangeschaft heeft, betekent dat niet dat de bestuurder het systeem gaat gebruiken (en op de beoogde manier). Bestuurders kunnen kiezen om adviezen of waarschuwingen op te volgen, of juist niet, ze kunnen kiezen of ze het systeem aan- of uitzetten, ze kunnen zelfs het systeem misbruiken. Factoren die bepalen of het systeem gebruikt en opgevolgd wordt zijn onder andere: begrijpt de bestuurder hoe het systeem werkt? Vertrouwen ze het systeem? Hebben ze gemerkt dat ze er baat bij hebben?

2. Hoe ver zijn we in Nederland?

Nederland speelt al lange tijd een grote rol in de ontwikkeling van coöperatieve systemen. Automatisch rijden staat sinds een aantal jaren ook flink in de belangstelling. Naast actieve deelname in Europese projecten, werken ook veel Nederlandse organisaties samen in Nederlandse projecten, veelal onderdeel van het Actieprogramma Connecting Mobility, het Programma Beter Benutten, en de Dutch Integrated Testsite Cooperative Mobility (DITCM).

2.1. Beleidscontext

De onderwerpen coöperatieve systemen en automatisch rijden komen in Nederland aan de orde in de Routekaart "Beter geïnformeerd op weg", het behorende Actieprogramma Connecting Mobility, en in de kamerbrief "Grootschalige testen van zelfrijdende auto's" van 16 juni 2014. Vanuit het beleid is samen met de markt in 2013 de routekaart Beter Geïnformeerd op Weg opgesteld (zie Connekt, 2013). In de routekaart ligt de focus op wat ITS te bieden heeft en zijn de benodigde transitieën benoemd voor het komende decennium in Nederland. Connecting Mobility is begin 2014 opgericht om de uitvoering van de routekaart verder vorm te geven in Nederland. Doelen die daarbij nagestreefd worden zijn o.a.:

- Bijdragen aan de beleidsdoelstellingen voor bereikbaarheid, leefbaarheid en veiligheid (met de gebruiker voorop en met het waarborgen van maatschappelijke kaders voor veiligheid en leefbaar)⁵.
- Verbeteren van de dienstverlening naar reizigers (betrouwbare en actuele informatiediensten).
- Verbeteren van de (kosten)effectiviteit en efficiëntie van publiek verkeersmanagement (meer met minder doelstelling: minder voertuigverliesuren met een geleidelijke afbouw van beschikbare middelen).
- Versterken van de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven (niet opnieuw het wiel uitvinden, Nederlandse mobiliteitsoplossingen als exportproduct).

Er zijn zes bouwstenen uitgewerkt: vier inhoudelijke en twee procesmatige (zie Tabel 3).

Tabel 3: Zes bouwstenen "Beter geïnformeerd op weg" [Connekt, 2013].

Bouwsteen	Veranderingopgave
1. Beter faciliteren van de weggebruiker	Werken aan een nieuw perspectief: van aanbodgestuurd naar vraaggestuurd Denken vanuit de behoefte van weggebruikers, minder vanuit de techniek
2. Stimuleren van de markt-	Vergroten van de beschikbaarheid en het gebruik van innova-

⁵ Deze beleidsdoelstellingen zijn afkomstig uit de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR), dat beoogt de bereikbaarheid te verbeteren, in stand te houden en ruimtelijk zeker te stellen, en het programma Beter Benutten, dat zich richt op het verminderen van de files met 20%

ontwikkeling	tieve marktoplossingen Bijdragen aan de exportwaarde van Nederlandse oplossingen en technologieën
3. Gericht beproeven: van test naar toepassing	Werken aan opschaling van beproefde technieken Massa maken, af van de versnippering
4. Vernieuwen van het verkeersmanagement	Ruimte maken voor vernieuwing in het primaire proces van wegbeheerders (meer specifiek: RWS, provincies, gemeenten) Minder afhankelijk maken van tijdelijke financieringsimpulsen, zoals de Mobiliteitsaanpak en Beter Benutten
A. Creëren van condities en randvoorwaarden	Regievoering: overheden en markt samen aan het roer Slimmer gebruik maken van mogelijkheden voor pre-concurrentie samenwerking Gericht op stabiliteit en wederzijds vertrouwen
B. Monitoring: liggen we op koers?	Periodiek voorzien in sturingsinformatie Gebaseerd op een objectief beeld van de voortgang Lerend vermogen organiseren Koppelen aan de doelen en ambities van het actieprogramma

Deze bouwstenen zijn vertaald naar zes transitiepaden, die richting geven aan de veranderopgave (zie Figuur 6). De projecten, ontwikkelingen en samenwerkingsverbanden die in dit State-of-the-Art rapport beschreven worden zijn over het algemeen vrij eenvoudig aan één of meer van deze transitiepaden te koppelen.



Figuur 6: Transitiepaden [Connekt, 2013]

De verschillende partijen die betrokken zijn bij coöperatieve systemen en automatisch rijden beraden zich momenteel op welke rol zij in dit proces willen en kunnen spelen. Discussies over mogelijk-

ke business cases zijn gaande. Verder wordt hier momenteel vooral invulling aan gegeven in het Programma Beter Benutten, onderdeel ITS, de in de routekaart genoemde routeprojecten en vanuit DITCM geïnitieerde projecten.

In de kamerbrief "Grootschalige testen van zelfrijdende auto's"⁶ gaat de minister in op de verwachtingen met betrekking tot zelfrijdende auto's, en wat er nodig is om grootschalige testen op de openbare weg mogelijk te maken. Zo wordt er samen met de RDW gewerkt aan juridische aspecten (zoals ontheffingsverlening). Ook wordt in de brief onderzoek aangekondigd naar vragen rondom data (eigendom, beheer, uitwisseling en beveiliging), aansprakelijkheid, eisen aan rijvaardigheid en mogelijke impact op de (digitale) infrastructuur. De activiteiten worden ook in de internationale context geplaatst. Nederland streeft er naar om internationaal koploper te zijn op dit gebied. Daarbij worden ook de mogelijkheden die coöperatieve systemen bieden meegenomen; uitgangspunt is dat automatisch rijdende voertuigen ook gebruik zullen maken van coöperatieve systemen (omdat daarmee een grotere bijdrage geleverd kan worden aan het bereiken van maatschappelijke doelen).

2.2. Projecten in Nederland

Nederlandse partijen, zowel publieke als private partijen, voeren zowel nationale als internationale projecten op het gebied van coöperatieve systemen en automatisch rijden uit. De internationale projecten (voor zover uitgevoerd in internationale consortia) worden in hoofdstuk 3 besproken. In dit hoofdstuk richten we ons op de nationale projecten, met hoofdzakelijk Nederlandse partners.

De projecten richten zich op diverse aspecten van coöperatieve systemen en automatisch rijden:

- ontwikkeling applicaties;
- ontwikkeling ontwerp-, test- en evaluatiemethoden;
- organisatieaspecten (o.a. rolverdeling publieke en private partijen, implementatietrajecten, business modellen);
- technologieverkenningen;
- effectstudies;
- standaardisering.

Recente en nog lopende projecten

Momenteel zijn de volgende grote projecten gaande in Nederland:

- de Coöperatieve ITS corridor (met Duitsland en Oostenrijk)
- de Praktijk Proef Amsterdam
- de Brabant In-car III projecten
- A58 project Spookfiles
- SpitsLive (in-car platform voor coöperatieve diensten)

⁶ <http://www.rijksoverheid.nl/nieuws/2014/06/16/schultz-zet-in-op-grootschalige-testen-zelfrijdende-auto-s-op-nederlandse-wegen.html>

- Dutch Automated Vehicle Initiative (DAVI; automatisch rijden op de openbare weg, ook coöperatief)

Daarnaast is het projecten Rijden met in-car systemen aangekondigd.

Een deel van deze projecten is benoemd tot Routeproject (projecten die belangrijk zijn in het kader van de Routekaart "Beter geïnformeerd op weg"). Dit zijn bijvoorbeeld de Coöperatieve ITS corridor en de Praktijk Proef Amsterdam. Andere projecten zoals de Brabant In-car III projecten en Spookfiles zijn onderdeel van het Programma Beter Benutten (onderdeel ITS).

Coöperatieve ITS corridor

In de Coöperatieve ITS Corridor worden in internationaal verband coöperatieve diensten gerealiseerd. Het gaat hierbij om toepassing in de praktijk van al beproefde functionaliteiten. Nederland werkt hierin samen met Duitsland en Oostenrijk. Het project richt zich op de corridor Rotterdam – Frankfurt – Wenen (in Nederland: Rotterdam-Eindhoven-Venlo). Het project levert in eerste instantie twee diensten: 1. waarschuwen voor wegwerkzaamheden en 2. het verzamelen van data uit sensoren in voertuigen voor verkeersmanagement en -informatie. In samenwerking met de markt kunnen voortbouwend op deze technologie en beschikbare data andere diensten worden toegevoegd. Zie ook:

http://www.bmvi.de//SharedDocs/EN/Anlagen/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/cooperative-its-corridor.pdf?__blob=publicationFile

Praktijk Proef Amsterdam

De praktijkproef Amsterdam is een proef om files in de regio Amsterdam te verminderen en reistijden betrouwbaarder te maken. Het gaat om een grootschalige proef met innovatief gebruik van technologieën in de auto en aan de wegkant. Er worden in fase 1 van het project een wegkant- en een in-car spoor onderscheiden, beide gericht op het detecteren en voorspellen en voorkomen van vertragingen, en het verminderen van de filezwaarte:

- In-car spoor: persoonlijke reisinformatie in het voertuig.
- Wegkantspoor: coördinatie van verkeerslichten en toeritdoseerinstallaties.

Overheid, markt en wetenschap werken samen in PPA. Naast dat de oplossingen op de weg getest worden wordt ook gekeken naar de kosteneffectiviteit. In fase 2 en 3 volgen proeven waarbij het wegkant- en het in-car spoor geïntegreerd worden om zo een optimale capaciteitsbenutting van wegen te bereiken. De PPA is een initiatief van Rijkswaterstaat, de gemeente Amsterdam, de provincie Noord-Holland en de Stadsregio Amsterdam. Zij werken samen met verschillende marktpartijen en kennisinstellingen. Zie ook:

<http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie/doorstroming-door-innovatie/lopende-projecten/praktijkproef-amsterdam/>

Daarnaast profileert de Provincie Noord-Brabant zich als regio waar veel aandacht is voor in-car systemen, waarin de begrippen 'connected' en coöperatief een grote rol spelen.

Brabant In-Car III

In de provincie Noord-Brabant zijn diverse proeven met in-car systemen uitgevoerd. Doel van deze systemen was het gedrag van weggebruikers te beïnvloeden door hen individueel te informeren via smartphone, tablet of navigatiesysteem. In Brabant In-Car I (testen van nieuwe technieken) en Brabant In-Car II (inzicht geven in opschaalmogelijkheden) zijn de nodige inzichten opgedaan. In Brabant In-Car III ligt de nadruk op het oplossen van concrete doorstromingsproblemen op de A67. Dit is een snelweg met veel vrachtverkeer, korte invoegstroken en veel woon-werkverkeer in de spits. Dit leidt tot een slechte doorstroming en hoge onveiligheid (veel ongevallen met vrachtwagens).

In Brabant In-Car III worden drie projecten uitgevoerd. Drie consortia ontvangen in totaal 1,5 miljoen euro aan overheidssubsidie en dragen zelf 2,1 miljoen euro bij. De drie projecten zijn:

- Smoover: In-car navigatie app die real-time persoonlijke rijadviezen geeft. De file-informatie en verkeersvoorspellingen worden gebaseerd op data afkomstig van de overheid, de appgebruikers zelf en eigen software van Smoover. Er vindt een meting plaats van het effect van de app op de filevorming op de A67 in Noord-Brabant en Limburg.
- ZOOFF: App die als second screen in de auto kan worden gedraaid en weggebruikers tijdens het autorijden actuele, individuele rijadviezen verstrekt, zodat ze hun rijgedrag kunnen aanpassen om filevorming tegen te gaan. Weggebruikers krijgen punten als ze de adviezen van de app opvolgen (gamification), en krijgen daarmee voordelen bij bedrijven die zich bij ZOOFF hebben aangesloten.
- Dynamic Lane Guidance: Een TomTom-routenavigatieapp die is uitgebreid met dynamische rijstrookbegeleiding. De gebruiker krijgt rijstrook- en snelheidsadvies met als doel het voorkomen van files.

Zie ook: <http://www.beterbenutten.nl/pagina/305/>

Spookfiles A58

Op drukke wegen ontstaan soms files zonder een echte duidelijke oorzaak. Deze files hangen samen met onder andere korte volgafstanden tussen auto's. Door bijvoorbeeld invoegend verkeer of een plotselinge remactie kan dan een schokgolf en vervolgens een spookfile ontstaan. Het project 'Spookfiles A58' probeert door middel van innovatieve systemen spookfiles aan te pakken – files zoals die bijvoorbeeld veroorzaakt worden doordat door invoegend verkeer of een plotselinge remactie een schokgolf (filegolf) ontstaat. Snelheidsadviezen worden ingezet om het ontstaan van schokgolven en de aangroei van files door schokgolven te verminderen of zelfs te voorkomen. Deze snelheidsadviezen worden gegeven door in-car systemen. Het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de provincie Noord-Brabant en het Samenwerkingsverband Regio Eindhoven trekken gezamenlijk 12,25 miljoen uit voor het A58-project, waarin 11 consortia aan de slag gaan. Het project is onderdeel van het programma Beter Benutten.

Zie ook: <http://www.sre.nl/projecten/spookfiles>

In bovenstaande projecten worden veel toepassingen getest. Maar er wordt ook gewerkt aan een algemeen platform waarop deze toepassingen in het voertuig kunnen draaien: SpitsLive.

SpitsLive

SpitsLive (onderdeel van het DITCM programma) is een innovatief concept voor het aanbieden van 'smart mobility services' voor gebruik in het voertuig. Er wordt uitgegaan van gebruik van apparaten in het voertuig, gedistribueerd verkeersmanagement en wegkantstations, waarmee verschillende coöperatieve applicaties mogelijk worden. Het doel van SpitsLive is om in 2016 20.000 voertuigen, uitgerust met in-car technologie, op de weg te hebben in 10 stedelijke regio's. Deze voertuigen zijn allemaal verbonden middels een in-car platform waarop verschillende toepassingen kunnen draaien. Het flexibele platform ('Cooperative Mobility Device') gebruikt smartphone- en tablettechnologie. Data ingewonnen door de sensoren in het voertuig kan gedeeld worden; dit in combinatie met de communicatiemogelijkheden maakt gedistribueerd verkeersmanagement mogelijk. SpitsLive wordt in fasen geïntroduceerd; de eerste stappen zijn pre-competitief en gebeuren binnen het DITCM-platform om ervoor te zorgen dat het een open systeem wordt, zonder leveranciersafhankelijkheid.

Zie ook: <http://www.ditcm.eu/innovations/application-projects/102-spitslive>

Het Dutch Automated Vehicle Initiative (DAVI) onderzoekt diverse aspecten van automatisch rijden.

DAVI

Het 'Dutch Automated Vehicle Initiative', afgekort tot DAVI en een initiatief van TU Delft, RDW, Connekt en TNO, ontwikkelt hoog-geautomatiseerde voertuigen voor onderzoek en demonstraties op de openbare weg. Het onderzoek richt zich op de veiligheid van automatische voertuigen en hoe bestuurders omgaan met automatisch rijden. De betrouwbaarheid van de toegepaste technologie wordt vastgesteld en er wordt gewerkt aan verbetering van de betrouwbaarheid onder verschillende omstandigheden (bijvoorbeeld verschillende wegtypen, weersomstandigheden, verkeerscondities met verschillende niveaus van complexiteit). Het doel is om verschillende laterale applicaties te testen (invoegen, rijstrookwisselen, inhalen). De interactie tussen de bestuurder en het automatische voertuig wordt bestudeerd, in het bijzonder tijdens transities van automatisch naar manueel rijden en vice versa). Gebruikersacceptatie is ook een belangrijk onderwerp. Het rijgedrag van gebruikers levert data op wat in verkeersmodellen ingebouwd kan worden, om (ex-ante) evaluaties op het niveau van verkeersstromen mogelijk te maken. Zo overbruggt DAVI het gat tussen (individuele) automatische voertuigen en verkeersmanagement. Diverse strategieën zullen worden beproefd, zoals platooning, 'lane specific control' en optimalisatie van de routekeuze.

Er wordt getest op test tracks, gesloten wegen en uiteindelijk op openbare wegen. Minister Schulz van Haegen (foto) reed in één van de DAVI voertuigen op de openbare weg, tijdens de Innovatie-estafette (november 2013).



Minister Schulz test de DAVI auto (november 2013)

DAVI richt zich ook op de wettelijke aspecten van automatisch rijden (in samenwerkingen met internationale werkgroepen en projecten die zich hier op richten). RWD zal de ervaringen die in DAVI opgedaan worden gebruiken bij de ontwikkeling van typegoedkeuringstesten voor automatische voertuigen.

Zie ook: <http://davi.connekt.nl/>

Rijden met in-car systemen

Dit project richt zich op gebruikersgerichte dwarsverband tussen een aantal lopende projecten (Compass4D⁷, Spookfiles A58, Coöperatieve ITS corridor, SPITSlive, PPA in-car spoor en Brabant In-Car III.) Binnen programmalijn 'De menselijke factor' van DITCM⁸ worden door markt, overheid en kennisinstellingen gezamenlijk ervaringen rondom het gebruik, de beleving en de tevredenheid van weggebruikers van in-car diensten onderzocht, vergeleken en uitgewisseld. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om de verschillende wijzen waarop de proeven in de auto adviseren over snelheden, en wat wel en niet goed werkt. Het project levert ook adviezen op over de benodigde (wettelijke) voorwaarden om een gebruikersgerichte in-car communicatie te kunnen implementeren en aanknopingspunten voor de totstandkoming van een kennisagenda. In 2014 zijn stappen gezet om de wetgeving zodanig aan te passen dat met geavanceerde systemen uitgeruste voertuigen op de openbare weg mogen rijden. In 2015 wordt verder invulling gegeven aan dit project.

Naast deze projecten waarin coöperatieve applicaties of automatisch rijden op de weg getest worden, worden ook projecten uitgevoerd die 'enabling' zijn voor dit soort toepassingen. Bijvoorbeeld de projecten "Data Top 5" en "Open Parkeerdata" uit het Programma Beter Benutten (onderdeel ITS), die zich richten op het verschaffen van (dynamische) informatie over de condities op en beschikbaarheid van wegen en parkeergelegenheden.

⁷ Zie hoofdstuk 3.

⁸ Zie verderop in dit hoofdstuk voor een beschrijving van DITCM en de programmalijnen.

Afgeronde projecten

Diverse Nederlandse organisaties waren partner in grote Europese projecten zoals FREILOT, eCo-Move en DRIVE C2X, en oudere projecten zoals PReVENT, SAFESPOT, CVIS en COOPERS, (zie hoofdstuk 3 voor meer informatie over deze projecten). Daarnaast waren er in een verder verleden nog diverse Nederlandse projecten over coöperatieve systemen, zoals het TNO programma SUMMITS [Van Arem, 2007] en diverse deelprojecten van TRANSUMO⁹. In het deelproject Intelligent Vehicles [Horst, van der & Klunder, 2009] werd bijvoorbeeld onderzoek gedaan naar een File-assistent en naar decentraal regelen met intelligente voertuigen. Recenter zijn projecten afgerond zoals Connected Cruise Control, Dynamax in-car en twee proeven op de A270 met Acceleratie Advies Controller en Cooperative Adaptive Cruise Control.

Connected Cruise Control (CCC)

In januari 2010 startte het project Connected Cruise Control (CCC). CCC had tot doel technieken te ontwikkelen om files te voorkomen door de bestuurder heel specifiek te adviseren over de beste actuele snelheid, volgafstand en rijstrook op zijn wegvak. Het maakte gebruik van lusdata en floating car data, die naar de verkeerscentrale werden gestuurd. Daar werden verkeersstroommodellen gebruikt om de verkeerssituatie te voorspellen en het advies te bepalen, dat naar het voertuig gestuurd wordt en dat in het voertuig verder verwerkt wordt tot een specifiek advies aan de bestuurder. CCC was erop gericht de voordelen van dit zogenaamde coöperatieve rijden zo vroeg mogelijk breed beschikbaar te maken. Daarom werkte CCC met een innovatieve combinatie van beschikbare technologie die als pakket ook in bestaande auto's kan worden ingebouwd. Partners in CCC waren NXP, Navteq, Technolution, Clifford, SAM, de drie TU's en TNO. Rijkswaterstaat deed mee om vanuit de verkeerscentrale de rijadviezen te genereren.

