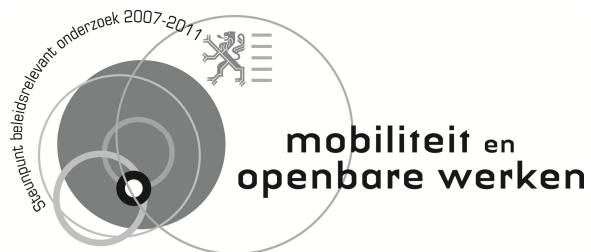


Verhoogde verkeersveiligheid op autosnelwegen dankzij ITS

RA-MOW-2010-008

Johan De Mol, Erik Vanhauwaert, Wim Vandenberghe

Onderzoekslijn Innovatie en technologie



DIEPENBEEK, 2010.
STEUNPUNT MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN
SPOOR VERKEERSVEILIGHEID

Documentbeschrijving

Rapportnummer: RA-MOW-2010-008
Titel: Verhoogde verkeersveiligheid op autosnelwegen dankzij ITS

Auteur(s): Johan De Mol, Erik Vanhauwaert, Wim Vandenberghe
Promotor: Georges Allaert, Piet Demeester, Ingrid Moerman
Onderzoekslijn: Innovatie en technologie
Partner: Universiteit Gent
Aantal pagina's: 140

Projectnummer Steunpunt: 4.1
Projectinhoud: projectinhoud steunpuntproject

Uitgave: Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken – Spoor Verkeersveiligheid, oktober 2010.

Steunpunt Mobiliteit & Openbare Werken
Spoor Verkeersveiligheid
Wetenschapspark 5
B 3590 Diepenbeek

T 011 26 91 12
F 011 26 91 99
E info@steunpuntmowverkeersveiligheid.be
I www.steunpuntmowverkeersveiligheid.be

Samenvatting

Lapidair kan men stellen dat het **verhogen van de veiligheid op autosnelwegen** eenvoudiger te bereiken is dan op andere wegen. Immers het aantal mogelijke conflictpunten op autosnelwegen is beperkter dan op klassieke wegen. In principe zijn op autosnelwegen geen ongevallen met tegenliggers, geen kruispunten en zijn de snelheidsverschillen beperkt. Het beheersen van de conflicten op autosnelwegen kan goed omschreven worden. In een aantal gevallen kan techniek hierbij een ondersteunende rol vervullen. Het doel van dit rapport is om de mogelijkheden van ITS tot het verhogen van de verkeersveiligheid op autosnelwegen, te verkennen.

De volgende **werkwijze** wordt hiervoor gevolgd worden: eerst wordt een analyse van ongevalstatistieken op autosnelwegen uitgevoerd. Dan wordt onderzocht welke ITS toepassingen zouden kunnen bijdragen tot een verhoging van de verkeersveiligheid. Daarna wordt bestudeerd welke van deze toepassingen nu de grootste positieve impact heeft. Daarna worden een aantal technische aspecten besproken, gevolgd door een overzicht van de meest belangrijke relevante nationale en internationale onderzoeksprojecten. Tenslotte wordt er een socio- en techno-economische evaluatie uitgevoerd, met als doel het in kaart brengen van een volledig en realistisch kostenplaatje.

De analyse van de **ongevalstatistieken** op autosnelwegen is bruikbaar om de verkeersveiligheid te duiden en de meest efficiëntste ITS-technieken te kunnen evalueren. In 2007 waren ongevallen op autosnelwegen verantwoordelijk voor 14% van het totaal aantal dodelijke verkeersslachtoffers, en 17% van het totaal aantal zwaargewonden. Deze cijfers geven aan dat de autosnelweg, ondanks zijn beperkt aantal conflictpunten, verantwoordelijk is voor een significant aandeel van de verkeersonveiligheid, en dat het beveiligen van autosnelwegen een belangrijk gewicht zou moeten krijgen bij het bepalen van maatregelen ter verhoging van de verkeersveiligheid.

De verkeersonveiligheid op autosnelwegen volgt nog steeds niet de algemeen dalende of stagnerende trend in het verkeer. Vanaf 2004 gaan de ongevalcijfers op autosnelwegen – doden en zwaargewonden samengevoegd- in stijgende lijn. Het verwondert niet dat de meeste ongevallen vallen bij druk verkeer (ochtend- en avondspits).

Bij de indeling van ongevallen tussen bestuurders, komt het achteraan aanrijden van een voertuig het meest voor: dit is ongeveer 1/3 van alle letselongevallen. Kettingbotsingen zijn eerder beperkt maar hebben een veel grotere impact naar schade voor de betrokken voertuigen. Het effect op de verstoring van de doorstroming, is eveneens belangrijk bij kettingbotsingen. Bij eenzijdige ongevallen is het aanrijden van een hindernis buiten de rijweg het belangrijkste: in de periode 1991-2007 schommelde tussen 39 en 45 % van alle letselongevallen. De effecten van de staat van het wegdek (wegkenmerken) geven aan dat het aantal ongevallen bij droog weer hoger liggen dan bij nat wegdek.

Uit deze analyse blijkt dat verkeersonveiligheid op autosnelwegen kan teruggedrongen indien er een combinatie van maatregelen worden genomen. Naast ITS-technieken, is het ontwerpen van vergevingsgezinde wegen een conditio sine qua non voor het verhogen van veiligheid. Andere elementen die de veiligheid bepalen –handhaving, opleiding en het engagement van alle actoren om aan veiligheid te werken- worden in deze analyse niet betrokken, maar zijn uiteraard medebepalend voor de graad van impact op de veiligheid.

Er bestaat een groot aantal **ITS applicaties**, welke op verschillende manieren geclassificeerd kunnen worden. Binnen dit steunpuntrapport zullen we gebruik maken van de indeling gebaseerd op technische werking. Dit betekent dat we een onderscheid maken tussen applicaties waarbij er geen interactie is met gegevensbronnen buiten het

voertuig, de zogenaamde *autonome voertuigapplicaties*, applicaties gebaseerd op wegkantsystemen waarbij er geen interactie is met gegevens van individuele voertuigen, de *autonome wegkantapplicaties*, en tenslotte applicaties waarbij er interactie is tussen individuele voertuigen en andere gegevensbronnen zoals voertuigen onderling en wegkant, de zogenaamde *coöperatieve applicaties*. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste toepassingen binnen elke categorie.

Binnen de autonome voertuigapplicaties zijn dit *Electronic Stability Control, Emergency Brake Assist, Intelligent Speed Adaptation, Adaptive Headlights, Obstacle and collision warning, Autonomous Braking Systems, Lane Departure Warning System, Lane Changing Assistance, Fatigue Warning System* en het *Alcohol Lock*.

Bij de autonome wegkantapplicaties zijn volgende toepassingen van belang: *DRIP (Dynamische Route Informatiepanelen)* en *GRIP (Grafische Route Informatiepanelen)*, *Real-Time verkeersinformatie (RTTI)* en *Floating Car Data*.

Binnen de coöperatieve categorie zijn volgende applicaties belangrijk: *Emergency Call (eCall), Breakdown Call, Floating Car Data, coöperatieve Real-Time verkeersinformatie (RTTI), Kilometerheffing, Collision hazard warning, Road conditions information, Map updates, Dynamisch verkeersmanagement* en *Recreatieve internet toegang*.

Een **impact analyse** van al deze applicaties toont aan dat slechts een handvol van dit grote aantal applicaties een enorm potentieel heeft om de verkeersveiligheid te versterken. Het introduceren van deze applicaties zou dus prioriteit moeten krijgen:

- Electronic Stability Control: vermindering zwaargewonden en doden met 15%.
- Emergency Brake Assist: vermindering zwaargewonden en doden met 17%.
- Collision warning & avoidance: daling van het aantal zwaargewonden met 16%.
- Intelligent Speed Adaptation: reductie aantal zwaargewonden 11%, doden 17%.
- Advanced Adaptive Cruise Control: reductie aantal zwaargewonden 11% (wel alleen op autosnelwegen dit hoge effect, over alle wegen is dit slechts 2%)
- Alcohol lock: vermindering van doden met 6% en zwaargewonden met 3%. Indien de doelgroep specifiek kan geselecteerd worden, is het effect veel hoger.

Op **technologisch vlak** is communicatie technologie één van de steunpilaren van toekomstige coöperatieve ITS systemen. In voorgaande steunpuntrapporten binnen dit werkpakket werden de technische kenmerken van de verschillende beschikbare communicatie technologieën reeds in detail voorgesteld. Op basis hiervan werden theoretische karakteristieken opgesteld zoals beschikbare bandbreedte. In de realiteit is er echter een afwijking tussen de theoretisch haalbare waarden, en wat in de praktijk bereikt wordt. Dankzij analyse en literatuuronderzoek kunnen deze meer realistische waarden bepaald worden voor de volgende technologieën: CEN DSRC, CALM M5, CALM IR, GPRS, UMTS, WiMAX, LTE, DAB en DVB.

Om applicaties te kunnen aanbieden die gebruik maken van lokale communicatie is niet alleen de basis technologie vereist, alle voertuigen en wegkantinfrastuctuur moet ook één lokaal draadloos netwerk vormen, een Vehicular Ad-Hoc Network, kortweg VANET. Een gekend maar nog niet opgelost probleem binnen het VANET domein is het schaalbaarheidsprobleem. Bij hoge voertuigdensiteiten kan niet aan de strenge vereisten op gebied van vertraging en betrouwbaarheid worden voldaan. Dit is een cruciaal probleem bij coöperatieve veiligheids toepassingen. Hiernaar is verder onderzoek vereist.

Testomgevingen zijn cruciaal. Verschillende simulators worden toegepast: driedimensionale rijsimulators, netwerk simulators en voertuig simulators. Deze zijn allen vlot toegankelijk voor de onderzoeksgemeenschap. Kleinschalige testopstellingen maken het mogelijk om zowel specifieke technische componenten als volledige toepassingen te

gaan testen, zowel in het laboratorium als in echte voertuigen. Ook deze zijn vlot verkrijgbaar voor de onderzoeksgemeenschap. Grootschalige testopstellingen laten toe dezelfde testen op grote schaal in gecontroleerde omgevingen uit te voeren. Deze vorm van testomgeving is op dit moment nog zeer zeldzaam. Het is aanbevolen om bestaande generieke wireless testplatformen (zoals bijvoorbeeld het IBBT iLab.t Wireless Lab) aan te passen om deze ITS testen te kunnen ondersteunen. Proeftuinen zijn testomgevingen waarbij applicaties tijdelijk bij een groot aantal gebruikers in hun eigen voertuig wordt geïnstalleerd. Op dit moment is het aantal proeftuinen beperkt, maar in de heel nabije toekomst zal onder impuls van Europa hier verandering in komen.

Betreffende het aantal **relevante onderzoeksprojecten** merken we op dat dit op nationaal niveau eerder beperkt is. Het in maart 2010 afgesloten project IBBT Next Generation ITS is het enige belangrijke voorbeeld. Op Europees vlak daarentegen zijn er reeds een aantal jaren enorme inspanningen geleverd. Binnen het 6^e Europese kaderprogramma werden een groot aantal projecten uitgevoerd, waarvan de laatsten midden 2010 werden afgesloten. De belangrijkste voorbeelden zijn: Intelligent Car Initiative, eSafety Forum, COMeSafety, Car 2 Car Consortium, GST, CVIS, Safespot, COOPERS, SEVECOM, eIMPACT, Feedmap, PReVENT, TRACE en AIDE. Een groot aantal projecten zijn op dit moment actief binnen het 7^e kaderprogramma. Hier zijn de belangrijkste namen: FESTA, FOT-Net, euroFOT, TELEFOT, SIM-TD, GEONET, iTETRIS, PRE-DRIVE C2X en ROSATTE. Nieuwe projecten binnen het 7^e kaderprogramma van de Europese Commsie concentreren zich op het uitvoeren van FOTs en verder ontwikkelen van ITS applicaties. Deze nieuwe projecten zullen van start gaan vanaf 1 januari 2011.

Het effectief uitrollen van een compleet ITS ecosysteem dat coöperatieve applicaties mogelijk maakt is niet eenvoudig. Dankzij een **socio- en techno-economische analyse** kunnen nieuwe inzichten verworven worden in de praktische kant van een effectieve uitrol. Uit de socio-economische studie blijkt dat verschillende individuen, bedrijven of groeperingen betrokken zijn bij of beïnvloed worden door de lancering van een ITS. Om de lancering tot een succes te maken, dienen de verschillende actoren op de juiste manier te interageren, zoniet kunnen hun afzonderlijke noden en eisen conflicteren. Het netwerk en de interacties kunnen we indelen volgens het PEST-model: politieke, economische, sociale en technische aspecten. Een bespreking van de belangrijkste stakeholders en interacties wordt in dit rapport gegeven: de producenten, de gebruikers, interactie en economische factoren, adoptie van het systeem en de overheid. Binnen de techno-economische analyse is een kostenmodel essentieel. Dit werd specifiek opgesteld binnen dit steunpunt onderzoek. Een eerste belangrijk aspect hierin is het bepalen van het scenario: de definitie van toegepaste fasering, capaciteitsvoorziening, voorziene applicaties en gebruikte communicatie technologie. Andere belangrijke aspecten zijn de capaciteitsvraag, de bepaling van het netwerk, het kostenoverzicht en de kostenmodellering. Uit de resultaten van het kostenmodel is duidelijk dat de grootste *cost driver* de on board unit is (goed voor 70% van de totale kost). Daarnaast is CRM, Client Relationship Management, ook een belangrijk element, goed voor 18% van de kosten. Alle andere elementen zijn een stuk minder doorslaggevend, en zijn steeds goed voor hoogstens 3% van de totale kost. Gebaseerd op dit kostenmodel kunnen een aantal cash flow simulaties gemaakt worden om een geldige business case te bepalen. Bij optimistische assumpties (fiber reeds beschikbaar en OBU kost van 310 euro) is een geschikte abonnementskost per voertuig 150 euro per jaar. Dit is volgens bestaand onderzoek nog net binnen de grenzen van wat gebruikers een redelijke kostprijs vinden. Bij meer terughoudende assumpties (fiber moet speciaal aangelegd worden en de kost van een OBU is 750 euro) komt de prijs voor de gebruiker op 300 euro per jaar. Dit is iets hoger dan bij huidige commercieel beschikbare systemen die een stuk minder applicaties aanbieden (eCall, breakdown call, stolen vehicle tracking) dan in het uitgewerkte scenario. Deze prijs lijkt dan ook nog net aanvaardbaar.

Uit alle voorgaande onderzoeksresultaten kunnen een aantal **beleidsaanbevelingen** afgeleid worden. Eerst en vooral kan de overheid dankzij een aantal **korte termijn acties** met minimale inspanningen toch een maximaal resultaat bekomen:

- Werk maken van de nationale implementatie van de Europese richtlijn betreffende de verplichting van Electronic Stability Control en Emergency Brake Assist.
- Ondersteuning blijven bieden voor de verkeersbordendatabank en de bevolking sensibiliseren met betrekking tot het nut van ISA systemen of fiscaal stimuleren.
- Alcohol locks systematisch introduceren als strafmaatregel bij recidiverende dronken bestuurders.
- Verder onderzoek stimuleren naar coöperatieve vormen van Collision warning & avoidance systemen, in lijn met de Europese inspanningen. Aandachtspunten zijn het schaalbaarheidsprobleem in Vehicular Ad Hoc Networks, applicatieontwerp en validatie, business modellering en het opzetten van zowel grootschalige testopstellingen als proeftuinen.

De **rol van de overheid op langere termijn** kan als volgt worden geformuleerd:

- Het is noodzakelijk dat de overheid het systeem op de agenda plaatst en de betrokken stakeholders op één lijn krijgt. De overheid moet de lancering van een ITS niet alleen praktisch opvolgen en ondersteunen over een lange periode, maar ook verkopen naar alle partijen. De eindgebruikers zijn daarbij zeker belangrijk. Een mogelijk hulpmiddel bij deze coördinerende rol kan het oprichten van een platform voor onderlinge communicatie zijn.
- Er is nood aan een prijsmodel dat vastlegt hoe de eindgebruikers zullen bijdragen aan het systeem. Zij zullen in ieder geval rechtstreeks of onrechtstreeks de voornaamste kosten dragen. Het is echter nuttig om in samenspraak met hen en met de producenten te evalueren of dit moet gebeuren via een abonnement, een eenmalige aankoopprijs of beide.
- Bij de kostenverdeling kreeg de OBU een erg hoog gewicht. Hierop moet geconcentreerd worden bij het zoeken naar besparingen. Internationale samenwerking kan hierbij een mogelijkheid zijn (economies of scale principe).
- Er is nood aan een internationale standaard en certificatieprocedure, zowel op vlak van hardware en software als de elementaire processen die hierop gebaseerd zijn.
- Een Europese aanpak lijkt bijzonder aangewezen.
- Het juridisch kader voor een ITS moet nog bepaald worden. De verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van de verschillende partijen moet gedefinieerd worden, en er moet rekening gehouden worden met misbruik. Als laatste belangrijk punt wijzen we op de privacy van de gebruikers, die te allen tijde gegarandeerd moet worden.
- De praktische organisatie is aanzienlijk. Een aantal taken en verantwoordelijkheden is niet meteen toewijsbaar en vereist mogelijks de oprichting van nieuwe bedrijven. Een goede planning en timing is belangrijk. De overheid bevindt zich in een unieke positie om dit in goede banen te leiden. Een private public partnership (PPP) lijkt een aangewezen organisatievorm.
- De overheid zal moeten bepalen hoe zij bij de kostenallocatie wil intermediairen: is er een nood aan reguleringen, taksen en subsidies? Om de lancering te versnellen en de twijfels van bepaalde actoren weg te nemen, kan er ook rechtstreeks geïnvesteerd worden in het project.
- De adoptie kan één van de kernproblemen zijn bij de lancering. Een te trage adoptie kan ervoor zorgen dat de lancering niet succesvol is. Een te snelle adoptie kan dan weer voor een erg hoge initiële investering zorgen. Er is nood aan marktonderzoek om verdere maatregelen te kunnen bepalen.

English summary

Title: Enhanced traffic safety on highways thanks to ITS

Abstract

It can be said that **enhancing the safety on highways** should be simpler to accomplish than on other roads, since the number of conflict points in highways is more limited than on other roads. In principle there can be no accidents with oncoming traffic, there are no crossroads, and the speed differences are limited. Controlling conflicts on highways can be well defined. In a number of cases technology can provide a supporting role. The goal of this report is to explore the possibilities of using ITS to enhance the traffic safety on highways.

The following **methodology** is applied: first an analysis of statistics regarding highway accidents is performed. Then it is researched which ITS applications could have a positive impact on the safety on highways. Then it is determined which of those applications has the highest impact. Then a few technical aspects are discussed, followed by an overview of the most important relevant national and international research projects. Finally a social- and technical-economical evaluation is executed, aiming to give a complete and realistic cost overview.

The **analysis of accident statistics on highways** is useful to interpret traffic safety and to evaluate the most efficient IST techniques. In 2007, accidents on highways were responsible for 14% of the total number of fatal traffic victims, and 17% of the total severely wounded. These numbers indicate that the highway, despite the limited number of conflict points, is responsible for a significant number of the traffic unsafety, and that making highways safer should be an important part of the measures to enhance traffic safety.

Traffic safety on highways is still not following the general descending or stagnating trend in general traffic. From 2004 forwards, the number of fatal and severely wounded victims on highways is continuously rising. Most of these accidents occur during intense traffic (morning and evening rush hour).

When classifying the accidents that occur between drivers, then the rear-end collision is most common: about 1/3 of all injuries. Chain collisions are rather limited, but have a larger impact regarding damage of the involved vehicles; the effect on traffic flow is also significant. For one-sided accidents, collisions with obstacles beside the road are most important: between 1991-2007 this varied between 39% en 45% of all injuries. When focusing on the condition of the road surface, the number of accidents in dry conditions is higher than in wet conditions.

From this analysis it can be concluded that traffic safety on highways can be enhanced when combining different measures. Besides applying ITS techniques, designing forgiving roads is a *conditio sine qua non*. Other elements such as enforcement, education and the engagement of all actors to contribute to traffic safety are not involved in this analysis, but obviously also determine the degree of safety.

A large number of **ITS applications** exist, which can be classified in several ways. In this report we will apply the classification based on technical operation. This means that we distinguish applications which have no interaction with data sources outside the vehicle, the so called *autonomous applications*, applications based on roadside systems where there is no interaction with data coming from individual vehicles, the *autonomous roadside applications*, and finally the applications where there is interaction between individual vehicles and other sources of data such as other vehicles, roadside infrastructure and internet services, the so called *cooperative applications*. This report gives an overview of the most important applications in each category.

Within the autonomous applications, these are: *Electronic Stability Control, Emergency Brake Assist, Intelligent Speed Adaptation, Adaptive Headlights, Obstacle and collision warning, Autonomous Braking Systems, Lane Departure Warning System, Lane Changing Assistance, Fatigue Warning System* and the *Alcohol Lock*.

For the autonomous roadside applications, these applications are most important: *DRIP (Dynamic Route Information Panels) en GRIP (Grafic Route Information Panels), Real-Time Traffic Information (RTTI) and Floating Car Data*.

Within the cooperative category the following applications matter most: *Emergency Call (eCall), Breakdown Call, Floating Car Data, cooperative Real-Time Traffic Information (RTTI), Road Charging, Collision hazard warning, Road conditions information, Map updates, Dynamic Traffic Management* and *en Recreative internet access*.

An **impact analysis** of all these applications indicates that only a handful of this large number of applications has a large potential to enhance traffic safety. Introducing these applications should therefore be prioritized:

- Electronic Stability Control: reduction of fatal and severely wounded with 15%.
- Emergency Brake Assist: reduction of fatal and severely wounded with 17%.
- Collision warning & avoidance: reduction of severely wounded with 16%.
- Intelligent Speed Adaptation: reduction severely wounded 11%, fatalities 17%.
- Advanced Adaptive Cruise Control: reduction of serverly wounded 11% (but only on highways such a high effect, for all roads this is just 2%)
- Alcohol lock: reduction of fatalities with 6%, severely wounded 3%. If the target group can be selected specifically, then the effect is much higher.

On the **technological field**, communication technology is one of the pillars of future cooperative ITS systems. In previous policy research centre reports in this work package, technical characteristics of de different available communication technologies were already presented in detail, and theoretical properties such as available bandwidth were defined. In reality however, there is a deviation between those values and realistic values. Based on analysis and literature study, those realistic values are determined in this report for the following technologies: CEN DSRC, CALM M5, CALM IR, GPRS, UMTS, WiMAX, LTE, DAB and DVB.

To support applications based on local communication, more is needed then the base technology, all vehicles and roadside infrastructure should also form one local wireless network, a Vehicular Ad-Hoc Network (VANET). A known but open problem in this domain is the scalability problem. During high vehicle densities, the stringent requirements regarding delay and reliability cannot be fulfilled. This is a crucial problem for cooperative safety applications, and should be further researched.

Test environments are crucial. Different simulators are applied: three-dimensional driving simulators, network simulators and vehicle simulators. These tools are all easy accessible for the research community. Small scale test setups enable both testing of specific components and testing of entire applications, both in a laboratory setup and in real vehicles. These kind of setups are also quite common in current ITS research. Large scale test setup enable the same kind of tests, but on a large scale in a controlled environment. This form of test setups is still quite rare. It is recommended to adapt existing generic wireless test environments (such as the IBBT iLab.t Wireless Lab) to support these ITS tests. Field Operational Tests (FOT) are environments where applications are installed temporarily in the actual own vehicles of a large number of test users. On this moment the number of FOTs is limited, but under the impulse of Europe this will change in the very near future.

Regarding the number of **relevant research projects** we can remark that this is quite limited on a national level. The IBBT Next Generation ITS project (that finished in March 2010) is the only important example. On a European level on the other hand, huge efforts have been undertaken during the last years. Within the 6th European framework programme, a large number of projects have been executed, last of them finished mid-2010. The most important examples are: Intelligent Car Initiative, eSafety Forum, COMeSafety, Car 2 Car Consortium, GST, CVIS, Safespot, COOPERS, SEVECOM, eIMPACT, Feedmap, PReVENT, TRACE en AIDE. A large number of 7th framework projects is currently active, the most important ones are: FESTA, FOT-Net, euroFOT, TELEFOT, SIM-TD, GEONET, iTETRIS, PRE-DRIVE C2X en ROSATTE. From December 2009 until April 2010, a new call for projects was organized with the 7th framework programme, with a focus on executing FOTs and further developing ITS technology. These new projects will start in January 2011.

Effectively rolling out a complete ITS ecosystem enabling cooperative applications is not simple. A **social- and technical-economical** analysis provides new insights in the practical side of deployment. From the social-economical study it turns out that different individuals, companies and groupings are involved or influenced by the launch of an ITS. To turn this launch into a success, the different actors should interact in an appropriate way, if not their individual needs and demands could conflict. The network and the interactions can be divided using the PEST model: political, economical, social and technical aspects. A discussion of the most important stakeholders and interactions is given in the report: the producers, the users, interaction and economical factors, adoption of the system, and the government. Within the technical-economical analysis a cost model is essential. This was specifically constructed for this policy research. A first important aspect is the definition of the scenario: applied phases, capacity, applications and communication technology. Other important aspects are the capacity question, determination of the network, cost overview and cost modeling. The results of the cost model indicate that the most important cost driver is the on board unit (70% of total costs). Another important cost driver is CRM, or Client Relationship Management (18% of total costs). All other elements are far less important, never going over 3% of total costs. Based on this cost model, a number of cash flow simulations can be made to define a valid business case. In positive circumstances, a suitable subscription fee is 150 euro per vehicle per year. Regarding existing research, this is just within limits of what end users perceive as a reasonable price for ITS. In less positive circumstances, the price becomes 300 euro per vehicle per year. This is a bit higher then with current available commercial telematics systems that offer less functionality (eCall, breakdown call, stolen vehicle tracking) then in the envisaged scenario. Therefore the price seems to be just acceptable.