Connect & Drive

In Connect & Drive werkten Small Advanced Mobility, TNO, Fourtress, Centric Tsolve, Twente Institute of Wireless and Mobile Communications, TU Eindhoven, Universiteit Twente, en TU Delft samen. Het project Connect & Drive onderzocht de haalbaarheid van C-ACC in de praktijk (met als uiteindelijk doel grootschalige invoering). Het project richtte zich op meerdere onderwerpen, waaronder control design, draadloze communicatie, in-car computer platforms en software-ontwerpen, en human-machine interfacing. Een deel van de ontwikkelde concepten is getest met een vloot van 6 personenauto's (zie foto).

SPITS

SPITS was de 'voorloper' van SpitsLive en werkte onder meer aan een 'open ITS platform' waarop allerlei rijtaakondersteunende systemen eenvoudig moesten kunnen worden aangesloten en geactualiseerd. SPITS was een groot project dat in 2009 mede op initiatief van TNO als High Tech Top Project werd opgestart. In het kader van SPITS zijn enkele proeven met coöperatieve systemen op de A270 uitgevoerd (zie hieronder). Het project heeft inmiddels een vervolg gekregen in de vorm van SpitsLive (zie eerder in dit hoofdstuk).

⁹ Transumo stond voor *TRANSition to SUSTainable MOBility* (zie voor meer informatie <http://www.transumofootprint.nl>)



Proeven met Acceleratie Advies Controller en C-ACC op de A270

In februari 2010 zijn een aantal grootschalige experimenten uitgevoerd op de A270 tussen Helmond en Eindhoven. Doel was om de potentie van coöperatieve systemen voor het dempen van filegolven te demonstreren. Er werd individueel advies om te versnellen of af te remmen aan de bestuurder gegeven. Het systeem was gebaseerd op een CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) algoritme. Op basis van volgafstanden, snelheden en versnellingen stroomafwaarts werd een advies aan de bestuurder gegeven om te accelereren en decelereren. Naast de veldtest werden ook simulaties uitgevoerd.

Bronnen: [Broek, van den et al., 2010], [Schakel et al., 2010], [Netten et al., 2010]

SPITS A270 (2011)

In deze veldproef met 68 voertuigen op de A270 werd een systeem getest dat tot doel had filegolven uit te dempen en op te lossen. Het systeem is ontwikkeld om ook effectief te zijn bij lage penetratie. Wegkantsystemen detecteerden de filegolf binnen een paar seconden, en zonden een dynamische snelheidslimiet uit om de instroom in de filegolf te verminderen en de uitstroom te stimuleren. Sommige bestuurders kregen advies over de huidige snelheid en hoe ze de dynamische snelheidslimiet konden volgen (stroomafwaarts). Andere bestuurders reden in een voertuig dat was uitgerust met een systeem dat ingrijpt (dit betrof een extensie van het adviessysteem, de dynamische snelheidslimiet werd als snelheid in het Adaptive Cruise Control systeem van het voertuig gezet). Bij het adviessysteem kreeg de bestuurder ook de dichtheid en snelheden stroomafwaarts gezien, waardoor hij de filegolf 'zag'. Het voertuig dat voorop reed, reed volgens een vooraf gedefinieerd snelheidsprofiel dat erop gericht was een filegolf te veroorzaken. In de rij voertuigen erachter zaten 47 niet geïnstumenteerde en 20 geïnstumenteerde voertuigen. 8 van de 20 geïnstumenteerde voertuigen hadden ACC en konden naar de automatische modus switchen.

Bronnen: [Netten et al., 2011], [Netten et al., 2011b]

Dynamax In Car

Dynamax In Car is een coöperatieve variant van het Dynamax-algoritme voor het oplossen van filegolven, dat in 2009 getest werd op de A12 met alleen wegkantsensoren (lusdetectoren) en actuatoren (matrixborden) waarmee de snelheidslimiet dynamisch verlaagd werd bij het optre-

den van filegolven. In het Dynamax In Car project werd dat concept uitgebreid: aan de data-inwinkant wordt gebruik gemaakt van gegevens uit voertuigen (FCD) en van Video Based Monitoring, en de snelheden worden ook in het voertuig getoond (in plaats van alleen maar boven de weg). Het idee hierbij is dat dit de snelheid en nauwkeurigheid (in tijd en ruimte) van detectie van een filegolf vergroot en dat tonen van de limiet in het voertuig de opvolging verhoogt. In het project werden simulaties uitgevoerd om te kijken wat de effecten waren bij verschillende penetratiegraden.

Bron: [Netten et al., 2012]

Van 2010 tot 2013 liep het project SensorCity Assen. Hierin is gewerkt aan systemen die op basis van sensoren langs de infrastructuur en in het voertuig adviezen ontwikkelen voor coöperatieve diensten en managementstrategieën (zie kader).

SensorCity Mobiliteit

In het kader van het Sensor Universe is in Assen het onderzoeksproject Sensor City Mobiliteit uitgevoerd. 'Sensor city' Assen was een living lab voor dit project, waarin gestreefd werd naar een innovatieslag in reisinformatie- en verkeersmanagementdiensten. Het project werd afgesloten met een experiment waarin ruim 150 reizigers in en om Assen nieuwe diensten testten. Daarbij werd gebruik gemaakt van sensortechnologie in de auto en op smartphones. In Sensor City Mobiliteit werkten veertien partijen samen, afkomstig uit bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen. Ze werkten aan de volgende onderwerpen en diensten:

- Dig data
- Dienst Smart routing
- Dienst Rijstijlmonitor
- Dienst Parkeren
- Dienst Multimodaal reisadvies in de auto
- Dienst ReisAlarm app
- Dynamisch Verkeersmanagement
- Adaptief Verkeersmanagement

Zie ook: <https://www.sensorcitymobility.nl/>

2.3. Demonstraties van coöperatieve systemen

Coöperatieve systemen en zelfrijdende voertuigen spreken zeer tot de verbeelding, maar de brede implementatie ervan blijft de grote uitdaging. Om de ontwikkelde applicaties en systemen uit te testen en om een breder publiek (waaronder alle partijen die in de nabije toekomst met coöperatieve systemen te maken zullen krijgen) er kennis mee te laten maken zijn in Nederland diverse proeven op de weg uitgevoerd. Al in 1998 organiseerden het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en TNO in samenwerking met de Europese Commissie een uitgebreide demo met coöperatieve systemen op een nog niet geopend stuk van rijksweg 11 bij Hazerswoude. In paragraaf 2.2 werden

proeven op de A270 met vrijwilligers beschreven. In 2010 werd in Amsterdam de Cooperative Mobility Showcase gehouden (georganiseerd door diverse samenwerkende Nederlandse partijen), waar live diverse systemen zoals die in de EU-projecten SAFESPOT, CVIS en COOPERS ontwikkeld waren getoond werden (Figuur 7). Recenter demonstreerden diverse Europese projecten (o.a. eCoMove, DRIVE C2X) de systemen die in de projecten ontwikkeld waren in hun 'final events'. Veel projecten presenteren zo hun producten. Ook bij een initiatief als DAVI zijn testen op de openbare weg belangrijk.



Figuur 7: Impressie van de Cooperative Mobility Showcase [bron foto's RWS en TNO]

Op Europees niveau zijn er daarnaast regelmatig, verspreid over Europa, iMobility Challenges¹⁰, waarin nieuwe systemen gedemonstreerd worden. In september 2013 was er een iMobility Challenge in Nederland, op het voormalige vliegveld Valkenburg. Daar werd een groot aantal applicaties voor coöperatief en automatisch rijden gedemonstreerd, door allerlei (samenwerkende) partijen uit de verkeersindustrie, automobiel- en vrachtwagenfabrikanten en onderzoeksinstituten en ingenieursbureaus.

2.4. Testfaciliteiten en tools

Voordat coöperatieve systemen en automatisch rijden-functies op de weg gebruikt kunnen worden, is er heel wat ontwikkel- en testwerk gedaan. Voor de verschillende stadia van ontwikkelen (van idee tot toepassing die in voertuigen of langs de weg werkt) zijn allerlei testfaciliteiten en tools beschikbaar. Zie Tabel 4 voor een overzicht. In toenemende mate (dankzij de ontwikkeling van

¹⁰ Zie <http://www.imobilitychallenge.eu/roadshow#lastevents>

makkelijk te gebruiken interfaces en de toename van de rekenkracht van computers) worden tools ook aan elkaar gekoppeld.

Tabel 4: Tools en testfaciliteiten in Nederland

Simulatiemodellen – klein aantal voertuigen	Een voorbeeld hiervan is Prescan (ontwikkeld door TNO). Dit is een (sub-micro)simulatieomgeving voor het ontwerp en de evaluatie van intelligente voertuigen. Gesimuleerde voertuigen kunnen hun omgeving waarnemen en erop reageren.
Simulatiemodellen – verkeersstromen	Commerciële microsimulatiepakketten als VISSIM, AIMSUN en Paramics worden door veel Nederlandse organisaties gebruikt. Onderzoeksinstituten gebruiken daarnaast specifieke, vaak zelf ontwikkelde modellen die meer flexibiliteit bieden om nieuwe technologieën mee te simuleren. TNO gebruikt de ITS modeller, die specifiek ontwikkeld is voor de evaluatie van coöperatieve systemen. De TU Delft gebruikt MOTUS; de bedoeling is dit model onder te brengen in OpenTrafficSim ¹¹ , een generiek, opensource JAVA simulatie raamwerk waarin ook andere modellen opgenomen zullen worden, van microscopische tot macroscopische (zoals FASTLANE). Simulatieomgevingen kunnen steeds makkelijker gekoppeld worden aan externe modellen (bijvoorbeeld gedetailleerdere voertuigmodellen, modellen van in-car systemen, geavanceerde kruispuntregelingen).
Communicatiemodellen	Er zijn communicatiemodellen met diverse detailniveaus (van zeer gedetailleerd tot relatief simpel). Naarmate meer studies zich richten op het rijgedrag van connected of coöperatieve voertuigen, wordt de behoefte aan goed bij de systemen aansluitende communicatiemodellen groter. Of het testen van in de praktijk beschikbare hardware. TNO kan communicatiehardware in een realistische, gecontroleerde (simulatie)omgeving reproduceerbaar testen en evalueren (AHNEmul - AdHoc Network Emulator for testing real communication hardware; hardware in-the-loop).
Rijsimulatoren	Er zijn verschillende typen rijsimulatoren: van zeer geavanceerd (Desdemona van TNO) tot simpele opstellingen. Inmiddels zijn behoorlijk veel rijsimulatoren beschikbaar.
Hardware-in-the-Loop	TNO beschikt over VEHIL (Vehicle Hardware-In-the-Loop), een 'hardware-in-the-loop' voertuigtestfaciliteit waarmee complexe intelligente voertuig- en vervoerssystemen getest kunnen worden. VEHIL biedt een veilige omgeving om systemen te testen die het in simulaties goed doen maar nog niet ver genoeg ontwikkeld zijn om op de openbare weg te testen. Zie Figuur 8.
Testcentrum / test tracks / test sites	Het RDW Test Centrum Lelystad, of kortweg TCL, is een onafhankelijk testlaboratorium voor voertuigtechniek voor homologatie beproevingen, nationale en internationale certificaten en voor het uitvoeren van Research & Development activiteiten. Er worden op diverse plaatsen applicaties getest, bijvoorbeeld in Noord-Brabant (spookfiles A58, Brabant in-car) en Amsterdam (PraktijkProef Amsterdam). De best uitgeruste wegen in Nederland (qua communicatieinfrastructuur) liggen in en nabij Helmond (Kasteeltraverse en A270). Ook wordt in

¹¹ Zie <http://opentrafficsim.org/>

	Helmond de Innovatiecentrale gehuisvest – een innovatieomgeving in een operationele verkeerscentrale van Rijkswaterstaat.
Geïstrumenteerde voertuigen	Voertuigen worden uitgerust met sensoren/meetapparatuur om data te vergaren op de weg, van het eigen voertuigen en de eigen bestuurder tot gegevens over de omgeving en nabije voertuigen. Hiervoor zijn de voertuigen uitgerust met bijvoorbeeld (geavanceerde) GPS, radar, camera's, en communicatiesystemen. Met deze data kan verkeersgedrag in detail onderzocht worden.
Inwin/monitoringsystemen	Het rijgedrag en de verkeersafwikkeling kunnen op veel manieren gemonitord worden. Data uit voertuigen en mobiele meetsystemen kunnen gecombineerd worden met data uit vaste meetlocaties. Veel gebruikte inwinsystemen zijn lusdetectoren, camera's, bluetoothsensoren en floating car data.
Dataverwerkings- en visualisatietools	Gezien de grote hoeveelheden data die gegenereerd en gebruikt worden bij coöperatief en automatisch rijden is er behoefte aan dataverwerkings- en visualisatietools. Hier wordt onder andere aan gewerkt in DiTTLab, het Delft integrated Traffic & Travel Laboratory (waarin het al langer bestaande Regiolab opgaat). Hier worden data uit sensornetwerken geanalyseerd, waarbij ook een koppeling gelegd wordt met simulatiemodellen (OpenTrafficSim). Visualisaties maken het mogelijk om inzicht te krijgen complexe verkeersprocessen.
Tools voor bepalen en opschalen van impacts, kosten-baten analyse en deployment	Overheid, onderzoeksinstituten en industrie gebruiken diverse tools voor het genereren van inzicht in de effecten, baten-kostenverhoudingen en mogelijke business modellen bij de uitrol van innovatieve systemen op grote(re) schaal. De FESTA-methode [FESTA & FOT-Net, 2011] wordt veel toegepast, ook in Nederland (zie ook de hierop gebaseerde Leidraad Evaluaties Benutting [Wilmink et al., 2011a]). In de projecten ECOSTAND en AMITRAN ¹² zijn hierop aanvullende methoden ontwikkeld voor de evaluatie van systemen gericht op het reduceren van energiegebruik en CO ₂ -emissies [Energy ITS & ECOSTAND, 2013][AMITRAN, 2014]. Enkele tools die ontwikkeld zijn voor opschalen en kosten-batenanalyses zijn SCENIC en COBRA. Het SCENIC model (TNO) kan veranderingen in verkeersstroomindicatoren en milieu-indicatoren (zoals voertuigverliesuren, brandstofverbruik enz.) door gebruik van coöperatieve systemen en automatisch rijden vertalen naar andere geografische niveaus (bijvoorbeeld een regio, Nederland, EU) en tijdsschalen (bijvoorbeeld van een ochtendspits naar een jaar) dan waarvoor resultaten beschikbaar zijn ('opschaling'). Het COBRA model (TNO, RWS) maakt de kosten en baten van deployment van coöperatieve systemen op het Nederlandse hoofdwegennet inzichtelijk. Ook kunnen er verschillende business modellen voor de wegbeheerder mee doorgerekend worden; dit maakt de business cases voor de wegbeheerder inzichtelijk.

¹² Zie ook de AMITRAN on-line Knowledge Base (<http://www.amitran.eu/knowledge-base/>), die ondersteuning geeft bij het opzetten van evaluaties van ITS en de keuze van geschikte modellen (vervoervraag, verkeer, emissies) voor meerdere modaliteiten.



Figuur 8: VEHIL: Hardware-in-the-loop voertuig testfaciliteit in Helmond [Driessen et al., 2007]

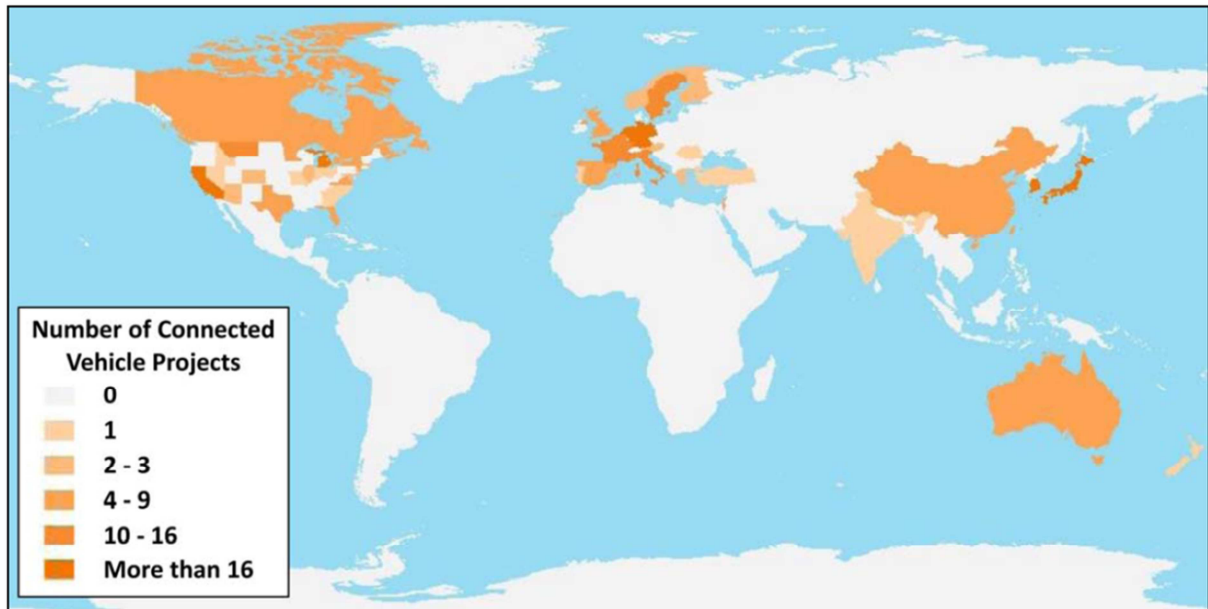
2.5. Samenwerkingsverbanden en netwerken

DITCM (Dutch Integrated Testsite for Cooperative Mobility) is een belangrijk publiek-privaat samenwerkingsverband in Nederland. DITCM is opgericht om de introductie van coöperatieve systemen te stimuleren. In DITCM werken overheid, industrie en kennisinstellingen samen aan (pre-concurrentie) projecten die de invoering van systemen bevorderen. DITCM is daarnaast aanspreekpunt op het gebied van ontwikkeling, standaardisatie, testen en toepassing van smart mobility. DITCM streeft ernaar om ook internationaal een toonaangevende partner te worden op het gebied van coöperatieve mobiliteit. DITCM werkt langs vier programmalijnen die elk als belangrijkste doel hebben de uitrol van coöperatieve systemen te versnellen: Human Factors (beperkingen en mogelijkheden van de bestuurder), Technology (standaardisatie), Effect Studies (gereedschappen om verkeerskundige baten vast te stellen) en International Policy (het matchen van internationale vraagstukken en ITS-ontwikkelingen). Connecting Mobility fungeert als aanjager van de ontwikkelingen.

Nederland is daarnaast goed vertegenwoordigd in internationale samenwerkingen, zoals de Amsterdam Group, de werkgroepen van het iMobility Forum en de transatlantische samenwerking op het gebied van coöperatieve systemen. Zie hiervoor paragraaf 3.5.

3. Hoe ver zijn ze elders?

Op veel plekken wordt gewerkt aan coöperatieve systemen en automatisch rijden. Figuur 9, uit het rapport "International Survey of Best Practices in Connected and Automated Vehicle Technologies" [CAR & MDOT, 2013], laat zien waar in de wereld de activiteiten zich concentreren.



Figuur 9: Landen waar projecten met coöperatief en automatisch rijden plaatsvinden [CAR & MDOT, 2013]

3.1. Europa

Nederland is, zoals al eerder vermeld, goed aangehaakt bij internationale projecten, vooral daar waar het Europese projecten betreft. De Europese Commissie ziet een grote rol voor coöperatieve systemen en stimuleert de ontwikkeling op diverse vlakken:

1. door beleid te formuleren;
2. door R&D projecten uit te zetten (bijvoorbeeld in de kaderprogramma's);
3. door architecturen en standaardisering te bevorderen;
4. door bewustwording te bevorderen;
5. door regelgeving op dit gebied te ontwikkelen en in te voeren;
6. door werkgroepen en platforms in het leven te roepen en/of te ondersteunen.

Beleid

De EU (voornamelijk het Directoraat-Generaal 'Information Society') probeert de implementatie en het gebruik van coöperatieve systemen te bevorderen middels het Intelligent Car Initiative (zie http://ec.europa.eu/information_society/activities/intelligentcar/index_en.htm) en het ITS action plan [EC, 2011b]. In het Witboek "Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerenden zuinig vervoerssysteem" uit 2011 [EC, 2011b] wordt het gebruik van

informatie- en communicatietechnologie (I2I, I2V en V2V) gezien als noodzakelijk om tot een efficiënter en duurzamer gebruik van het verkeers- en vervoersysteem te komen.

Het *Intelligent Car Initiative* werd al gepubliceerd in 2006 en bevat de EU's strategie voor de ontwikkeling van auto's die slimmer, veiliger en schoner zijn. Het gaat in op hoe de industrie, lidstaten en burgers samen kunnen werken om mobiliteitsproblemen op te lossen en het gebruik van ICT in transport te bevorderen. Het Intelligent Car Initiative biedt een kader voor beleid op dit gebied en moet helpen om wettelijke en institutionele barrières die partijen tegenkomen te slechten. Het is gebouwd op drie pijlers:

1. het iMobility Forum (coördineren en promoten van het werk van stakeholders);
2. het onderzoek binnen de kaderprogramma's, faciliteren van het gebruik van de resultaten;
3. het stimuleren van de bewustwording (awareness) om de vraag naar intelligente voertuigen en de acceptatie ervan te vergroten.

In het *ITS action plan* [EC, 2011a] worden acties benoemd waarmee de invoering van intelligente transportsystemen versneld dienen te worden. Er zijn zes prioritaire domeinen, waarbinnen acties zijn benoemd, waarvan meerdere een bijdrage zullen leveren aan de ontwikkeling en invoering van coöperatieve systemen. Het ITS action plan gaat vergezeld van een richtlijn betreffende een kader voor de gecoördineerde invoering van ITS [EC, 2011a]. Dit moet zorgen voor interoperabele en naadloos op elkaar aansluitende ITS services. Volgens de richtlijn moet de Europese Commissie binnen zeven jaar specificaties ontwikkelen voor de compatibiliteit, interoperabiliteit en continuïteit van ITS maatregelen; lidstaten moeten volgens deze specificaties werken maar kunnen wel zelf bepalen in welke systemen ze willen investeren. Daarnaast zijn er ondersteunende activiteiten, zoals het opstellen van roadmaps (bijvoorbeeld de technical roadmap for cooperative systems deployment in Europe) en specifieke projecten over welke voertuig- en infrastructuur nodig zijn om coöperatieve systemen te ondersteunen, en welke applicaties en services mogelijk zijn als voertuigen met elkaar en met de infrastructuur verbonden zijn.

Research & Development

Tabel 5 geeft een overzicht van de belangrijkste EU-projecten op het gebied van coöperatieve systemen. Alle projecten publiceren hun resultaten en eindconclusies op de projectwebsites.

Tabel 5: Recente Europese projecten op het gebied van coöperatieve systemen

Project	Omschrijving
eCoMove	NL partners: DAF, Gemeente Helmond, Logica, Imtech, Technolution, TNO, Vialis eCoMove is een 7e Kaderproject dat liep van 2010-2014. Het is gebaseerd op het idee dat coöperatieve systemen kunnen helpen om mobiliteit schoner en zuiniger te maken, doordat de systemen inefficiënties weg kunnen nemen. Het idee is dat bij iedere verplaatsing door een willekeurige bestuurder in een willekeurig voertuig er brandstof bespaard kan worden, als men perfect de regels van 'het nieuwe rijden' ("eco-driving") zou opvolgen en verkeersoperators hun netwerk op een groene manier zouden managen. eCoMove richt zich op zowel personenvervoer als vrachtvervoer en logistiek en heeft als doel het ontwikkelen en valideren van een aantal applicaties die voor, tijdens en na een

Project	Omschrijving
	<p>verplaatsing gebruikt kunnen worden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Applicaties voor personenvervoer (ondersteuning bestuurder); • Applicaties voor goederenvervoer (ondersteuning bestuurder, trip planning); • Applicaties voor verkeersmanagement en verkeersregelingen <p>Helmond heeft gefungeerd als één van de testsites in het project. Zie voor verdere informatie http://www.ecomove-project.eu.</p>
DRIVE C2X	<p>NL partners: TNO, Rijkswaterstaat (support partner)</p> <p>Het DRIVE C2X project (DRIVING implementation and Evaluation of C2X communication technology in Europe) is in 2014 afgerond en heeft een uitgebreide evaluatie (rijgedrag, doorstroming, veiligheid, milieu en maatschappelijke impacts, technisch en gebruikersacceptatie) uitgevoerd van coöperatieve systemen, door middel van veldtesten op verschillende plekken in Europa, waaronder Nederland. DRIVE C2X had vier grote technische doelstellingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het creëren en harmoniseren van een Europa-brede testomgeving voor coöperatieve systemen; • het coördineren van de FOT's die in parallel op zes test sites zijn uitgevoerd; • Het evalueren van coöperatieve systemen; • Het bevorderen van coöperatief rijden. <p>Het project keek ook naar realistische business modellen voor brede implementatie. Het project bouwde voort op PRE-DRIVE C2X, waarin een geïntegreerde simulatieaanpak voor coöperatieve systemen ontwikkeld werd. Zie voor verdere informatie http://www.drive-c2x.eu/project</p>
SMART63-64-65	<p>NL partners: TNO</p> <p>In 2011 zijn drie SMART-projecten uitgevoerd m.b.t. tot coöperatieve systemen en automated driving, waarin de volgende vragen aan bod kwamen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Smart63: Wat zijn de "Day-1" coöperatieve systemen die uitgerold in Europa zullen worden, en welke infrastructuur is daarbij nodig om het te realiseren in het hele EU? - Smart64: Wat is zijn de ICT-eisen die gesteld worden om grootschalige invoering van geautomatiseerd rijden te realiseren, wat zijn de stappen om ze te realiseren, en wat zijn de hiaten in het onderzoek op dit pad? - Smart65: Welke diensten worden mogelijk in de "connected car"? <p>Bronnen: [Malone et al. 2011][Schijndel-de Nooij et al., 2011][Passchier et al. 2011]http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/doc/2011/studies_ws/intro_3studies.pdf</p>
FOT-Net (1 en 2)	<p>NL partners: Rijkswaterstaat, TNO, Connekt/ITS Netherlands, SWOV</p> <p>FOT-Net is een "support action", een project waarin de partners kennis verspreiden over hoe grootschalige veldtesten kunnen worden opgezet, gerund en geëvalueerd. Er is hiervoor een handboek geschreven (het FESTA Handbook [FESTA & FOT-Net, 2011]), dat ook aanbevelingen voor gebruik bij proeven met coöperatieve systemen bevat. Ook is er een FOT-Net wiki. FOT-net organiseert seminars waarin ervaringen uitgewisseld worden. Zie voor verdere informatie http://www.fot-net.eu/</p>
FOTsis	<p>FOTsis (European Field Operational Test on Safe, Intelligent and Sustainable Road Operation) is een project waarin op grote schaal wegkantsystemen worden getest die nodig zijn voor zeven coöperatieve services (V2V, V2I en I2I): Emergency Management,</p>

Project	Omschrijving
	Safety Incident Management, Intelligent Congestion Control, Dynamic Route Planning, Special Vehicle Tracking, Advanced Enforcement, Infrastructure Safety Assessment. Hun effectiviteit wordt beproefd en het potentieel voor brede implementatie op de Europese wegen wordt beoordeeld. Het project wordt in 2014 afgerond. Zie voor verdere informatie http://www.fotsis.com/
SCORE@F	SCORE@F (Système Coopératif Routier Expérimental @ France) was een onderzoeksproject dat in 2013 afgerond is. Het doel was om de inzet van coöperatieve systemen in Europa voor te bereiden, op verschillende wegtypen. Industrie, overheden en onderzoeksinstituten experimenteerden gezamenlijk met een aantal coöperatieve toepassingen (meest gericht op verkeersveiligheid) onder verschillende omstandigheden, en met niet-professionele bestuurders. SCORE@F droeg bij aan het DRIVEC2X project. Zie https://project.inria.fr/scoref/
SCOOP@F	Het Franse Ministerie van Duurzame Ontwikkeling is verantwoordelijk voor het SCOOP@F project, dat is gericht op het invoeren van coöperatieve ITS vanaf 2014. Het is een landelijk project, waarbij 3000 voertuigen en 2000 km van stedelijke wegen, provinciale wegen en snelwegen in 2016 uitgerust zullen zijn. Als de projectbevindingen positief zijn, zal in 2017 begonnen worden met nationale uitrol. Zie voor verdere informatie http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/49b_DGITM_scoop_GB_2p_def_web.pdf .
Compass4D	NL partners: Gemeente Helmond, TNO, Imtech, Vialis, V-tron Compass4D wordt uitgevoerd in zeven Europese steden: Bordeaux, Copenhagen, Helmond, Newcastle, Thessaloniki, Verona en Vigo. Er worden drie coöperatieve services (Red Light Violation Warning, Road Hazard Warning en Energy Efficient Intersection; met I2V communicatie) geïmplementeerd waarmee de baten van dergelijke systemen getoond kunnen worden aan inwoners, de overheid en bedrijven. De testsite Helmond (onderdeel van DITCM) implementeert alle drie de services en neemt deel met een aantal vrachtwagens, elektrische auto's, bussen en voertuigen van hulpdiensten. Er wordt gebruik gemaakt van 17 road side units (RSU's) in Helmond, 11 RSU's op de A270 en 7 RSU's in Eindhoven.

Al weer wat langer geleden uitgevoerd (maar hier opgenomen om een idee te krijgen van hoe het Europese onderzoek zich ontwikkelt) zijn de projecten in Tabel 7.

Tabel 6: Overzicht andere relevante Europese projecten op het gebied van coöperatieve systemen

Project	Omschrijving
PREVENT	NL partners: Ministerie van Infrastructuur en Milieu, TNO Het project PREVENT richtte zich op de ontwikkeling van systemen die actief de verkeersveiligheid verbeteren. Zowel stand-alone als coöperatieve systemen werden getest. De ontwikkelde applicaties waren in vier groepen in te delen: Safe speed and safe following, Lateral support, Intersection safety en Vulnerable road user & collision mitigation. Daarnaast waren er horizontale activiteiten, onder andere op het gebied van digitale kaarten, datafusie, een code of practice en evaluatie.
GST	NL partners: TNO (ook Navteq, Siemens VDO (NL deel)) GST was een project dat als doel had het creëren van een open en gestandaardiseerde architectuur voor automotive telematica services. Daarmee zou een gunstiger klimaat voor de ontwikkeling van innovatieve telematicaservices moeten ontstaan.

Project	Omschrijving
SAFESPOT	<p>NL partners: Navteq, Peek, Rijkswaterstaat, Tele Atlas, TNO</p> <p>Het SAFESPOT project zocht naar de coöperatieve systemen, gebruik makend van een combinatie van informatie uit voertuigen en uit de infrastructuur, die de verkeersveiligheid kunnen verhogen. Onderdeel van het project was het ontwikkelen van een open, flexibele en modulaire architectuur en communicatieplatform. Daarnaast werden technologieën ontwikkeld die nodig zijn voor de veiligheidssystemen, zoals nauwkeurige plaatsbepaling en kaartmateriaal. SAFESPOT ontwikkelde een aantal applicaties en testte de verkeersveiligheidseffecten ervan. Verder werd gekeken naar hoe dergelijke applicaties geïmplementeerd kunnen worden. Daarbij werd ook gekeken naar aansprakelijkheid, regulering en standaardisatie.</p> <p>Zie voor verdere informatie http://www.safespot-eu.org/</p>
CVIS	<p>NL partners: Logica, Peek, Provincie Noord-Brabant, Rijkswaterstaat, Technolution, TNO, Vialis</p> <p>Het project CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems) was een R&D project gericht op het ontwerpen, ontwikkelen en testen van de technologie die nodig is om voertuigen met elkaar en met de infrastructuur eromheen te laten communiceren. CVIS ontwikkelde een "multi-channel terminal" die in staat is continu een internetverbinding in stand te houden waarmee voertuigen van verschillende fabrikanten en verkeersmanagementsystemen met elkaar kunnen communiceren. Er werd gewerkt aan een open architectuur voor het verbinden van voertuigen en verkeersmanagement systemen en telematic services langs de weg, die eenvoudig geüpdatet kunnen worden en waar verschillende technologieën op geïmplementeerd kunnen worden. Ook werd er gewerkt aan plaatsbepaling en het maken van lokale dynamische kaarten, en aan protocollen waarmee voertuigen data konden delen en verifiëren met andere voertuigen of de infrastructuur, en met een service centrum langs de weg. Zie voor verdere informatie www.cvisproject.org/</p>
COOPERS	<p>COOPERS staat voor CO-OPERativeSystEms for Intelligent Road Safety. COOPERS richtte zich op de ontwikkeling van innovatieve telematicatoepassingen op de weginfrastructuur met als lange termijn doel coöperatief verkeersmanagement. Het doel was het verbeteren van de verkeersveiligheid door directe en actuele verkeersinformatiecommunicatie tussen de infrastructuur (een snelweg) en de voertuigen die er op rijden.</p> <p>Zie voor verdere informatie http://www.coopers-ip.eu/</p>
FREILOT	<p>NL partners: Peek, Van den Broek Logistics</p> <p>De FREILOT services richtten zich op het reduceren van het brandstofgebruik voor het vrachtvervoer in stedelijke gebieden. Vier gekoppelde testsites (Bilbao, Helmond, Lyon, en Warschau) testten of de services tot een brandstofreductie leidde. Het project werd in 2012 afgerond, maar de service (met beïnvloeding van verkeerslichten door de vrachtwagens en 'in-car'-adviezen) is nog steeds actief in Helmond.</p> <p>Zie voor verdere informatie http://www.helmond.nl/Internet/Site-Root/Welkom-op-Helmondnl/Bewoners/Bewoners-Verkeer-en-vervoer/Verkeersprojecten/Freilot-%28Intelligente-Transport-Systemen%29.html en http://verkeerskunde.nl/helmond-gaat-door-met-innovatief-verkeerssysteem.28576.lynkx</p>
COSMO	<p>Het COSMO project (COoperative system for Sustainable MObility and energy efficiency) was een pilot project waarin de baten van coöperatieve verkeersmanagementsystemen (V2I communicatie) gedemonstreerd werden. Hoofddoel van de geteste systemen was vermindering van energiegebruik en fossiele brandstoffen. Er waren testsites in Italië, Oostenrijk en Zweden. Zie voor verdere informatie http://www.cosmo-project.eu/</p>

Tabel 7 geeft een overzicht van Europese projecten op het gebied van automatisch rijden.

Tabel 7: Recente/lopende Europese projecten op het gebied van automatisch rijden

Project	Omschrijving
AdaptIVe	<p>Het AdaptIVe project, begin 2014 gestart, ontwikkelt verschillende functies voor automatisch rijden, met als doel dat efficiënter en veiliger gereden wordt. Hoezeer de rijtaak geautomatiseerd wordt, wordt aangepast aan de situatie en de staat van de bestuurder. Er wordt gebruik gemaakt van on-board sensoren, maar ook van V2V en V2I communicatie. Het project, waarin een groot aantal automobielfabrikanten, toeleveranciers, onderzoeksinstituten en een enkele wegbeheerder deelnemen, schenkt ook aandacht aan wettelijke aspecten die een succesvolle implementatie van dergelijke systemen in de weg zouden kunnen staan.</p> <p>Zie voor verdere informatie: http://www.adaptive-ip.eu/. TNO is de enige Nederlandse partner in dit project.</p>
HFAUTO	<p>Het HFAUTO-project, geleid door de TU Delft, richt zich op 'Human Factors of Automated Driving', en heeft tot doel om kennis te genereren over de human factors kant van automatisch rijden. Voordat grootschalig automatisch rijden op de openbare weg mogelijk is, moet worden uitgewerkt hoe kan worden omgegaan met menselijke fouten en de wettelijke gevolgen (aansprakelijkheid). HFAUTO richt zich op vragen als hoe de human-machine-interfaces (HMI) moeten worden ontworpen om de transitie van manueel naar automatisch rijden te ondersteunen, hoe de systemen in het voertuig de staat de bestuurder en zijn/haar bedoelingen kan begrijpen en wat de effecten van 'highly automated driving' zijn op ongevalrisico's en de efficiëntie van de verkeersafwikkeling.</p> <p>Zie voor verdere informatie: http://hf-auto.eu</p>
Drive Me (Volvo)	<p>Volvo houdt grootschalige proeven met automatisch rijden in Göteborg, Zweden. De eerste testauto's rijden rond met het Autopilot system. Deze auto's kunnen al omgaan met 'lane following, speed adaption and merging traffic' – zodat de bestuurder het rijden aan het voertuig kan overlaten. De planning is om in 2017 honderd 'autonome' voertuigen aan klanten te leveren, die daarmee in het dagelijkse verkeer (inclusief files) kunnen deelnemen.</p>
AutoNet2030	<p>In 2013 startte het AutoNet2030 project. In dit project worden technologieën voor automatisch rijden ontwikkeld, die gebaseerd zijn op het gedecentraliseerd nemen van (rijtaak)beslissingen op basis van informatie afkomstig van nabije voertuigen (V2V communicatie). Er wordt gewerkt aan systemen die in te voeren zijn tussen 2020 en 2030, er van uitgaande dat communicatiesystemen en op sensoren gebaseerde lane-keeping/cruise-control technologieën in steeds meer voertuigen te vinden zullen zijn. De ontwikkelde systemen moeten passen in een geleidelijke invoer van volledig automatisch rijden met gebruik van coöperatie. Ook manueel bestuurde voertuigen kunnen gebruik maken van de samenwerking tussen voertuigen, via instructies op een HMI. De in AutoNet2030 ontwikkelde technologieën worden met testritten en simulatietools gevalideerd, en gedemonstreerd in najaar 2016. Zie ook http://www.autonet2030.eu/</p>

Tabel 8 bespreekt enkele andere (afgeronde) EU-projecten op dit gebied.

Tabel 8: Overzicht andere relevante Europese projecten op het gebied van automatisch rijden

Project	Omschrijving
SARTRE	<p>SARTRE (SAfe Road TRains for the Environment) werd in 2012 afgerond. In het project werden strategieën en technologieën ontwikkeld voor platooning, waarbij het doel was die te kunnen laten rijden op de openbare (snel)weg, en substantiële verbeteringen te bewerkstelligen met betrekking tot milieu, veiligheid en rijcomfort. Het is op de weg gedemonstreerd, waarbij een door een professionele bestuurder gereden vrachtwagen gevolgd werd door verscheidene automatisch rijdende voertuigen. Substantiële reducties van het brandstofverbruik werden gemeten. Ook zijn de human factors aspecten van op een dergelijke manier rijden onderzocht.</p> <p>Zie voor verdere informatie: http://www.sartre-project.eu</p>  <p><i>SARTRE road train test (bron: SARTRE final report, beschikbaar op de projectwebsite)</i></p>
HAVEit	<p>Het HAVEit project werd in 2011 afgerond, en richtte zich op het verbeteren van de verkeersveiligheid en efficiëntie door het ontwikkelen van systemen waarmee (gedeeltelijk) geautomatiseerd gereden kan worden (HAVEit staat voor Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport). Gekeken werd naar de volgende functies: Queue assistance, Construction site assistance, Temporary auto pilot en Active green driving. Verder is gekeken naar hoe de overgang naar (meer) automatisch rijden kan plaatsvinden, middels een 'migration concept'.</p> <p>Zie voor verdere informatie: http://www.haveit-eu.org</p>
CityMobil	<p>Het CityMobil project werd in 2011 afgerond. Het project richtte zich op pilots van zelfrijdende voertuigen als onderdeel van het openbaar vervoersnetwerk in de stedelijke omgeving. Het doel was de stedelijke problemen van congestie, ruimtetekort en milieubelasting op te lossen door zelfrijdende voertuigen als onderdeel van het openbaar vervoersnetwerk. Demonstraties van deze zelfrijdende voertuigen hebben op twee plekken in Europa plaatsgevonden: Personal Rapid Transport (PRT) op Heathrow Luchthaven, en bussen in Castellón. Daarnaast zijn five showcases georganiseerd in: Daventry (VK), La Rochelle (FR), Vantaa (FI), Trondheim (NO) en Orta San Giulio (IT). Belangrijke resultaten uit voorgaande projecten (CyberCars, CyberMove, NETMobil) op technologische verbetering van sensoriek waren cruciaal als basis voor CityMobil.</p> <p>Zie voor verdere informatie: http://www.citymobil-project.eu/</p>

Project	Omschrijving
ABV	<p>Het ABV project vond plaats in Frankrijk. ABV staat voor "Automatisation Basse Vitesse". Het doel was om de technische haalbaarheid van volledig automatisch rijden bij snelheden tot 50 km/uur te demonstreren, voor toepassing in stedelijke omgeving met passende infrastructuur (geen kruispunten, wegontwerp bekend en beschikkend over goede belijning). Er werd gereden met een elektrische Citroën C1 Ev'ie.</p> <p>Zie ook http://ercim-news.ercim.eu/en94/special/abv-a-low-speed-automation-project-to-study-the-technical-feasibility-of-fully-automated-driving</p>

Daarnaast lopen bij de meeste automobiel- en vrachtwagenfabrikanten (en hun toeleveranciers) projecten op het gebied van automatisch rijden die niet mede gefinancierd worden door de Europese Commissie.

Een project wat zich bevindt op het raakvlak van elektrisch en automatisch rijden is V-charge (Automated Valet Parking and Charging for e-Mobility), waarin een systeem ontwikkeld wordt waarmee voertuigen zonder bestuurder kunnen rijden op daartoe aangewezen terreinen (zoals parkeerplaatsen).