From all previous results, a number of **policy recommendations** can be derived. On a **short term**, the government can perform some minimal effort actions to gain a maximum result:

- Put the European directive regarding the obligation of Electronic Stability Control and Emergency Brake Assist in practice on a national level.
- Further support the road traffic signs database and stimulate ISA systems with sensibilisation campaigns or fiscal measures.
- Systematically introduce alcohol locks as a penalty for repeating drunk drivers.
- Stimulate further research regarding cooperative forms of collision warning & avoidance systems, in line with the European efforts. Points of attention are the scalability problem in Vehicular Ad-Hoc networks, application design and

validation, business modeling and the setup of large scale testbeds and Field Operational Tests.

On a **long term**, the role of the government can be determined as follows:

- It is required that the government places ITS on the agenda and gets all stakeholders on a single line. The government should not only practically observe ITS rollout, but should also support it over a long period, and sell it to all involved parties. Special attention should be given to the end users. A possible tool for this coordinating role could be the establishment of a platform for mutual communication.
- A pricing model is required that determines how end users will contribute to the system. Without a doubt they will pay the most important costs, either directly or indirectly. It is useful to evaluate with them and producers if this should be done using a subscription, a one-time purchase or both.
- The cost of the OBU is very significant. This should be kept in mind men looking for cost optimizations. International cooperation can prove to be useful (economies of scale principle).
- An international standardization and certification procedure is required, both on the field of hard- and software, as on the elementary processes based on them.
- A European approach seems very appropriate.
- The legal framework for ITS has to be established. Responsibility and reliability of the different parties has to be defined, and abuse has to be taken into account. Privacy of users should be guaranteed at all time.
- Practical organization is considerable. A number of tasks and responsibilities cannot be directly assigned, and could require the establishment of new companies. Good planning and timing is essential. The government is placed in a unique position to coordinate this. A private public partnership (PPP) seems a suitable organization form.
- The government will have to determine how it wants to intermediate cost allocation: is there a need for regulations, taxes, or subsidies? To accelerate the launch and remove doubts of some actors, direct investments into the project also are a possibility.
- The adoption can be one of the core problems during launch. When it is too slow, it can lead to an unsuccessful launch. When it is too fast, it can lead to very high initial investment costs. Further market research is required to be able to define measures to control adoption.

Inhoudsopgave

1.	INLEIDING	16
2.	ONGEVALSTATISTIEKEN AUTOSNELWEGEN.....	17
2.1	Algemene statistieken	17
2.2	Evolutie ongevallen op autosnelwegen	20
	2.2.1 Algemene analyse en vergelijking met ongevallen op alle wegen.....	20
	2.2.2 Specifieke analyse ongevallen op autosnelwegen	22
2.3	Besluit	34
3.	OVERZICHT APPLICATIES	35
3.1	Autonome voertuigapplicaties	37
	3.1.1 ESC (Electronic Stability Control)- Electronic Stability Program (ESP) .	38
	3.1.2 EBA (Emergency Brake Assist).....	39
	3.1.3 ISA (Intelligent Speed Adaptation)/Speed Alert	39
	3.1.4 Adaptive headlights.....	40
	3.1.5 Obstacle and collision warning	40
	3.1.6 Autonomous Braking Systems	42
	3.1.7 Lane Departure Warning System (Lane keeping assistant) (LDWS).....	42
	3.1.8 Lane changing assistance / blind spot monitoring.....	43
	3.1.9 Fatigue Warning System (of Distraction Warning System)	44
	3.1.10 Alcohol detection and Interlock.....	44
3.2	Autonome wegkantapplicaties	45
	3.2.1 DRIP (Dynamische Route Informatiepanelen) en GRIP (Grafische Route Informatiepanelen)	45
	3.2.2 Real-time verkeersinformatie (RTTI).....	46
	3.2.3 Floating Car Data	46
3.3	Coöperatieve applicaties	47
	3.3.1 eCall (emergency call)	47
	3.3.2 Breakdown call	47
	3.3.3 Floating car data	48
	3.3.4 Real-Time verkeersinformatie (RTTI).....	48
	3.3.5 Kilometerheffing	48
	3.3.6 Collision hazard warning	49
	3.3.7 Road conditions information	51
	3.3.8 Map updates.....	52
	3.3.9 Dynamic traffic management.....	52
	3.3.10 Recreatieve internet toegang.....	52
	3.3.11 Technische parameters coöperatieve applicaties	53

4.	IMPACT ANALYSE BELANGRIJKSTE APPLICATIES	61
4.1	Overzicht bestaand onderzoek	61
4.2	Gedetailleerde beoordeling van Intelligent Transport Systems (TRACE)	63
	4.2.1 <i>Inleiding</i>	63
	4.2.2 <i>Beschrijving effect ITS-toepassingen en gebruikte methoden</i>	64
	4.2.3 <i>Resultaten van de efficiëntiemeting</i>	66
4.3	Besluit	72
5.	ONDERSTEUNENDE TECHNOLOGIEËN	75
5.1	Communicatie technologie	75
	5.1.1 <i>Lokale communicatie technologie</i>	76
	5.1.2 <i>Cellulaire communicatie</i>	77
	5.1.3 <i>Broadcasting communicatie</i>	78
5.2	Vehicular Ad-Hoc Networks	81
5.3	Testomgevingen	82
6.	RELEVANTE ONDERZOEKSPROJECTEN.....	85
7.	SOCIO- EN TECHNO-ECONOMISCHE EVALUATIE	88
7.1	Socio-economische analyse	89
	7.1.1 <i>Producenten</i>	90
	7.1.2 <i>Gebruikers</i>	93
	7.1.3 <i>Interactie en economische factoren</i>	95
	7.1.4 <i>Adoptie van het systeem</i>	96
	7.1.5 <i>De overheid</i>	97
7.2	Techno-economische analyse	99
	7.2.1 <i>Kostenmodel</i>	99
	7.2.2 <i>Resultaten van het kostenmodel</i>	110
	7.2.3 <i>Baten</i>	117
	7.2.4 <i>Een geldige business case?</i>	119
7.3	De rol van de overheid	122
8.	CONCLUSIES EN BELEIDSAANBEVELINGEN	124
9.	LITERATUURLIJST	126
10.	BIJLAGEN	134

Verklarende Woordenlijst

3G	Third Generation
AACN	Advanced Automatic Crash Notification
ABS	Anti-lock Brakes
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route
AFS	Active Front Steering
AIFSN	Arbitration Interframe Space
AIS	Abbreviated Injury Scale
AL	Alcohol Lock
AODV	Ad hoc On Demand Distance Vector Routing
ARP	Active Rollover Protection
ASR	Anti-slip regulation
AVI	Automatic Vehicle Identification
BA	Burgerrechtelijke Aansprakelijkheid
BIVV	Belgisch Instituut voor Verkeersveiligheid
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CALM	Continuous Air-interface Long and Medium range
CAN	Controller Area Network
CEN	Comité Européen de Normalisation
CLI	Calling Line Identification
CPU	Central Processing Unit
CRM	Client relationship management
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
Cwmax	Maximum Contention Window
Cwmin	Minimum Contention Window
DAB	Digital Audio Broadcast
DRIP	Dynamische Route Informatiepanelen
DSRC	Dedicated Short Range Communication
DVB	Digital Video Broadcast
EBA	Emergency Brake Assist
eCall	Emergency Call
ECC	Error Correction Code
EDA	Enhanced Driver Awareness
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EES	Equivalent Energy Speed
EPS	Electric Power Steering
ESC	Electronic Stability Control
ESP	Electronic Stability Program
ETSI	European Telecommunications Standards Institute

EVI	Electronic Vehicle Identification
FCD	Floating Car Data
FEC	Forward Error Correction
FIC	Fast Information Channel
FIDC	Fast Information Data Channel
FOT	Field Operational Test
FTE	Full Time Equivalent
GPRS	General Packet Radio Service
GRIP	Grafische Route Informatiepanelen
HD	High Definition
HMI	Human Machine Interface
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
IBBT	Interdisciplinair Instituut voor Breedband Technologie
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPDC	Internet Protocol Data Channel
IPv6	Internet Protocol version 6
IR	Infrared
ISA	Intelligent Speed Adaptation
ITS	Intelligent Transport Systems
LAN	Local Area Network
Lavia	Limiteur s'Adaptant à la Vitesse Autorisée
LCA	Lane Change Assistant
LDP	Lane Departure Prevention
LDWS	Lane Departure Warning System
LKAS	Lane Keep Assist System
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Layer
MCI	Multiplex Configuration Information
MPEG	Motion Picture Experts Group
MSC	Main Service Channel
MSD	Minimal Set of Data
NPC	Net Present Cost
NPV	Net Present Value
NS-2	Network Simulator 2
OBU	On Board Unit
PAR	Project Authorization Request
PBA	Predictive Brake Assist
PEST	Politiek, economisch, sociaal, technisch
PND	Personal Navigation Device
PoI	Point of Interest
PPP	Private Public Partnership
PSAP	Public Safety Answering Point
QAM	Quadrature amplitude modulation
RDS	Radio Data System

RSU	Road Side Unit
RTTI	Real-time Traffic and Travvel Information
SD	Standard Definition
SFN	Single Frequency Network
SI	Service Information
STEP	Sociaal, Technisch, Economisch, Politiek
SWOV	Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
TCS	Traction Control System
TDMA	Time Division Multiple Access
TMC	Traffic Message Channel
TR	Technical Report
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
US DoD	United States Department of Defence
V2I	Vehicle to infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VANET	Vehicular Ad Hoc Network
VDA	Duitse Verband der Automobieliindustrie
VMS	Variable Message Sign
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

1. INLEIDING

Lapidair kan men stellen dat het verhogen van de veiligheid op autosnelwegen eenvoudiger te bereiken is dan op andere wegen. Immers het aantal mogelijke conflictpunten op autosnelwegen is beperkter dan op klassieke wegen (Aarts & Van Schagen, 2006; Taylor et al., 2000; Kloeden et al., 1997). In principe zijn op autosnelwegen geen ongevallen met tegenliggers, geen kruispunten en zijn de snelheidsverschillen beperkt.

Het beheersen van de conflicten op autosnelwegen kan goed omschreven worden. In een aantal gevallen kan techniek hierbij een ondersteunende rol vervullen. Het doel van dit rapport is om de mogelijkheden van ITS tot het verhogen van de verkeersveiligheid op autosnelwegen, te verkennen.

De volgende werkwijze zal hiervoor gevolgd worden: eerst zal een analyse van ongevalstatistieken op autosnelwegen uitgevoerd worden met als doel het bekomen van een diepgaander inzicht in de problematiek. Dan zal onderzocht worden welke in de literatuur gekende ITS toepassingen zouden kunnen bijdragen tot een verhoging van de verkeersveiligheid op autosnelwegen. Daarna zal bestudeerd worden welke van deze toepassingen nu de grootste positieve impact kunnen hebben. Daarna zal een overzicht gegeven worden van een aantal technische aspecten die deze applicaties ondersteunen, gevolgd door een overzicht van de meest belangrijke nationale en internationale onderzoeksprojecten waarin zowel deze technologie als de applicaties worden onderzocht. Tenslotte zal er een socio- en techno-economische evaluatie van een mogelijk toekomstig ITS ecosysteem worden uitgevoerd, met als doel het in kaart brengen van een volledig en realistisch kostenplaatje.

2. ONGEVALSTATISTIEKEN AUTOSNELWEGEN

2.1 Algemene statistieken

Om de verkeersonveiligheid te meten, wordt doorgaans het aantal verkeersongevallen c.q. verkeersslachtoffers genomen. De veiligheid op de weg kan het beste worden weergegeven door een analyse van deze verschillende elementen uit te voeren.

Het risico dat men in het verkeer loopt, kan een grondiger resultaat geven omdat het evident is dat, hoe vaker men in het verkeer komt, hoe meer men betrokken kan zijn bij ongevallen. De onderliggende verkeersveiligheid kan naargelang de gebruikte modi het risico voor die verkeersdeelnemers beter in beeld brengen.

Het in beeld brengen van het risico zou aanvullend met de analyse van de ongevallen en de verkeersslachtoffers, een vollediger inzicht kunnen geven in de ongevalsevolutie. Men kan op deze wijze de verschillen in afgelegde mobiliteit en soort mobiliteit uit de slachtofferaantallen filteren.

Evidente vaststelling is dat het aantal voertuigen in België blijft stijgen: tussen 1997 en 2009 steeg het voertuigenpark met 23 % terwijl het in vergelijking met 1977 quasi verdubbelde (Tabel 1).

	1977	1987	1997	2007	2009	Evolutie 2009/2007	Evolutie 2009/1997
Totale voertuigenpark	3.315.071	4.158.127	5.340.996	6.362.161	6.574.789	3,30%	23,10%

Tabel 1: Grootte voertuigenpark (bron: De Belgen en hun wagens, Algemene Directie Statistiek en Economische informatie)

In vergelijking met 1991 nam het wegennet met 9,5 % toe; voor autosnelwegen is de stijging voor dezelfde periode 5,8 % (

Tabel 2).

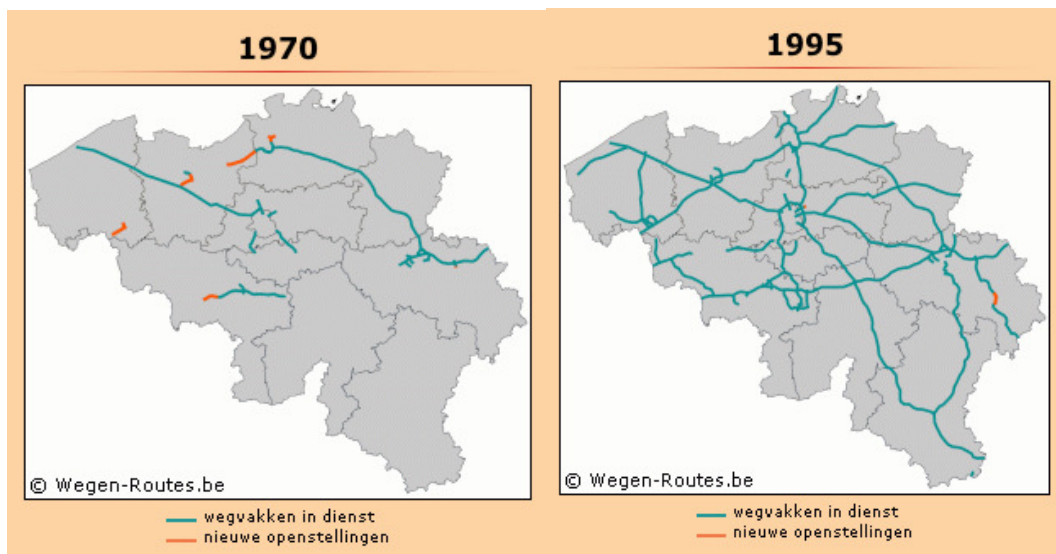
	1991	1996	2001	2006	2008	Evolutie 2008- 1991
Autosnelwegen	1666	1674	1727	1763	1763	5,80%
Gewestwegen	13.115	12.600	12.600	12.585	12.613	-3,80%
Provinciewegen	1360	1326	1349	1349	1349	-0,80%
Gemeentewegen	124100	128500	132540	136559	137870	11,1 %
- verhard	97.100	100.600	100.240	103.380	104.390	7,5 %
- onverhard	27.000	27.900	32.300	33.179	33.480	24,0 %
Alle wegen	140241	144100	148216	152256	153595	9,50%

Tabel 2: Lengte van het wegennet in km (bron: De Belgen en hun wagens, Algemene Directie Statistiek en Economische Informatie)

Met het aantal voertuigen nam ook het aantal afgelegde km van de voertuigen toe (Tabel 3). Voor alle wegen steeg dit van 2000 tot 2008 met 8,6 % terwijl dit in een periode van bijna veertig jaar met 233,1 % toenam. Voor autosnelwegen was deze toename nog veel groter. Tussen 2000 en 2008 steeg het aantal afgelegde km op autosnelwegen met 16,7 % terwijl tussen 1970 en 2008 het aantal afgelegde km met 1360,2 % toenam. Dit laatste is nauwelijks verwonderlijk omdat vooral in de periode 1965-1973 de voornaamste autosnelwegen werden ontworpen. Op het einde van 1972 werden de belangrijkste steden in België met elkaar verbonden door vijf grote verbindingssassen. (E3 → nu E17 en E34, E40, E19, E42 en E314). Na deze periode volgde nog heel wat bijkomende autosnelwegen, ringwegen en stedelijke autosnelwegen. In Figuur 1 wordt de evolutie (1970-1995) op een aanschouwelijke manier duidelijk.

	1970	1990	2000	2005	2008	evolutie 2008/2000	Evolutie 2008/1970
Autosnelwegen	2,44	20,97	30,53	33,09	35,63	16,70%	1360,20%
Gewest- en Provinciewegen	17,24	31,5	38,64	40,07	39,93	3,30%	131,6%
Gemeentewegen	9,68	17,8	20,86	21,78	22,21	6,50%	129,40%
Alle wegen	29,35	70,28	90,04	94,94	97,77	8,60%	233,1

Tabel 3: Afgelegde afstanden (in miljard voertuigen-km, bron: De Belgen en hun wagens, Algemene Directie Statistiek en Economische informatie)



Figuur 1: autosnelwegennet (bron: wegen-routes.be)

Vermits een risico en blootstelling analyse een specifiek onderzoek vergt dat boven de doelstelling van dit rapport uitstijgt, wordt hierbij enkel een beschrijving gegeven van ongevallen op autosnelwegen voor zover ze binnen de doelstellingen van dit rapport –een verhoging van veiligheid op autosnelwegen via ITS- informatie kunnen bevatten.

Voor de risico en blootstelling verwijzen we naar de doctoraatsverhandeling van F. Van den Bossche (2006).

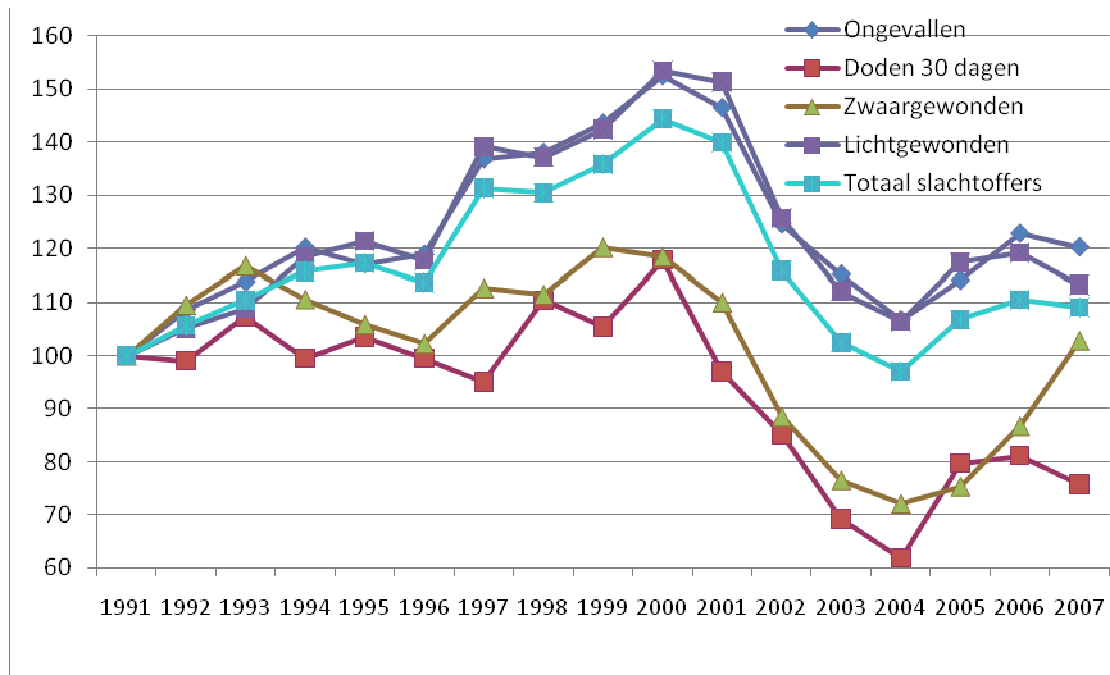
2.2 Evolutie ongevallen op autosnelwegen

2.2.1 Algemene analyse en vergelijking met ongevallen op alle wegen

Volgens Casteels (2009) waren in 2007 ongevallen op autosnelwegen verantwoordelijk voor 14% van het totaal aantal dodelijke verkeersslachtoffers, en 17% van het totaal aantal zwaargewonden. Deze cijfers tonen aan dat de autosnelweg, ondanks zijn beperkt aantal conflictpunten, verantwoordelijk is voor een significant aandeel van de verkeersonveiligheid, en dat het beveiligen van autosnelwegen een belangrijk gewicht zou moeten krijgen bij het bepalen van maatregelen ter verhoging van de verkeersveiligheid.

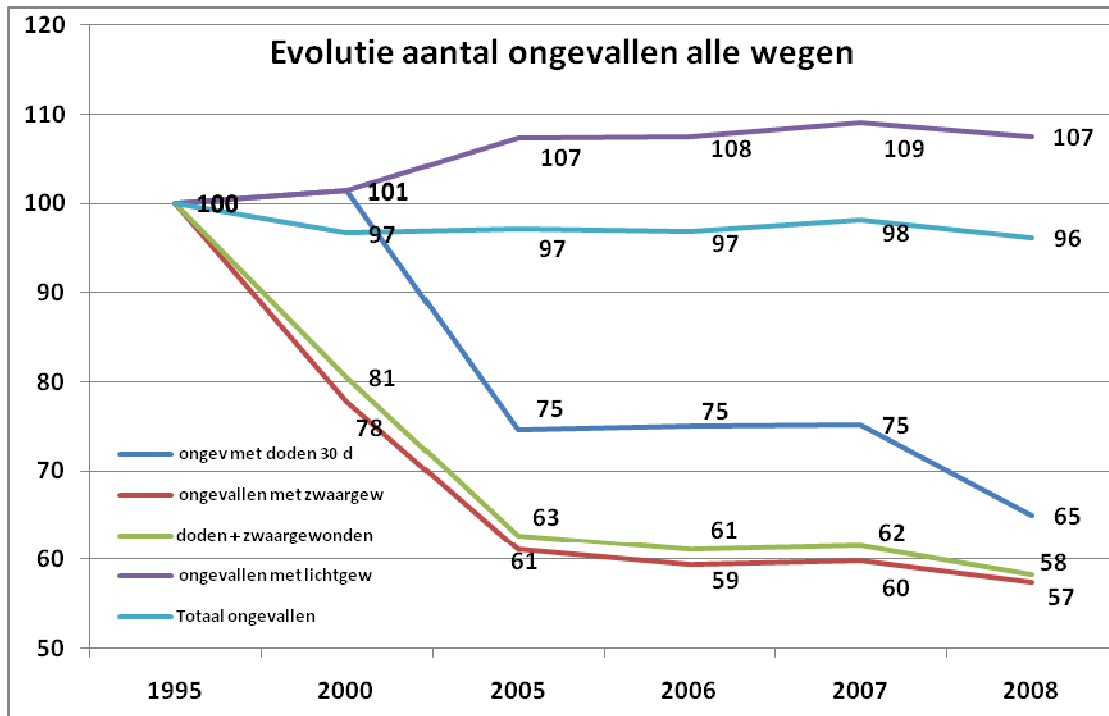
Het aantal ongevallen op autosnelwegen nam tot 2000 sterk toe: tegenover 1991 steeg dit met 53 %. Het jaar 2000 is zowel voor doden, lichtgewonden als het totaal aantal slachtoffers een triest hoogtepunt in verkeersonveiligheid op autosnelwegen. Enkel voor zwaargewonden ligt het hoogste cijfer in 1999; dit moet vermoedelijk samen gelezen worden met de daling van de doden 30 dagen.

Men kan vaststellen dat het aantal ongevallen op autosnelwegen na een merkwaardige daling vanaf 2000, terug vanaf 2004 toeneemt. Voor 2007 is er een toename met 20 % tegenover 1991.



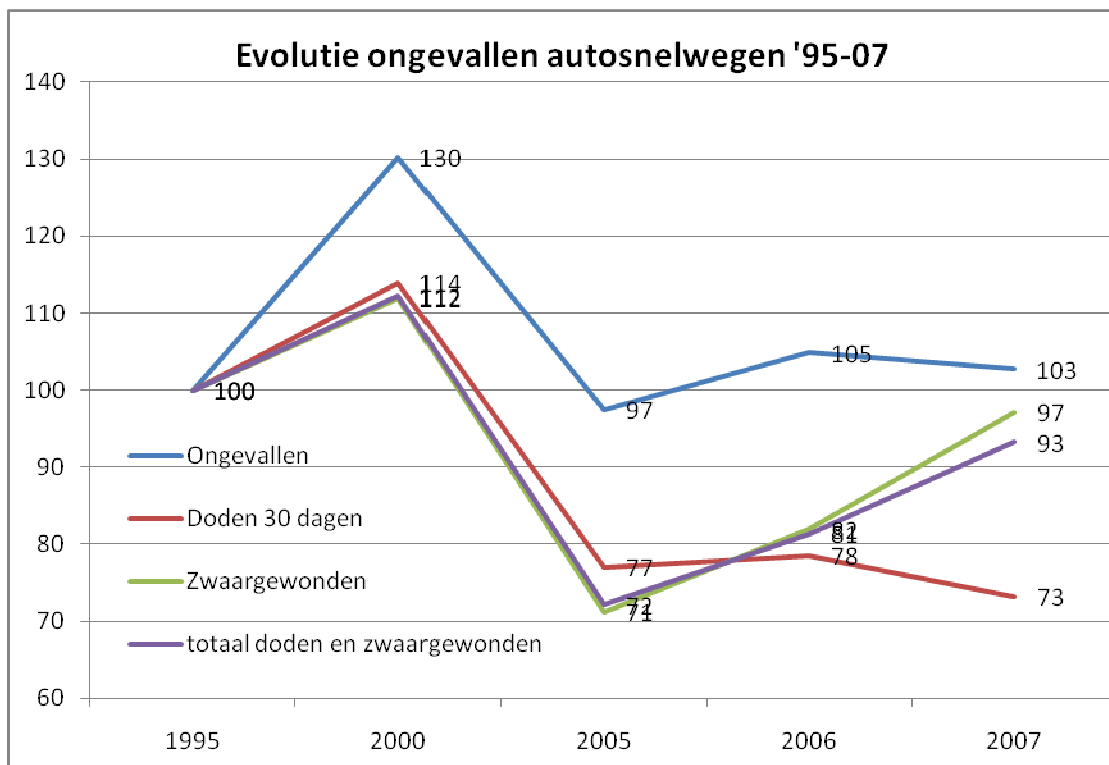
Grafiek 1: Evolutie verkeersonveiligheid op autosnelwegen

Autosnelwegen bieden schijnbaar een grotere onveiligheid. Uit een vergelijking van de evolutie van de verkeersongevallen ongeacht het soort weg (grafiek 2), blijkt dat voor alle ongevallen men sinds 1995 steeds een lichte daling kent. De ongevallen op autosnelwegen kennen een heel wat grilliger verloop (grafiek 3).