Standaardisatie en architectuur

Standaardisatie is nodig om C-ITS te implementeren. Wat verschillende partijen ontwikkelen als onderdeel van een C-ITS, kan samenwerken als gevolg van standaardisatie. Zoals in paragraaf 1.9 benoemd wordt, is standaardisatie een enabler voor interoperabiliteit. Het is ook een enabler voor het maken van business cases van de samenwerkende partijen. Standaardisatie zorgt voor afgestemde specificaties. Specificaties beschrijven de functionele, technische en procesmatige regels om voorspelbaar systeemgedrag te creëren. Standaardisatie vereist dat een erkende stakeholdergroep bij elkaar komt om tot specificaties te komen.

Er zijn twee mechanismes om tot standaarden te komen. Het eerste is dat een groep stakeholders afsprekt welke standaarden en specificaties gebruikt zullen worden in een bepaald geval. Deze specificaties worden een "profile" genoemd. De profile zorgt voor de interoperabiliteit. Het tweede mechanisme is dat een standaardisatiegroep zelf een afspraak over de specificaties maakt.

Architectuur draagt bij aan het maken van specificaties. Dit geeft structuur en begeleiding aan de partijen die de specificaties gaan maken. Mandate M/453 van de Europese Commissie legde de verantwoordelijkheid voor van standaardisatie van de applicaties in de ITS Directive bij ETSI TC ITS (voor communicatie en veiligheid) en CEN TC 278 WG 18 (voor infrastructuur). Meer dan 60 standaarden zijn gerealiseerd voor communicatie op ITS-G5 (short range communicatie op de 5.9 GHz band). Evaluatie van de toepassing van bestaande standaarden is een doorlopende activiteit in het normalisatieproces in de relevante CEN, ISO, SAE, IEEE en ETSI Technische Comités en hun werkgroepen. In Europees verband wordt veel aandacht aan standaardisatie besteed. In CVIS, SAFESPOT en COOPERS is een open architectuur bepaald, waarvan ook eCoMove gebruik maakte.

Bewustwording

De EC bevordert bewustwording bij eindgebruikers op het gebied van coöperatieve systemen door:

- disseminatie te bevorderen in projecten en via hun eigen websites;

- door FOTs en demonstraties te initiëren en te ondersteunen;
- door ondersteunende acties uit te zetten, zoals het FOT-Net project (zie de FOT-Net wiki, <http://wiki.fot-net.eu>).

iMobility Support is een driejarig "support action", financieel ondersteund door de EC. iMobility Support organiseert allerlei iMobility Forum activiteiten, waaronder netwerkbijeenkomsten voor stakeholders, ondersteuning bij deployment, bewustwording acties en disseminatie van resultaten. Daarnaast is er het iMobility Challenge project, dat de inzet van ICT-systemen voor energie-efficiënte en duurzame mobiliteit wil demonstreren, bevorderen en stimuleren. De Europese Commissie co-financiert ook de iMobility Challenge. Op de iMobility Challenges kunnen gebruikers en beleidsmakers nieuwe technologieën uitproberen. Demonstraties hebben in Helsinki, Luxemburg, Brussel, Strasbourg, Den Haag en Istanbul plaatsgevonden. iMobility Challenge voert ook ondersteunende studies uit, vooral om de bewustwording van de consument en de acceptatie van voertuigtechnologieën te beoordelen. Studies over effecten van ITS worden verzameld in de iMobility Forum Effects Database.

Zie voor meer informatie <http://www.imobilitysupport.eu/>, <http://www.imobility-effects-database.org/> en <http://www.imobilitychallenge.eu/>.

Werkgroepen en platforms

Er zijn diverse werkgroepen en platforms die zich met coöperatieve systemen en automatisch rijden bezighouden. Binnen **iMobility Support** zijn dit onder andere de volgende werkgroepen (zie <http://www.imobilitysupport.eu/imobility-forum/working-groups>):

- Automation
- Communications
- Digital Maps
- Human-Machine Interaction (HMI)
- ICT for Clean and Efficient Mobility
- Implementation Road Map
- Intelligent Infrastructure
- International Cooperation
- Legal Issues
- Research and Innovation
- eSecurity

Polis (zie <http://www.polis-online.org/>) is een netwerk van Europese steden. Polis ondersteunt en pleit voor innovaties in lokaal transport. Het gaat daarbij om milieu- en gezondheidsaspecten, mobiliteit en een efficiënte verkeersafwikkeling, de economische en sociale aspecten van transport en veiligheid. Polis zet zich ook in voor toepassingen van coöperatieve systemen in een stedelijke omgeving.

ERTICO - ITS Europe (zie <http://ertico.com/>) is opgericht in 1991 als een platform voor de samenwerking van alle betrokken partijen voor het ontwikkelen en implementeren van ITS in Europa. De ERTICO Partnership is een publiek / privaat partnership dat bestaat uit meer dan honderd

partners over 8 verschillende sectoren, die allemaal werken aan het toevoegen van intelligentie aan de mobiliteit van mensen en goederen in Europa. ERTICO en haar leden voeren projecten op het gebied van coöperatieve systemen en automatisch rijden uit, en ondersteunen de EC met advies over onderzoek en deployment.

DG-MOVE richtte in oktober 2014 het "**Platform for the Deployment of C-ITS in the EU**" op, om de invoering van C-ITS te versnellen. De platform (dat nog ingericht wordt) zal bestaan uit experts en stakeholders in C-ITS (waaronder een aantal uit Nederland). Dit platform zal een roadmap voor de deployment van C-ITS maken en de EC adviseren. Als basis is een werkplan opgesteld met daarin 11 onderwerpen die aangepakt moeten worden om de belemmeringen voor deployment weg te nemen:

- Cost-Benefit Analysis;
- Business Cases for Deployment;
- Open Legal Issues;
- Governance of the system & privacy;
- Security and Certification;
- Technical issues;
- Standardisation Issues;
- Public Acceptance;
- Implementation Issues;
- International Cooperation (between the EU, US and Japan);
- Roadmap for Deployment of C-ITS.

Naast DG-MOVE zullen de andere relevante directoraten-generaal verbonden zijn aan het platform (Directorate General for Communication Networks Content and Technology (DG CNECT), Directorate General for Research and Innovation (DG RTD) en Directorate General for Enterprise and Industry (DG ENTR)). Het platform is voorlopig voor 2 jaar ingesteld.

Het **CAR2CAR Communication Consortium** (C2C-CC) is een zeer actieve partnership van autofabrikanten, toeleveranciers en deskundige adviseurs. De missie en de doelstellingen van het CAR2CAR Communication Consortium zijn gericht op het standaardiseren, valideren en certificeren van coöperatieve ITS, en het realiseren van deployment in Europa en wereldwijd. Het CAR2CAR Communication Consortium vertegenwoordigt autofabrikanten en toeleveranciers op het gebied van communicatie en coöperatieve ITS in discussies met onder anderen de Amsterdam Group, de Europese Commissie en intercontinentaal.

In de zogenaamde **Amsterdam Group** hebben partijen die de gezamenlijke uitrol van coöperatieve ITS in Europa willen faciliteren zich georganiseerd. Het gaat om de koepelorganisaties CEDR (Conference of European Directors of Roads), ASECAP (European Association of Operators of Toll Road Infrastructures), Car2Car Communication Consortium en Polis. De partners werken aan een routekaart voor de beoogde uitrol van coöperatieve ITS, met acties voor de betrokken partijen. Er zijn zogenaamde 'day one'-toepassingen benoemd (zie Tabel 2 in paragraaf 1.3). Dit zijn toepassingen die relatief snel kunnen worden gerealiseerd en direct toegevoegde waarde hebben voor de

bestuurder, zelfs als nog maar een relatief klein deel van de voertuigen is toegerust voor de toepassing. De CEDR-landen Nederland, Duitsland en Oostenrijk hebben het voortouw genomen om twee van de geïdentificeerde 'day one'-toepassingen te realiseren over een doorlopend traject dat de drie landen met elkaar verbindt: de Cooperative ITS Corridor (zie paragraaf 2.2). De uitdaging is in dit project vooral om de toepassingen over de hele corridor naadloos werkend te krijgen. Typisch stedelijke toepassingen als 'Signal phase and time of traffic lights' worden in Polis-verband opgepakt en in Europese projecten als eCoMove en Compass4D.

Naast bovengenoemde werkgroepen en platforms wordt ook nog aandacht geschonken aan coöperatieve systemen en automatisch rijden bij instanties en netwerken als ECTRI, EARPA, EARTO, ERTRAC, HUMANIS, en NEARCTIS.

3.2. Verenigde Staten

Amerikaans onderzoek naar coöperatieve systemen en automatisch rijden wordt deels decentraal uitgevoerd door staten en deels ook gecoördineerd door de Research and Innovative Technology Administration (RITA) van de U.S. Department of Transportation. RITA ziet de voordelen van coöperatieve systemen als:

- V2V wordt gebruikt om ongevallen te voorkomen
- V2I genereert veiligheids-, mobiliteits- en milieubaten.
- V2V, V2I en V2PD en I2PD maakt real-time connectiviteit beschikbaar voor alle gebruikers.

De nadruk van het Amerikaanse onderzoek ligt op veiligheidsapplicaties.

De update van het ITS Strategic Research Plan 2010-2014 (zie <http://www.its.dot.gov/strategicplan/pdf/ITS%20Strategic%20Plan%20Update%202012.pdf>), heeft als ondertitel "Transforming Transportation Through Connectivity". Dit geeft al aan dat coöperatieve systemen daarin een rol spelen. De vier belangrijkste componenten van deze ITS Strategic Research Plan 2010-2014 zijn de volgende:

- Connected Vehicle Research: zie hieronder.
- Short-Term Intermodal ITS Research: dit onderzoek gaat over nieuwe ITS technologieën, strategieën en systemen en wordt uitgevoerd in nauwe samenwerking met partners van andere modaliteiten.
- ITS Verkennend onderzoek: Het programma schept een structuur waarin creatieve ideeën voor nieuwe technologieën, die verdere aandacht verdienen, verder gebracht kunnen worden.
- ITS horizontale steun: Dit programma ondersteunt alle onderzoeksprogramma's: Standaarden, architectuur, professionele capaciteitsopbouw, evaluatie en disseminatie.

Connected Vehicle Research

Bij Connected Vehicle Research gaat het om de ontwikkeling en invoering van een volledig verbonden vervoersysteem, dat innovatieve, multimodale applicaties gebruikt, waarvoor een robuust

technologisch platform nodig is. Dit platform bestaat uit goed uitgewerkte technologieën, interfaces, en processen die samen ervoor zorgen dat het systeem veilig, stabiel, interoperabel en betrouwbaar functioneert. Belangrijke onderwerpen van Connected Vehicle Research zijn: harmonisatie van internationale normen en architectuur in de vehicle platform, human factors research, systems engineering, connected vehicle certification en de connected vehicle test bed.

Connected Vehicles veiligheidsapplicaties zijn ontworpen om *situational awareness* te vergroten en het verkleinen of elimineren van ongevallen door V2V en V2I communicatie toe te passen. De communicatie heeft als doel bestuurders te adviseren of waarschuwen, en het voertuig en/of de infrastructuur aan te sturen.

Connected Vehicles mobiliteitstoepassingen bieden een verbonden, datarijke reisomgeving. Het netwerk maakt gebruik van real-time data van voertuigen (auto's, vrachtwagens en bussen) en de infrastructuur. De gegevens worden draadloos verzonden en worden gebruikt door transport managers in diverse dynamische, multimodale toepassingen om het transportsysteem optimaal te laten presteren.

Connected Vehicles milieutoepassingen genereren en produceren milieurelevante real-time transport data. Deze gegevens worden gebruikt om "groene" vervoerkeuzes te ondersteunen en faciliteren. De VS loopt op het gebied van "groene" applicaties achter op Europa en heeft geleerd van de Europese projecten eCoMove en ECOSTAND. Het project 'Applications for the Environment: Real-Time Information Synthesis (AERIS)' ontwikkelt applicaties voor:

- Eco-Signal Operations
- Eco-Lanes
- Low Emissions Zones
- Eco-Traveler Information
- Eco-Integrated Corridor Management.

Een vervoersysteem waarin alles verbonden is met elkaar, wordt ontwikkeld door middel van gecoördineerd onderzoek, het uitvoeren van tests en demonstraties, implementatie en disseminatie. Federale fondsen gaan richting onderzoeksgebieden die waarschijnlijk niet door private partijen opgepakt worden omdat ze te riskant of te complex zijn. Andere partijen zoals de staten, de automotive industrie en hun toeleveranciers, en consumentenelektronicabedrijven onderzoeken ook Connected Vehicle technologieën en applicaties. Het Connected Vehicle onderzoek wordt gecoördineerd door het Intelligent Transportation Systems (ITS) Joint Programs Office (JPO) bij RITA van het Department of Transport samen met de counterparts van andere modaliteiten:

- Federal Highway Administration (FHWA);
- Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA);
- Federal Railroad Administration (FRA);
- Federal Transit Administration (FTA);
- Maritime Administration (MARAD);
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).

Een belangrijke strategische activiteit is het uitvoeren van pilots. De meest recente pilot, "The Safety Pilot", richtte zich op Safety Pilot Driver Clinics en Safety Pilot Model Deployment (zie Figuur 10 voor een illustratie van hoe het wegennet uitgerust is) [CAR & MDOT, 2013]. De eerste fase (augustus 2011-januari 2012) van de pilot ging over "Safety Pilot Driver Clinics" in 6 staten (Michigan, Minnesota, Florida, Virginia, Texas en California), waarin niet-professionele bestuurders connected voertuig technologie konden meemaken. Vierentwintig voertuigen werden uitgerust voor de clinics. De applicaties die getest werden, waren emergency electronic brake lights, forward collision warning, blind spot warning / lane change warning, do not pass warning, intersection movement assist en left turn assist. Na de ritten werden bestuurders geïnterviewd over de acceptatie en het nut van de applicaties. In de Safety Pilot werden 3.000 testvoertuigen (auto's, vrachtwagens en bussen), uitgerust met V2V en V2I communicatie, en grotendeels gereden door niet-professionele bestuurders. Deze proef in Ann Arbor, Michigan, begon na de clinic in augustus 2012 en werd verlengd. Onderwerpen die de pilot adresseerde waren:

- Vehicle awareness & aftermarket/integrated/ retrofit safety devices.
- De werking van het systeem: werkt het systeem goed, en voorkomt/mitigeert het ongevallen?



Figuur 10: Safety Pilot Model Development Ann Arbor, Michigan

Een serie rapporten worden op basis van de Safety Pilot Model Deployment voorbereid:

- Independent Evaluation of Light Vehicle Safety Applications Used in the Safety Pilot Model Deployment;
- The Ann Arbor Safety Pilot Model Deployment Experience;
- Estimation of Safety Benefits for Light-Vehicles Crash Warning Applications Based on Vehicle-to-Vehicle Communications;
- Objective Test Procedures for Forward Crash Avoidance Systems and Intersection Collision Avoidance Systems Based on Vehicle-to-Vehicle Communications.

Verwacht wordt dat deze rapporten in de periode Q4 2014 – Q2 2015 beschikbaar zullen komen.

De VS bereidt een beslissing voor over het verplicht maken van V2V communicatie uitrusting (DSRC) in nieuwe voertuigen. Op 13 februari 2014 verscheen het volgende bericht:

"The U.S. Department of Transportation's (DOT) National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) announced today that it will begin taking steps to enable vehicle-to-vehicle (V2V) communication technology for light vehicles. This technology would improve safety by allowing vehicles to "talk" to each other and ultimately avoid many crashes altogether by exchanging basic safety data, such as speed and position, ten times per second."

De ITS Joint Program Office biedt ook informatie over afgeronde projecten, onder het kopje "ITS Research Success stories", zie http://www.its.dot.gov/res_successes.htm. Hier is onder andere informatie te vinden over het Cooperative Intersection Collision Avoidance Systems (CICAS) initiative (zie <http://www.its.dot.gov/cicas/>). Verder is er de USDOT/RITA ITS costs and benefits database (zie <http://www.itsoverview.its.dot.gov/>).

Er zijn in de VS diverse testbeds & samenwerkingsverbanden. Het Saxton Transportation Operations Laboratory is onderdeel van het Federal Highway Administration's (FHWA's) Turner-Fairbank Highway Research Center. Dit lab wordt gebruikt om innovatieve diensten te valideren en verbeteren voordat verder onderzoek, ontwikkeling, testing en deployment op grotere schaal plaatsvindt. Drie testbeds zijn onderdeel van Saxton: Data Resources Testbed (DRT), Concepts and Analysis Testbed (CAT) en Cooperative Vehicle-Highway Testbed (CVHT).

Naast de nationale initiatieven zijn er een aantal staten die actief zijn. Het rapport "International Survey of Best Practices in Connected and Automated Vehicle Technologies"[CAR MDOT, 2013] geeft meer informatie hierover. Vaak werken de state DOT's met vooraanstaande onderzoeksinstituten in deze initiatieven. Voorbeelden hiervan zijn California (Caltrans en de California Partners for Advanced Transit and Highways (PATH) van de University of California Berkeley) en Arizona (Arizona DOT, University of Arizona en Arizona State University). In California zijn recente projecten op het gebied van de intelligente kruising, multimodale applicaties met reistijden en real-time verkeersinformatie, snelheidsdetectie in wegwerk zones, automatische voertuig applicaties (cooperatieve adaptive cruise control, automatische platooning van trucks en bestuurder ondersteunende applicaties voor bussen) [CAR en MDOT, 2013].

Onderzoek naar de *fully automated vehicle* loopt hard in de VS. Vier staten hebben wetten die een zelfrijdende auto toelaten op de openbare weg (Nevada, Michigan, Florida en California). Het bekendste onderzoeksproject naar volledig automatisch rijden is dat van Google. Het Google projectteam voert "road tests" uit met LIDAR uitgeruste auto's, waarvan er 10 zijn. De LIDAR genereert een 3-dimensionele kaart van de omgeving, die vervolgens gecombineerd wordt met andere kaarten van hoge resolutie. Vervolgens worden datamodellen gemaakt die het zelf-rijden mogelijk maken. In april 2014 kondigde het Google team dat de auto's 1,1 miljoen km zonder ongeval hebben gereden. De Google auto kent nog wel beperkingen: ze hebben moeite met zware regenval en met sneeuw bedekte wegen. Daarnaast kunnen deze voertuigen geen onderscheid tussen

bepaalde objecten maken, zoals tussen voetgangers en politieagenten, of tussen een prop papier en een steen.

3.3. Japan

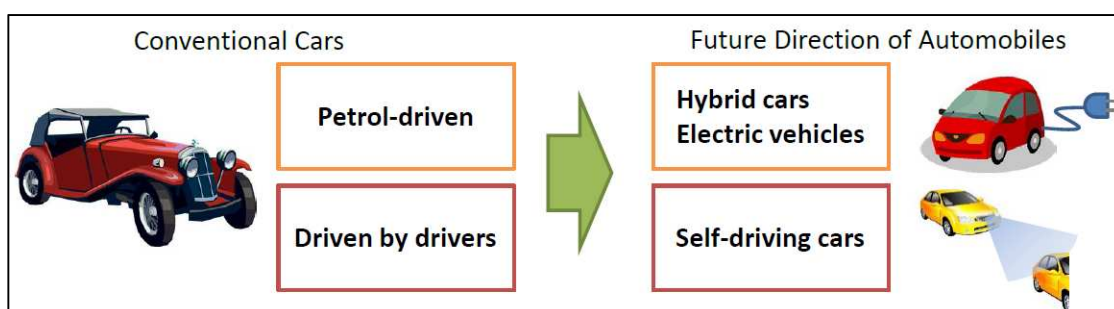
Japan is al lang erg actief op het gebied van ITS, en ze willen voorop blijven lopen. Er is een lange traditie van coördinatie van de inspanningen van de overheid en de private sector. Naast aandacht voor de (technische) ontwikkeling van systemen is er ook altijd veel aandacht geweest voor het promoten van ITS en daardoor is de penetratiegraad van ITS in Japan hoog.

Op 14 juni 2013 publiceerde de Strategic Headquarters for the Promotion of an Advanced Information and Telecommunications Network Society (of: IT Headquarters, gelieerd aan het Japanse kabinet) hun "Declaration to be the World's Most Advanced IT Nation" [IT Headquarters, 2014a]. Met deze aanpak moet ervoor gezorgd worden dat Japan antwoorden kan vinden op de problemen waar ze de afgelopen jaren mee worstelen, zoals lage economische groei, snelle vergrijzing en verkleining van de werkende bevolking, natuurrampen, maar ook problemen gerelateerd aan het verkeer (verkeersonveiligheid en congestie). Specifieke doelen met betrekking tot verkeer en vervoer zijn:

- Het aantal verkeersdoden wordt gereduceerd tot minder dan 2500 in 2018;
- Japan creëert het veiligste wegverkeerssysteem (de minste verkeersdoden per inwoner);
- De hoeveelheid congestie is in 2020 sterk gereduceerd.