Grafiek 2: Evolutie aantal ongevallen op alle wegen (basisinfo FOD Economie Statistiek)

Wanneer men de evolutie van ongevallen onderzoekt dan blijkt dat het aantal ongevallen op autosnelwegen nog hoger te liggen dan in '95 terwijl voor de ongevallen op alle wegen de daling (licht) zich quasi steeds doorzet.



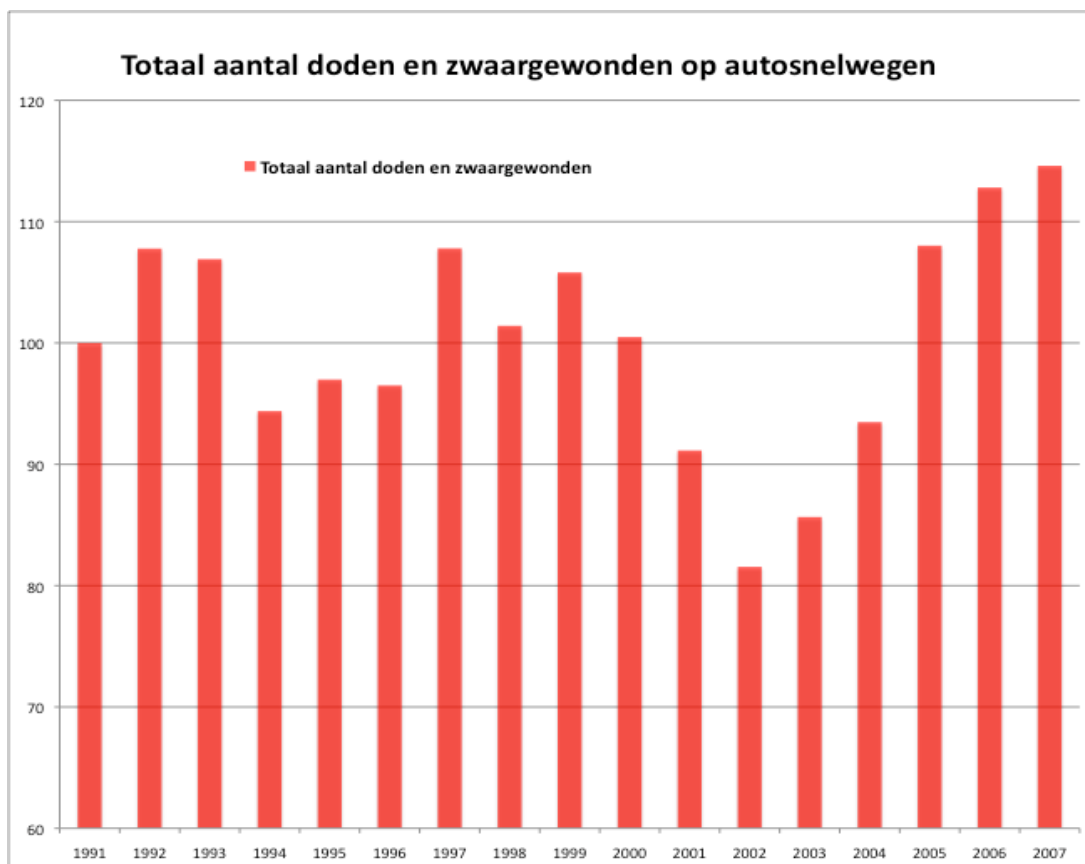
Grafiek 3: Evolutie ongevallen op autosnelwegen (basisinfo BIVV)

Wanneer men het aantal doden en zwaargewonden samenvoegt, blijkt dat vanaf 2004 de ongevalcijfers terug in stijgende lijn gaan.

Voor een beter begrip van de evolutie van de verkeersonveiligheid op autosnelwegen, is het analyseren van de evolutie van de groep doden samen met de zwaargewonden erg nuttig. Op deze wijze vangt men de jaarlijkse verschillen die in 2004 en 2007 uitgesproken zijn, op.

Het totaal aantal doden en zwaargewonden op alle wegen heeft bijna steeds een dalende tendens terwijl dit voor de autosnelwegen vanaf 2005 terug een stijging kent. Met index 115 (2007 gewogen cijfers) staat dit veraf van de daling op alle wegen (index 58).

Bij analyse van de evolutie doden en zwaargewonden over een langere periode (1991-2007) stelt men vast dat dit vanaf 2000 stelselmatig daalt. Vanaf 2005 stelt men echter terug een stijging vast waardoor men bijna terug zit op het peil van 1991.



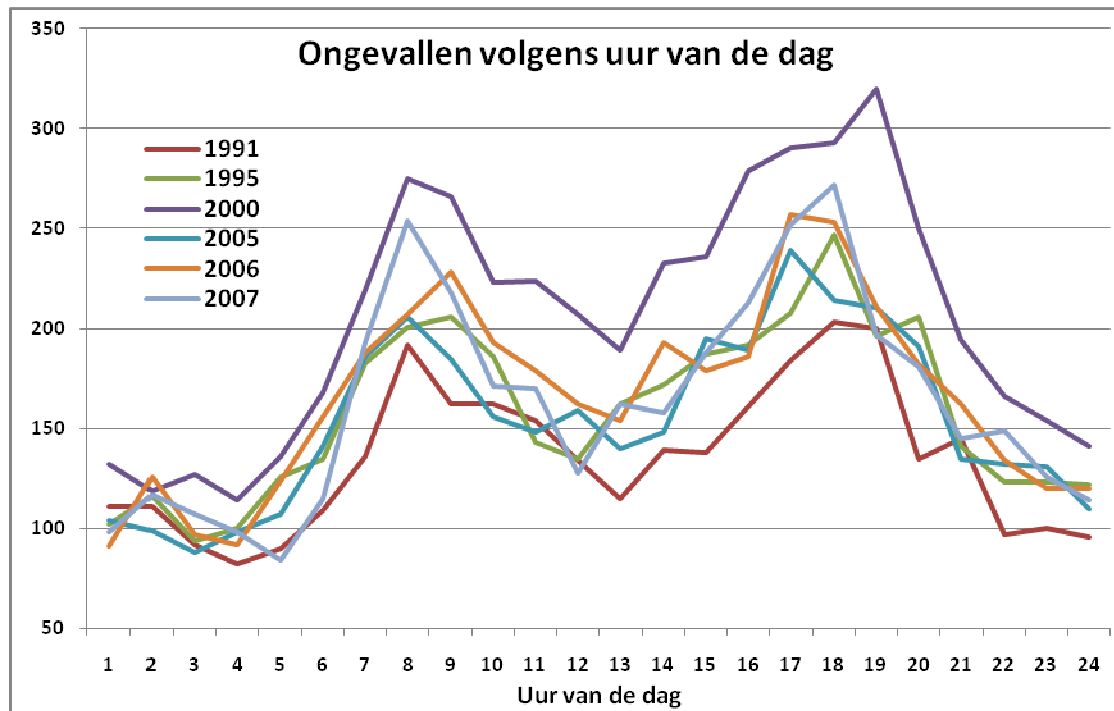
Grafiek 4: Evolutie doden/zwaargewonden op autosnelwegen (basisinfo BIVV)

2.2.2 Specifieke analyse ongevallen op autosnelwegen

a. Analyse ongevallen naar tijdstip

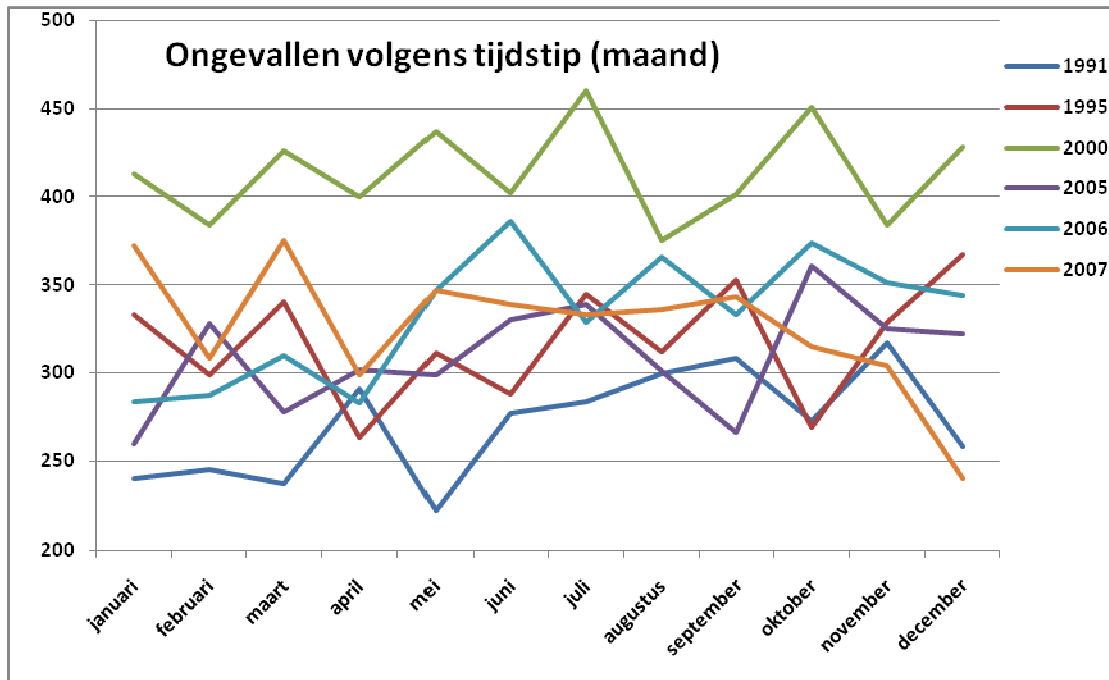
Bij analyse van de ongevallen volgens het tijdstip (Grafiek 5) –ongeacht de maand en de dag- waarop het gebeurde, valt op dat ongevallen zich vooral concentreren 6.30 – 7.30 en 17.30-19.00 uur. Dit duidt erop dat de meeste ongevallen in de morgen- en avondspits gebeuren; dit heeft dan op zijn beurt te maken met een aantal andere factoren: aantal voertuigen, gedrag, ... Daarenboven is de avondspits onveiligere dan de morgenspits.

Men kan tevens opmerken dat uurpieken in zowel de morgen- en avondspits doorheen de jaren nogal durven verschillen. Voor de jaren '91, 2000, 2005 en 2007 situeert dit zich rond 8.00 uur; in '95 en 2006 is dit rond 9.00 uur. Voor de avondspits is dit minder uitgesproken en is er een grotere spreiding van de pieken over de jaren.



Grafiek 5: Aantal ongevallen volgens tijdstip (uur van de dag) op autosnelwegen (basisbron: BIVV)

Een analyse op basis van de maand (Grafiek 6) waarin het ongeval gebeurt, levert geen eenduidig beeld; het grillig patroon laat dit niet toe. Vermoedelijk –ongeacht het soort weggebruiker, type aanrijding, omstandigheden (wegdek, weersomstandigheden), ...- is het effect erg beperkt en spelen andere factoren een meer bepalende rol.



Grafiek 6: ongevallen volgens tijdstip (maand) op autosnelwegen (basisgegevens BIVV)

b. Analyse ongevallen naar modi

De cijfers over de betrokkenheid in een letselongeval volgens modi (Grafiek 7) verdienen een belangrijke kanttekening: het totaal aantal van voertuigen betrokken in een letselongeval, is uiteraard veel hoger dan het aantal letselongevallen. Immers bij letselongevallen kunnen meerdere voertuigen betrokken zijn waardoor deze telkens voor elke modi voorkomen in deze cijfers.

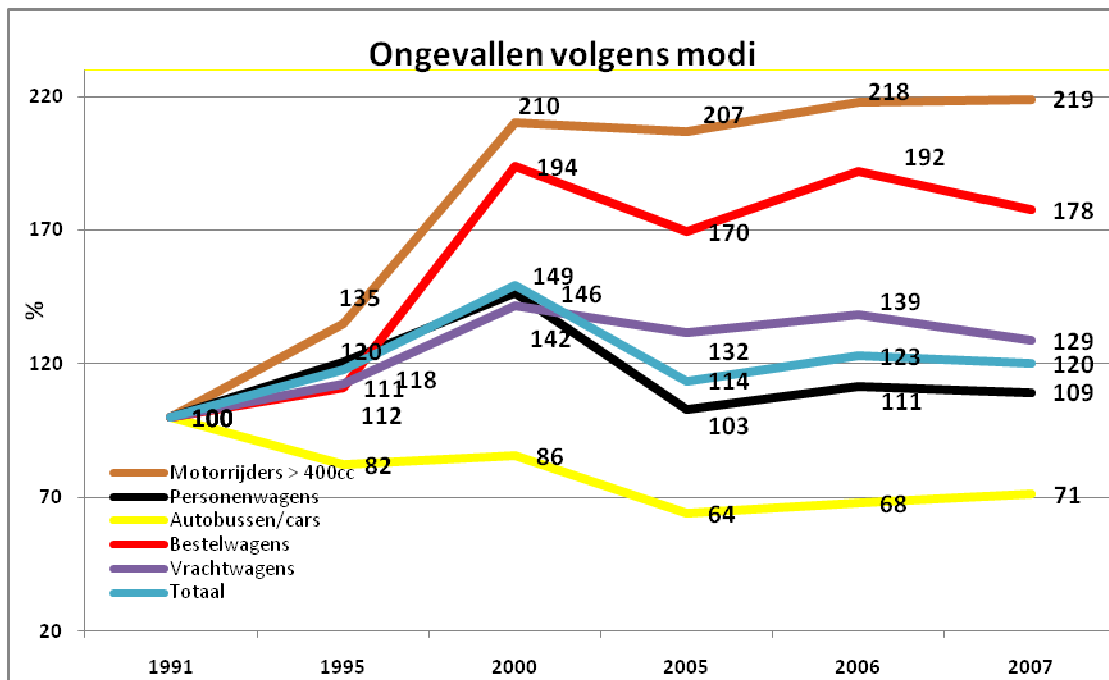
Wanneer men de evolutie in de tijd beschouwt, presteren personenwagens samen met autobussen/cars (absolute cijfer 2007: 20) het best op het vlak van verkeersveiligheid op autosnelwegen. Het aandeel van de personenwagens is in 2007 weliswaar nog steeds 65 % van het totaal aantal letselongevallen maar in 1991 was dit 71 %.

De toename van het aantal motorongevallen (absolute cijfer 2007: 195) –hier beperkt tot > 400 cc- is het sterkst tussen 1991 en 2000. Daarna is de toename eerder beperkt maar blijft op een hoog peil staan. Voeg hierbij dat de overlevingskans voor motorrijders bij ongevallen op autosnelwegen, eerder laag wordt ingeschat.

Eveneens opmerkelijk zijn de erg hoge ongevalcijfers van de bestelwagens (absolute cijfer 2007: 638). Bestelwagens zijn bij honderd ongevallen 9 keer betrokken.

De onveiligheid (betrokkenheid van minstens één) van vrachtwagens (absolute cijfer 2007: 1070) neemt sinds 2000 af maar is gelet op de weerslag op het verkeer en files uiteraard erg belangrijk. Bij honderd ongevallen is er in 14 gevallen een vrachtwagen betrokken

Alhoewel personenwagens (absolute cijfer 2007: 4977) bij meer dan de helft (= 65 %) van de ongevallen op autosnelwegen (totaal ongevallen 2007: 7646¹) betrokken zijn, wordt in 2007 stilaan het laagste niveau (2005: index 103) benaderd.



Grafiek 7: Ongevallen volgens modi (basisgegevens BIVV)

De ongevallen met bestelwagens verdienen een speciale aandacht omdat niet alleen de betrokkenheid bij een ongeval hoog is maar ook de ernst en het aantal slachtoffers belangrijk is (De Mol et al., 2009).

In dit segment van lichte vrachtwagens –dat gemakshalve als bestelwagens wordt aangemerkt- is er een opmerkelijke stijging van alle letselongevallen waarbij minstens één bestelwagen is betrokken. De Grafiek 8 (zie ook bijlage: Evolutie van het aantal letselongevallen en van het aantal dodelijke letselongevallen waarbij minstens een lichte vrachtwagen (< 3,5t) is betrokken) toont aan in welke mate het ongevallenpatroon verschilt van de algemene tendens van minder ongevallen (alle voertuigen).

Wanneer men alle letselongevallen op het volledige wegennet bekijkt, is er een daling met 27 % terwijl de letselongevallen waarbij één bestelwagen betrokken is, stijgt met 21 %. Enkel voor dodelijke ongevallen op autosnelwegen is er een stijging noch daling bij de bestelwagens maar het aandeel van de bestelwagens in alle dodelijke ongevallen op autosnelwegen is wel toegenomen van 9,9 % (1991) naar 12,4 % (2007).

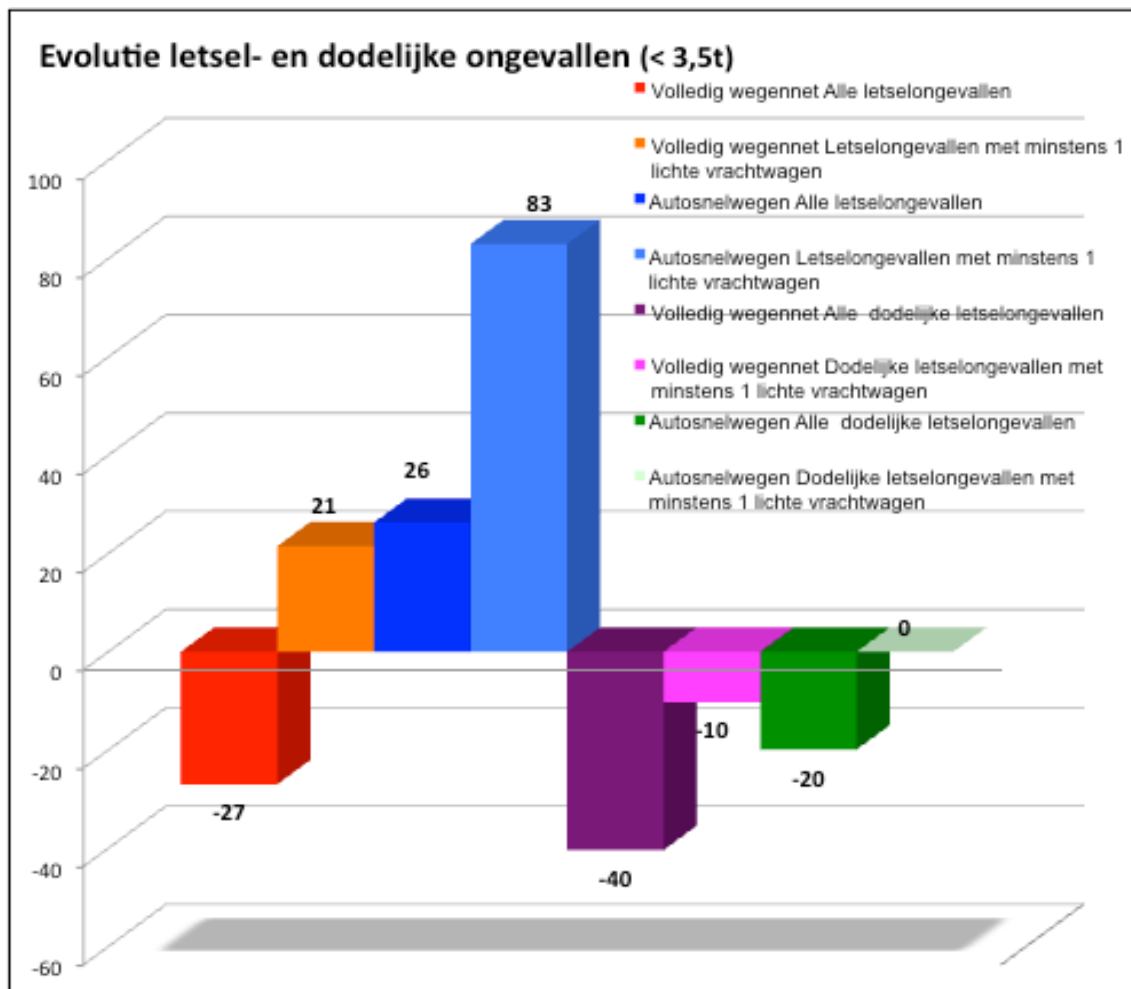
Voor de dodelijke ongevallen met bestelwagens op alle wegen wordt wel een daling van 10 % vastgesteld maar de globale daling van alle dodelijke ongevallen (alle weggebruikers) is met 40 %, vier keer hoger.

Het erg opmerkelijke verschil tussen de daling van alle letselongevallen –alle voertuigen- op autosnelwegen en de letselongevallen op autosnelwegen waarbij minstens een bestelwagen is betrokken, vergt specifieke aandacht.

¹ Dit cijfer is hoger dan het aantal letselongevallen omdat bij één ongeval verscheidene voertuigen kunnen betrokken worden. Het totaal geeft alle ongevallen voor elk voertuig weer.

Een stijging van alle letselgevallen op autosnelwegen met 26 % (alle voertuigen) tegenover een stijging met 83 % (betrokkenheid van minstens één bestelwagen) geeft overduidelijk aan dat bestelwagens een ernstig veiligheidsprobleem op autosnelwegen vormen.

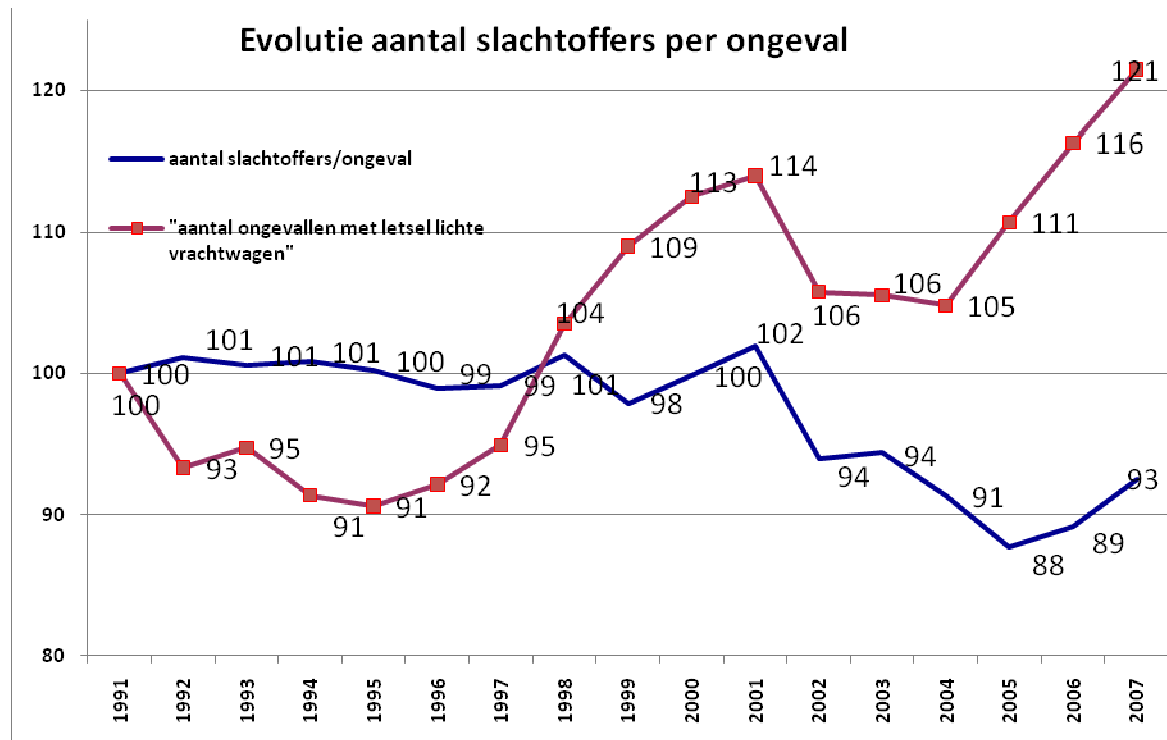
Ongevaloorzaken op autosnelwegen zijn beperkter dan op gewone wegen: geen gelijkgronds kruisend verkeer, geen tegenliggers. Ongevallen op autosnelwegen ontstaan als gevolg van ondermeer verandering van rijvak (+ in- en uitvoegen) en snelheidsverschil (zowel bij constante verkeersstroom als bij vertragend verkeer als gevolg van conflicten). Hierbij wordt abstractie gemaakt van hoe en door wie dit ongeval wordt veroorzaakt: verstrooidheid, vermoeidheid of verkeerd manoeuvre van de bestuurder of een ander bestuurder.



Grafiek 8: Vergelijking letsel- en dodelijke ongevallen van lichte vrachtwagen en alle modi (periode 1991-2007)

Zowel het aantal ongevallen met minstens één bestelwagen als het aantal slachtoffers per ongeval (minstens één bestelwagen) is sinds 1991 in stijgende lijn.

Het aantal ongevallen is met 40 %² gestegen terwijl het aantal slachtoffers per ongeval bijna het hoogste peil sinds 2003 heeft bereikt. In deze analyse is 1991 als index 100 aangeduid.



Grafiek 9: Evolutie aantal slachtoffers per ongeval lichte vrachtwagen

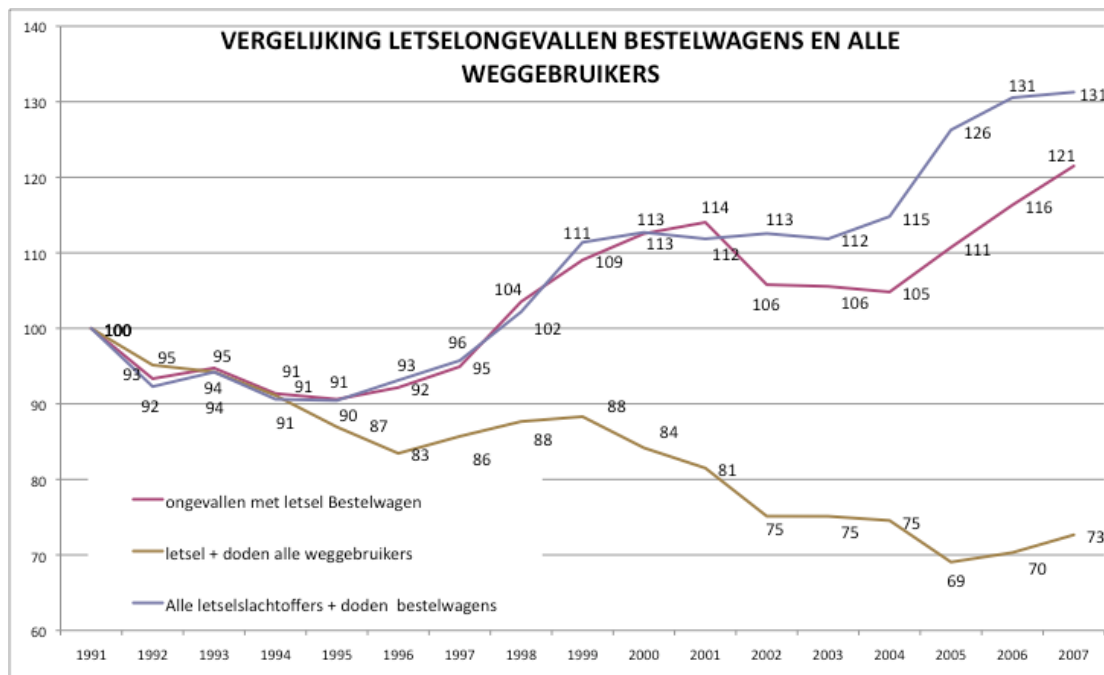
Bij vergelijking van alle letselongevallen van bestelwagens met de letselongevallen alle weggebruikers, stelt men vast dat de trend van de bestelwagens sterk afwijkt van de dalende trend van onveiligheid voor alle weggebruikers. Het is tevens opvallend dat het aantal slachtoffers (letsel + doden) waarbij minstens één bestelwagen is betrokken steeds maar verhoogt (in 2007 index 131).

In Grafiek 9 wordt getoond dat zowel het aantal ongevallen met minstens één bestelwagen als het aantal slachtoffers per ongeval met minstens één bestelwagen, van 1991 tot 2001 steeg. Het aantal ongevallen is in 2007 met 21% gestegen, het aantal slachtoffers per ongeval is met 7% gedaald (Grafiek 9).

Bij een vergelijking van de letselongevallen zien we dat het aantal letselongevallen met bestelwagens sterk stijgt, terwijl het aantal letselongevallen voor alle weggebruikers daalt. Ook opvallend: het aantal slachtoffers (gewonden + doden) van ongevallen waarbij minstens één bestelwagen is betrokken, blijft stijgen: in 2007 lag het cijfer 31% hoger dan in 1991.

Deze vaststelling voor bestelwagens kan ook voor Nederland en Duitsland gemaakt worden. De onveiligheid van bestelwagens in Nederland en Duitsland neemt in kleinere mate af dan bij de andere weggebruikers. Groot-Brittannië bewijst dat de onveiligheid van bestelwagens in het bijzonder maar ook van al het vrachtvervoer teruggedrongen kan worden.

² In 1991 waren er 3406 ongevallen op autosnelwegen met minstens één bestelwagen terwijl dit in 2007 steeg tot 4770



Grafiek 10: Vergelijking letselongevallen bestelwagens en alle weggebruikers

Een diepgaand onderzoek naar de ongevaloorzaken van bestelwagens is niet voorhanden, maar de vraag rijst of geladen bestelwagens wel op een veilige manier 120 km/uur en meer kunnen rijden.

Uit de data van Duitsland kan men afleiden dat 10% van de ongevallen met bestelwagens op de autosnelweg gebeuren, 63% in de bebouwde kom en 27% buiten de bebouwde kom. Men kan niet afleiden in welke mate snelheid in het geding is, maar dikwijls wordt in Duitsland zelf naar de onaangepaste snelheid verwezen.

Wanneer men de analyse van het Duitse Verband der Automobilindustrie (VDA) er op naleest, is er geen enkel probleem met de ongevallen van bestelwagens op autosnelwegen. Nochtans werd in Duitsland in 2008 voorgesteld om de snelheid van bestelwagens te begrenzen op 130 km/uur. In een land waar er op bepaalde delen van autosnelwegen geen snelheidsbeperking is voor auto's maar ook niet voor lichte vrachtwagens, leidde dit tot hevige debatten.

Het Bundesanstalt für Strassenwesen stelde vast dat het aantal ongevallen met bestelwagens tussen 1996 en 2007 verdrievoudigd was³. Het beperken van de maximumsnelheid werd gemotiveerd met verkeersveiligheidsargumenten, maar ook met vermindering van het brandstofverbruik en de herstellingskosten.

c. Analyse ongevallen volgens type aanrijding

Het feit dat op autosnelwegen in principe geen tegenliggend verkeer⁴, dat niet gescheiden is, voorkomt, beperkt het aantal conflicten. Dit geldt eveneens voor het ontbreken van gelijkgronds kruisen van de rijvakken.

³ <http://www.die-topnews.de/tempolimit-fuer-klein-transporter-35073>

⁴ Uitzonderingen zoals spookrijders, tijdelijke weginrichting als gevolg van wegenwerken niet te na gesproken.

Hierdoor is het soort ongevallen beperkter dan op gewone wegen maar kunnen de maatregelen ook beter gericht worden.

Bij het indelen van de ongevallen volgens type aanrijding kan een onderscheid gemaakt worden tussen ongevallen tussen bestuurders, tegen een hindernis en geen hindernis.

De verhouding tussen de ongevallen tussen bestuurders en eenzijdig ongeval (hindernis of geen hindernis) is ongeveer gelijk verdeeld.

◆ **Ongevallen tussen bestuurders**

De indeling van de ongevallen tussen bestuurder is als volgt: kettingbotsing, frontale botsing, langs achteren, langs opzij en met een voetganger.

Het aantal frontale botsingen (2007: 48 ongevallen) en ongevallen met voetgangers (2007: 23) zijn erg laag. Frontale botsingen zijn botsingen die ontstaan als gevolg van spookrijden of het doorbreken van de middenberm. Een deel van deze ongevallen kunnen vermeden worden door infrastructurele maatregelen: vangrails of betere vangrails, betere geleiding van bestuurders zodat het spookrijden quasi onmogelijk gemaakt wordt. Het tijdig opsporen van spookrijders en het tijdig waarschuwen van de tegenliggers kan wel het voorwerp uitmaken van ITS-toepassingen.

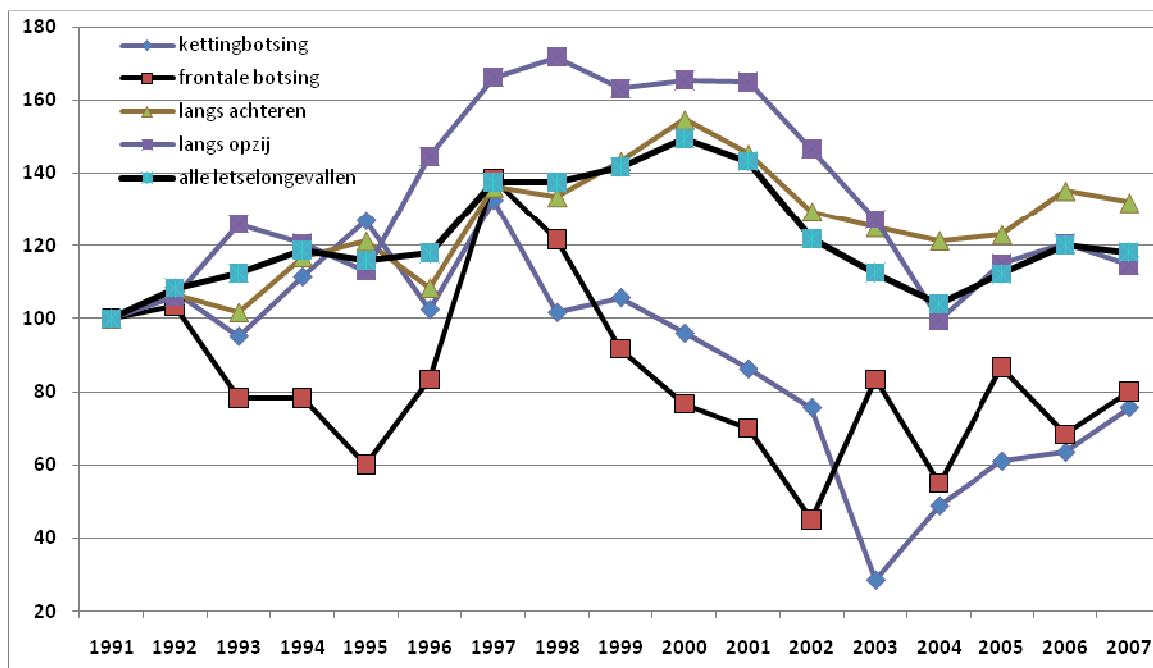
De belangrijkste type aanrijding tussen bestuurders is het achteraan aanrijden van een voertuig. Deze type ongevallen zijn goed voor ongeveer 1/3 van alle letselongevallen.

De zijdelingse aanrijdingen schommelen tussen de 11 en 15 % van alle letselongevallen.

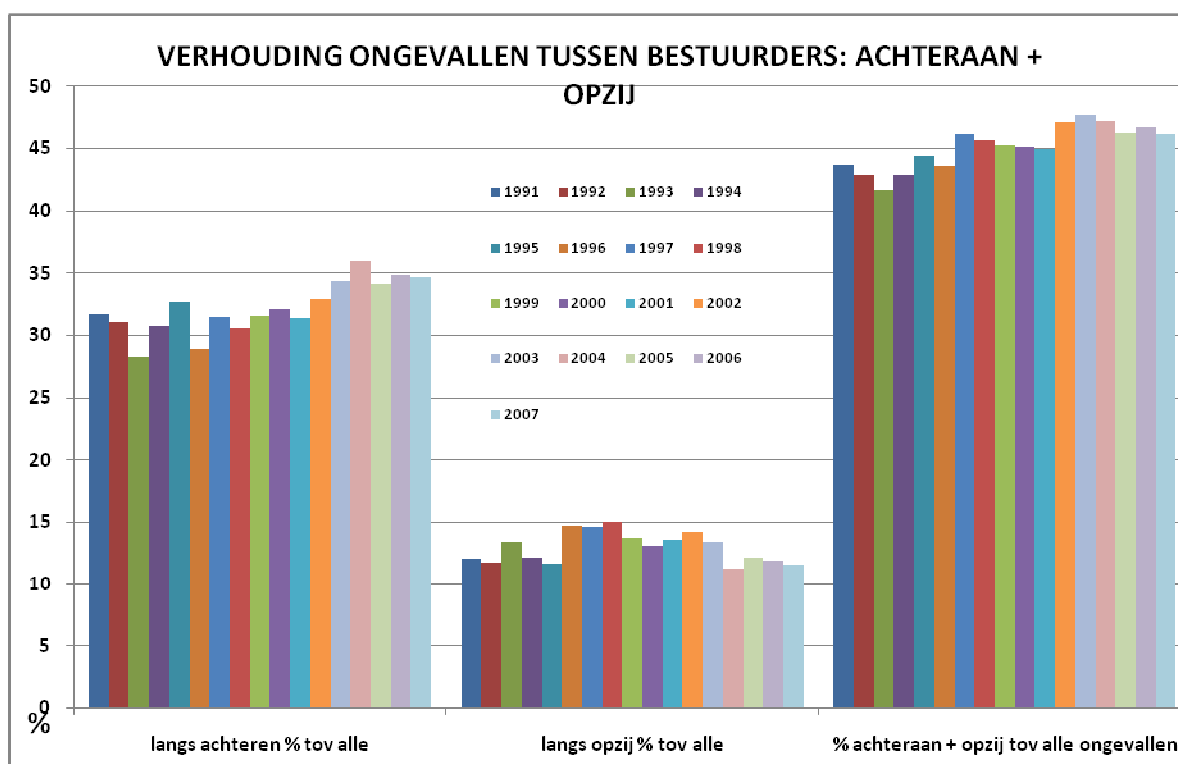
Met achteraan en zijdelingse aanrijdingen zijn de twee grootste groepen aanrijdingen tussen bestuurders aangeduid. Samen zijn deze aanrijdingen goed voor ongeveer de helft van alle letselongevallen. Dit betekent dat bij het implementeren van ITS kan onderzocht worden welke toepassingen het meest effect hebben in het terugdringen van ongevallen.

Het hoeft nauwelijks aangeduid te worden dat sommige ITS-technieken dit probleem in meer of mindere mate kunnen beheersen: ACC, Lane Keeping Lane Change Assistance, Lane Departure Warning,... Hier komen we later op terug in hoofdstuk 3.

Kettingbotsingen zijn eerder beperkt maar hebben een veel grotere impact naar directe schade voor de betrokkene maar ook voor de verstoring van de doorstroming. ITS-technieken kunnen hier ook een mogelijk conflict beperken. Daartoe is wel nodig dat de aankomende voertuig zowel tijdig de info van het incident ontvangen als tijdig reageren op de boodschap. De communicatie naar het voertuig kan zowel via dynamische verkeersborden als via communicatie in het voertuig gebeuren.



Grafiek 11: Letselongevallen tussen bestuurders



Grafiek 12: Verhouding ongevallen tussen bestuurders (achteraan + opzij) t.o.v. alle letselongevallen

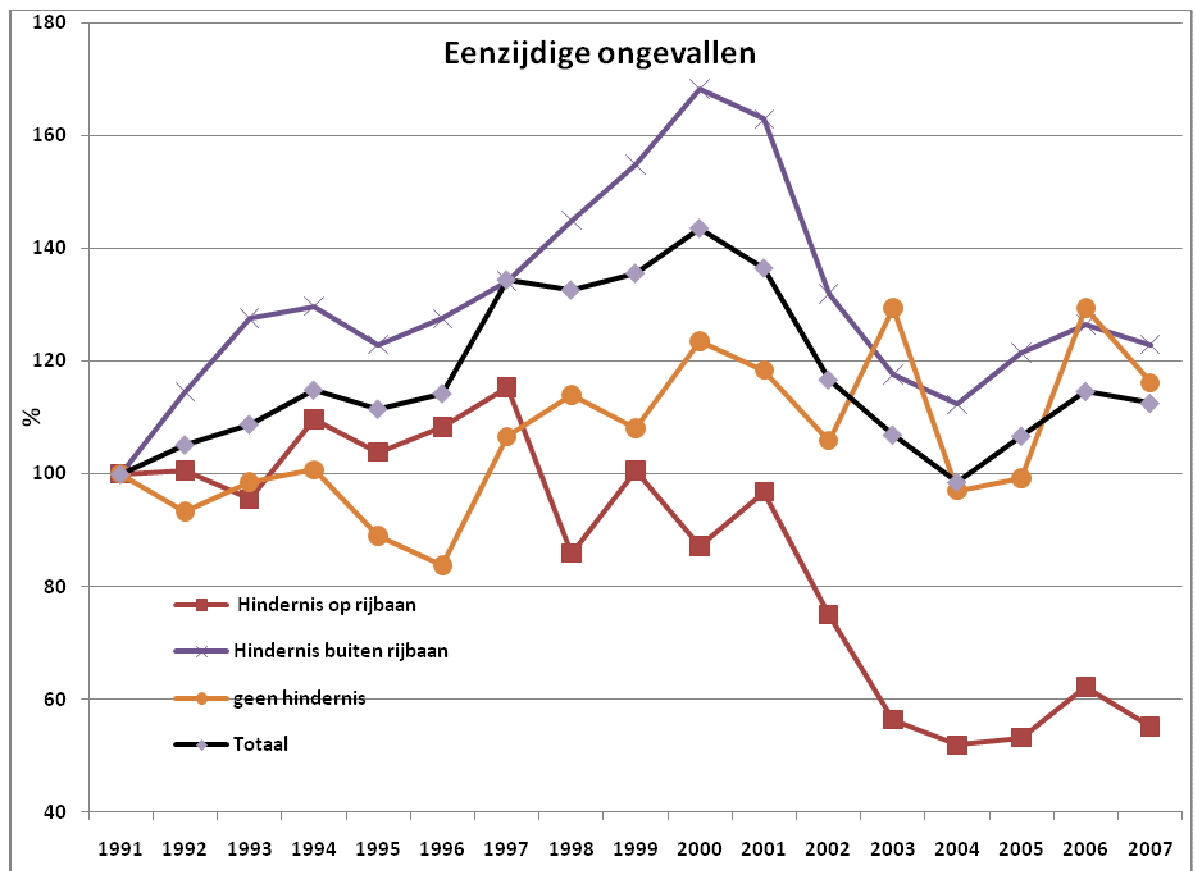
◆ **Eenzijdige ongevallen**

Bij een eenzijdig ongeval is er maar één verkeersdeelnemer betrokken bij het ongeval. Eenzijdige ongevallen gebeuren vaak doordat de bestuurder de controle over zijn voertuig verliest, van de weg af raakt, en tegen een obstakel (brughoofd of lantaarnpaal) rijdt, of gewoon van de snelweg afrijdt.

De groep van eenzijdige ongevallen is qua orde van grootte quasi gelijk aan de ongevallen tussen bestuurders.

In absolute cijfers zijn de ongevallen tegen een hindernis buiten de rijbaan het grootst; dit schommelt tussen de 82 en de 88 % van het totaal van alle eenzijdige ongevallen. De ongevallen met hindernissen op de rijbaan –dit heeft betrekking op ongevallen met verloren materialen, objecten, ...- zijn erg beperkt (tussen 156 en 86 geregistreerde ongevallen in de periode '91-'07).

Wanneer men rekening zou houden met stoffelijke schade zal dit cijfer hoger zijn. In de hier behandelde cijfers zijn enkel de letselongevallen bedoeld die ontstaan als gevolg van een aanrijding met een object. De verstoring van de doorstroming en de kans op een ongeval bij het achterliggend verkeer zijn vermoedelijk wel erg reëel.



Grafiek 13: Eenzijdige ongevallen (letsel)

Met ongevallen zonder hindernis worden die eenzijdige ongevallen bedoeld waarbij het voertuig voorbij de pechstrook/berm van de autosnelweg geraakt en waarbij inzittenden worden gewond of gedood.

De eenzijdige ongevallen waarbij het voertuig tegen een hindernis buiten de snelweg aanrijdt, zijn niet alleen de hoogste binnen het segment van eenzijdige ongevallen maar scoren het hoogst binnen de rangschikking "type aanrijding"⁵

⁵ Type aanrijding bevat: ongevallen tussen bestuurders (kettingbotsing, frontale botsing, langs achteren, langs opzij, met voetganger) en tegen hindernis (op rijbaan, buiten rijbaan en geen hindernis).

van alle letselgevallen (1991-2007: tussen 39 en 45 % van alle letselgevallen) op autosnelwegen.

De enig hanteerbare norm –wanneer niet aan ITS wordt gedacht- is het ontwerpen en uitbouwen van werkelijk vergevingsgezinde wegen (Dubbeldam, 2006). Het aanduiden van fysieke scheiding tussen rijweg/pechstrook en grens wegberm, bruggen, verlichtingspalen, duikers, sloten, steile taluds,...., kan heel wat ongevallen voorkomen of de ernst ervan beperken.

ITS-toepassingen in voertuigen zijn maar efficiënt indien elk voertuig met deze toepassingen is uitgerust en ook actief werkt⁶. Dit betekent dat hoe dan ook de infrastructuur zelf vergevingsgezend moet worden uitgerust.

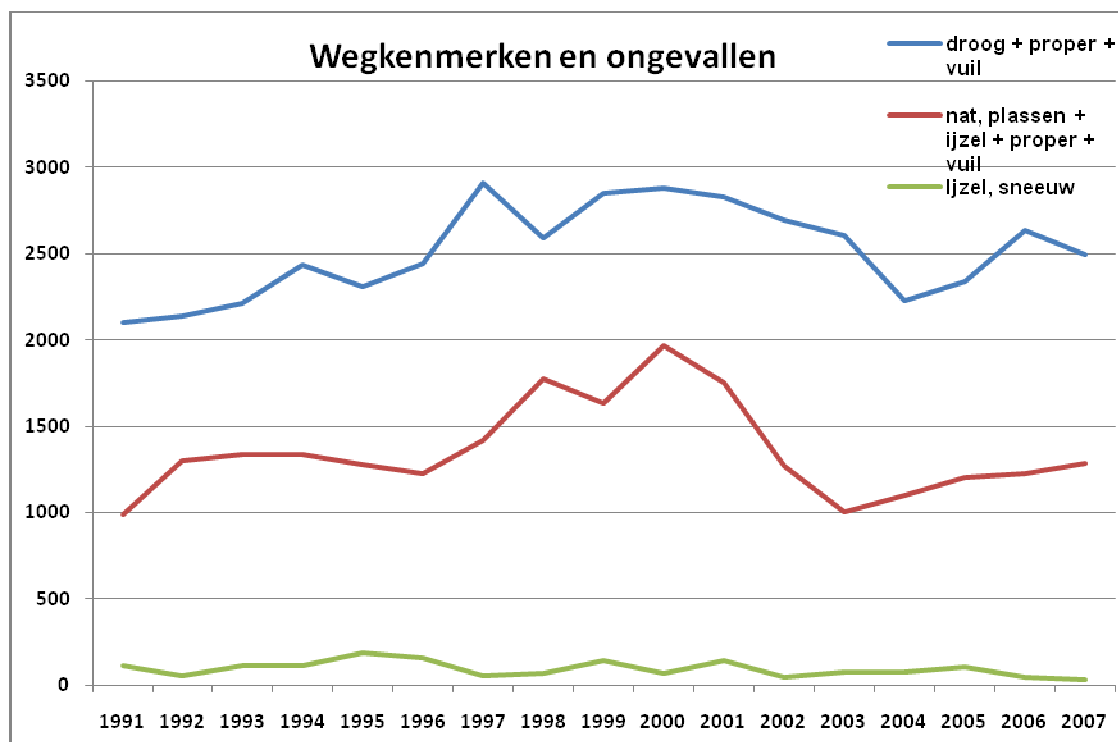
ITS kan een wezenlijke toepassing leveren aan het voorkomen van eenzijdige ongevallen: Lane Keeping Lane Change Assistance, Lane Departure Warning, Drowsy Driver Warning Systems, In hoofdstuk 3. gaan we hier verder op in.

d. Ongevallen en wegkenmerken

Bij wegkenmerken wordt bedoeld: droog, nat/plassen, ijzel-sneeuw, proper, vuil (zand, grint, bladeren), onbekend. Een aantal combinaties worden gemaakt in de aangeleverde cijfers maar de cijfers van deze combinaties leveren vraagtekens op naar de correctheid. Dit geldt trouwens in algemene zin met betrekking tot de wegkenmerken.

Wanneer enkel droog, nat/plassen en ijzel-sneeuw wordt weerhouden, houdt men enkel met 60 % (2007) van de ongevallen van deze categorie rekening gehouden. Om deze reden worden de basis droog of nat samengevoegd met 'proper' en 'vuil'; voor nat wordt ijzel, sneeuw toegevoegd. Dit laatste –sneeuw en ijzel- is apart ook genoteerd omdat sneeuw en ijzel wordt begrepen als een wegkenmerk dat algemeen voorkomt. Het gevolg is dat nat wegdek met op andere plaatsen sneeuw-ijzel wel nog een specifieke vermelding krijgt. Wanneer er alleen sneeuw en ijzel is, dan kan de politie opteren voor het vak ijzel-sneeuw.

⁶ De discussie of bepaalde ITS-systemen moeten kunnen in- of uitgeschakeld, is daarmee geopend. Indien bepaalde ITS-systemen ongevallen of bepaalde type ongevallen kunnen voorkomen, lijkt het maatschappelijk verantwoord om deze ITS-systemen niet afhankelijk te maken van de wens van de individuele bestuurder om deze al dan niet te activeren.



Grafiek 14: Wegkenmerken en ongevallen

In tegenstelling tot wat men zou kunnen verwachten vormt droog (categorie droog + proper + vuil) wegdek het grootste probleem voor de verkeersveiligheid.

Nat/plassen (categorie: nat/plassen, sneeuw en ijzel, proper, vuil) heeft slechts een aandeel van 27 à 40 tegenover 58 à 70 voor droog weer.

Louter op basis van het aantal regendagen⁷ zou men statistisch kunnen verwachten dat het aantal ongevallen bij regenweer hoger is. Zelfs indien men de categorie ijzel-sneeuw (volledig) zou meenemen zijn er meer ongevallen met droog dan met regenweer.