Daarnaast wordt het belangrijk gevonden dat Japan mondiaal gezien een grote speler is en blijft op het gebied van automatisch rijden.

IT Headquarters heeft in juni 2014 een "Public - Private ITS Initiative/Roadmaps" gepubliceerd [IT Headquarters, 2014b], waarin "Strategies on Automated Driving Systems and the Utilization of Road Transport Data to Build a Society with the World's Safest and Smoothest Road Traffic" beschreven staan. Allereerst wordt beschreven dat we voor een "discontinuous and disruptive change and innovation in the basic structure of automobiles for the coming 10 to 20 years" staan (Figuur 11).

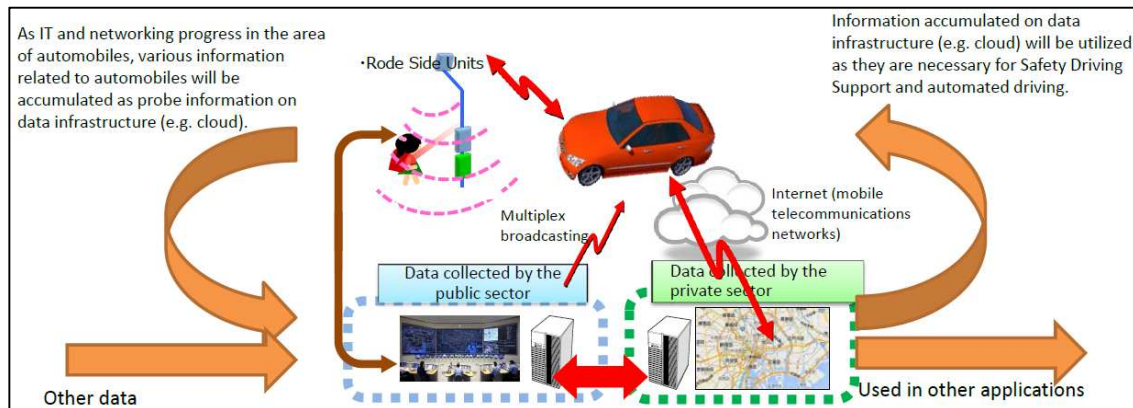


Figuur 11: "Future changes in the Structure of Automobiles" [IT Headquarters, 2014b]

Daarna worden twee strategieën besproken, waarmee de focus voor ontwikkelingen in de komende Jaren gelegd wordt:

1. "Strategy Related to Safety Driving Support Systems and Automated Driving Systems", en
2. "Strategy Related to the Utilization of Road Transport Data".

Figuur 12 geeft aan hoe de samenhang tussen deze twee strategische ontwikkelrichtingen gezien wordt.



Figuur 12: "Relationship Between Automobiles and the Structure for the Utilization of Road Transport Data" [IT Headquarters, 2014b]

Bij het onderwerp "Safety Driving Support Systems and Automated Driving Systems" wordt er naar gestreefd om geleidelijk aan coöperatieve aspecten aan autonome systemen toe te voegen. De bestaande autonome systemen (nu nog vooral informerende systemen) worden gepromoot, terwijl parallel hieraan gewerkt wordt aan meer geavanceerde systemen waarbij gebruik gemaakt zal worden van I2V en V2V communicatie. Deze zullen vervolgens ook weer gepromoot worden. Japan heeft hiervoor een ambitieus tijdschema in gedachten (Figuur 13).

Levels	Technologies Expected to be Realized	Expected Time of Commercialization	(For Reference) Targeted Time in Europe and Other Regions **
Level 2	• Follow-up and tracking systems	Mid 2010s	2013 - 2015
	• Steering for collision avoidance		2017 - 2018
	• Self-driving on multiple lanes, etc.	In 2017	2016
Level 3	• Automated merging, etc.	First half of 2020s	2020
Level 4	• Full automated driving	Second half of 2020s*	2025 – 2028 (expressways) 2027 – 2030 (urban areas)

Figuur 13: "Targeted Time of Commercialization of Self-Driving Cars" [IT Headquarters, 2014b]

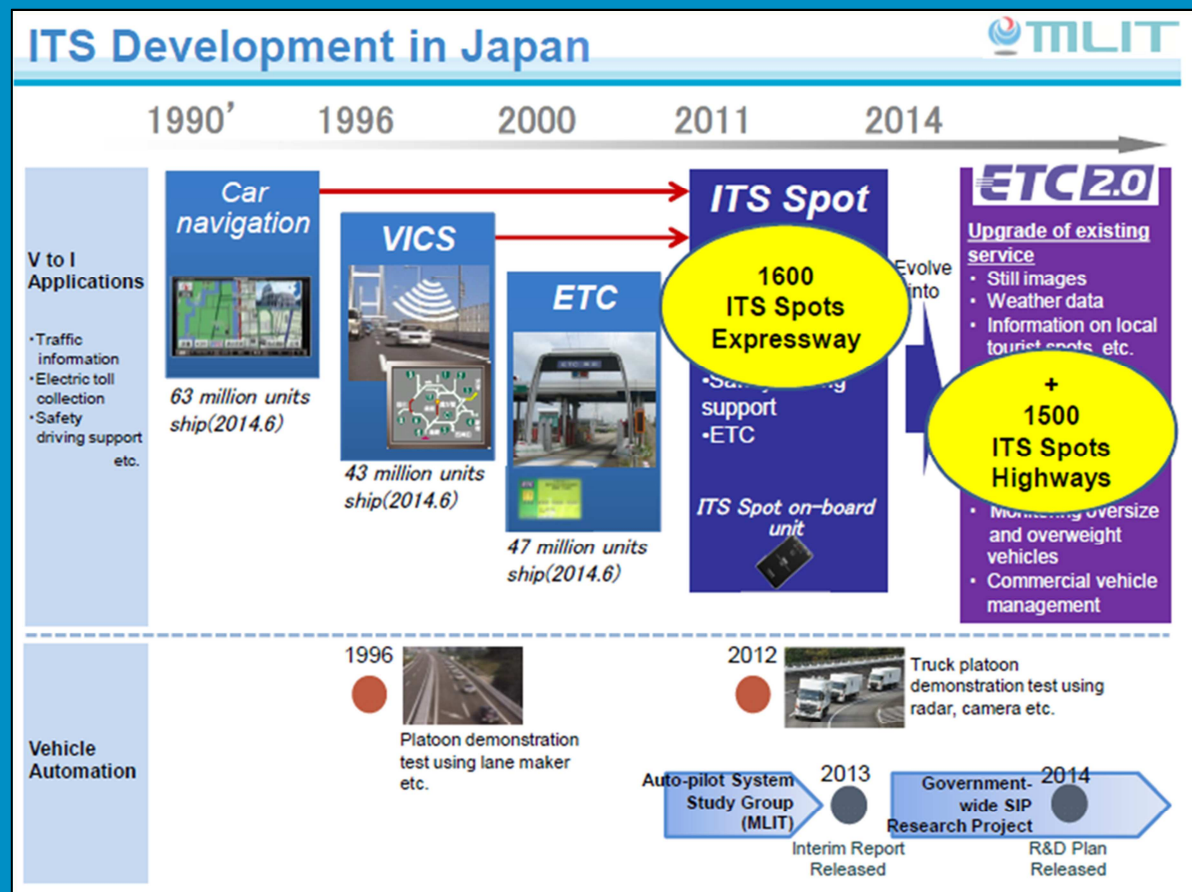
Japan heeft al wel aangetoond dat het in staat is nieuwe technologieën te introduceren en een hoge penetratiegraad te behalen. Heel veel voertuigen die rondrijden in Japan zijn al uitgerust met communicatiemogelijkheden, waaronder ook short-range (DSRC). geeft enkele imposante cijfers: 63 miljoen navigatiesystemen, 43 miljoen VICS-units, 47 miljoen ETC-units. Ter indicatie: Japan heeft ongeveer 127 miljoen inwoners.

Verder zijn er 1600 ITS spots geïmplementeerd op expressways en er zijn nog eens 1500 gepland (voor highways). Van de on-board units (OBU's) die met de ITS Spots communiceren waren er (in juli 2014) 360.000 verkocht. In maart 2013 lag dit aantal nog op ongeveer 80.000, dus er is sprake van snelle groei.

Japan rolt nog steeds wegkantapparatuur uit, naast in-car systemen en is ook niet van plan bestaande wegkantapparatuur, zoals DRIP's en GRIP's, uit te faseren. Argumenten hiervoor zijn dat in veel gevallen de kosten van de ITS spots lager zijn dan alles via (long-range) communicatie uit te voeren en de ITS spots worden zorgvuldig geplaatst op hotspots qua verkeersonveiligheid en congestie. Security-aspecten spelen ook een rol.

VICS

VICS staat voor Vehicle Information and Communications System en wordt gebruikt voor dynamische navigatie met congestie-informatie. Het aantal VICS units lag in 2010 op 27 miljoen [Tsugawa & Kato, 2010], Figuur 14 geeft aan dat dat in 2014 al gestegen is tot 43 miljoen units.



Figuur 14: ITS ontwikkelingen in Japan (bron: Presentatie Frans op de Beek, 08-10-2014).

ETC

Electronic Toll Collection wordt in Japan op grote schaal gebruikt (47 miljoen units in juni 2014). Tsugawa & Kato [2010] rapporteren dat het gemiddelde gebruik op 80% ligt en dat er geen

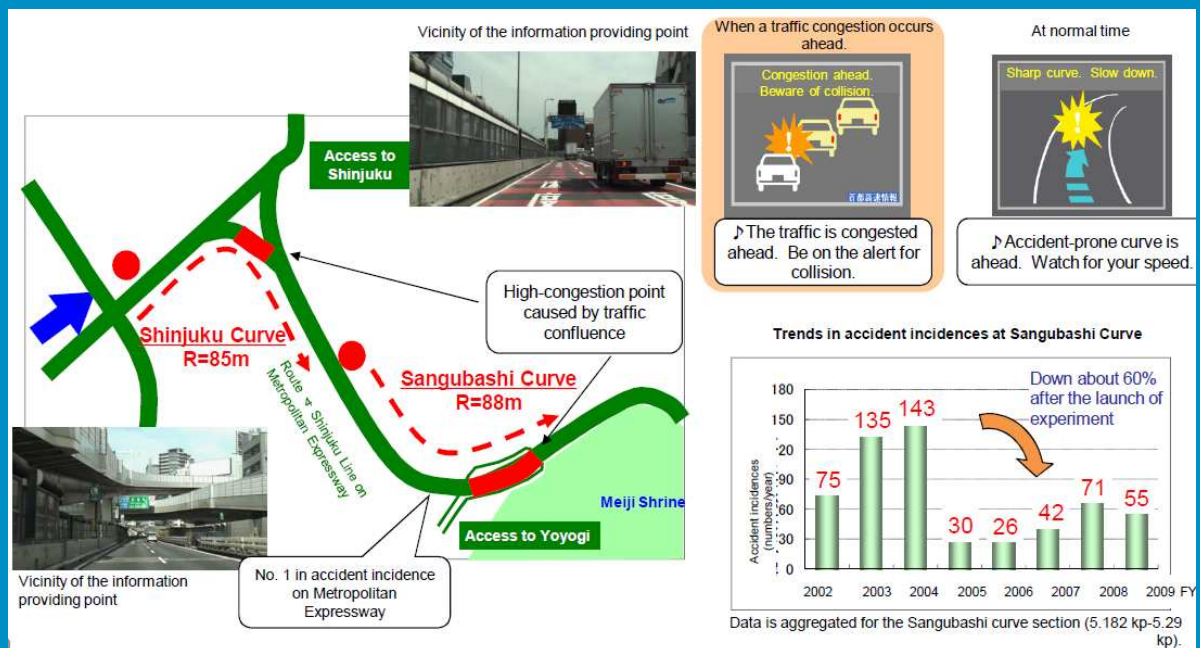
sprake meer is van congestie bij tolpoorten. ETC biedt overigens ook mogelijkheden voor betaald parkeren.

ITS Spots

ITS Spot Services is een samenwerkingsverband van 16 bedrijven. Op de ITS Spots worden drie diensten aangeboden:

- Dynamisch routeadvies;
- Advies voor veilig rijden;
- Automatische tol.

De bestaande 1600 ITS spots zijn vooral te vinden op de expressways in Japan. Naast dat kenmerkend veel gebruikers (inmiddels 360.000 units verkocht) het een zinvol systeem vinden, worden ook maatschappelijke baten gemeld, bijvoorbeeld van de toepassingen met advies voor veilig rijden: op een wegvak waar gewaarschuwd wordt als er filevorming is net na een bocht, werd een afname van 60% van het aantal ongevallen gerapporteerd (zie Figuur 15; bron: Presentatie Frans op de Beek, 8 oktober 2014, en diverse Japanse websites, zoals http://www.gov-online.go.jp/eng/publicity/book/hlj/html/201208/201208_03.html).



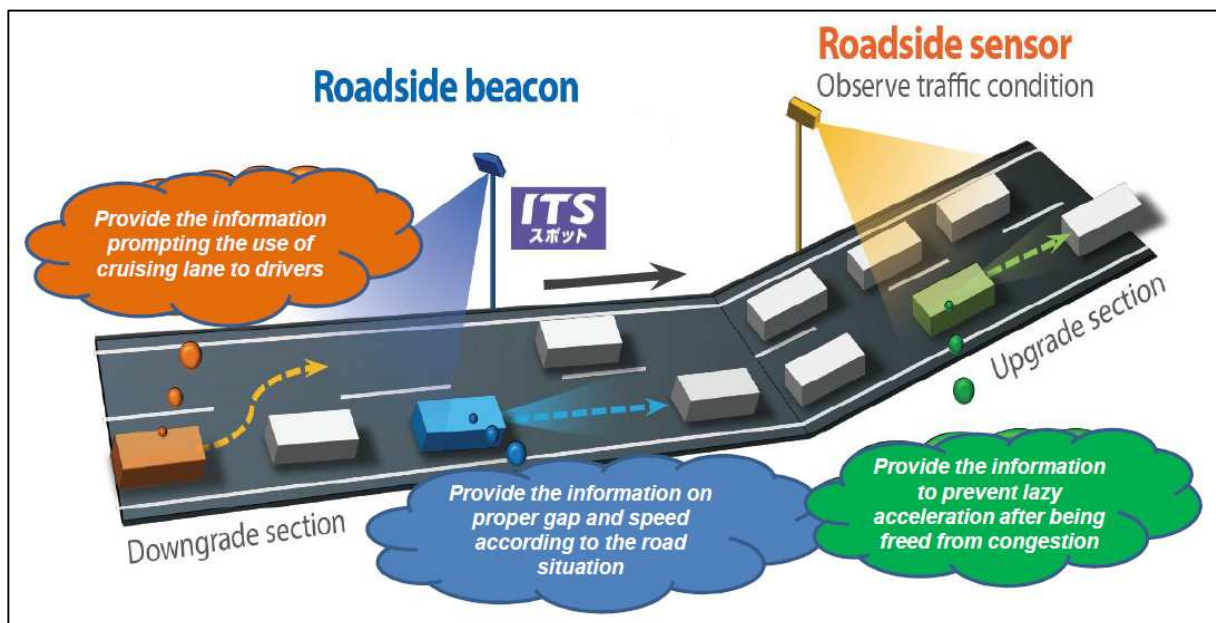
Figuur 15: Waarschuwing voor file na een bocht (bron: Presentatie Frans op de Beek, 08-10-2014).

Om de ontwikkelingen op het gebied van automatisch rijden te versnellen is in mei 2014 een groot "Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program" opgestart, dat geleid zal worden door de voorzitter van ITS Japan (Dr. Hiroyuki Watanabe). Deze "SIP" is gericht op het ontwikkelen van een "Autonomous cruising (automatic driving) system", dat op korte termijn beschikbaar moet zijn (zie het eerdere ambitieuze tijdschema). Er komen thema's aan de orde zoals de ontwikkeling van de benodigde technologieën, het ontwikkelen van simulatiemodellen om te kunnen analyseren wat

de effecten op veiligheid en congestie zijn, de rollen van de bestuurder en het voertuig (human factors, acceptatie), hoe het toekomstige stedelijk verkeersysteem eruit zou moeten komen te zien, benodigd kaartmateriaal, benodigde verkeersvoorspellingen, maar ook hoe gecommuniceerd kan worden met voetgangers (een kwetsbare groep) en het OV, en internationale samenwerking en een open onderzoeksomgeving. Voor het fiscale jaar 2014 is een budget beschikbaar van 2,45 miljard yen, ofwel bijna 18 miljoen euro.

Enkele recent afgeronde relevante projecten in Japan zijn het ITS Energy project en een studie naar "Traffic Smoothing on Expressway Sag sections with ITS Spot". In het "Energy ITS" project werd o.a. gewerkt aan platooning (voor vrachtwagens) [T Sugawa & Kato, 2010]. Er werden proeven met kolonnes vrachtwagens op de weg gedaan. Naast dat het technisch goed werkte, werden forse reducties van het brandstofverbruik gemeten: bij trucks die met een onderlinge afstand van 4 meter rijden, met 80 km/u, was de reductie ongeveer 15% [IEEE ITS newsletter, 2014].

Verder was er een project waarin gekeken werd of met ITS spots en in-car technologie (ACC) de congestie in 'sags' verminderd kon worden. Met 'sags' worden wegvakken die in een dal liggen bedoeld, waarbij de weg eerst omlaag gaat en daarna weer omhoog (zie Figuur 16). Veel bestuurders geven te weinig gas heuvelopwaarts en veroorzaken daarmee file. Sensoren nemen waar of er file is en de ITS spots geven informatie over de optimale snelheid en volgafstand door aan weggebruikers. Voertuigen die uitgerust zijn met ACC kunnen dit gebruiken om 'automatisch' het gewenste gedrag te vertonen. Tests zijn uitgevoerd op een testtrack en de Tomei-Expressway (door leden van het onderzoeksconsortium). Het is de bedoeling om deze toepassingen als een 'day two' applicatie te introduceren als onderdeel van toekomstige ITS Spot Services [Suzuki et al., 2014].

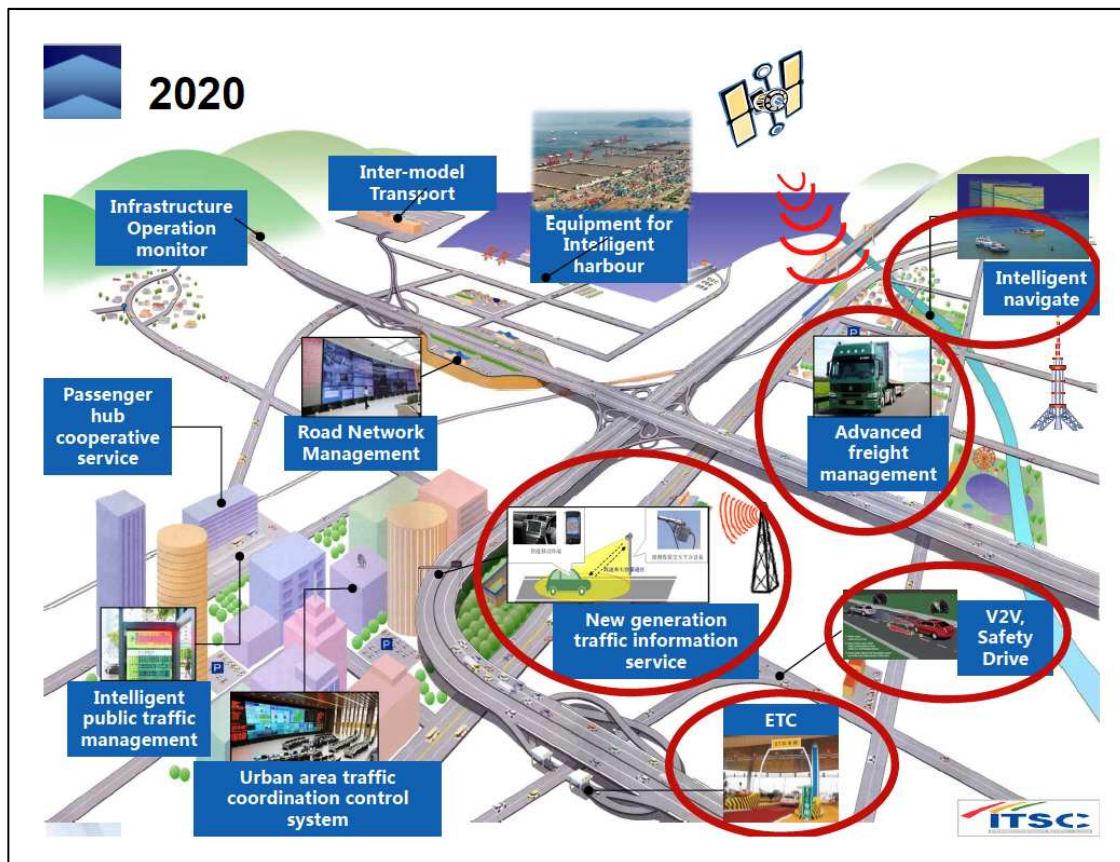


Figuur 16: ITS Spots en ACC om congestie in 'sags' te verminderen.

3.4. Andere landen

In diverse andere landen lopen (onderzoeks)projecten die iets doen met coöperatieve systemen. Korea is actief op het gebied van ITS en heeft een soortgelijke aanpak als Japan voor wat betreft de aanwezigheid van de overheid en automotive industrie. Er waren programma's als "Connected Car, Seamless Service" en "Smart Highway" en er is een uitgebreid tolsysteem (met ETC), maar er is geen informatie te vinden over projecten met coöperatieve systemen en/of automatisch rijden.

In China is veel interesse in coöperatieve systemen en automatisch rijden. De automobilititeit neemt enorm toe en zijn er veel problemen op het gebied van doorstroming, veiligheid en milieu. Er is vooral behoefte aan systemen die nu daadwerkelijk al ingezet kunnen worden. Wat dat betreft kijken ze vooral naar Japan waar de implementatie sneller verloopt dan in Europa en de VS. China bereidt zich voor op een toekomst met coöperatieve systemen en automatisch rijden (en gebruik van DSRC en cellulaire netwerken). Er zijn veel activiteiten uitgevoerd op het gebied van strategie-vorming (zie Figuur 17 voor een impressie), standaardisatie, security, certificatie en architecturen. Er is een groot aantal scenario's gedefinieerd waarin coöperatieve ITS een rol kunnen spelen. Er zijn tests uitgevoerd met I2V systemen en eCall. Verder past men op grote schaal Electronic Toll Collection toe, en worden Floating Car Data ingewonnen, meest met taxi's. China zet in op een beleid dat vergelijkbaar is met Nederland, waarbij marktpartijen een grote rol spelen en de overheid de markt ondersteunt en aanjaagt.



Figuur 17: Toekomstvisie China

Australië sorteert voor op coöperatieve systemen (reservering van de 5,9 GHz band), en levert technologie aan VS en Europa. Recent is het ConnectSafe project gestart, de eerste veldtest en demonstratie op de weg van short-range communicatie voor verkeersveiligheids- en verkeersmanagementtoepassingen. Tien met DSRC uitgeruste voertuigen geven elke paar seconden hun locatie, snelheid, richting en acceleratie door aan wegkantapparatuur. Ook bij bepaalde gebeurtenissen (hard remmen, stop-en-go verkeer) doen ze dat. Dit levert allerlei verkeersgegevens op. Ook doen deelnemers aan de demonstraties ervaring op met coöperatieve veiligheidstoepassingen (zoals intersection collision warning, emergency electronic brake light en waarschuwingen voor wegwerkers).

3.5. Intercontinentale samenwerking

De wereld van coöperatieve systemen is een zeer internationale. Om ervoor te zorgen dat niet iedereen overal hetzelfde wiel hoeft uit te vinden, zijn er diverse samenwerkingen opgezet. Daarnaast zijn er veel Memoranda of Understanding afgesloten, die landen en organisaties bilateraal met elkaar sluiten. De EU en de VS hebben bijvoorbeeld een task force opgericht, dat tot doel heeft toe te werken naar internationale standaards en gezamenlijk onderzoek op het gebied van coöperatieve applicaties. Daarnaast wordt gewerkt aan een gemeenschappelijke methodologie voor evaluaties van coöperatieve systemen en de uitwisseling van FOT data. Het doel is beter te begrijpen wat beide partijen nodig hebben, en welke onderzoeksprogramma's er lopen. De resultaten kunnen gedeeld worden, er kan in projecten samengewerkt worden en de implementatie van resultaten kan gefaciliteerd worden. Getracht wordt uiteraard ook te voorkomen dat op diverse plekken in de wereld hetzelfde onderzoek plaats vindt. Specifiek op het gebied van coöperatieve systemen en (CO₂-)emissies is er samenwerking tussen de EU, METI (het Japanse Ministerie van Economie, Handel en Industrie) en de VS (US Department of Transport). Voor meer informatie hierover zie http://www.its.dot.gov/connected_vehicle/international_research.htm. Hiernaast voeren partijen uit verschillende werelddelen ook daadwerkelijk samen projecten uit – de TU Delft werkt bijvoorbeeld samen met PATH in Berkeley aan combinaties van ACC, C-ACC en CCC op een corridor in de VS, en doet ook onderzoek in het kader van congestie in 'sags' in Japan (zie paragraaf 3.3; voor meer informatie zie [Ros, 2014]).

4. Wat hebben we er aan?

De reden voor alle aandacht voor coöperatieve systemen en automatisch rijden is enerzijds dat het vaak gaat om innovatieve, tot de verbeelding sprekende systemen en anderzijds dat er grote baten op het gebied van doorstroming, veiligheid en milieu, maar ook op het gebied van beheer en onderhoud, verwacht worden. Er zijn wel grote verschillen in belangen tussen de verschillende stakeholders (auto-industrie, toeleveranciers, wegbeheerders, verkeersindustrie, gebruikers, etc.). De potentie van coöperatieve systemen en automatisch rijden zijn in voorgaande paragrafen al kort aangestipt. Dit hoofdstuk licht de verwachte, dan wel al waargenomen, voordelen verder toe en presenteert daarnaast een (kwantitatief) overzicht van effecten zoals die uit diverse projecten naar voren komen.

4.1. Impact coöperatieve systemen en automatisch rijden

Met coöperatieve systemen kan veel meer informatie over de staat van het wegennetwerk waargenomen worden

- Er is informatie beschikbaar uit een veel groter gebied dan wel van meer wegen (o.a. door Floating Car Data);
- Er is informatie beschikbaar over een situatie verderop die je als bestuurder nog niet kan zien ("extended driver horizon enabling foresighted driving");
- Er is informatie beschikbaar over meer onderwerpen (bijvoorbeeld ook over weersomstandigheden o.b.v. sensoren in voertuigen).

Met coöperatieve systemen kan advies aan de bestuurder beter op de specifieke wensen en behoeften van bestuurders afgestemd worden

- Informatie en advies kan, 24/7, meer toegespitst gegeven worden aan bepaalde doelgroepen of in een bepaalde situatie, omdat deze in-car kan worden aangeboden aan een specifieke bestuurder. Meer toegespitste adviezen worden beter geaccepteerd en opgevolgd.

Met coöperatieve systemen kan het hele verkeers- en vervoersysteem beter functioneren

- Er kan een balans gezocht worden tussen zelforganisatie en sturing van boven ofwel tussen het gebruikersoptimum en het systeemoptimum. Zelforganisatie werkt maar tot op zekere hoogte in drukke netwerken (en die heeft Nederland). Als de wegwijk betrokken wordt en applicaties ontwikkeld worden die, voor zover ze door weggebruikers geaccepteerd worden, richting een systeemoptimum optimaliseren, zijn uiteindelijk de weggebruikers erbij gebaat.
- I2V communicatie schept voor wegbeheerders de mogelijkheid om (gericht) in-car te communiceren met bestuurders, met (indien nuttig) gepersonaliseerde informatie. Op termijn kan I2V communicatie er aan bijdragen dat de wegwijkssystemen versoberd kunnen worden.

Met systemen voor automatisch rijden kan een aantal zwakke kanten van de menselijke bestuurder opgevangen worden. Sensoren en computers worden niet moe, laten zich niet afleiden, hebben een

korte reactietijd en hebben geen last van zelfoverschatting. Interessant is of de sterktes van de technologie ingezet kunnen worden om de zwaktes van de mens op te heffen, zonder de sterktes van de mens te verliezen [Martens, 2014].

4.2. Effecten in cijfers

In diverse projecten zijn effectstudies uitgevoerd. Hierbij gaat het meestal om coöperatieve systemen, in sommige gevallen inclusief (enige mate van) automatisch rijden. Op het gebied van coöperatieve systemen en automatisch rijden zijn nog geen grootschalige proeven gedaan, zodat bij het beoordelen van gevonden effecten altijd rekening moet worden gehouden met hoe de effectstudie uitgevoerd is: met welk soort bestuurders (testrijders/professionele bestuurders/niet-professionele/willekeurige bestuurders), op welke type wegen, onder welke omstandigheden, met welke penetratiegraad. Uitgebreide resultaten (voor specifieke tests) zijn vaak te vinden op de websites van de besproken projecten.

De in voorgaande paragrafen benoemde voordelen zijn ook nog niet allemaal in de praktijk beproefd. Dit is ook nog niet altijd mogelijk. Bijvoorbeeld: om daadwerkelijk effecten op aantallen ongevallen te kunnen beoordelen, moet over lange periodes en grote aantallen afgelegde kilometers geëvalueerd worden, tenzij een applicatie een bepaald voordeel als uitgangspunt heeft (bijvoorbeeld: Traffic Jam Ahead Warning).

De USDOT/RITA costs & benefits database geeft een overzicht van allerlei ITS applicaties waaronder intelligente voertuigen / coöperatieve systemen: <http://www.itsoverview.its.dot.gov/>. De iMobility Effects database geeft ook informatie over ITS applicaties, waaronder enkele "connected" applicaties (zie <http://www.imobility-effects-database.org/>).

Hieronder volgen resultaten uit diverse (grootschalige) effectstudies en een aantal studies waarbij op basis van recente literatuur inventarisaties zijn gemaakt van de meest effectief geachte maatregelen/systemen.

eCoMove (<http://www.ecomove-project.eu/>)

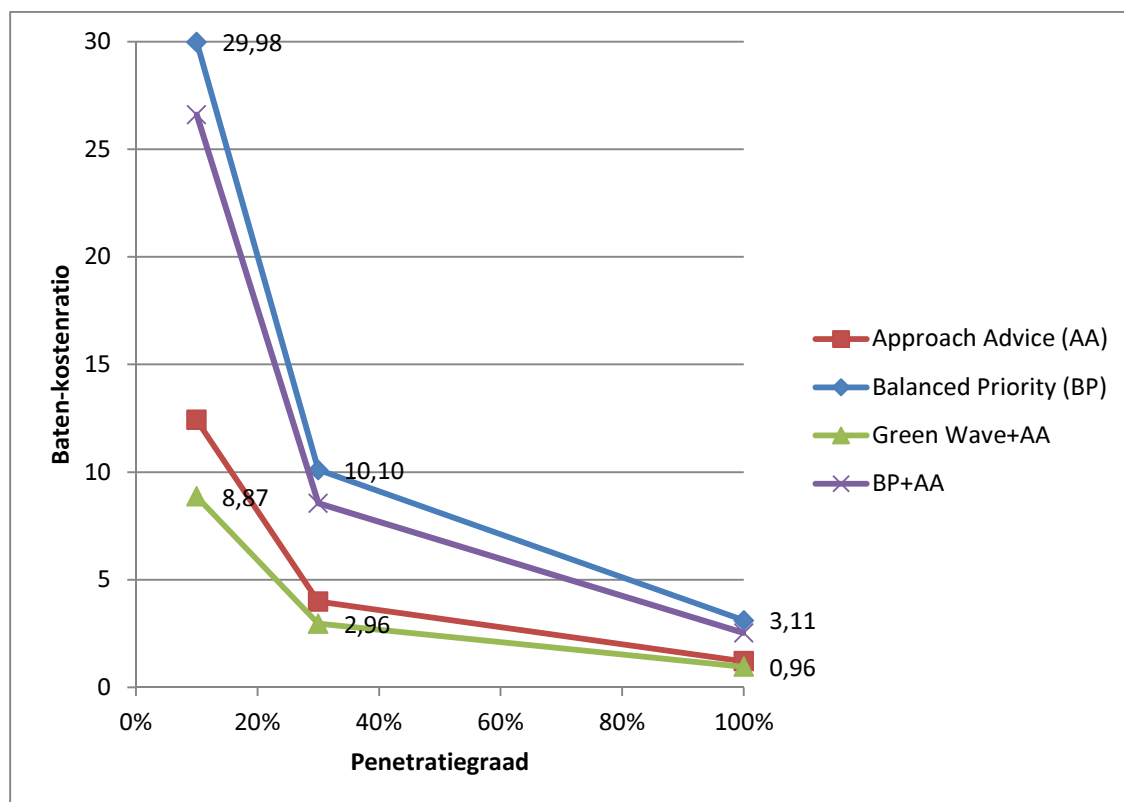
In eCoMove zijn applicaties getest die bestuurders (van personen- en vrachtauto's) hielpen om zuiniger en schoner te rijden, alsmede applicaties voor trip planning, verkeersmanagement en verkeersregelingen (VRI-applicaties). De grote aantallen tests (op de weg, in rijsimulatoren, met microscopische verkeerssimulaties met penetratiegraden 10, 30, en 100%) leverden effecten van allerlei ordegroottes op, waarna op basis van expert judgment algemene conclusies zijn getrokken over de potentie van coöperatieve systemen om brandstofverbruik en CO₂-uitstoot te verminderen [Wilmink & Niebel, 2014]. Opschaling heeft in eCoMove niet plaatsgevonden.

Effecten

eCoMove toont aan dat brandstofverbruik en dus CO₂-emissie gereduceerd kunnen worden. In welke mate dit kan, hangt af van de verkeerssituatie, het netwerk en de bestuurder. Tests in de praktijk en in rijnsimulators wijzen uit dat het effect tussen de 4-25% ligt voor ondersteunende systemen voor bestuurders. De evaluatie van VRI-applicaties wijst uit dat een gemiddelde verbetering van 4-5% haalbaar is, ook hier afhankelijk van de omstandigheden en gekozen referentie (bestaande verkeersregeling en verkeerssituatie). Applicaties op het gebied van routeinformatie kunnen tot een verbetering van 10% (netwerkeffect) tot 20% (individueel effect) hebben. Daar staat wel een lichte stijging in reistijd tegenover voor sommige voertuigen in het netwerk.

Kosten/baten

Binnen eCoMove is voor een beperkt aantal applicaties ook de baten-kostenverhoudingen (BCR) verkend op basis van verkeer rijdend op een traject met 4 kruispunten, waarbij de verkeerslichten en (een deel van de) voertuigen uitgerust zijn met de eCoMove applicaties. Bijna alle applicaties hebben een baten-kostenverhouding (BCR) groter dan 1. Een kleine penetratie leidt al tot een hoge BCR. Dat de BCR afneemt bij stijgende penetratie heeft te maken met het feit dat de kosten voor het uitrusten van de bestuurders meer toenemen dan de baten.



Figuur 18: Baten-kostenverhouding kruispuntapplicaties eCoMove.

DRIVE C2X (<http://www.drive-c2x.eu/project>)

In het DRIVE C2X project zijn uitgebreide veldtests uitgevoerd op zeven test sites in Finland, Frankrijk, Duitsland, Italië, Nederland, Spanje en Zweden. In totaal reden meer dan 200 voertuigen een afstand van meer dan 1,5 miljoen km. De toegepaste systemen werkten goed, en lieten

zien klaar te zijn om op grote schaal gebruikt te worden. Ook de acceptatie door gebruikers lag hoog. Onderstaande resultaten zijn afkomstig uit [Malone, 2014] en [Rech, 2014]. De resultaten zijn opgeschaald naar de EU-25, met als gebruikte penetratiegraden laag, middel, en hoog voor 2020 en 2030.

Effecten

De effecten binnen DRIVE C2X zijn verkregen uit praktijktest voor verschillende scenario's. Zo is er getest in situaties met veel en weinig verkeer en op snelwegen, rurale en stedelijke wegen. De range in Tabel 9 geeft het verschil aan tussen condities met lage penetratie en hoge penetratie. Bij 'Green Light Optimal Speed Advice' is te melden dat deze functie verkeerskundig gezien niet verder verfijnd is op het gebied van de doorstroming, wat de teleurstellende effecten op doorstroming verklaart. Samen met 'Approaching Emergency Vehicle Warning' is dit één van de functies die het hoogst scoort op acceptatie bij gebruikers.

Tabel 9: Effecten gevonden in DRIVE-C2X

Functie	Doorstroming ¹⁾	Milieu ²⁾	Veiligheid ³⁾
In-vehicle Signage ⁴⁾	+4,5 tot +8,5%	-1,1 tot -2,5%	-5 tot -16%
Approaching Emergency Vehicle Warning			-0,1 tot -0,8%
Road Works Warning			-0,5 tot -1,9%
Green Light Optimal Speed Advice	+1,8 tot 9%	0 tot -0,3%	-0,12 tot -0,25%
Weather Warning			-1,25 tot -3,5%
Traffic Jam Ahead Warning	Geen significant effect		-0,2 tot -2,5%
Emergency Electronic Brake Lights			-0,25 tot -2,75%

¹⁾ Vertraging

²⁾ CO2 emissie, brandstofverbruik

³⁾ Aantal gewonde/dodelijke slachtoffers

⁴⁾ Bij IVS zijn IVS "speed limits" en IVS "other signs" samengenomen. IVS other signs is alleen beoordeeld op veiligheid, maar de effecten hierop zijn vele malen kleiner dan bij IVS speed limits.

Kosten/baten

Binnen DRIVE C2X is uitgerekend dat de verhouding tussen baten en kosten (BCR) van coöperatieve systemen bij lage penetratie op korte termijn 0,9 is. In geval van hoge penetratie op lange termijn kan de BCR oplopen tot 6,8.

COBRA

Het COBRA-project (COoperative Benefits for Road Authorities study), een project uit het ERA-NET ROAD Mobility Program, onderzocht de kosten en baten van de invoering van bundels van coöperatieve systemen door wegbeheerders, zie [Mocanu, 2012] en [Hopkin, 2013]. Het ging om drie

bundels waarvan de effecten (op EU-27 niveau) op veiligheid, doorstroming en milieu bekeken werden (met behulp van literatuuronderzoek:

1. *Local Dynamic Events* (Hazardous location notification – HLN, Road works warning – RWW, Traffic jam ahead warning – TJAW & eCall);
2. *In-vehicle speed and signage* (In-vehicle signage – IVS, Intelligent speed adaptation – ISA, Dynamic speed limits – DSL);
3. *Information Services* (Traffic info and recommended itinerary – TI, Multimodal traffic information – MMTI, Parking information and guidance – PI).

Ook werd een kosten-batenanalyse uitgevoerd. Daarbij werd gekeken naar communicatie via zowel cellulaire netwerken als draadloze bakens. De KBA werd uitgevoerd met een speciaal ontwikkelde tool waarmee zowel een maatschappelijke KBA als een business case analyse gedaan kunnen worden.

Effecten

Tabel 10 geeft de effecten op doorstroming, veiligheid en milieu die COBRA rapporteert:

Tabel 10: Effecten gevonden in COBRA.

Functie	Doorstroming ¹⁾	Milieu ²⁾	Veiligheid ³⁾
HLN	+2 tot +4%	-6 tot +0,25%	-3,7 tot -5,3%
RWW			-2,5 tot -0,2%
TJAW	+7,7 tot 0%	+7,6%	-2 tot -7%
eCall	-3%	0%	-1 tot -2%
IVS	+4,2 tot +6,1%	-4,1 tot +0,1%	-4,8 tot -7,2%
ISA	+2,4 tot 0%	-2,3%	-3,6 tot -5,5%
DSL	+1,37 tot +1,44%	-4%	
TI	-11%	-9,1%	
MMTI	-8,8%		
PI			-8,6 tot -9,8%

¹⁾ Reistijd, in free flow versus congestie

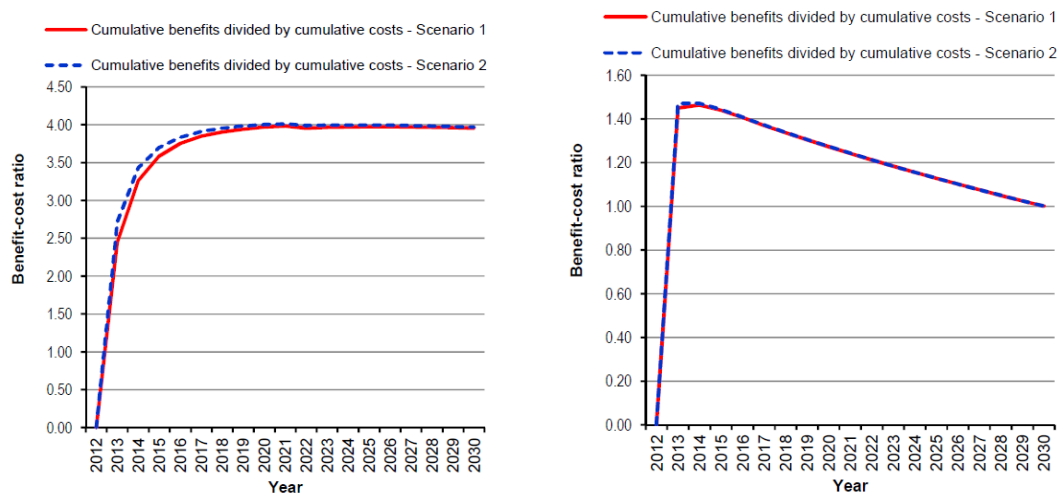
²⁾ CO2 emissie, in free flow versus congestie

³⁾ Aantal ongevallen, gewonden, dodelijke slachtoffers, in free flow versus congestie

Kosten/baten

Er is voor de drie verschillende bundels van systemen bekeken in hoeverre de implementatie van de genoemde systemen kostendekkend is. De bundel "Local Dynamic Event Warnings" (HLN, RWW, TJAW, eCall) genereert vooral maatschappelijke baten. Wanneer de kosten voor exploitatie voldoende laag gehouden kunnen worden, heeft deze bundel al in een vroegtijdig stadium van de uitrol een positieve baten/kostenverhouding. De bundel "In-vehicle Speed and Signage" (IVS, DSL, ISA) heeft ook maatschappelijke baten op het gebied van verminderd brandstofverbruik en emissies en verhoogde veiligheid. In kwantitatief opzicht zijn de baten echter slechts marginaal groter dan de kosten.