Dit alles duidt erop dat analyse van de wegkenmerken op basis van alleen deze data, geen soelaas biedt. Een meer gedetailleerde analyse per ongeval –enkel op deze wijze kan de relatie tussen ongeval en wegdek worden aangeduid- kan hier een verduidelijking brengen.

De informatie over de toestand van de weg zou -indien deze info tijdig bekend is- de bestuurder kunnen informeren over het aangewezen rijgedrag. Indien dit zou leiden tot aangepast rijgedrag kan dit een invloed hebben op de verkeersveiligheid.

De vraag kan gesteld worden of het informeren van de bestuurder –dit gebeurt nu ook via ondermeer informatie van de buitentemperatuur, zichtbare neerslag, sneeuw, algemene mist, ...- voldoende is en of tijdig actief ingrijpen –bv. verminderen snelheid van het verkeer via dynamische borden, gecombineerd met trajectcontrole- door de wegbeheerder niet meer effect heeft op de verkeersveiligheid.

⁷ Er zijn gemiddeld 200 regendagen (> 0,1 mm/dag) in het grootste deel van het land; het gemiddelde aantal regendagen vermeerderd licht naar Hoog-België toe (216, met een maximum van 230 in de Hoge Venen) en vermindert naar de Kust (182) toe. Informatie KMI.

2.3 Besluit

De analyse van de verkeersongevallen op autosnelwegen is bruikbaar om de verkeersveiligheid te duiden en de meest efficiëntste ITS-technieken te kunnen evalueren.

De verkeersonveiligheid op autosnelwegen volgt nog steeds niet de algemeen dalende of stagnerende trend in het verkeer. Vanaf 2004 gaan de ongevalcijfers –doden en zwaargewonden samengevoegd- in stijgende lijn.

Het verwondert niet dat de meeste ongevallen vallen bij druk verkeer (ochtend- en avondspits). Een analyse naar de maand van het jaar biedt geen eenduidig beeld.

Personenwagens zijn bij meer dan de helft van ongevallen (= 65 %) op autosnelwegen betrokken maar in 2007 wordt stilaan het laagste niveau (2003) benaderd.

Ongevallen met vrachtwagens nemen steeds af maar in 14 gevallen op honderd is een vrachtwagen betrokken wat er op duidt dat de onveiligheid van vrachtwagens moet teruggedrongen worden.

De sterkste stijger in ongevallen zijn bestelwagens; alhoewel ze in 9 keer op honderd ongevallen zijn betrokken in ongevallen, geven ze een sterke stijging van de betrokkenheid bij ongevallen. Dit staat in schril contrast met de algemene evolutie van verkeersongevallen.

Bij de indeling van ongevallen tussen bestuurders, komt het achteraan aanrijden van een voertuig het meest voor: dit is ongeveer 1/3 van alle letselongevallen.

Kettingbotsingen zijn eerder beperkt maar hebben een veel grotere impact naar schade voor de betrokken voertuigen; het effect op de verstoring van de doorstroming, is eveneens belangrijk.

Bij eenzijdige ongevallen is het aanrijden van een hindernis buiten de rijweg het belangrijkste: in de periode 1991-2007 schommelde tussen 39 en 45 % van alle letselongevallen.

De effecten van de staat van het wegdek (wegkenmerken) geven aan dat het aantal ongevallen bij droog weer hoger liggen dan bij nat wegdek.

Uit deze analyse blijkt dat verkeersonveiligheid op autosnelwegen kan teruggedrongen indien er een combinatie van maatregelen worden genomen. Naast ITS-technieken, is het ontwerpen van vergevingsgezinde wegen een conditio sine qua non voor het verhogen van veiligheid. Andere elementen die de veiligheid bepalen –handhaving, opleiding en het engagement van alle actoren om aan veiligheid te werken- worden in deze analyse niet betrokken, maar zijn uiteraard medebepalend voor de graad van impact op de veiligheid.

3. OVERZICHT APPLICATIES

Om de veiligheid op de weg te verhogen kunnen moderne informatie- en communicatietechnologieën worden ingezet. Intelligente Transportsystemen (ITS) beantwoorden aan deze beschrijving. Binnen dit domein kunnen een heel groot aantal applicaties gerealiseerd worden. In Bayly et al. (2007) werd een grondig overzicht van deze applicaties opgesteld in het kader van het TRACE project. De volledige lijst is in dit rapport opgenomen in Bijlage 2.

Dit groot aantal ITS applicaties kan op verschillende manieren geclassificeerd worden. Een eerste mogelijkheid is te onderscheiden op de gebruikte communicatietechnologie. Deze Intelligente Transportsystemen kunnen enkel in het voertuig, via communicatie met de infrastructuur (V2I), via communicatie tussen voertuigen (V2V) of via enkel communicatie langs de kant van de weg (DRIP, GRIP, ...), werken.

Indien ze enkel in het voertuig werken of worden gebruikt, spreekt men van **autonome systemen**. In het geval er communicatie is met andere voertuigen of infrastructuur, spreekt men van **coöperatieve systemen**. Daarnaast kan men nog een derde classificatie maken: **infrastructuur gebaseerde autonome applicaties**.

Classificatie van de toepassingen zou echter ook kunnen gebeuren op grond van het beoogde doel. Met ITS is het mogelijk het verkeerssysteem flexibel en dynamisch te maken: aangepast aan actuele omstandigheden. Naast ITS-toepassingen die zich eerder richten op het rijcomfort en de bereikbaarheid zijn bepaalde ITS-toepassingen gefocust op de verkeersveiligheid. Deze laatste toepassingen zijn vooral bedoeld om de bestuurder te ondersteunen bij de uitvoering van de verkeerstaak, waardoor hij minder fouten maakt en bepaalde verkeersonveilige gedragskeuzen zal vermijden. In vele gevallen worden deze met de term **ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)** aangeduid.

Op basis van het werkgebied zou ook een onderscheid kunnen gemaakt worden. In dit rapport worden de ITS-toepassingen die effect hebben op de verkeersveiligheid op autosnelwegen, belicht. Een aantal van deze ITS-toepassingen zullen zowel voor rijcomfort/bereikbaarheid als voor het verhogen van de verkeersveiligheid kunnen aangewend worden. Ook zullen sommige toepassingen bruikbaar zijn op andere wegen dan autosnelwegen.

Deze mogelijkheden worden formeler toegepast door de SWOV, die een indeling gebruikt die op een erg anschouwelijk manier de verschillende ITS-systemen rangschikt⁸. De indeling gebeurt in drie grote groepen:

1. Indeling gebaseerd op technische werking van het ITS-systeem.
2. Indeling gebaseerd op het primaire doel dat het systeem nastreeft.
3. Indeling gebaseerd op functie.

De volledige SWOV classificatie ziet er als volgt uit

1) *Indeling gebaseerd op technische werking:*

- a) *voertuigsystemen waarbij er geen interactie is met gegevensbronnen buiten het voertuig;*
- b) *wegkantssystemen waarbij er geen interactie is met gegevens van individuele voertuigen;*
- c) *systemen waarbij er interactie is tussen individuele voertuigen en andere gegevensbronnen, zoals tussen voertuigen onderling of tussen voertuig en*

⁸ SWOV-Factsheet Intelligente Transportsystemen (ITS) en verkeersveiligheid, Leidschendam, juni 2008, 6 blz

wegkant. De laatste categorie is het meest 'intelligent' omdat deze toepassingen de mogelijkheid hebben de actuele omstandigheden (bijvoorbeeld de weersomstandigheden, tijdelijke snelheidslimieten, de exacte positie van een voertuig, gevaarlijke situaties stroomafwaarts) terug te koppelen aan een individuele bestuurder.

2) Indeling gebaseerd op primair doel⁹:

- a) beheersing van verkeersstromen;
- b) rijcomfort;
- c) veiligheid, onderverdeeld in:
 - i) systemen die vooraf voorkomen dat op een onveilige manier aan het verkeer wordt deelgenomen;¹⁰
 - ii) systemen die tijdens de verkeersdeelname onveilige handelingen voorkomen.
 - iii) systemen die de ongevalsrisico's verlagen.

3) Indeling gebaseerd op functie:

- a) puur informatieve systemen;
- b) systemen die waarschuwen;
- c) systemen die fysiek ingrijpen.

Binnen dit steunpuntrapport zullen we gebruik maken van de indeling gebaseerd op technische werking. Dit betekent dat we een onderscheid maken tussen applicaties waarbij er geen interactie is met gegevensbronnen buiten het voertuig, de zogenaamde **autonome voertuigapplicaties**, applicaties gebaseerd op wegkantssystemen waarbij er geen interactie is met gegevens van individuele voertuigen, de **autonome wegkantapplicaties**, en tenslotte applicaties waarbij er interactie is tussen individuele voertuigen en andere gegevensbronnen zoals voertuigen onderling en wegkant, de zogenaamde **coöperatieve applicaties**.

Er dient wel opgemerkt te worden dat applicaties kunnen evolueren binnen deze classificatie. Bepaalde applicaties kunnen in eerste instantie bijvoorbeeld autonoom uitgevoerd worden aan de hand van een aantal sensoren geïntegreerd in het voertuig, terwijl deze in toekomstige implementaties gebruik kunnen maken van de lokale communicatiemogelijkheden om op een goedkopere manier dezelfde functionaliteit aan te bieden. Denk hierbij aan bijvoorbeeld lane change warnings, of frontal collision warnings. Toepassingen waarbij deze evolutie voor de hand ligt zullen in beide vormen besproken worden in dit rapport.

⁹ Bij deze wijze van indelen moet wel bedacht worden dat een toepassing naast het primaire doel (bijvoorbeeld rijcomfort), ook een positief of negatief effect kan hebben op andere terreinen (bijvoorbeeld op doorstroming of op verkeersveiligheid). Daarnaast kan soms niet worden uitgesloten dat bepaalde veiligheids-ITS niet het gewenste effect heeft, omdat de bestuurder zijn gedrag bewust of onbewust aanpast (gedragsadaptatie).

¹⁰ Bij de systemen die primair gericht zijn op verkeersveiligheid kunnen die systemen onderscheiden worden die onveilige verkeersdeelname kunnen voorkomen. In principe betreft hier systemen die niet uitsluitend kunnen gerelateerd worden aan autosnelwegen: alcoholslot, gordelverklikkers en beperkend rijbewijs. Dit laatste zou in principe kunnen gerelateerd worden aan het al dan niet wettelijk toestaan rijden op autosnelwegen: zo zou men beginnende chauffeurs of houders van een voorlopig rijbewijs het rijden op autosnelweg kunnen verbieden. Vroeger was voor houders van een voorlopig rijbewijs (L-vergunning) rijden op autosnelweg niet toegelaten

3.1 Autonome voertuigapplicaties

Autonome voertuigapplicaties zijn zoals reeds aangehaald die systemen waar het voertuig –onafhankelijk van externe beïnvloeding- kan functioneren. Er is dus geen interactie met gegevensbronnen buiten het voertuig. Sommige systemen kunnen naargelang de graad van implementatie ook bij coöperatieve systemen gerangschikt worden zoals ook eerder aangehaald. Als voorbeeld kan ISA gegeven worden dat autonoom kan functioneren via een snelheidskaart van statische maximumsnelheden maar indien rekening gehouden worden met dynamische snelheidsgegevens –informatie via dynamische verkeersborden of via externe communicatie- worden dit gedeeltelijk coöperatieve systemen.

Tot de categorie van autonome voertuigapplicaties behoort onder andere: ESC (Electronic Stability Control), ISA (Intelligent Speed Adaptation), Adaptive headlights, Obstacle and collision warning (Longitudinal support and collision warning), Blind spot monitoring, Lane departure warning (Lane keeping assistant), Dynamic traffic management and Local Danger Warnings.

Evengoed kan hierbij ABS (Anti-lock brakes), ACC (Adaptive Cruise Control), AFS (Active Front Steering), ARP (Active Rollover Protection)¹¹, AVI (Automatic Vehicle Identification of EVI: Electronic Vehicle Identification), AL (Alcohol Lock), Gordelverklikkers¹² ..., vermeld worden. In het kader van dit rapport worden de belangrijkste vermeld.

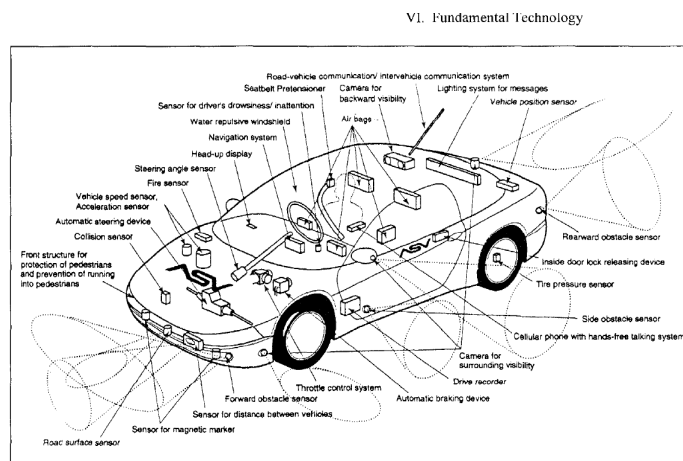


Figure 1. Road -Vehicle Communication/Intervehicle Communication System

Figuur 2: Voorbeeld van mogelijke onboard elektronica voor ITS applicaties (bron: Kazuyoshi Matsumoto)

¹¹ ARP is a system that recognizes impending rollover and selectively applies brakes to resist. ARP builds on Electronic Stability Control and its three chassis control systems already on the vehicle - Anti-lock braking system, traction control and yaw control. ARP adds another function: detection of an impending tip or rollover. Excessive lateral force, which is generated by driving too fast in a corner or turn, may result in a rollover because of the high vehicle center of gravity. ARP automatically responds whenever it detects an unstable condition leading to a potential rollover. ARP rapidly applies the brakes with a high burst of pressure to the appropriate wheels to interrupt the rollover before it occurs. (wikipedia)

¹² Het herinnerings- of waarschuwingssysteem kan bestaan uit een visueel signaal (knipperend icoon of display met tekst) of een geluidssignaal (akoestisch signaal in verschillende toonhoogtes). Bij de gordels voorin wordt een combinatie van beide signalen toegepast, terwijl er alleen een visueel signaal is wanneer de gordels achterin niet worden gedragen.

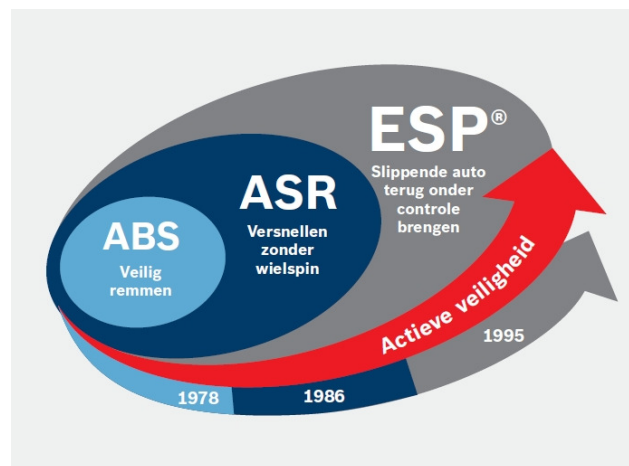
3.1.1 ESC (Electronic Stability Control)- Electronic Stability Program (ESP)

ESC, ook gekend onder de alternatieve naam ESP, stabiliseert het voertuig en voorkomt zo dat het voertuig gaat slippen. Het ondersteunt de bestuurder van een voertuig in zijn rijtaak, wanneer hij of zij terechtkomt in een kritieke situatie waarbij de wagen dreigt te slippen: bij plotse uitwijkmanoeuvres voor hindernissen, bij verkeerd ingeschatte bochten of bij een verraderlijk wegdek. Het eerste ESP-systeem is ontwikkeld door Mercedes (standaard op alle Mercedes modellen sinds 1999).

Het systeem werkt als volgt: tijdens het rijden vergelijkt het ESC systeem voortdurend of er een verschil is tussen de gewenste rijrichting van de bestuurder (bepaald door het meten van de stand van het stuur), en de feitelijke richting die het voertuig op dat moment uitgaat (bepaald door het meten van de laterale versnelling, draaiing van het voertuig en de rotatiesnelheid van de vier wielen). Wanneer de afwijking tussen de twee een bepaalde grens overschrijdt, en de bestuurder het voertuig dus niet meer onder controle heeft, dan grijpt het systeem in en zorgt ervoor dat het voertuig weer de gevraagde richting uitrijdt. Hiervoor zal het bepaalde wielen apart laten afremmen.

Hoewel ESC al geruime tijd op de markt is, kent het niet hetzelfde succes als bijvoorbeeld ABS. Daar waar ABS zo goed als bij elke nieuwe wagen deel uitmaakt van de standaarduitrusting (zelfs bij de goedkopere wagens), is ESC momenteel veeleer een optie, die slechts door een beperkt aantal kopers geselecteerd wordt. Dit terwijl ESC een enorme verhoging van de veiligheid te bieden heeft. Op 23 mei 2008 werd dan ook door de Europese Commissie een voorstel ingediend¹³ om ESC te verplichten, waarbij vanaf 2012 het systeem verplicht optioneel beschikbaar zou moeten zijn op elk type nieuwe wagen, en vanaf 2014 ook standaard effectief aanwezig moet zijn op elke nieuwe wagen. Dit voorstel kreeg de steun van het Europees Parlement¹⁴, waardoor het nu in handen is van de lidstaten die de richtlijnen naar lokale regelgeving moeten omzetten.

Tenslotte willen we opmerken op dat ESC niet hetzelfde is als tractiecontrole (ook wel gekend als ASR), een veelvoorkomend misverstand. Tractiecontrole zorgt ervoor dat bij acceleratie van een voertuig het vermogen wordt verminderd indien de wielen doorslippen. Tractiecontrole is dan ook een stuk minder geavanceerd dan ESC, welke onder alle omstandigheden controleert of de bestuurder nog steeds de controle over zijn voertuig heeft, en indien nodig het voertuig terug onder controle kan brengen.



Figuur 3: Verschil ESP - ASR (bron: Bosh experience)

¹³<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/786&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

¹⁴<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/964&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

3.1.2 EBA (Emergency Brake Assist)

EBA is een veiligheidssysteem dat ervoor zorgt dat tijdens een noodsituatie de maximale remkracht wordt toegepast. Het idee hierachter is dat uit onderzoek bleek dat veel bestuurders er niet op voorbereid zijn om een noodstop uit te voeren. Maximale remkracht vereist het veel harder en dieper induwen van het rempedaal dan tijdens normaal remmen. Bij veel bestuurders is er een drempel om op deze manier te remmen, zelfs in een noodsituatie.

Het EBA systeem interpreteert de snelheid en kracht waarmee een bestuurder het rempedaal induwt. Op deze manier kan het systeem besluiten of de bestuurder een noodstop wenst uit te voeren. Indien dit het geval is, en het rempedaal is niet volledig ingedrukt, dan zal het EBA systeem overnemen en ervoor zorgen dat de maximale remkracht wordt toegepast. Op deze manier kan de remafstand tijdens noodgevallen verkort worden.

Het commercieel succes van EBA is op dit moment beperkt, ondanks het grote potentieel op vlak van verkeersveiligheid, en dan voornamelijk bescherming van de zwakke weggebruikers. Het systeem wordt dan ook sterk geduwd vanuit Europa. De verplichte introductie ervan op alle nieuwe wagens maakt deel uit van hetzelfde voorstel dat vermeld werd bij ESC, dat op dit moment dus in handen is van de lidstaten¹⁵. Merk wel op dat dit voorstel uit 2008 pleitte voor de verplichte introductie van EBA vanaf 2009. Dit is duidelijk niet het geval, het is op dit moment onduidelijk wat de verdere status van het implementeren van deze Europese richtlijn is.

3.1.3 ISA (Intelligent Speed Adaptation)/Speed Alert

ISA is een verzamelnaam voor diverse systemen die een bestuurder ertoe aanzetten of dwingen om zich aan de geldende snelheidslimieten te houden. ISA werkt via een externe of interne aansturing. Het eerste type kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden door bakens langs de kant van de weg. Het tweede type bijvoorbeeld door middel van een digitale wegenkaart met snelheidsinformatie (op CD-ROM), in combinatie met differentiële GPS¹⁶ voor exacte positiebepaling. Ook hier is er veel evolutie vermits het

¹⁵<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/964&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

¹⁶ Het Global Positioning System bestaat uit een systeem van minimaal 24 satellieten die elk in 12 uur om de aarde draaien, zodanig dat er op elk punt op aarde op elk moment steeds tussen de 5 en de 8 satellieten boven de horizon staan. Deze satellieten zenden permanent signalen (1575 MHz en 1228 MHz) uit, gedeeltelijk publiek, gedeeltelijk versleuteld. Een GPS-ontvanger die minstens 4 satellieten ziet kan uit de signalen ervan zijn positie en snelheid bepalen en de tijd.

Het GPS is eigendom van het US Department of Defense, en was oorspronkelijk bedoeld voor eigen, militair gebruik. Het publiek gedeelte van de signalen (Standard Positioning Service) laten normaal een horizontale nauwkeurigheid bij de plaatsbepaling toe van typisch 100m. Het versleutelde militaire gedeelte (Precise Positioning Service) laat ongeveer 5 keer hogere nauwkeurigheden toe. Het US DoD kan de nauwkeurigheid van het publieke kanaal verkleinen, zoals dit bvb. gebeurd is tijdens het Desert Storm conflict, maar ook vergroten. Nauwkeurigheden tussen enkele km en 15m zijn mogelijk. Typische ontvangers bepalen hun positie 1 tot een paar keer per seconde.

De huidige evolutie maakt het mogelijk veel nauwkeuriger te werken. Europa wil onder de bevoogding van de Amerikaanse militaire GPS onderuit om onafhankelijk te zijn, om een nauwkeuriger burgerlijk systeem mogelijk te maken en vooral ook een satellietpositie te hebben die beter op Europa is afgestemd. Galileo wordt een burgerlijk systeem.

Zweedse systeem (IMATA) werkt met een CPU die de snelheidszones bevat en die de locatie van het voertuig vergelijkt met deze snelheidszones. In dit systeem kunnen op een erg eenvoudige wijze snelheidszones worden gewijzigd of toegevoegd; dit kan zowel via GSM-data-logging of via wijziging bij het voertuig gebeuren. In de nabije toekomst wordt ook gedacht aan Bluetooth-toepassing.

Op basis van de snelheidsdata uit de verkeersbordendatabank kan ISA voor gans Vlaanderen worden toegepast. Voor Nederland, Zweden, Finland, delen van Denemarken, Groot-Brittannië (Groot Londen) is een bruikbare snelheidskaart beschikbaar (De Mol & Vlassenroot, 2006).

Het systeem kan **louter signalerend** werken zodat de keuze voor het aanhouden van ¹⁷een bepaalde snelheid bepaald wordt door de bestuurder, **of het kan zelf ingrijpen** en de snelheid begrenzen. Het eerste systeem werkt met visuele, auditieve en/of tactiele signalen die de bestuurder duidelijk maken dat hij de snelheidslimiet al dan niet overschrijdt. Het tweede systeem werkt zoals de maximale snelheidsbegrenzer en beperkt de brandstoftoevoer waardoor het voertuig de aangeduide snelheid niet kan overschrijden.

Daarenboven kunnen nog bijkomende alternatieven worden aangeboden: een steeds luider signaal laten horen naarmate de limiet meer en langer wordt overschreden, een tegendruk op het gaspedaal die wel kan door een bijkomende duw, ISA kan uitschaken. In dit laatste geval spreken we ook van het intelligente gaspedaal.

Deze varianten worden ook wel aangeduid als **open respectievelijk gesloten en halfopen**. Het systeem kan *statisch of dynamisch* werken. Bij het statische systeem liggen de snelheidslimieten lokaal vast. Bij het dynamische systeem kunnen de lokale snelheidslimieten aangepast worden in functie van weersgesteldheid, wegenwerken, verkeerssamenstelling, ongevallen, verkeersintensiteit, tijd (bv. schooluren).

3.1.4 Adaptive headlights

De bedoeling van dit systeem is dat een optimale verlichting van de weg –ook in bochten– wordt voorzien. Daarbij kan worden rekening gehouden met de snelheid van het voertuig en draaiende bewegingen van het voertuig. In principe kan het licht aangepast worden aan tegenliggend verkeer.

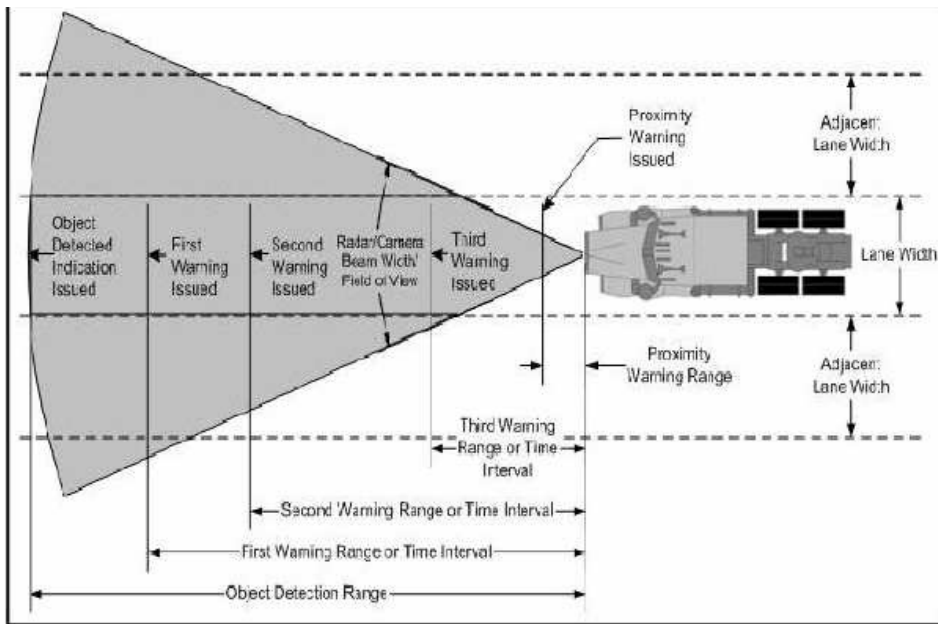
Het is onmiddellijk duidelijk dat dit enkel als een hulpmiddel kan beschouwd worden en dat het aanpassen van het rijgedrag aan zichtbaarheidsomstandigheden meer bepalend is.

3.1.5 Obstacle and collision warning

De bestuurder wordt gewaarschuwd indien een obstakel wordt gedetecteerd dat een gevaar voor ongeval kan betekenen. In vele gevallen is dit systeem aanwezig in voertuigen die een ACC (Adaptative Cruise Control) – via radar of laser– in het voertuig hebben. Het voertuig past de snelheid van het eigen voertuig aan naarmate de afstand tot het andere voertuig geen veilig rijden mogelijk maakt. In principe kan de info ook gebruikt worden ter ondersteuning van de rijtaak van de bestuurder bij slecht weer of menselijk falen (verstrooidheid, slecht inschatten veilige afstand, ...).

Dit systeem biedt de mogelijkheid om kop-staart botsingen te voorkomen of de gevolgen van een ongeval te voorkomen.

¹⁷ CPU: Central Processing Unit



Figuur 4: Obstacle and collision warning

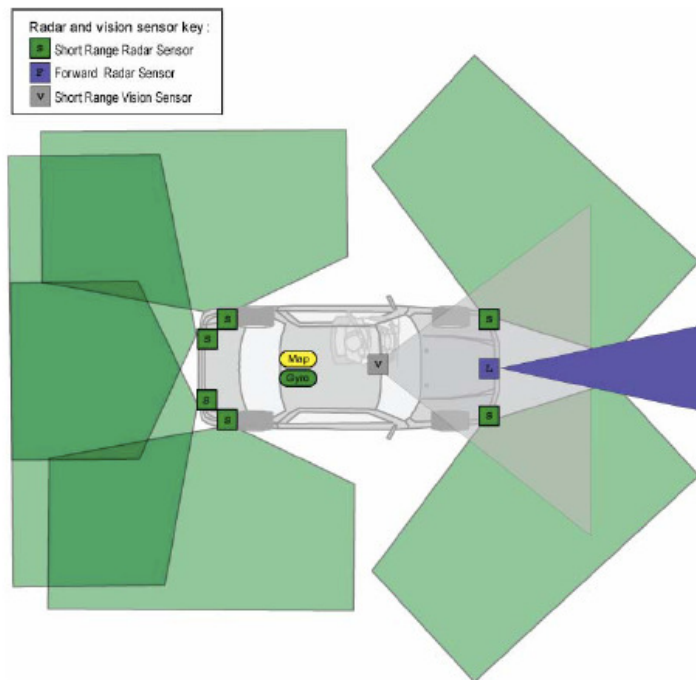


Figure 3. Light-vehicle sensor coverage overview (not to scale)

Figuur 5: Mogelijke sensoren obstacle and collision warning (Sayer et al., 2008)

3.1.6 *Autonomous Braking Systems*¹⁸

Dit systeem kan een onderdeel zijn van ACC en Obstacle en Collision warning waarbij het voertuig autonoom afremt bij mogelijke ongevallen met andere voertuigen (kop-staart) en met voetgangers. De bedoeling is om door tijdig af te remmen ofwel het ongeval te vermijden of de impact (ernst van de verwondingen) te beperken.

3.1.7 *Lane Departure Warning System (Lane keeping assistant) (LDWS)*

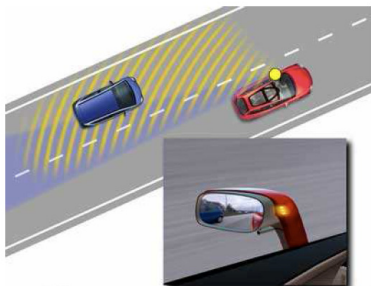
Dit systeem kan voorkomen –waarschuwing of min of meer actief ingrijpen- dat het voertuig ongewild het rijvak verlaat. Video sensoren detecteren de wegmarkering en sturen bij wanneer het voertuig het rijvak zou verlaten. De waarschuwing kan gebeuren via een geluid- of lichtsignaal of via een trilling in het voertuig (stuur, pedaal, zetel, ...). Dit systeem is reeds in heel wat voertuigen geïmplementeerd:

- **Nissan Motors** (2001, geluid indien het voertuig over wegmarkeringen gaat) In 2007 werd een nieuw versie ingebouwd: Lane Departure Prevention (LDP). Het stability control system wordt gebruikt om het voertuig binnen het rijvak te houden; hiertoe wordt het gewenste wiel licht afgeremd.
- **Toyota** (2002): Lane Monitoring System waarschuwt de bestuurder wanneer het voertuig het rijvak verlaat. In 2004, werd een Lane Keeping Assist aangebracht; dit systeem geeft een lichte tegendruk op het stuurwiel waardoor het voertuig binnen het rijvak blijft.
- **Lexus**: multi-mode Lane Keeping Assist system dat werkt met stereo camera's samen met processoren om objecten en wegpatronen te herkennen. Een auditieve en visuele waarschuwing wordt gegeven en het Electric Power Steering (EPS) stuurt het voertuig zodat het binnen het rijvak blijft.
- **Honda** (2003): Lane Keep Assist System (LKAS) biedt de mogelijkheid om (tot 80% via het stuurkoppel) de wagen in het rijvak op de weg te houden. Niet alleen is dit bruikbaar op rechte wegen maar tevens wordt berekend hoe scherp de bocht is en past op basis van snelheid, kans op slippen, het stuurgedrag aan.
- **Citroën** (2005, LDWS in modellen C4 and C5; C6). Hier worden infrarood sensoren gebruikt om de wegvakmarkeringen te detecteren. Een vibratie in de zetel verwittigt de bestuurder.
- **Audi** (2007): het LDW van Audi gebruikt een videocamera en geeft enkel een waarschuwing (trillen stuur).]
- **General Motors** (2007), Lane Departure Warning). Enkel een auditief signaal en een waarschuwing op het dashboard.
- **BMW**: Lane Departure Warning via een vibrerend stuur wordt de bestuurder gewaarschuwd dat hij het wegvak verlaat.
- **Volvo**: Lane Departure Warning system samen met een Driver Alert Control. Dit functioneert via een camera die de wegmarkeringen detecteert; een geluid waarschuwt de bestuurder indien hij het wegvak verlaat zonder signalering.
- **Mercedes-Benz** (2009): Lane Keeping Assist function waarschuwt de bestuurder via een vibrerend stuurwiel wanneer het voertuig het wegvak begint te verlaten. Het systeem zal echter niet automatisch het voertuig corrigeren.
- **Fiat**: Lane Keep Assist is gebaseerd op het TRW Lane Detect System¹⁹. Dit werd ook bij Peugeot en in de Citroën 308 gebruikt.


¹⁸ Zie COMPOSE in PREVENT-project

3.1.8 Lane changing assistance / blind spot monitoring

Deze applicatie gebruikt sensoren (radar of camera) om het verkeer langs achter en opzij te volgen. Wanneer de bestuurder een mogelijks onveilige richtingsverandering wil uitvoeren (van rijvak veranderen, afslaan), dan wordt de deze hiervoor gewaarschuwd. Deze kan op verschillende manieren worden geïmplementeerd: een waarschuwingslamp geïntegreerd in de zijspiegel kan gaan branden, een auditief signaal kan gegeven worden, men kan het stuur of de zetel laten trillen, etc. Dezelfde sensoren kunnen ook informatie geven voor een *safe door-opening* functie, waar bij het openen van de deuren gewaarschuwd wordt voor aankomende fietsters, rollerbladers, voertuigen, etc.

Safety System – LANE CHANGING ASSISTANCE	
<u>Classification:</u> Primary Safety	
<u>Proposed for:</u> Cars	
<u>Safety Function:</u> Drive Safe	
<p><u>Description:</u> The system monitors traffic approaching from behind or in the driver's blind spot, will warn the driver if they are about to make a potentially unsafe change lanes or turn. The same radar sensors also provide information for a safe door-opening function, warning the driver of any cyclists, people on rollerblades or vehicles approaching from behind before opening the door.</p>	

Figuur 6: Lane changing assistance (bron TRACE project)

Safety System – BLIND SPOT MONITORING	
<u>Classification:</u> Primary Safety	
<u>Proposed for:</u> Cars	
<u>Safety Function:</u> Drive Safe	
<p><u>Description:</u> The camera-based monitoring system keeps watch for other vehicles travelling in the blind spot. When another vehicle enters the monitored zone, a warning light is illuminated near the exterior side mirror. Both sides of the vehicle are monitored in the same way. This visual warning gives the driver a clear indication that another vehicle is alongside. The system also alerts the driver both to vehicles approaching from behind and vehicles in front being overtaken.</p>	

Figuur 7: Blind spot monitoring (bron: TRACE project)

¹⁹ TRW gebruikt een AC100 - 24GHz mid range radar en kan de rijtaak van de bestuurder op verschillende manieren ondersteunen: Adaptive Cruise Control, Braking to a full stop (Follow-to-Stop) (Stop-and-Go), Distance Warning ,Forward Collision Warning (visual / audible), Collision Mitigation Braking, Activation of reversible restraint systems (Active Control Retractor), Braking (brake prefill, Adaptive Brake Assist),

3.1.9 *Fatigue Warning System (of Distraction Warning System)*²⁰

Op basis van afwijkingen in het rijgedrag als gevolg van “tijdelijke verminderde handelingsbekwaamheid” van de bestuurder waarschuwt dit systeem de bestuurder of grijpt het actief in (Vural et al., 2008). Detectie van afwijkingen kan op twee verschillende manieren gebeuren: door het monitoren van de bestuurder zelf (oogbeweging, gezichtsuitdrukking, houding van de handen op het stuur, EEG hersengolven, ...) of van het voertuig (stuurbewegingen, acceleratie, snelheid, laterale positie, ...).

Met FWS kan verstrooidheid en vermoeidheid gedetecteerd en opgevangen worden.



Figuur 8: Fatigue warning system

3.1.10 *Alcohol detection and Interlock*

Alcohol detectoren analyseren typisch het niveau van alcohol intoxicatie bij de bestuurder, en bepalen of de persoon geschikt is voor het besturen van een voertuig (Bayly et al., 2007). Alcohol sloten zijn geïntegreerd in de ontsteking van de voertuigen, zodat het voertuig geïmmobiliseerd is tenzij de gebruiker slaagt voor de alcohol test. Sommige systemen vereisen daarnaast nog nieuwe tests op regelmatige intervallen tijdens het rijden. Verschillende vormen van alcohol detectoren en sloten bestaan:

- **In-vehicle ademtest:** de gebruiker blaast in een buisje in het voertuig dat direct verbonden is met een unit met alcohol detectoren, zeer gelijkaardig aan wat door de politie gebruikt wordt bij alcoholcontroles.
- **Sleutelgebaseerde ademtest:** dit is gelijkaardig aan de voertuig ademtest, maar is iets subtieler doordat de detector is weggewerkt in de sleutel van het voertuig. Wanneer de sleutel gebruikt wordt om het voertuig te open, dan treedt de detector in werking. Deze geeft de sleutel dan slechts de mogelijkheid om het voertuig effectief te starten nadat er een succesvolle ademtest heeft plaatsgevonden.
- **Sniffer systemen:** deze systemen eisen niet dat er telkens een ademtest moet worden uitgevoerd wanneer men het voertuig wil starten. Ze meten continu het

²⁰ Soms ook aangeduid met de term Automated Drowsiness Detection

alcohol niveau in de lucht binnenin het voertuig op, en schakelen slechts een ademtest in wanneer er voldoende alcohol in de lucht werd gedetecteerd.

- **Huid gebaseerde systemen:** deze systemen hebben sensoren die weggewerkt zijn in het stuurwiel, en meten bloeddruk, glucose en cholesterol waarden van de bestuurder op. Deze informatie wordt gebruikt om in te schatten of een ademtest noodzakelijk is. Merk op dat deze systemen zodanig zijn opgebouwd dat ze niet kunnen omzeild worden door het dragen van handschoenen.



Figuur 9: Sleutelgebaseerde ademtest

3.2 Autonome wegkantapplicaties

Zuiver op wegkantinfrastuctuur gebaseerde autonome applicaties schuiven steeds meer op naar coöperatieve systemen omdat zowel de communicatie van infrastructuurinformatie naar het voertuig toeneemt als de data van de infrastructurale info meer en meer wordt ingewonnen via informatie van het voertuig(en).

In deze zin evolueren de autonome wegkantapplicaties meer naar coöperatieve systemen wanneer enerzijds de monitoring gebeurt op basis van Floating Car Data (FCD) en anderzijds de informatie in het voertuig wordt gebracht via audio systemen, controle displays en via digital road maps.

3.2.1 *DRIP (Dynamische Route Informatiepanelen) en GRIP (Grafische Route Informatiepanelen)*

Bij autonome wegkantapplicaties horen voornamelijk de Dynamische Informatie Panelen²¹ (DRIP → Dynamische Route Informatiepanelen of GRIP → Grafische Route Informatiepanelen) die op basis van een aantal gegevens –intensiteit verkeer, snelheid, traagrijdend verkeer, ongevallen, werken, weersomstandigheden, luchtkwaliteit, ...,- via informatieborden aangepaste informatie kunnen geven aan de weggebruikers.

De informatie kan betrekking hebben op route-informatie; hierbij kunnen werken, files, lagere snelheden, vertraagd verkeer maar ook informatie over aansluitende wegen

²¹ Variable Message Signs en Real-time traffic information (RTTI)

worden gegeven. Specifieke situatie die betrekking hebben op weersomstandigheden (ijzel, sneeuw, aquaplaning, smog, ...) kunnen dit aanvullen.

Daarnaast kan een DRIP of GRIP informatie bevatten over aanbevolen routes (eventueel met vermelding van tijdsduur of aard van de weg). Routekeuze (bv. wenselijke afrit voor een bepaald reisdoel, ...) met al dan niet bijkomende informatie (bv. stedelijke informatie over parkeergeleidingssysteem, aansluitingen op openbaar vervoer, ...) kunnen hierbij horen.

Aanvullend kan specifieke informatie over doorstromingsproblemen op de route (blokkades, onderbroken wegen, wegwerkzaamheden, zware ongevallen, voertuigerelateerde informatie → bv. ADR-transporten, maximale hoogte, breedte of tonnage voertuigen, ...) worden vermeld.

Het hoeft nauwelijks vermeld te worden dat de boodschap op DRIP's of GRIP's de rijtaak van de bestuurder moet ondersteunen en niet belasten. De communicatie moet kort, eenduidig en goed begrijpbaar zijn. Vermits taal een barrière kan zijn, moet geopteerd worden voor symbolen en pictogrammen in plaats van tekst. De regel moet zijn dat men in fractie van een tijd de boodschap moet kunnen begrijpen. Dit is ongeacht of men de boodschap in het voertuig krijgt of niet; de boodschap moet informeren en niet afleiden. Het dient aanbeveling om op Europees niveau een "communicatiekader" uit te werken.

3.2.2 *Real-time verkeersinformatie (RTTI)*

Het doel van real-time verkeersinformatie is om bestuurders te helpen om het wegennet beter te gebruiken door het verstrekken van up-to-date verkeers-informatie; dit kan via klassieke radiosysteem, DRIP's, websites, teletekst, etc.

Deze info kan zowel voor als tijdens de trip worden doorgegeven, waarbij uiteraard het gekozen medium van belang is.

RTTI kan positieve effecten kunnen hebben op de congestie, vervoersefficiëntie, rijcomfort en veiligheid.

Uitgebreide gegevensbronnen in deze autonome versie van RTTI zijn Floating Car Data (zie 3.2.3) maar ook de klassieke datagaring: tellussen, cameraanalyses, ...

3.2.3 *Floating Car Data*

Floating Car Data (FCD) verzamelt gegevens over de verkeerssituatie van het volledige wegennet van individuele voertuigen. Via deze techniek kan men verschillende parameters meten: de juiste locatie, snelheid en eventueel andere informatie. Door analyseren van bepaalde data zoals versnelling of vertraging kan men files, zichtbaarheid, gladde weggedeelten of stilstaand verkeer vaststellen. Op basis daarvan kan informatie naar bestuurders gestuurd worden; dit kan langs verschillende wegen-radiob berichten, Drip's, RDS-signaal, TMC (Traffic Message Channel)...- worden doorgestuurd.

In de autonome versie maakt het systeem gebruik van bestaande signalen van de GSM's van de bestuurder en passagiers. Een mobiele telefoon legt om de paar seconden contact met de zendmasten in zijn omgeving. Met dit signaal kan voortdurend de locatie van een GSM worden bepaald. Momenteel kan alleen nog gebruik worden gemaakt van de mobiele telefoons van één mobiele provider, waardoor de dekkinggraad nog niet optimaal is. Uit de ontvangen en opgeslagen signalen van de mobiele telefoon kunnen vervolgens verkeersgegevens worden afgeleid. Omdat de dekkinggraad niet altijd voldoende is, kan via valideren met tellussen, dit opgevangen worden. Door een GSM over de weg op deze manier te volgen, kunnen trajectnelheid en reistijd worden bepaald. Daarnaast kunnen herkomst-bestemmingspatronen worden opgebouwd. Er wordt ook al gewerkt aan methoden om verkeersintensiteiten te schatten.

3.3 Coöperatieve applicaties

Zoals reeds vermeld is er bij coöperatieve applicaties interactie is tussen individuele voertuigen en andere gegevensbronnen zoals voertuigen onderling en wegwijk infrastructuur. Basis hiervoor zijn draadloze communicatietechnologieën die zowel lokale communicatie als een verbinding met het internet mogelijk maken (zie ook hoofdstuk 5).

3.3.1 *eCall (emergency call)*

Het principe van eCall is dat het eCall systeem autonoom (of manueel) de hulpdiensten verwittigt indien het voertuig bij een ongeval is betrokken. Tijdens een ongeval wordt door het voertuig opgemerkt dat dit ongeval plaatsvindt. Deze genereert een minimal set of data (MSD, o.a. plaats, voertuig id, tijdstip, etc) en stuurt deze naar de netwerk operator, samen met een 112 voice call. De operator verrijkt deze MSD informatie met de calling line identification (CLI) en locatie van de netwerk cell, en stuurt data en voice door naar een public safety answering point (PSAP) level 1. Deze kan zowel uitgebaat worden door de overheid als door een private service provider, en controleert via de voice call of het om een vals alarm gaat, indien niet stuurt deze data en voice door naar PSAP level 2. Dit is het effectieve noodcentrum van de overheid welk de juiste hulpdiensten ter plekke stuurt.

Sinds korte tijd is het systeem in België commercieel beschikbaar als onderdeel van een groter dienstenpakket onder de naam Touring Safe Drive²². Dit systeem bestaat uit een losse onboard unit die door een erkende vakman moet ingebouwd worden, en die de volgende applicaties mogelijk maakt: eCall, breakdown call, ill call and stolen vehicle tracking. Uiteraard wordt dit systeem op geheel vrijwillige basis ingebouwd. Vanuit Europese hoek is er echter ook zware druk voor een verplichte introductie van eCall²³. Het systeem zou enkel voor nieuwe voertuigen verplicht worden ingebouwd vanaf 2014. Het systeem zou het aantal ernstig gewonden en sterfgevallen kunnen doen dalen met 5-15 %. Op 4 mei 2010 ondertekende Staatssecretaris voor Mobiliteit Etienne Schouppe het Europese Memorandum of Understanding on eCall voor België²⁴.

Of de enorme Europese druk om dit systeem te implementeren evenredig is met de reële verkeersveiligheidswinst is maar de vraag. Zeker in dichtbevolkte gebieden kan de tijdsinstaat in relatie tot de verkeersveiligheidswinst beperkt zijn. Daarenboven vallen heel wat ongevallen uit dit systeem: fietsers, voetgangers, bromfietsen. Enkel bij melding van een ongeval met een voertuig zou de melding kunnen gebeuren. Er is tevens onduidelijkheid in welke mate dit systeem vluchtmisdrijven en de gevolgen ervan voor slachtoffers kan beperken.

3.3.2 *Breakdown call*

Bij pech kan met een enkele druk op de knop een connectie worden opgezet tussen de bestuurder en een pechverhelpster. Er wordt gelijkaardig aan eCall zowel een voice call opgezet, als een set of minimal data verzonden. De operator bij de pechverhelpdienst kan dan via de onboard unit op afstand enkele gegevens rechtstreeks van het voertuig

²² <http://www.touring.be/nl/beschermen/onderweg/safedrive/index.asp>

²³

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/09/1245&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

²⁴

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/10/488&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>

opvragen (remote diagnostics). Aan de hand van deze informatie kan de operator inschatten wat de aard van het probleem is, dit eventueel op afstand verhelpen, doorverwijst naar de dichtstbijzijnde garage, of een mobiele pechverhelpster ter plaatse sturen. Zoals reeds vermeld in 3.3.1 wordt in België deze applicatie commercieel aangeboden als onderdeel van Touring Safe Drive.

3.3.3 *Floating car data*

Deze applicatie is zeer gelijkaardig aan de autonome versie besproken in 3.2.3 . Het verschil is dat bij de autonome variant er geen gebruik gemaakt wordt van specifieke communicatiemogelijkheden die voorzien worden in het voertuig. Er wordt in de autonome variant namelijk gewerkt met data afkomstig van GSM masten langs de wegen.

Bij de coöperatieve variant wordt er in het voertuig wél een on board unit geplaatst. Deze stuurt dan in real time via een draadloze internetverbinding zoals 3G zijn locatie en snelheid door naar een centrale server, welke op basis van deze data een accuraat verkeersbeeld opbouwt. Typisch wordt dit systeem voorzien in slechts een klein aantal wagens (meestal de vloot van een aantal partners). Voor een goede dekking volstaan ongeveer 3-5% van de voertuigen op een weggedeelte om voldoende betrouwbare informatie te genereren. Op deze wijze kan bijna in real-time informatie worden doorgegeven.

3.3.4 *Real-Time verkeersinformatie (RTTI)*

Deze coöperatieve variant op RTTI is opnieuw zeer gelijkaardig aan de autonome versie besproken in 3.2.2 Het verschil bestaat er hem in dat het verkeersbeeld wordt opgebouwd aan de hand van zowel autonome als coöperatieve floating car data, en dat de gegevens niet alleen via de klassieke wegen zoals radiouitzendingen, DRIP's, websites, teletekst, etc. naar het bestuurder worden gecommuniceerd, maar ook digitaal rechtstreeks naar de onboard units en navigatiesystemen van de voertuigen worden gecommuniceerd.

3.3.5 *Kilometerheffing*

Kilometerheffing of road charging is een systeem waarbij een on board unit op regelmatige basis de GPS coördinaten van de gereden trajecten doorstuurt via een mobile GPRS of HSDPA netwerk naar een server, deze berekent dan de prijs voor dit afgelegde traject, en factureert de bestuurder. Dit vervangt of is complementair aan de huidige vormen van auto- en wegenbelastingen, en is gebaseerd op het principe "de gebruiker betaalt". Het is ook een instrument om dankzij geavanceerdere prijsmodellen het gedrag van bestuurders te beïnvloeden. Door bijvoorbeeld wegsegmenten waar structurele files heersen duurder te maken tijdens spitsuren kan beoogd worden om de bestuurders te motiveren hun verplaatsing op andere tijdstippen te plannen, of gebruik te maken van andere transportmodi.

Op technisch gebied is deze applicatie vrij matuur. Op 21 april 2010 stelde een consortium van bedrijven waaronder IBM, NXP, Mobistar, Touring, Volvo, Transport & Mobility Leuven en Magicview de technologie voor met een testrit tussen Brussel en Leuven²⁵. Een beleidsbeslissing is omtrent het invoeren is ook nodig maar niet altijd evident. Als voorbeeld verwijzen we naar de Nederlandse kilometerheffing die gepland stond om volledig ingevoerd te zijn tegen 2018. Na de val van het Nederlands kabinet in

²⁵ corporate.mobistar.be/go/nl/media_center/nieuws/news_details.cfm?news_id=165

maart 2010 werd het onderwerp kilometerprijs controversieel verklaard, en is het wachten op een beslissing van de nieuwe regering om het project te laten doorstarten of stoppen²⁶.

In België ligt de situatie anders. Op 2 maart 2010 keurde de Waalse regering een nota goed om een forfaitair wegenvignet in te voeren, dat geleidelijk overgaat in een heffing per gereden kilometer²⁷. De Vlaamse regering kiest echter voor een slimme kilometerheffing zoals besproken in deze sectie, en dit tegen 2013. Vlaanderen wil de heffing bij voorkeur invoeren in overleg met de buurlanden.