Ter illustratie is het verloop van de BCR over de tijd toegevoegd voor twee scenario's met respectievelijk 75 en 100% penetratie voor beide bundels. Te zien is dat de BCR voor bundel 2 een piek bereikt, en vervolgens afneemt omdat de maatschappelijke kosten van de reistijd sneller groeien dan de baten op het gebied van veiligheid, brandstofverbruik en emissies.



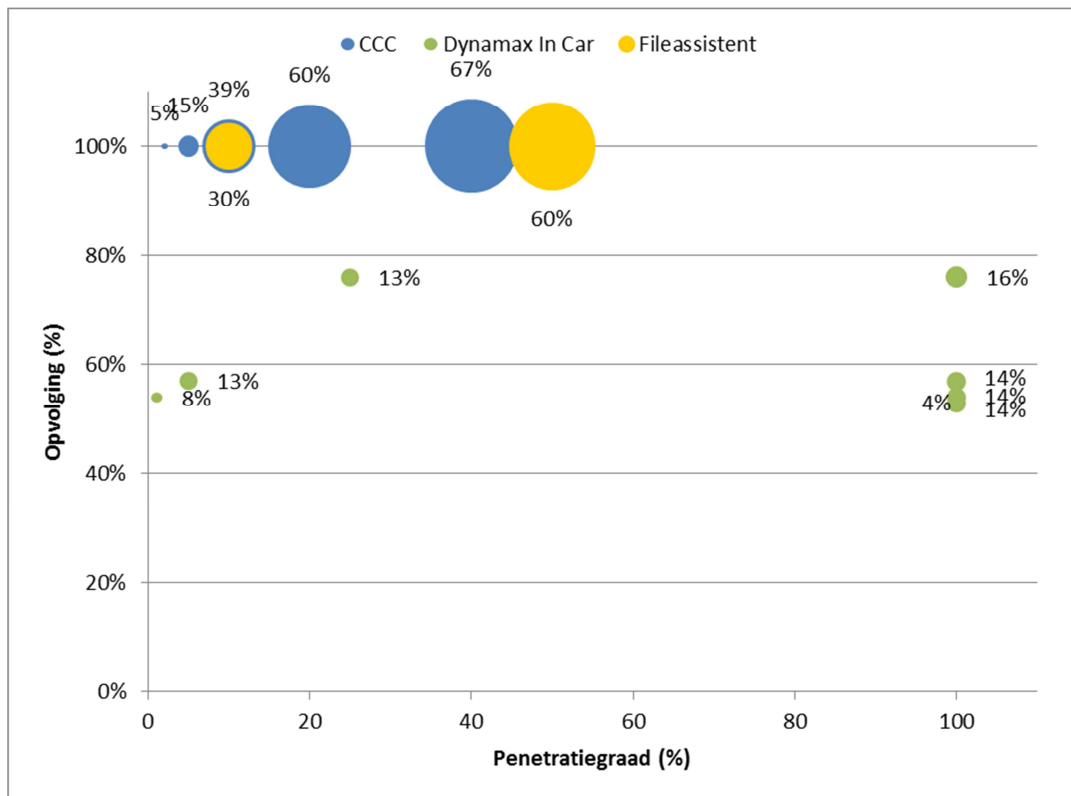
Figuur 19: links het verloop van de BCR voor een specifieke business case voor de bundel Local Dynamic Event Warnings, rechts een voor In-vehicle Speed and Signage.

De bundel "Travel Information and Dynamic Route Guidance" (TI, MMTI, PI) wordt pas maatschappelijk kostendekkend wanneer de exploitatiekosten onder de 30 euro per jaar komen te liggen. De grootste significante baten zijn uiteraard de besparing die behaald wordt door kortere reistijden.

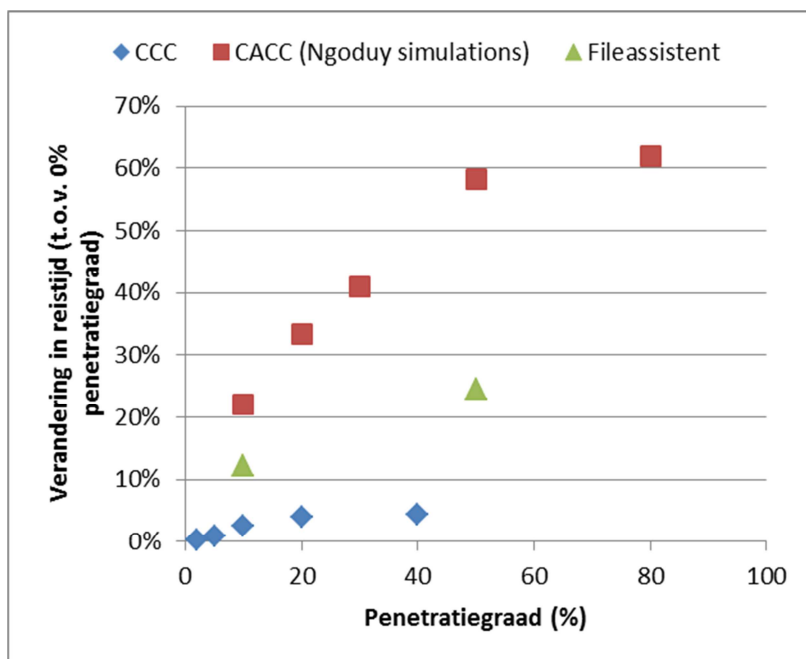
C-ACC en aanverwante systemen

In het rapport "Quick scan van de potentiële effecten van (snelheids)maatregelen op filegolven" van [Wilmink et al., 2013] zijn allerlei (snelheids)maatregelen ter bestrijding van filegolven beschreven en welke effecten ervan verwacht worden. Het gaat hier bijvoorbeeld om systemen als Cooperative Adaptive Cruise Control (C-ACC), Fileassistent en Dynamax (dynamische snelheidslimiet, boven de weg of in-car getoond). De meeste maatregelen zijn alleen in simulaties beproefd, bij verschillende penetratiegraden. De potentiële effecten hebben betrekking op filegolven. Andere type files zijn niet onderzocht. De studies bekeken een groot aantal indicatoren – waarbij helaas weinig studies een vergelijkbare set indicatoren gebruikten. Figuur 20 en Figuur 21 tonen gevonden effecten op aantal voertuigverliesuren en reistijd. Uit de in dit rapport bekeken studies kon geconcludeerd worden dat C-ACC systemen (waarbij meestal aangenomen werd dat ze óf ingrepen, óf dat de bestuurders alle snelheidsadviezen opvolgden, hetgeen overeenkomt met in ieder geval gedeeltelijk automatisch rijden) grotere effecten gaven, maar dat deze niet op korte termijn te verwachten zijn, aangezien geautomatiseerd rijden nog in ontwikkeling is en er binnen vijf jaar nog geen grote aantallen automatisch rijdende voertuigen rond zullen rijden. Daar waar geen 100% opvolging verondersteld (of gemeten) werd, kon gezien worden dat de opvolgingsgraad grote invloed heeft op de effectiviteit. Een lage penetratiegraad lijkt, mits de opvolging hoog is en

het systeem goede adviezen genereert, voldoende om effect te zien, omdat uitgeruste voertuigen niet-uitgeruste voertuigen beïnvloeden.



Figuur 20: Bubble chart omvang effect op aantal voertuigverliesuren naar penetratiegraad en opvolging. Een grotere bubble betekent een grotere afname van het aantal voertuigverliesuren (t.o.v. van de variant zonder maatregel).



Figuur 21: Verandering in reistijd, naar penetratiegraad (t.o.v. de variant zonder maatregel). De beschouwde studies kennen allemaal een opvolging van 100%.

Een recent proefschrift [Wang, 2014] beschrijft hoe C-ACC (en ACC) de verkeersstroom beïnvloeden en welke effecten behaald kunnen worden. Hiervoor zijn simulaties uitgevoerd van een snelweg waar filegolven optreden. De simulaties lieten onder andere zien dat C-ACC systemen de stabiliteit verbeterden aan zowel het begin als het einde van een opstopping, en dat de effectieve capaciteit van het knelpunt verhoogd werd (in vergelijking met menselijke bestuurders en ACC systemen). Interessant was dat bij gebruik van het C-ACC systemen de filegolven zich sneller stroomopwaarts verplaatsen, als gevolg van de V2V communicatie. Bij de gesimuleerde bottleneck reduceerde het C-ACC systeem de totale tijd die voertuigen doorbrachten op het wegvak met 23%, bij 100% penetratie. De filegolf loste overigens al op bij een penetratiegraad van 10%. Gemiddeld genomen hadden de C-ACC voertuigen ook een lager brandstofverbruik (per km). ACC en C-ACC systemen veranderen de karakteristieken van verkeersstromen behoorlijk (stabiliteit van de verkeersstroom en de snelheid waarmee filegolven bewegen veranderen), leidend tot patronen die niet waargenomen worden in verkeersstromen met alleen manueel bestuurd voertuigen.

SMART 63

De SMART63 studie uit 2011 [Malone, 2011] gaf een inventarisatie van de verwachte effecten van coöperatieve systemen op het niveau van de hele EU, bij 100% penetratiegraad (zie Tabel 11).

Tabel 11: Expected Impacts of Cooperative Systems at EU-25/EU-27 level, 100% equipment rate

Nr.	Naam van de service	Veiligheid (doden)	Efficiëntie (doorstroming)	CO ₂ reductie
1	In-vehicle signage	<+1%	-2...-4%	<-2%
2	Road works warning	<-1%	±0%	<-1%
3	Wrong way driving warning	<-1%	<-1%	<-1%
4	Decentralized floating car data	+2%	-2...-3%	<-1%
5	Automatic access control / parking management incl. ITP	<-1%	<-1%	<-1%
6	eCall*	-4% voor dodelijke slachtoffers, -6% voor gewonden	-3- -17%	*
7	Vulnerable road user warning	<-1%	<-1%	<-1%
8	Traffic information and recommended itinerary	<+1%	-2...-4%	<-2%
9	Hazardous location notification	-4%	-3%	<-1%
10	Traffic jam ahead warning	-4%	-3%	<-1%
11	Post-crash warning	-1%	-1%...+3%	<-1%
12	Enhanced route guidance	<+1%	-2...-4%	<-2%
13	Car breakdown warning	<-1%	-1%...+3%	<-1%
14	Obstacle on driving surface warning	<-1%	<-1%	<-1%
15	Insurance and financial services**	**	<-1%	-8 ... -2.8%

* eCall studies bespreken geen effecten op emissies maar het lijkt aannemelijk dat er een reductie van emissies optreedt doordat de (incident)congestie afneemt.

** Er is zeer weinig gerapporteerd over de effecten van verzekerings- en financiële services, en er was een grote variatie in gerapporteerde effecten. Wat deze service inhoudt, is niet goed gede-

finieerd. Dit resultaat was gebaseerd op het verzekeringsconcept "Pay-As-You-Drive" (PAYD), waarbij geschat werd dat een op kilometrage gebaseerde verzekeringspremie het aantal afgelegde kilometers substantieel vermindert (onduidelijk is of dit rijden in situaties met lage of hoge risico's zou betreffen). PAYD kan ook secundaire effecten hebben. Als het aantal afgelegde kilometers afneemt, neemt hiermee ook het aantal ongevallen af (lagere exposure). Dit leidt tot lagere congestiekosten.

Platooning - SARTRE & ITS Energy

In het SARTRE project werd gewerkt aan platooning, waarbij het doel was platoons te kunnen laten rijden op de openbare (snel)weg, en substantiële verbeteringen te bewerkstelligen met betrekking tot milieu, veiligheid en rijcomfort [SARTRE, 2013]. Uit de simulatieresultaten komt naar voren dat bij een optimale volgafstand van 8 meter alle voertuigen een besparing van 7 tot 15% kunnen behalen op brandstofverbruik, dus ook het voertuig voorop in de kolonne, met name als dit een vrachtauto is. Op het gebied van veiligheid wordt geclaimd dat met het rijden in kolonnes 50% van de snelweggerelateerde ongelukken kunnen worden voorkomen. Binnen het Energy ITS project werden in Japan tests met platoons op de weg uitgevoerd. [Tsugawa& Kato, 2010] noemen een reductie van het brandstofgebruik van 15%, voor een platoon van 3 trucks, rijdend met 80 km/u en een onderlinge afstand van 4 meter.

iMobility WG4CEM

De iMobility Working Group for Clean and Efficient Mobility (WG4CEM) geeft in hun eindrapport [Antonissen et al., 2013] een inschatting van de effecten van ITS maatregelen op CO₂ emissies op Europees niveau en destilleert daaruit een lijstje systemen waar verder onderzoek zich op zou moeten richten – de meest kansrijke systemen als het gaat om CO₂-emissies en brandstofefficiëntie. Daarvoor is gebruik gemaakt van literatuur, data en expert adviezen. Zie Tabel 12 en Tabel 13.

Tabel 12: Maatregelen met een verwacht effect op CO₂-emissies van meer dan 10%

Measures	Timeframe	Action needed
A.3 embedded on-trip eco-driving support (HMI feedback)	Beyond 2020	FOT
B.1 Traffic light control and signal coordination	Today	Pilot
B.2 Cooperative traffic lights (green light optimal speed advisory and green priority)	Until 2020	Pilot
E.1 Variable road pricing – distance based	Today	
F.1 Intermodal solutions (synchromodality)	Today	FOT (focus on barriers for implementation)
F.2 Electronic freight exchanges	Today	Promotion
F.3 Dynamic trip planning	Today	

Tabel 13: Maatregelen met een verwacht effect op CO2-emissies van 5-10%

Measures	Timeframe	Action needed
A.1 Intelligent Speed Adaptation (mandatory)	Beyond 2020	Pilot
A.2 Cooperative Adaptive Cruise Control/ Automation (autonomous platooning)	Beyond 2020	FOT
A.3 Smartphone on-trip eco-driving support (HMI feedback)	Until 2020	FOT (Pilot)
D.1 (Eco)-routing / navigation	Today	Pilot (for assessing effect) and R&D (to improve predictive modeling)
D.2 Connected eco-routing (taking into account traffic info)	Until 2020	FOT and R&D (to improve predictive modeling)
D.3 Personalized multi-modal navigation tools	Until 2020	Promotion and Pilot for EU-wide long distance travel
E.2 Variable road pricing – congestion based	Today	FOT (focus on assessment impact on CO ₂)
E.3 Pay-As-You-Drive schemes	Today	Pilot

Automatisch rijden

Op het gebied van automatisch rijden zijn nog niet veel effecten bekend, zeker niet op het gebied van doorstroming. Omdat de technologische ontwikkelingen rondom automatisch rijden nog volop gaande zijn, wordt eerst gefocust op onderzoek naar het technisch mogelijk maken van automatisch rijdende voertuigen, dan op het waarborgen van de veiligheid en de juridische aspecten en daarna pas komen de effecten op de verkeersdoorstroming aan de orde.

AMITRAN

De AMITRAN Knowledge Base (zie http://amitran.teamnet.ro/index.php/ITS_applications) geeft van 53 applicaties een beschrijving van hoe deze effect hebben op verkeer en vervoer, en CO₂-uitstoot.

5. Waar gaan we naar toe?

5.1. Constateringen op basis van de state-of-the-art

Er is de laatste paar jaar erg veel gebeurd op het gebied van coöperatieve systemen en automatisch rijden. Er zijn duidelijke stappen gezet, in Nederlands, Europees en soms zelfs mondiaal verband, op allerlei gebieden, zoals communicatie, standaardisatie en architectuurontwikkeling, en er zijn succesvolle tests uitgevoerd, in simulaties en laboratoriumomstandigheden maar zeker ook op de weg, met zowel coöperatieve systemen als automatisch rijden. Nederland heeft hierin een sterke positie, met veel ervaring in het testen, de Dutch Integrated Testsite Cooperative Mobility (DITCM) en de Innovatiecentrale. In de komende jaren staan nog veel activiteiten met coöperatieve systemen en automatisch rijdende voertuigen op de agenda. Nederland wil hierin een voortrekkersrol spelen.

De enorme aandacht voor automatisch rijden heeft trekjes van een hype. Het betreft innovaties die potentie hebben om hardnekkige problemen op te lossen en die veel mensen, ook buiten het werkveld, aanspreken. De verwachtingen zijn daardoor hoog gespannen. Diverse partijen beloven zelfrijdende auto's rond 2020. Maar er wordt ook al wel aan verwachtingsmanagement gedaan – experts verwachten overwegend dat we voorlopig nog niet op een automatiseringsniveau zitten waarbij we achter het stuur wat anders kunnen gaan doen. We moeten nog een flink aantal jaren klaar zitten om de besturing weer over te nemen.

Wel is duidelijk dat steeds meer voertuigen, of in ieder geval de inzittenden van deze voertuigen, "connected" zijn. Ook zullen steeds meer voertuigen (en niet alleen in het duurste segment) uitgerust zijn met systemen die (een deel van) de rijtaak automatiseren. In toenemende mate zullen weggebruikers vertrouwd raken met adviserende en soms zelfs ingrijpende toepassingen. Deze toepassingen worden niet zomaar coöperatief, ondanks dat algemeen gedacht wordt dat coöperatieve systemen toegevoegde waarde hebben en de eerste toepassingen op de weg positieve effecten en hoge acceptatiegraden laten zien. Het is niet eenvoudig de implementatie ervan te realiseren, en daarom blijft de penetratiegraad nog laag. Toch laat Japan zien dat het mogelijk is implementatie van coöperatieve systemen op grote schaal te realiseren (met publiek-private samenwerking!), en dat er geen sprake hoeft te zijn van parallelle ontwikkeltrajecten van automatisch rijden en coöperatieve systemen.

Het grootste deel van de toepassingen is gericht op gemotoriseerd (snel)verkeer. De interactie met voetgangers en fietsers is onderbelicht, hoewel er de laatste jaren zowel in Nederland (o.a. Save-Cap) als in Europa (VRUITS) projecten zijn op dit gebied. Het verdient aanbeveling de verkeersproblemen met de grootste (financiële) consequenties nog eens tegen het licht te houden en te bekijken welke coöperatieve systemen bij kunnen dragen aan het oplossen hiervan. Of te bekijken hoe automatisering van de verschillende rijtaken kan bijdragen. Daarnaast is beter inzicht nodig in

wat weggebruikers (en in het bijzonder degenen die beslissen over de aanschaf van voertuigen) belangrijk en acceptabel vinden.

5.2. Wensen vanuit verkeersmanagement

De verkeersmanagementwereld verwacht ook veel van coöperatieve systemen en automatisch rijden. Grote effecten hiervan zijn niet op korte termijn te verwachten – het kost tijd om de penetratiegraad omhoog te krijgen. Maar ook met alleen maar “connected” is al veel mogelijk, bijvoorbeeld op het gebied van routeadvies. De hoop van wegbeheerders is dat coöperatieve systemen er voor zullen zorgen dat de dure wegkantsystemen afgebouwd kunnen worden. Dit gaat echter niet vanzelf. Het kost tijd en geld om applicaties te bouwen die de individuele weggebruiker wil gebruiken en die er niet voor zorgen dat de verkeersafwikkeling verslechtert. Uiteindelijk zijn alle partijen er bij gebaat dat applicaties niet alleen maar rekening houden met de voorkeuren van degene die de applicatie geïnstalleerd heeft, maar dat het “systeemoptimum” ook in de gaten gehouden wordt. Hiervoor zijn nieuwe (of in ieder geval verbeterde) regelconcepten nodig. Bij het uitdenken daarvan dient ook gelijk meegenomen te worden dat ze verschillende (soms tegenstrijdige) doelen kunnen dienen – doorstroming, veiligheid, milieu, maar ook reizigerscomfort en -acceptatie.