3.3.6 *Collision hazard warning*

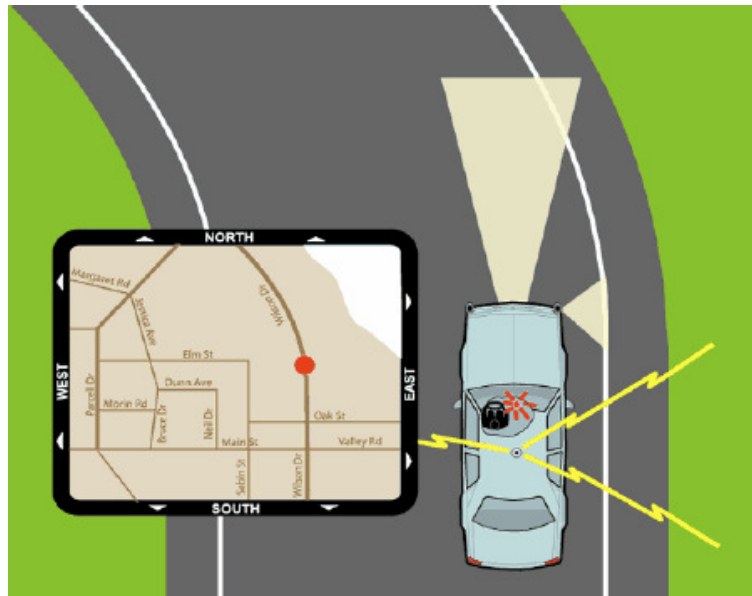
Deze applicatie is gebaseerd op lokale communicatie tussen voertuigen onderling, en gebruikt de uitgewisselde gegevens (identificatie voertuig, locatie, snelheid, richting, etc.) voor het inschatten van mogelijke risico's op aanrijdingen en waarschuwen van de bestuurder. Deze verhoging van de alertheid van de bestuurder verhoogt de kans dat het ongeval nog kan vermeden worden. Een groot aantal mogelijke aanrijdingen kunnen dankzij deze aanpak vermeden worden. Dikwijls worden deze afzonderlijk als applicatie vermeld, maar vertrekken allen van dezelfde uitgewisselde gegevens. Daarom nemen we ze in dit overzicht (en later ook in de techno-economische evaluatie) samen onder de noemer *collision hazard warning*. Hieronder staan enkele voorbeelden opgelijst:

- **Traffic jam warning:** stilstaande of traag rijdende voertuigen kunnen detecteren dat ze een file vormen en sturen dit lokaal uit. Op die manier kunnen bestuurders van de aankomende voertuigen gewaarschuwd worden dat ze de staart van een file naderen.
- **Accident / Breakdown warning:** wanneer een voertuig betrokken is bij een ongeluk of met pech de weg verspert, dan wordt het aankomend verkeer van dit obstakel op de hoogte gebracht.
- **Ghost driver warning:** waarschuwing dat er een spookrijder nadert.
- **Electronic break light:** in dit geval is er geen voertuig dat een obstakel op de weg vormt, maar doet de situatie zich voor dat er een paar wagens vooruit plots bruusk en eenmalig geremd wordt. De bestuurder wordt hiervoor gewaarschuwd. Dit is voornamelijk nuttig wanneer de bestuurder een beperkt zicht voorwaarts heeft (b.v. achter bestel- of vrachtwagen, SUV, ...).
- **Obstacle warning:** als een bestuurder merkt dat er een verloren lading, dier of een ander object zich op de snelweg bevindt, dan kan deze dit signaleren met een alarmknop, waarop het aankomend verkeer lokaal gewaarschuwd wordt. In dit geval is er dus een manuele trigger voor de waarschuwing, terwijl in alle vorige voorbeelden de alarmberichten automatisch door het voertuig zelf werden opgemaakt.
- **Blind spot monitoring:** wanneer een bestuurder een richtingverandering wil uitvoeren maar een naburig voertuig of zwakke weggebruiker niet opmerkte, dan zal deze applicatie de bestuurder waarschuwen over zijn gevaarlijke intenties. Deze coöperatieve versie van blind spot monitoring is mogelijk doordat de applicatie dankzij het uitwisselen van locatiegegevens tussen alle weggebruikers onderling steeds een compleet overzicht heeft van de wegsituatie. Wanneer deze applicatie zich voornamelijk richt tot het bewaken van rijvakken zoals op een autosnelweg, dan spreekt men van Lane Change Assistant (LCA). Dit systeem vult het autonome LDW aan doordat het de bestuurder waarschuwt wanneer hij naar

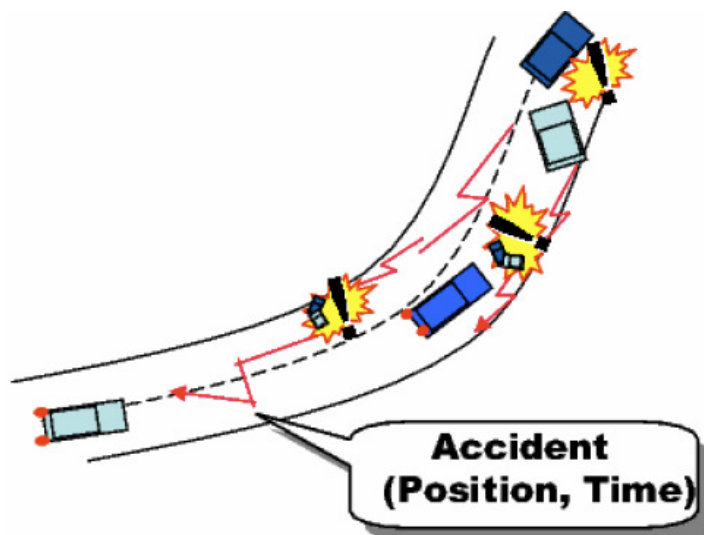
²⁶www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/mobiliteit_en_bereikbaarheid/kilometerprijs/

²⁷ www.standaard.be/artikel/detail.aspx?artikelid=172MUJKR

een ander rijvak gaat op het ogenblik dat een achteropkomend voertuig zich in dat rijvak bevindt. De bestuurder wordt gewaarschuwd dat veranderen van rijvak niet wenselijk omdat anders een mogelijke aanrijding het gevolg kan zijn. In de toekomst –bij het bestaan van gedetailleerde weginformatie- kan ook informatie over het statuut van het rijvak (bv. geen rijvak mogelijk doordat het verkeersreglement dit verbiedt of doordat het fysiek niet mogelijk is) beschikbaar gesteld worden. Voor autosnelwegen kan dit voor een betere geleiding en/of voorsortering zorgen; op deze wijze kan het gevaarlijk in- of uitvoegen worden voorkomen. LCA zal pas samen met de ander autonome Lane Keeping Systems worden aangeboden.



Figuur 10: Uitsturen van eigen positie ter ondersteuning van collision hazard warnings



Figuur 11: Accident warning

Ter volledigheid moet bij deze bespreking van de *collision hazard warning* het WILLWARN²⁸ project vermeld worden. Een aangepaste snelheid en een aangepaste afstand zijn zeer belangrijke factoren voor het veilige rijden. Binnen het Europese project WILLWARN (binnen het project PREVENT) wordt een aangepaste toepassing ontwikkeld om de bestuurder tijdig te waarschuwen voor een gevaarlijke situatie/weggedeelte. Voordat een gevaarlijke situatie (scherpe bocht, afdaling, versmalling, ...) zich voordoet, ontvangt de bestuurder waarschuwende boodschap.

Deze toepassing is ontwikkeld omdat vele bestuurders te snel en te dicht rijden of te laat reageren op gevaarlijke situaties. Op basis van de Duitse ongevalstatistieken van 2004 blijkt dat 26,8 % van alle ongevallen met gewonden gebeurt als gevolg van niet aangepaste snelheid en het niet houden van voldoende afstand. Indien men de bestuurder tijdig kan waarschuwen –en in de veronderstelling dat het rijgedrag wordt aangepast, kunnen heel wat verkeersongevallen vermeden of de impact sterk verminderd worden.

Bij dit onderzoek werd vertokken van bestaande systemen (Extended Warning Flashlight en FleetNET) om op deze wijze een volledige toepassing te maken waarvan de penetratie naar de markt kon gewaarborgd worden.

WILLWARN ontwikkelt een concept voor automatische opsporing, lokalisatie van verkeers- en weersomstandigheden. De lokalisatie gebeurt door GPS terwijl sensoren voor de detectie van gevaarlijke situaties zorgen. Daarbij is een nieuw managementsysteem dat de transmissie, opslag en het verzenden van de waarschuwingen tijdig en op de juiste plaats mogelijk maakt. In het voertuig wordt een onafhankelijk functionerend communicatiesysteem opgebouwd dat via een netwerk gegevens kan doorsturen aan tegemoetkomende en volgende auto's. De waarschuwing gebeurt door een grafische en een geluidssignaal.

WILLWARN is zowel geschikt voor autosnelwegen als klassieke wegen en wil een systeem dat erg doeltreffend is maar slechts een beperkte extra kost voor de bestuurder mee brengt. Zowel de kostprijs van het systeem als de communicatiekost moeten beperkt zijn.

3.3.7 Road conditions information

Deze applicatie is opnieuw gebaseerd op lokale communicatie tussen voertuigen onderling, maar gebruikt de uitgewisselde gegevens voor het informeren van de bestuurder over de wegsituatie in zijn onmiddellijke omgeving. Deze informatie heeft geen betrekking tot mogelijke aanrijdingen, maar een aantal andere gegevens kunnen zowel de veiligheid verhogen als de verkeersdoorstroming bevorderen. Opnieuw is deze applicatie een algemene term waar verschillende in de literatuur gekende toepassingen kunnen onder gebracht worden. Gemeenschappelijk element is wel dat deze steeds lokaal informatie uitwisselen met hun onmiddellijke omgeving, en dat deze informatie verder gaat dan de locatie informatie gebruikt bij de collision hazard warning applicaties. Een aantal voorbeelden zijn:

- **Limited grip:** dat een wegsegment gevaarlijk weinig tractie biedt (bv. door olie of ijs) kan automatisch door het stabiliteitscontrole systeem van een voertuig worden gedetecteerd. Deze informatie kan dan lokaal worden gecommuniceerd naar het aankomend verkeer.
- **Dynamic ISA:** aanvulling op klassieke ISA (zie 3.1.3) waarbij variabele snelheidslimieten die aangeduid worden op DRIPs en GRIPs (zoals bv. op de ring

²⁸WILLWARN, Deliverable PR-22100-SPD-070131-v13
31.01.2007, a PREVENT-project, 71 blz.

van Antwerpen) ook lokaal en in real time van de roadside infrastructuur naar het ISA systeem in het voertuig gecommuniceerd worden.

- **Intersection assistance:** een centrale controller op een kruispunt bouwt dankzij een combinatie van lokale communicatie en laserscanners een beeld op van alle aankomende voertuigen, bewegingen van voetgangers, etc. Dankzij deze informatie kan de controller schakeltijden van de verkeerslichten optimaliseren, maar ook gerichte waarschuwingen sturen bij potentiële aanrijdingen. Denk hierbij aan het te snel naderen van een overstekende voetganger, rechtsafslaan zonder een fietser op te merken of links afslaan zonder een aankomend voertuig op te merken.
- **Approaching emergency vehicle:** dankzij de elektronische sirene gebaseerd op lokale communicatie kunnen andere bestuurders vroegtijdig gewaarschuwd worden om aan de kant te gaan voor een prioritair voertuig. Interactie tussen dit prioritair voertuig en kruispunt controllers kan er zelfs voor zorgen dat kruispunten in de juiste richting geëvacueerd worden alvorens het prioritair voertuig deze kruisen.

3.3.8 *Map updates*

Wanneer een voertuig uitgerust is met een draadloze verbinding met het internet, bv. een GPRS of HSDPA verbinding, dan kan deze volledig automatisch updates binnenhalen van digitale wegenkaarten die gebruikt worden voor navigatie of andere ITS applicaties. Op deze manier kan gegarandeerd worden dat de kaarten zelf en de bijhorende attributen (maximum toegelaten snelheden, tijdelijke wegenwerken, Point Of Interests, ...) steeds up-to-date zijn.

3.3.9 *Dynamic traffic management*

Dynamisch verkeersmanagement systemen zijn systemen die gebaseerd zijn op de interactie tussen de infrastructuur en het voertuig. Ze geven de bestuurder in geval van verstoring -incidenten, congestie, weersomstandigheden- informatie om zowel de verkeersveiligheid als de doorstroming van het verkeer te waarborgen.

Deze systemen worden door een verkeerscentrum beheerd -automatisch, semi-automatisch of manueel- op basis van (vaste) monitoringsystemen of op basis van de info die via mobiele sensoren geïnstalleerd op voertuigen, (Floating Car Data) wordt doorgestuurd.

Variable Message Signs (elektronische verkeersborden, zie 3.2.1) worden gebruikt om de informatie (aangepaste verkeersregels, waarschuwingen, weginformatie) mee te delen aan de bestuurder. Deze gegevens kunnen ook rechtstreeks naar de voertuigen gestuurd worden. Technisch kan dit op verschillende manieren uitgevoerd worden: via lokale communicatie van specifieke roadside units naar de voertuigen, via unicast mobiele communicatie zoals 3G, of via wide area broadcasting zoals DVB-T.

Dynamisch verkeersmanagement systemen kan via het beheersen van verkeersstroom en rijnsnelheid, het aantal ongevallen en verkeersslachtoffers voorkomen. Het verkeersveiligheidseffect is afhankelijk van de kwaliteit van het traffic management systeem en de verkeersintensiteit. Naast het verkeersveiligheidseffect kan de efficiëntie van het vervoersysteem, de congestie verminderen en het rijcomfort verhogen.

3.3.10 *Recreatieve internet toegang*

Deze applicatie heeft geen impact op de verkeersveiligheid, maar kan wel een belangrijke impact hebben op de benodigde netwerkinfrastructuur voor internettoegang. Dit kan van

groot belang zijn bij de techno-economische analyse van coöperatieve ITS systemen die besproken wordt in hoofdstuk 7. We onderscheiden drie categorieën van recreatieve internettoegang, elk met een bijhorende bandbreedteverbruik per voertuig: audio streaming (160 kbit/s), Internet browsing (20 kbit/s), YouTube streaming (740 kbit/s).

3.3.11 Technische parameters coöperatieve applicaties

In de voorgaande subsecties werden een aantal coöperatieve applicaties functioneel voorgesteld. Wanneer we deze toepassingen willen opnemen in het model dat toegepast wordt in hoofdstuk 7. Socio- en techno-economische evaluatie, dan moeten we een aantal technische parameters van deze applicaties bepalen. De vereiste parameters zijn bandbreedteverbruik van 1 voertuig, zowel in uplink als in downlink, inschattingen van het aantal mensen nodig om de applicaties op te zetten en operationeel te houden, het aantal servers nodig om de applicatie te voorzien, en dan afhankelijk van de toegepaste communicatietechnologie nog een aantal specifieke gegevens. In het geval er lokale communicatie gebruikt wordt, is het nodig te weten op hoeveel procent van het totale wegennet de applicatie moet ondersteund worden, en in de ondersteunde segmenten, wat daar dan de dekkinggraad van de roadside units moet zijn. Ook is het nodig te weten hoeveel van deze roadside units er verbonden moeten zijn met het internet.

Deze parameter waarden werden analytisch ingeschat voor de verschillende applicaties die door het model gebruikt worden. Dit zijn de resultaten:

- **Road charging**

- Bandbreedte up:

- Uit Vandenberghe et al. (2009) blijkt dat een update van de OBU naar de road charging server best 1 maal om de 100 km gebeurt.
- Uit dezelfde studie blijkt dat de gemiddelde berichtgrootte van zo een update gelijk is aan 5000 bytes overhead + 1000 coördinaten (1 per 100 m) * 37 bytes * compressie factor 0.23. Dit komt neer op ongeveer 13500 bytes of 108 000 bits of 108 kbits per bericht.
- Bandbreedte Up is dan gelijk aan het (aantal updates/km / 1000) * snelheid van een voertuig (in m/s) * berichtgrootte. Dit komt neer op 0.04 kbps bandbreedteverbruik up.

- Bandbreedte down:

- Down is alleen maar nodig voor acknowledgment door de server, dit stellen we in op 1 % van up. Dit komt neer op 0.0004 kbps.

- Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie

- Facturatie: dit zou sterk geautomatiseerd moeten kunnen worden, schatten in dat 15 personen voldoende zou moeten zijn om de speciale gevallen op te vangen.

- Aantal programmeurs voor opstellen applicatie

- On board unit software: 5 personen
- Map matching & berekenen prijs: 5 personen
- Facturatie & registratie: 5 personen
- Totaal: 15 personen

- Aantal servers per miljoen gebruikers

- 0.2 server map matching: volgens Vandenberghe et al. (2009) kan 1 server 3.6 miljoen transacties per uur aan. Bij 100 km per update geeft dat model slechts 24 000 connecties per uur op piekmomenten. Om dit wat realistisch maar toch eenvoudig in het model uit te drukken zeggen we dat voor 1 miljoen gebruikers 0.2 servers nodig zijn.

- 1 bijhorende SSL reverse proxy server bij deze map matching server: 0.2
 - 1 facturatie server: 0.2
 - Bijhorende SSL reverse proxy: 0.2
 - Afgerond dus 1 server nodig per miljoen inwoners. Voor redundantie zetten we een volledig parallel back-up park in, geeft in totaal dus 2 servers per miljoen gebruikers.
- **eCall**
 - Bandbreedte up:
 - # updates / km:
 - In Casteels (2010) wordt een inschatting gemaakt van het aantal schadegevallen die zowel letselongevallen als schadeongevallen zonder letsels omvat. Deze wordt op basis van de schadefrequentie in de verzekering burgerrechtelijke aansprakelijkheid (BA) toerisme en zaken gemaakt. Dit omdat de in sectie 2. besproken exacte cijfers alleen gekend zijn voor letselongevallen aangezien alleen deze systematisch in een proces verbaal door de politie worden opgenomen. Voor 2008 kwam men aan een totaal van ongeveer 350 000 ongevallen. In Casteels (2009) wordt vermeld dat ongeveer 15% van alle ongevallen zich voordoet op autosnelwegen, wat neerkomt op ongeveer 50 000 ongevallen per jaar. Als we schatten dat er ongeveer 3 keer zoveel pechgevallen zijn op de autosnelweg als ongevallen, dan krijgen we in totaal 200 000 ecalls per jaar. Dit lijkt van dezelfde grootteorde te zijn als af te leiden valt uit cijfers van Touring: 6000 in de kerstvakantie²⁹, 1000 in het buitenland³⁰. Dus 5000 in binnenland per jaar voor twee weken, of 130 000 per jaar. Aangezien ongeveer 33 procent van de verreden voertuigkilometers op de autosnelweg is³¹, blijft voor ecall op autosnelweg ongeveer 40 000 pech calls per jaar over. Laatste stap is het in rekening brengen van het aantal leden van Touring. Dit is ongeveer 900 000 leden³². Als we inschatten dat gemiddeld de helft van de gezinnen zijn 2^e wagen ook inschrijft bij Touring, dan betekent dit dat er ongeveer 1 350 000 voertuigen ingeschreven staan bij Touring. Aangezien het totale voertuigenpark in België ongeveer 6.5 miljoen is, betekent dit dat ongeveer 20% van alle voertuigen ingeschreven is bij Touring. We moeten de 40 000 ecalls op de autosnelweg

²⁹ <http://www.express.be/sectors/nl/logistics/extra-drukke-interventieperiode-voor-mobiliteitsorganisatie-touring/119213.htm>

³⁰ <http://www.touring.be/nl/corporatesite/wie-zijn-wij/pers/communiques/nouvelles-touring/touring-helpt-meer-dan-duizend-gezinnen-in-het-buitenland/index.asp>

³¹

http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/verkeer_vervoer/verkeer/afstand/index.jsp

³² http://www.ipb.be/index.php?option=com_content&task=view&id=12819&Itemid=325&lang=nl

voor Touring dank ook vermenigvuldigen met 5 om het totale aantal in te schatten, wat neerkomt op 200 000 ecalls per jaar.

- We kiezen dan ook voor 200 000 ecalls op de autosnelweg per jaar. Verdeeld over de 33 miljard voertuigkm die per jaar op de autosnelweg worden verreden, geeft dit gemiddeld per voertuig 1 ecall per 165 000 autosnelweg kilometers.
 - Message size: schatten 5000 bytes overhead (zoals bij road charging), 1000 bytes data = 6000 bytes of 48 000 bits. Afgerond 50 kb.
 - De formule voor bandbreedte up wordt hetzelfde als bij road charging: (aantal updates/km / 1000) * snelheid van een voertuig (in m/s) * berichtgrootte. Dit komt dan voor eCall neer op een verbruik van 0.00001 kbps.
- Bandbreedte down: zetten we gelijk als up, kan korte bevestiging zijn door server op onze eigen korte melding.
- Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie
 - Aantal calls is gelijk aan 33 000 per jaar of 90 per dag. Gemiddeld 5 minuten per call is 7.5 uur per dag. In theorie kan dit dus met 1 operator in het call center. Omdat er tijdens piekuren echter geen vertraging mag zijn door het bezet zijn van de operator bij melding van ongevallen nemen we voor de zekerheid 5 operatoren. We gaan er wel van uit dat dit door 1 dienst wordt voorzien (bv Touring), en niet per automerk. Anders worden dit er stuk of 30 (bij 1 voor elk courant automerk).
- Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: 2 bij de netwerkoperator voor het verkrijgen van de info, 2 voor de PSAP level 1, 2 voor de PSAP level 2. Totaal is dan 6.
- Aantal servers per miljoen gebruikers: gelijkaardige redenering als bij road charging: aan 90 calls per dag is er genoeg aan 1 server voor heel België om een taak af te handelen, of 0.2 per miljoen. Omdat deze server veel minder belast zal worden dan de road charging server is een ssl reverse proxy niet nodig. Dus krijgen we 0.2 server bij de netwerk operator voor het verkrijgen van de data, 0.2 bij PSAP level 1, en 0.2 bij PSAP level 2. Totaal dus 0.6, verdubbelen voor redundantie, geeft 1.2. Ronden af naar beneden, dus 1.
- **Frontal collision warning**
 - Bandbreedte up:
 - # updates / km: ETSI TR 102 638 definieert een beaconing frequentie van 10 Hz.
 - Message size: in Solberg et al. (2007) staat de berichtgrootte voor een aantal applicaties in detail uitgelegd, waaronder voor Enhanced Driver Awareness (EDA), wat gelijkaardig is aan wat wij frontal collision warning noemen. Voor deze applicatie staat het gebruikte informatiemodel uitgewerkt:
 - Positie: heading, latitude, longitude, speed en time: elk 1 integer of 4 bytes, in totaal dus 20 bytes.
 - Horizon: vorige, huidige en volgende wegsegment: 3 integers of 12 bytes.

- Advies (of warning content): 4 strings, waar we zelf een lengte voor inschatten: timestamp (20 chars), type (5), unit (5), value (50). Dit geeft samen 80 bytes
 - Route datastructuur: niet van belang omdat deze info bevat over omliggende voertuigen en manoeuvres, wordt waarschijnlijk opgebouwd uit ontvangen pakketten, en niet steeds mee rond gestuurd.
 - Dit geeft dan in totaal 100 bytes aan data. Als we daar een IPv6 header van 40 bytes en UDP header van 8 bytes aan toevoegen, komen we aan 148 bytes. Als er nog een kleine marge wordt voorzien om bv een georouting header extentie voor ipv6 te voorzien, of wat extra data. Daarom kan er besloten worden dat de basis packet size 175 bytes is.
 - Wanneer we voor security een signature willen toevoegen kan men gebruik maken van Blum et al. (2008), namelijk 125 bytes voor een signature, en dus een packet size van 300 bytes voor een secure packet, of 2.4 kbit, wat we afronden naar 3 kbit.
 - Bandbreedteverbruik up is dan gelijk aan frequentie * message size. Dit komt op $10 \text{ Hz} * 3 \text{ kbit} = 30 \text{ kbps}$.
- Bandbreedte down : deze is gelijk aan 0 want geen echt verschil tussen up en down bij deze applicatie, alles zit al meegenomen in up.
- Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: geen, want er is geen centraal beheerspunt, de applicatie draait volledig gedistribueerd over alle voertuigen.
- Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: ervan uit gaande dat er één reference applicatie is die door de verschillende manufacturers hergebruikt kan worden: 5 (meeste werk is het bepalen wanneer een warning wel of niet gegenereerd moet worden).
- Aantal servers per miljoen gebruikers: geen servers nodig.
- Extra gegevens lokale communicatie:
 - Voorziening: we verwachten dat de applicatie direct beschikbaar wordt gesteld door over het hele autosnelweg net. Dus een voorziening van 100%
 - Dekking: doordat er in België wel altijd een beetje verkeer is gaan we ervan uit dat we geen full coverage nodig hebben, data kan via voertuigen wel vanuit 1 RSU naar andere piggy backen met het verkeer in beide richtingen. We kiezen voor een coverage van 50%.
 - Puur voor frontal collision warning hebben we nergens een uplink naar het internet nodig.
- **Road condition**
 - Bandbreedte up:
 - Is een eenmalige event dat 1 bron rondstuurt na detectie van een obstakel, oliespoor, ijzel, etc. Een bericht nemen we zelfde als frontal collision, 3 kbit. Volgens ETSI nodig aan 10 Hz, dus $* 10 = 30 \text{ kbps}$. Dit is echter geldig voor de ene node in een collision domain van honderden. Eigenlijk moeten we dus vooral kijken hoeveel data elke andere node zal produceren bij het rebroadcasten, de som hiervan zal later belangrijk zijn.
 - Bij het rebroadcasten moet er rekening mee gehouden worden dat niet alle voertuigen zomaar opnieuw broadcasten (simpele

flooding), want dan krijg je max 600 voertuigen in 1 collision domain die opnieuw willen uitsturen (Vandenberghe et al., 2009). We gaan er van uit dat 10% rebroadcasting voldoende moet zijn bij high density. Up is dan = $10 * \text{packet size} * 0.1$. Dit komt neer op 3 kbps.