De ontwikkelingen met betrekking tot automatisch rijden worden goed in de gaten gehouden, omdat er zorgen zijn over hoe automatisch bestuurd voertuigen de verkeersafwikkeling beïnvloeden. Autonome, automatisch rijdende voertuigen hebben grotere veiligheidsmarges nodig dan menselijke bestuurders hanteren, want die accepteren een zeker risico, en dat accepteren we van elkaar. Daarnaast overschatten veel bestuurders zichzelf. Bij de volgtijden die dan gehanteerd dienen te worden, is te verwachten dat de capaciteit van de weg omlaag gaat naarmate er meer automatisch gereden wordt. En tot die tijd zijn er problemen te verwachten met hoe automatisch bestuurd voertuigen interacteren met manueel bestuurd voertuigen – de bestuurders hiervan zien niet per se een veilige volgafstand, die zien een mooi gat om in te duiken. Hierover is meer inzicht nodig: wat betekent dit voor de verkeersstroomtheorie, wat kan nog met zelforganisatie, wanneer is centrale aansturing nodig (vanuit de verkeerscentrale)? Daarbij moet ook gekeken worden naar complexere wegvakken, zoals weefvakken, in- en uitvoegingen, alle wegvakken waar regelmatig verstoringen optreden, enz. Inzicht is dan ook nodig over hoe communicatie (short range, V2V & V2I) kan helpen om de capaciteit in ieder geval niet te laten verslechteren, maar liefst nog te verbeteren. Vanuit verkeersmanagementoogpunt dienen coöperatieve systemen dan ook gepromoot te worden. Gezien de beperkte budgetten zal dit niet eenvoudig zijn – de kosten voor coöperatieve systemen komen voorlopig nog boven op de kosten die er al waren voor beheer en onderhoud, bestaande ITS en (kleine) infrastructurele ingrepen. Het is dus zaak de komende jaren de potentie van coöperatieve systemen goed in beeld te brengen, zodat investeringen voor de langere termijn gerechtvaardigd kunnen worden.

Automatisch rijden is het eenvoudigst om eerst op snelwegen en andere doorgaande wegen (met weinig kruisingen) in te voeren. Echter, gezien de groei van de steden is ook aandacht nodig voor

toepassingen die verkeer (en parkeren!) op het onderliggend wegennet veiliger, schoner en efficiënter maken. En die ook gebruikt kunnen worden in gemengd verkeer. Er zijn al diverse coöperatieve en automatische systemen die hierbij kunnen helpen, maar er zijn strategieën nodig om de implementatie hiervan te versnellen.

5.3. Barrières bij invoering

Verscheidene zaken vormen momenteel nog duidelijke barrières voor een breed gebruik van coöperatieve systemen en automatisch rijden.

Voor coöperatieve systemen gaat het om:

- Onduidelijke business cases en organisatorisch complexe implementaties, die veel samenwerking vergen. Veel stakeholders zullen het eenvoudiger vinden om niet afhankelijk te zijn van andere partijen (zeker daar waar het publiek-private samenwerking betreft).
- Hieraan gerelateerd: wat motiveert weggebruikers, aanbieders van systemen, wegbeheerders en alle andere betrokken partijen om in coöperatieve systemen te investeren? Waar is echt behoefte aan? Hoe kunnen we de benodigde samenwerking vormgeven? Hoe doen we dit in Nederland, en in relatie tot de rest van de wereld?
- Er zijn weliswaar inmiddels cijfers beschikbaar over de verwachte effecten, maar dit zijn nog niet altijd de cijfers waar beleidsmakers mee uit de voeten kunnen. Meer evaluaties zullen zeker helpen om meer inzicht te genereren ("learning by doing", "living labs"), maar op het gebied van opschaling van lokaal gevonden effecten zijn nog wel stappen te maken. Vaak is de benodigde data moeilijk te verkrijgen.
- De robuustheid van de communicatie, kan gezorgd worden voor "graceful degradation"? Dit geldt overigens zeker ook bij automatisch rijden.
- De behoefte aan versnelde standaardisatie zodat interoperabiliteit bereikt wordt.
- De noodzaak van regulering van de boodschappen: welke boodschappen mogen allemaal over de gereserveerd ITS band, die bedoeld was voor veiligheidsapplicaties – mogen daar ook "ecoboodschappen" of "doorstromingsboodschappen" over?

Voor automatisch rijden zijn de volgende zaken van belang:

- Er moet goed getest worden hoe bestuurders omgaan met de verschillende niveaus van automatisch rijden. Een lastig aspect is de handover van automatische besturing naar manuele besturing. Kan de gemiddelde bestuurder dat? En de minder goede bestuurder? En ook als het in lastige/onverwachte omstandigheden moet gebeuren (bijvoorbeeld slecht weer)?
- Mensen zijn beter dan machines in het op juiste wijze interpreteren van obstakels en ongebruikelijke situaties. Hoe wordt er voor gezorgd dat automatisch rijdende voertuigen alleen remmen als het echt nodig is, en niet vast komen te staan als ze bijvoorbeeld linksaf een drukke weg op moeten rijden? Hoe worden gebaren van verkeersregelaars geïnterpreteerd? Wat is nodig om weggebruikers een comfortabele en niet al te lang durende rit te kunnen laten maken?

- Hieraan enigszins gerelateerd is dat sensoren die ver genoeg weg kunnen kijken nu nog te duur zijn. De gemiddelde autobezitter kan de sensoren die Google gebruikt niet betalen, maar voor vervoerders is het wellicht wel aantrekkelijk. Maar worden sensoren steeds goedkoper?
- Er komen ethische vraagstukken aan waarmee automatische voertuigen om moeten kunnen gaan. Er zal een keer een situatie optreden waarin een ongeluk onvermijdelijk is. Wat als de keuze dan is tussen twee kwaden, bijvoorbeeld: het voertuig kan naar links gaan en waarschijnlijk een motorrijder doden, of naar rechts gaan en dan tegen een vrachtwagen botsen waarbij de inzittenden van het eigen voertuig waarschijnlijk zwaar gewond raken. Wie schrijft de software die een keuze maakt bij deze dilemma's?
- Om automatisch rijden minstens zo veilig te maken als manueel rijden, moet de computer in een automatisch voertuig vele uren functioneren zonder te crashen (tienduizenden tot miljoenen uren). Er moeten in de softwareontwikkeling nog heel wat stappen plaatsvinden voordat volledig automatisch rijden zonder softwarecrashes of onwenselijke beslissingen werkelijkheid kan worden (dit omvat ook procedures voor verificatie en validatie van software).
- De wetgeving moet nog aangepast worden. De Vienna Convention is weliswaar aangepast om testen met automatisch rijden mogelijk te maken, maar uiteindelijk moet de wetgeving aangepast worden om ook doorsnee weggebruikers van automatisch rijdende voertuigen gebruik te kunnen laten maken.

Volledig automatisch rijden lijkt, als gekeken wordt naar bovenstaande punten, nog vele (tientallen?) jaren weg. Maar een geleidelijke overgang naar steeds meer automatisering van rijtaken is wel te verwachten. Evenals meer uitwisseling van data tussen voertuigen onderling en met de wegwant. Aanjagers zouden de consumenten moeten zijn: wat willen zij?

5.4. Verdere aandachtspunten

Tot slot zijn er nog enkele andere punten die aandacht blijven behoeven:

- Human factors. Acceptatie en effectiviteit van verschillende HMI's, en mogelijke afleiding bij gebruik van nieuwe toepassingen ("distracted driving" problematiek) of veel toepassingen op een platform ("workload" problematiek").
- Communicatie. Blijven de kosten van communicatie via cellulaire netwerken dalen? Willen we betalen voor in-car toepassingen? Hoe is de dekkingsgraad van 4G? Wat is de te verwachten latency? Is short range communicatie betaalbaar(der), en onder welke omstandigheden?
- Security & privacy. Zijn coöperatieve systemen en automatisch bestuurd voertuigen goed beschermd tegen hackers? Wat zijn de privacyaspecten aan alle boodschappen die in de toekomst uitgewisseld worden (V2V, V2I, met verkeerscentrales en back offices)?
- Evaluatie. Bij de invoering van nieuwe systemen blijft dit een aandachtspunt. Op korte termijn is vooral meer kennis nodig over hoe bestuurders omgaan met adviezen. Voor de wat langere termijn is nodig dat de mogelijke effecten van coöperatieve systemen en automatisch rijden op de verkeersafwikkeling op netwerkniveau duidelijk worden.

- Data. Big data, open data – hoe gebruiken we dat voor coöperatieve systemen? Er worden grote hoeveelheden data geproduceerd door deze systemen. Wat moet met deze data gebeuren? De beschikbaarheid en/of toegankelijkheid (real-time en off-line, voor evaluatie) en de betrouwbaarheid van data zijn vaak een bottleneck. Een ander punt is hoe databases (inclusief digitaal kaartmateriaal) up-to-date gehouden kunnen worden.
- Architectuur. De bij de proef op de A58 toegepaste architectuur wordt de basis voor andere toepassingen. Er is al een architectuur voor ITS stations (wegkantstations met communicatiemogelijkheden). Alle ontwikkelingen, zowel door overheid als door markt geïnitieerd, dienen een plek in de architectuur te kunnen vinden.
- De rol van overheid, en de relatie met marktpartijen en kennisinstellingen. Fungeert de overheid als aanjager (en zo ja, hoe dan)? In welke gevallen wordt meer verwacht van de overheid (financiering, regulering, veranderen bestaande wetgeving, andere manieren van aanbesteden etc.)? Hoe is de Europese context hierop van invloed?
- Smart procurement. Er zijn aanpakken waarmee het eenvoudiger wordt om innovaties (of het voorsorteren daarop) mee te nemen in aanbestedingen.
- Aansprakelijkheid (automatisch en coöperatief rijden), en aanpassing van het verzekeringsstelsel.

Literatuur

AMITRAN (2014), *Requirements and design of the methodology*, Deliverable 4.1 van het AMITRAN project, 30 april 2014, beschikbaar @ <http://www.amitran.eu/assets/Uploads/D4-1-Requirements-and-design-of-the-methodologyFinal-2014-04-30.pdf>.

Amsterdam Group (2013), *Roadmap between automotive industry and infrastructure organisations on initial deployment of Cooperative ITS in Europe Version 1.0*, 7 juni 2013.

Antonissen et al.(2013), *Identifying the most promising ITS solutions for clean and efficient mobility*, Final Report of the iMobility Working Group for Clean and Efficient Mobility, November 2013, <http://www.imobilitysupport.eu/imobility-forum/imobility-forum-library/working-groups/active/ict-for-clean-and-efficient-mobility/reports-4/2332-wg4cem-final-report-131308/file>.

Arem, B. van (2007), "Cooperative vehicle-infrastructure systems: an intelligent way forward?", Delft, TNO report 2007-D-R0158/B, 20 maart 2007 beschikbaar @ <http://www.tno.nl/downloads/073401-N09%20SUMMITS%20vision%20Final%20draft2.pdf>.

Broek, Thijs H.A. van den, Bart D. Netten, Marika Hoedemaeker & Jeroen Ploeg (2010), *The experimental setup of a large field operational test for cooperative driving vehicles at the A270*, in: proceedings of the 2010 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, Madeira Island, Portugal, September 19-22, 2010.

CAR & MDOT (2013), *International Survey of Best Practices in Connected and Automated Vehicle Technologies, 2013 UPDATE*, CAR Center for Automotive Research & Michigan Department of Transportation, September 2013.

C-ITS Platform (2014), *C-ITS Platform Draft Work Programme*, 2014.

Connekt (2013), *Beter geïnformeerd op weg. Routekaart 2013-2023 – Samenvatting*. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, oktober 2013.

Driessen, D., J. Hogema, I. Wilmlink, J. Ploeg, Z. Papp & P. Feenstra (2007), "The SUMMITS Tool Suite: supporting the development and evaluation of cooperative vehicle-infrastructure systems in a Multi-Aspect Assessment approach", Delft, TNO memorandum 073401-N017, 21 maart 2007, beschikbaar @ http://www.tno.nl/content.cfm?context=overtno&content=nieuwsbericht&laag1=37&laag2=2&item_id=2007-01-31%2016:35:56.0

EC (2010), *Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad van 7 juli 2010 betreffende het kader voor het invoeren van intelligente vervoerssystemen op het gebied van*

wegvervoer en voor interfaces met andere vervoerswijzen, beschikbaar @ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0040&from=EN>

EC (2011a), *Intelligent Transport Systems in action – Action Plan and Legal Framework for the deployment of Intelligent Transport Systems (ITS) in Europe*, European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, 2011, beschikbaar @ http://ec.europa.eu/transport/its/road/action_plan/action_plan_en.htm.

EC (2011b), "WITBOEK: Stappenplan voor een interne Europese vervoersruimte – werken aan een concurrerend en zuinig vervoerssysteem", Brussel, Europese Commissie, 28 maart 2011.

Energy ITS & ECOSTAND (2013), *Guidelines for assessing the effects of ITS on CO₂ emissions, Energy ITS and ECOSTAND projects*, with contributions from the University of California, 2013, beschikbaar @ <http://www.nedo.go.jp/content/100521807.pdf>.

FESTA & FOT-Net (2011), *FESTA Handbook – Version 4*, 30 september 2011, beschikbaar @ http://www.fot-net.eu/download/festa_handbook_rev4.pdf. (Er is ook een Nederlandse beschrijving van de FESTA-methodiek, in de Leidraad evaluaties benutting, beschikbaar @ http://trafficquest.nl/images/stories/documents/Evaluatie/leidraad_evaluaties_benutting_versie_2011.pdf.)

Horst, R. van der & G. Klunder (2009), *TRANSUMO Intelligent Vehicles – Duurzaam autoverkeer met slimme auto's, toekomstmuziek?* Eindrapport IV, december 2009.

Googleblog (2010), beschikbaar @ <http://googleblog.blogspot.nl/2010/10/what-were-driving-at.html>

Hopkin, J., A. Stevens, D. Palmer, S. Ball, P. Vermaat, K. Malone, M. van Noort, P. Nitsche, S. Deix (2013), Example Results of Cost Benefit Analysis, Deliverable 4.1 van het COBRA project, 12-02-2013.

IEEE ITS Society newsletter (2014), Vol. 16, No. 1 January 2014, beschikbaar @ <http://sites.ieee.org/itss/files/2014/01/v16n1January2014.pdf>.

iMobility WG Automation (2013), *Workshop minutes*, beschikbaar @ <http://www.imobilitysupport.eu/library/imobility-forum/working-groups/active/automation/workshops-3/07-mar-2013/2028-auto-ws-minutes-07-mar-2013/file>, geraadpleegd augustus 2014.

IT Headquarters (2014a), *Declaration to be the World's Most Advanced IT Nation*, Japan, Strategic Headquarters for the Promotion of an Advanced Information and Telecommunications Network Society, 14 juni 2013, beschikbaar @ http://japan.kantei.go.jp/policy/it/index_e.html.

IT Headquarters (2014b), *Public - Private ITS Initiative/Roadmaps*, Japan, Strategic Headquarters for the Promotion of an Advanced Information and Telecommunications Network Society, 3 juni 2013, beschikbaar @ http://japan.kantei.go.jp/policy/it/index_e.html.

Malone, K., M. de Kievit, S. Maas, M. Jandrisits, A. Frötscher, M. Dirnwoeber, R. Kulmala, A. Schirokoff, R. Öörni (2011), *Defining the required infrastructure supporting Co-operative Systems*, SMART 2010/0063 project, December 16, 2011, Final Report TNO-060-DTM-2011-03163.

Malone, K., M. Van Noort, J. Hopkin, S. Ball, P. Nitsche & I. Mocanu (2013), *Conclusions and Recommendations for Deployment of Cooperative Systems by Road Authorities*, COBRA Deliverable 5, COBRA Consortium, Final TNO Report TNO-060-DTM-2013-01094, September 2013.

Malone, K. (2014), *DRIVE C2X Impact Assessment Overview*, Presentatie op het DRIVE C2X Final Event, Berlijn, 17 juli 2014, beschikbaar @ <http://www.drive-c2x.eu/publications>.

Martens, M (2014), *ITS en human factors: op de grens tussen mens en techniek*, Oratie, Universiteit Twente, 11 september 2014.

Meyer, H. (2014), *ERTICO-ITS Europe and C-ITS deployment*, Presentatie op de ETSI workshop, februari 2014.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2014), *Beter Benutten van Intelligente Mobiliteit*, Memo, 2014.

Mocanu, I., P. Nitsche, S. Deix, K. Malone, J. Hopkins, S. Ball (2012), *Impact Assessment*, Deliverable 3.1 van het COBRA-project, 21-11-2012.

Netten, B., T. van den Broek & G. Blom (2010), *A270 Demo schokgolfdemping*, Nationaal verkeerskundecongres 2010.

Netten, Bart, Thijs van den Broek, Eric Koenders (2011), *Shockwave Damping – Field Tests on the A270 in 2011*, 8th IAC, Eindhoven, 2011.

Netten, B.D., Th.H.A. van den Broek, I. Passchier, P. Lieveerse (2011b), *Low penetration shockwave damping with cooperative driving systems*, ITS EMEA 2011.

Netten, B., A. Hegyi, W. Schakel, I. Wilmink, J. Hogema, M. Wang, J. Baan, I. Passchier, C. van Leeuwen, B. van Arem, T. Schreiter & Y. Yuan (2012), *Dynamax In Car: preparation for a field test*, Delft, TNO, TNO report TNO 2012 R10364, 29 June 2012.

Passchier, I., H. van Vliet, P. Tilanus, S. Maas, P. Vermaat, J. Hopkin, D. Naberezhnykh, P. Owlett, O. Kerstjens (2011), *New services enabled by the connected car*, SMART 2010/0065 project, June 30, 2011, Final Report TNO-RPT-2011- 01277

Rech, J. (2014), *DRIVE C2X Deployment Strategy Options*, Presentatie op het DRIVE C2X Final Event, Berlijn, 18 juli 2014, beschikbaar @ <http://www.drive-c2x.eu/publications>.

Ros, B.G., V.L. Knoop, B. Van Arem, S.P. Hoogendoorn, (2014), *Empirical analysis of the causes of stop-and-go waves at sags*, In: IET Intelligent Transport Systems, Volume 8, Issue 5, 2014, Pages 499-506.

SAE International (2014), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*, SAE International, rapport SAE J 3016, 16 January 2014.

SARTRE (2013), Project final report, 17-01-2013, beschikbaar @ http://www.sartre-project.eu/en/publications/Documents/SARTRE_Final-Report.pdf.

Schakel, Wouter J., Bart van Arem, Member, IEEE, and Bart D. Netten (2010), *Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability*, in: proceedings of ITSC2010.

Schijndel-de Nooij, M. van, B. Krosse, T. van den Broek, S. Maas, E. van Nunen, H. Zwijnenberg, A. Schieben, H. Mosebach, N. Ford, M. McDonald, D. Jeffery, J. Piao, J. Sanchez (2011), *Definition of necessary vehicle and infrastructure systems for Automated Driving*, SMART 2010/0064 project, June 29, 2011.

Suzuki S., F. Kanazawa & T. Tsukiji (2014), *Towards safer and more efficient road traffic with existing road networks and cooperative its service –case of "ITS spot service" in Japan*, beschikbaar op http://www.nilim.go.jp/lab/qcg/english/3paper/pdf/2014_5_2_ITS%20NZ.pdf.

TrafficQuest (2014), *Verkeer in Nederland 2014*, Delft, TrafficQuest, mei 2014, beschikbaar @ www.traffic-quest.nl.

Tsugawa, S. & S. Kato, "Energy ITS: Another application of vehicular Communications", in: IEEE Communications Magazine, november 2010.

Wang, M. (2014), *Generic Model Predictive Control Framework for Advanced Driver Assistance Systems*, Proefschrift, Delft, TU Delft, 27 oktober 2014, TRAIL Thesis Series no. T2014/6.

Wilmink, I., K. Malone, E. Jonkers, R. Brouwer, R. de Lange, M. Keuken, A. Eisses, N. Rosmuller & J. Mak (2011a), *Leidraad evaluaties benutting (versie 2011)*, Delft, 30 mei 2011.

Wilmink, I., B. Immers & H. Schuurman (2011b), *Toepassingsmogelijkheden van coöperatieve systemen en services in Nederland*, Paper gepresenteerd op het Nationaal Verkeerskundecongres, Nieuwegein, 2 november 2011.

Wilmink, I., E. Jonkers, B. Netten & J. Ploeg (2013), *Quick scan van de potentiële effecten van (snelheids)maatregelen op filegolven*, Delft, TNO, TNO-rapport R11313, 30 augustus 2013.

Wilmink I. & W. Niebel (2014), *Cost-benefit analysis, integration of evaluation results and eCoMove implementation road map*, D650.65 of the eCoMove Project, Project reference FP7-ICT-2009-4, 2014, (op termijn) beschikbaar @ <http://ecomove-project.eu/>.

Wilmink, I. D. Vonk Noordegraaf, T. Thomas, V. Westerwoudt & M. Barten (2014), *Datafusie Pilot – Openbare resultaten*, NDW & DITCM, 20 oktober 2014, beschik @ http://www.ndw.nu/pagina/nl/2/nieuws/115/rapportage_pilot_datafusie/.