- Bandbreedte down: deze is gelijk aan 0 want geen echt verschil tussen up en down bij deze applicatie, alles zit al meegenomen in up.
- Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: wanneer de RSU met uplink de gegevens betreffende olie, obstakels en dergelijke doorgeven naar een centraal punt, kan deze de juiste instanties waarschuwen. We schatten in dat 1 FTE hiervoor zou moeten volstaan.
- Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: zelfde als frontal collision + 2 voor centraal gedeelte = 7
- Aantal servers per miljoen gebruikers: 1 server nodig voor België, dit komt dan op 0.2 per miljoen, vermenigvuldigen dit met 2 voor redundantie, afronden op 0.5.
- Extra gegevens lokale communicatie:
 - Voorziening en dekking zelfde als bij frontal collision warning (100% en 50%)
 - Nodige RSU internet uplink: deze is gelijk aan 25% zodat de lokale info uiteindelijk bij het centraal punt terecht kan komen.
- **Map updates:**
 - Bandbreedte up: bij deze applicatie is het verkeer bijna allemaal down, in uplink hebben we alleen maar acknowledgments van de client naar de server. We schatten dat deze 1% is van het download verbruik zal zijn.
 - Bandbreedte down: twee mogelijkheden:
 - Werken via carousel in broadcast technologie. Een kaart van België is ongeveer 80 MB, als we er van uit gaan dat een update 1 % van deze kaart bedraagt, 800 kB, komt dit neer op 6400 kb. Als we stellen dat het 2,5 minuten mag duren om een volledige kaart te broadcasten, dan heb je een maximum delay tussen beginnen luisteren naar een update en deze volledig binnen hebben van 5 minuten, wat aanvaardbaar is. $6400 \text{ kb} / 150 \text{ s} = 43 \text{ kbps}$ nodig voor de carousel.
 - Werken via unicast. Wanneer we zelfde constraint van 2.5 minuten pakken heeft 1 client dan 43 kbps nodig voor de download. Als we er van uit gaan dat een rit op de autosnelweg ongeveer 20 minuten duurt (heen en terug dus 40), en een voertuig 1 maal per dag zijn kaart updated, dan is hij dus aan het updaten in $2.5/40$ van zijn tijd op de autosnelweg. Dat betekent dat gemiddeld ongeveer 6% van de voertuigen binnen 1 unicast cell tegelijk bezig is met zijn update. Voor de nodige download krijgen we dan: $0.06 * 43 \text{ kbps}$, of 2.58 kbps.
 - Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: 1 iemand van de map provider die de laatste bestaande map updates naar het broadcasting platform brengt. Dit is wel op voorwaarde dat dit een gratis service is, en geen betalende, want dan heb je call center en facturatie nodig. Ook gaan we ervan uit dat het aanmaken van de map updates sowieso gebeurt door de aanbieders van digitale kaarten, en niet speciaal voor deze applicatie moet gedaan worden.

- Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: 2 voor het invoegen van een bestaande map update in een broadcast carousel, 2 voor het programmeren van de OBU die deze binnentrekt. In totaal dus 4.
- Aantal servers per miljoen gebruikers: 1 server nodig voor heel België, die de map update op de carousel zet. Dit komt dan op 0.2 per miljoen, vermenigvuldigen dit met 2 voor redundantie, afronden op 0.5.
- **Emergency vehicle**
 - Bandbreedte Up en down: exact zelfde als road condition, 1 bron die aan 10 Hz uitstuurt, 10% die rebroadcast.
 - Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: geen operators nodig.
 - Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: eenvoudiger dan road conditions, manuele trigger → 3
 - Aantal servers per miljoen gebruikers: geen servers nodig
 - Extra gegevens lokale communicatie: geen RSU nodig, garantie van single hop bij ijl verkeer is voldoende bereik. Dus voorziening van 0%.
- **Remote diagnostics**
 - Bandbreedte Up
 - Aantal updates per km is deel van eCall, namelijk alleen de pechverhelping eruit. Geeft 20 000 pech calls per jaar, over 33 miljard km, of 1 pechcall per 1.65 miljoen km.
 - Packet size wordt dan 5 kbyte overhead + 100 kbyte diagnostic data = 840 kbit.
 - Bandbreedte Up is gelijk aan zelfde formule als bij ecall: (aantal updates/km / 1000) * snelheid van een voertuig (in m/s) * berichtgrootte. Dit komt neer op 0,0000170 kbps.
 - Bandbreedte Down schatten we in als de helft van bandbreedte up.
 - Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: eCall stelde dat het eigenlijk kan met 1, maar om delay bij ongevallen te vermijden namen ze 5. De ongevallen zitten er nu echter niet bij, dus nemen we voor de zekerheid 3, maar niet meer. We gaan er wel van uit dat dit door 1 dienst wordt voorzien (bv Touring), en niet per automerk. Anders worden dit er stuk of 30 (bij 1 voor elk courant merk).
 - Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: eenvoudiger dan eCall, nemen de helft = 3
 - Aantal servers per miljoen gebruikers: 0.2 nodig per miljoen (want eigenlijk 1 server voor België), verdubbelen voor redundantie, ronden af op 0.5.
- **Traffic management**
 - Bandbreedte Up:
 - stel dat elk voertuig 1 maal per 2 km een update doorstuurt van de verkeersstatus naar het VVC, dan krijgen we voor Bandbreedte up dat deze gelijk is aan (updates/km / 1000) * snelheid (m/s) * message size. Als message size pakken we zelfde als road conditions applications (3 kbit). Dit komt neer op een uplink bandbreedteverbruik van 0.05 kbps.
 - Bandbreedte down: twee mogelijkheden om verkeersmanagement berichten naar de voertuigen te kruigen: broadcasting en unicasting:
 - Werken via broadcasting carousel in broadcast technologie. Als we ervan uitgaan dat een verkeersbericht in 50 kbyte kan, + 5 kbyte

security overhead, dan komt dit neer op 440 kbit. Als we stellen dat het 30 seconden mag duren om een volledige traffic management opdracht te broadcasten, dan heb je een maximum delay tussen beginnen luisteren naar een update en deze volledig binnen hebben van 1 minuut, wat aanvaardbaar is. $440 / 30 = 15$ kbps nodig voor de carousel.

- Broadcasting carousel via lokale transmitters. De gevraagde rate hangt af van de range. Down is dan = message size van 440 kbit / (local range * 2 / snelheid in meter per seconde) * 2 (wegens carousel).
- Werken via unicast. Wanneer we zelfde constraint van 30 seconden pakken heeft 1 client dan 15 kbps nodig voor de download. Als we er van uit gaan dat een voertuig elke vijf minuten de nieuwste management info opvraagt, betekent dit dat steeds 10% van de voertuigen aan het downloaden is. Voor de nodige download krijgen we dan: $0.1 * 15$ kbps.
- Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: 6 bij een gewoon regionaal verkeerscentrum³³. Door de hogere mate van automatisatie zou dezelfde ploeg als bij een regionaal verkeerscentrum een veel groter gebied moeten kunnen bedienen. Daarom schatten we dat 12 voldoende zou moeten zijn voor heel België.
- Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: 2 voor datacollectie, 2 voor opbouwen verkeersbeeld, 2 voor nemen maatregelen. In totaal dus 6.
- Aantal servers per miljoen gebruikers: voor heel België 1 voor server, zoals bij vorige berekeningen geeft dit 0.5 per miljoen inwoners.
- Extra gegevens lokale communicatie
 - Voorziening en dekking: beiden 100% (indien we local als technologie kiezen)
 - Verbinding met het internet: 100%
- **Traffic information**
 - Bandbreedte Up: geen upload, traffic information trekt alleen bestaande data binnen, voorziet zelf geen data vanuit ITS.
 - Bandbreedte Down:
 - Zelfde als traffic management, maar met andere data. Nemen wel zelfde data size, 50 kbyte + 5 security, dus exact zelfde bandwidth waarden als bij traffic management voor download.
 - Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: alleen verzamelen info, geen maatregelen uitvoeren of opvangen speciale events, 1/3 van traffic management lijkt voldoende wegens hoge mate van automatisering: 4 managers
 - Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: 2 voor verzamelen info, 2 voor opbouwen verkeersbeeld = 4
 - Extra gegevens lokale communicatie: zelfde als traffic management.
- **Audio streaming**
 - Bandbreedte Up: geen opwaarts verbruik
 - Bandbreedte down:

³³ <http://www.cdenv.be/node/2382>

- Audio streaming is geen specifieke ITS dienst, maar gewoon binnentrekken van bestaande audiostreams vanop het internet. Dus unicast technologie, met gangbare audio bitrate van 160 kbps.
 - Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: geen aangezien het een gewone bestaande niet-ITS dienst is.
 - Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: 1 om audio player op OBU te zetten
 - Aantal servers per miljoen gebruikers: geen servers speciaal voor ITS, zijn bestaande diensten, geen meerkost aan verbonden.
- **Internet browsing**:
 - Bandbreedte Up: 10% van het down verkeer
 - Bandbreedte down: gebruikelijke dimensioneringswaarde is 20 kbps.
 - Aantal werknemers voor het operationeel houden van de applicatie: geen, omdat het geen speciale ITS dienst is.
 - Aantal programmeurs voor opstellen applicatie: 1 programmer voor de OBU browser geen verdere kosten.
- **Youtube streaming**: de YouTube bitrate is voor SD (Standard Definition) 740kbps, en voor HD 1860 kbps³⁴. Buiten 1 programmer voor de OBU browser geen verdere kosten.

³⁴<http://www.videopia.org/index.php/read/articles-mainmenu-229/560-youtube-in-1080p.html>

4. IMPACT ANALYSE BELANGRIJKSTE APPLICATIES

4.1 Overzicht bestaand onderzoek

In de database <http://www.esafety-effects-database.org/> worden de veiligheidseffecten en stand van zaken van verschillende ITS veiligheidssystemen vermeld: Adaptive headlights, Alcohol (inter)lock, Anti-lock braking system (ABS), Automatic speeds enforcement, Blind spot monitoring, Dynamic traffic management (Variable Message Signs), eCall, ESC, Extended environmental information (extended FCD), Lane Departure Warning, Local Danger Warning, Obstacle and Collision Warning (including ACC), Real-time Traffic Information, Seat Belt Reminder, Speed Alert.

Bij elke van de onderwerpen wordt aangeduid wat de realisatiekans is en worden de voordelen aangeduid. Telkens vindt men er een verwijzing naar specifieke onderzoeken c.q. rapporten.

Een erg interessant onderzoek wordt gevormd door het onderzoek SEISS (Socio Economic Impact Intelligent Safety Systems). Dit onderzoek (Abele et al., 2005) waarin een specifieke IVSS³⁵ Assessment Methodology wordt voorgesteld, geeft voor drie systemen –eCall, Safe Following-Adaptive Cruise Control, Lane Change Assistent and Lane Departure Warning- een op deze methode gebaseerde berekening.

Los van de keuze van deze drie Intelligent Vehicle Safety Systems is dit een degelijk aangrijppunt dat ook in verschillende belangrijke vervolgonderzoeken –ondermeer het project TRACE (Traffic Accident Causation in Europe)- wordt gebruikt. In TRACE werd vooral op de veiligheid van ITS-applicaties die in het Europese eIMPACT³⁶ project aan bod komen, gefocust. Uit deze analyse werden drie systemen (drie indien men Collision Avoidance en Collision Warning samen beschouwd) die sterk kunnen bijdragen tot het verhogen van de verkeersveiligheid, geselecteerd:

- Collision Avoidance
- Collision Warning.
- Intelligent Speed Adaptation
- Alcolock Key

Een aantal systemen hebben zowel op het vlak van het verhogen van de verkeersveiligheid en van de noden van de bestuurder, een erg laag effect³⁷:

- Tyre Pressure Monitoring System
- Rear Light Brake Force Display
- Advanced Adaptive Front Light System
- Dynamic Suspension
- Cornering Braking Control

³⁵ Intelligent Vehicle Safety Systems

³⁶ eIMPACT, "Socio-economic Impact Assessment of stand-alone and co-operative intelligent vehicle safety systems (IVSS) in Europe", is an European Specific Targeted Project co-funded by the European Commission Information Society Technologies and Media. This 6th Framework project, coordinated by TNO, started in January 2006 and ended in December 2007. Total budget: € 2.4 million (EU contributes € 1.6 million)

³⁷ ibidem

- Blind Spot Detection
- Lane Changing Support
- Predictive Brake Assist

Een ander groep lijkt een lichte invloed te hebben op de veiligheid:

- Drowsy Driver Detection
- Lane Keeping Assistant
- Night Vision

Het Traffic Sign Recognition ³⁸ heeft een middelmatig effect op de verkeersveiligheid maar indien men rekening houdt met de beperkte mogelijkheid om aan de werkelijke behoeften van de bestuurder te voldoen, dienen de voordelen erg laag geëvalueerd te worden. Men kan immers vaststellen dat in vele gevallen de bestuurders de verkeersborden opmerken.

Bij de ACC (Advanced Adaptive Cruise Control) is een uitspraak over het effect op de verkeersveiligheid moeilijker te maken. Indien bij ACC zowel sensoren als vehicle-to-vehicle communicatie mogelijk is dan is het effect van ACC op de verkeersveiligheid wel sterk. Indien in een louter V2V-communicatie wordt gewerkt, is het effect op het verminderen van ongevallen met doden en zwaargewonden, beperkt.

De a-posteriori evaluatie (Pappas et al.) benadrukt de doeltreffendheid van Electronic Stability Control (ESC) en Emergency Brake Assist (EBA) systemen in vier- en vijf sterren auto's.

Als voorbeeld (zie afbeelding) wordt de vergelijking gemaakt tussen alle vijf sterren auto's en vier sterren auto's al dan niet uitgerust met EBA en ESC. Met deze systemen – auto vier sterren krijgt een vijfde ster bij uitrusten met deze systemen- zouden de ongevallen met gewonden verminderen met 47,2 %, alle ongevallen zouden dalen met 67,8 % en ongevallen met zwaargewonden en doden zouden verminderen met 69,5 %.

³⁸ ibidem

Safety Configuration	Reduction in injury accidents (accident avoidance)	Reduction in all injuries & fatalities	Reduction in severe injuries and fatalities
Safety benefit of EBA given that the car has four stars.	NR	7.8 %	14.6 %
Safety benefit of ESC given that the car has four stars and an EBA.	5.2 %	10.3 %	16,8%
Safety benefit of ESC given that the car has five stars and an EBA.	3.2%	10.7% (*)	23.4% (*)
Safety benefit of the fifth star given that the car has four stars and an EBA.	6,4 %	8,3 %	NA
Safety benefit of the fifth star given that the car has four stars, an EBA and an ESC.	19.3 % (*)	33,8 % (*)	35,1 % (*)
Safety benefit of EBA and ESC given that the car has four stars.	18,6 %	36,3 % (*)	42,3 %
Safety benefit of EBA and a fifth star given that the car has four stars.	28,2 % (*)	36 % (*)	37,5 % (*)
Safety benefit of ESC and a fifth star given that the car has four stars and an EBA.	22 % (*)	38,6 % (*)	37,1% (*)
Safety benefit EBA, ESC and a fifth star given that the car has four stars.	47,2 % (*)	67,8 % (*)	69,5 % (*)
Safety benefit of a fifth star and removing an ESC given that the car has four stars, an EBA and an ESC.	2,1 %	NR	NR

* Statistically significant

Tabel 4: A-posteriori evaluation results (NR: non reliable)

4.2 Gedetailleerde beoordeling van Intelligent Transport Systems (TRACE)

4.2.1 Inleiding

Het Europese project TRACE (Traffic Accident Causation in Europe) onderzoekt de effecten die verschillende ITS-toepassingen hebben op de verkeersveiligheid.

Het is het recentste en meest complete onderzoek dat via verschillende methoden een effectmeting van deze systemen op verkeersveiligheid uitvoert. Dit gebeurt op basis van een analyse van bestaande verschillende valabele onderzoeken van de effecten van ITS-toepassingen op verkeersveiligheid.

In de meeste gevallen wordt de effectmeting uitgevoerd op Europese data. In een aantal gevallen wordt Australische data gebruikt. In deze gevallen wordt telkens bij de conclusies aangegeven welke reserves ten aanzien van deze analyses moeten gemaakt worden.

De beoordeling van deze systemen overstijgt soms de specifieke problematiek van dit rapport: autosnelwegen. Immers sommige systemen hebben eerder een algemeen effect op de verkeersveiligheid. Andere ITS-toepassingen zijn beter toewijsbaar naar hun effect op de verkeersveiligheid op autosnelwegen.

4.2.2 Beschrijving effect ITS-toepassingen en gebruikte methoden

Bij de beoordeling van de veiligheidseffecten van Intelligent Transport Systems voor voertuigen is niet alleen belangrijk wat het effect is op het verminderen van de verkeersdoden en –gewonden maar ook in welke mate het systeem een invloed c.q. voordeel heeft voor een deel of alle bestuurders. In deliverable 4.1.4. wordt dit samengevat in een tabel (zie Tabel 5).

De hoogste percentage worden gehaald door Intelligent Speed Adaptation (100 %), Collision Avoidance (37,5 %), Advanced Adaptive Cruise Control (35,9 %) en Collision Warning (33,6 %). Opmerkelijk is dat systemen als Lane Keeping Assistant (5,7 %) en Lane Changing Assistant (3,1 %) laag scoren.

Deze resultaten geven geen definitieve beoordeling over de bruikbaarheid voor het verhogen van de verkeersveiligheid dan wel een **indicatie over de potentiële effectiviteit** om het aantal verkeersslachtoffers en –ongevallen te verminderen.

Safety System	Target Population (%)
Intelligent Speed Adaptation	100
Collision Avoidance	37,5
Advanced Adaptive Cruise Control	35,9
Collision Warning	33,6
Predictive Assist Braking	21,5
Alcolock Key	11,4
Drowsy Driver Detection System	7,1
Rear Light Brake Force Display	6,5
Traffic Sign Recognition	5,8
Lane Keeping Assistant	5,7
Dynamic Suspension	5,6
Blind Spot Detection	4
Advanced Adaptive Front Light System	3,6
Lane Changing Assistant	3,1
Intersection Control	2,3
Cornering Brake Control	2,3
Tyre Pressure Monitoring and Warning	1,3
Advanced Automatic Crash Notification	Not available
Night Vision	Not available

Tabel 5: bereikte doelgroep (target population)

Voor de verschillende systemen werden verschillende evaluatiemethoden toegepast:

1. Target Population Method-Reference and future world scenario
 - a. Tyre Pressure and Monitoring
 - b. Lane Keeping Support
 - c. Cornering Brake Control
 - d. Traffic Sign Recognition
 - e. Intersection Control
2. Target Population-Effectiveness Evaluation
 - a. Intelligent Speed Adaptation
 - b. Blind Spot Detection
3. HARM method³⁹ (Fildes et al., 1995)
 - a. Alcolock Key
 - b. Advanced Automatic Crash Notification
 - c. Night Vision
4. Neural Networks Based Evaluation
 - a. Collision Avoidance
 - b. Predictive Brake Assistant
 - c. Dynamic Suspension
 - d. Drowsy Driver Detection System
 - e. Advanced Front Light System
 - f. Rear Light Brake Force Display
 - g. Collision Warning
 - h. Advanced Adaptive Cruise Control

De keuzes van de gebruikte methoden is voor een deel ingegeven door de keuze van de meest efficiëntste maar voor een ander deel door de expertise van de verschillende onderzoeksgroepen.

³⁹ Harm is a metric for quantifying injury costs from road trauma. It is a function of the number of injuries sustained, expressed in terms of community costs. The Harm method adopted here comprised the systematic approach outlined in detail in Monash University Accident Research Centre (1992). This approach is more suited for use in computing likely benefits of countermeasures where there are no global estimates of the likely improvements but where there are results reported on the expected specific body region injury reductions (many publications on the likely effectiveness of new regulations, for instance, show specific test results for particular body region and contact source benefits). The method allows a picture of the expected overall benefit to be pieced together from a series of individual body region and seating position estimates. A computer spreadsheet was developed for making the detailed Harm calculations by body region, similar to that used previously in CR100

4.2.3 Resultaten van de efficiëntiemeting

De resultaten van deze analyses worden weergegeven in Grafiek 15 (Papas, 2009). In totaal werden 22 systemen geëvalueerd op zowel op de voordelen voor veiligheid als naar de impact van het systeem op bestuurders. Finaal doel is de systemen te rangschikken naar het grootste effect op verkeersveiligheid.

Vier systemen hebben enorme potentialiteit om de Europese verkeersveiligheid te versterken (> 9 % vermindering ernstige letselongevallen):

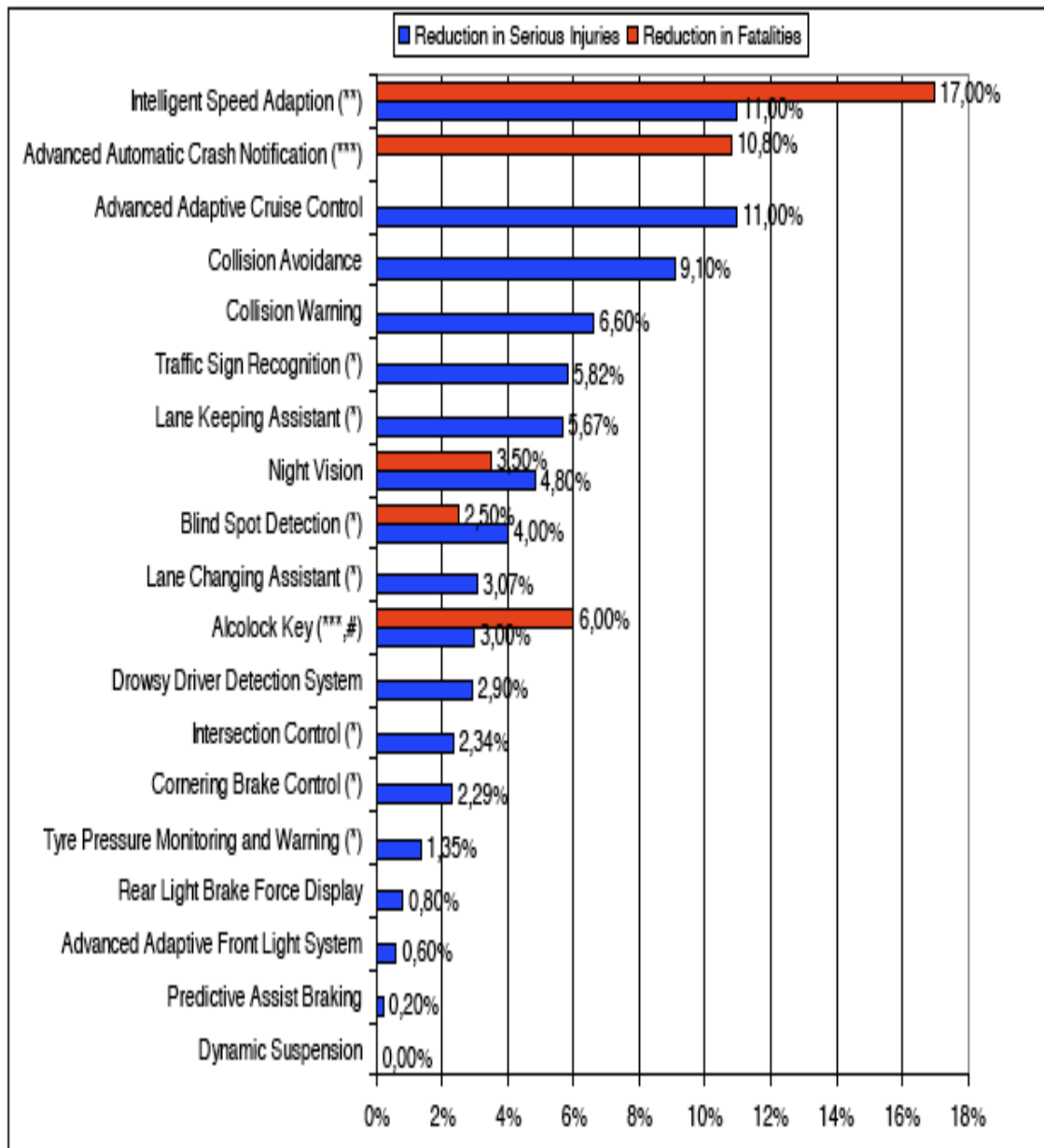
- Collision Avoidance
- Collision Warning.
- Intelligent Speed Adaptation
- Alcolock Key

Een aantal Intelligent Transport Systems kunnen slechts een erg beperkt aandeel (< 4 % vermindering in ernstige letselongevallen) hebben in het verhogen van de verkeersveiligheid maar ze komen ook erg beperkt tegemoet aan de ondersteuning van de bestuurder:

- Tyre Pressure Monitoring System
- Rear Light Brake Force Display
- Advanced Adaptive Front Light System
- Dynamic Suspension
- Cornering Braking Control
- Blind Spot Detection
- Lane Changing Support
- Predictive Brake Assist
- Drowsy Driver Detection

Een andere groep van ITS hebben een beperkt effect op het verbeteren van de verkeersveiligheid (een vermindering in ernstige letselongevallen (> 4 en < 6 %):

- Lane Keeping Assistant
- Night Vision



*: The potential magnitude (target population) of the effectiveness has been calculated

** : The numbers are for the 'Driver Select' ISA configuration which has been estimated as the most effective

***: Results based on non-European data

#: For the Alcolock Key the results for the mode "All newly registered vehicles (First full year)" with effectiveness 25% is used which gives the highest results but it is above the average performance of Alcolock key

N/A: Not Applicable

Figure 15: Overall diagram of a-priori evaluation results for the 19 studied safety functions

Grafiek 15: resultaten van de a-priori evaluatie van 19 ITS-veiligheidssystemen

Uit de a-priori evaluatie blijkt **dat Intelligent Speed Adaptation (ISA)** het meest effectieve systeem is om zowel het aantal zwaargewonden (11 %) als het aantal doden (17 %) te verminderen.

De cijfers hebben hier betrekking op het Driver Select Systeem. Indien geopteerd wordt voor een dynamisch, niet overrulebaar systeem zijn de besparingen in doden en gewonden veel hoger. Dit wordt zowel bevestigd door het onderzoek van Carsten (2000) als van Lavia (2006) ⁴⁰.

In het onderzoek (Lassare & Romon, 2006) wordt de effectiviteit van Lavia ⁴¹ voor de verschillende systemen en volgens de snelheidszone onderzocht. Dit gebeurt op basis van de effecten die snelheid heeft op het menselijke lichaam. Men neemt daarbij de MAIS 3+ en MAIS 6 als basis. MAIS is het hoogste cijfer in de specifieke letselcategorie; AIS (Abbreviated Injury Scale) is de classificatie van gewonden en doden. De schaal loopt van 0 tot 6 waarbij 0 slaat op ongedeerd terwijl 6 op een dodelijk letsel wijst.

SNELHEID SZONE	LAVIA MODE	FRONTALE BOTSING		ZIJDELINGSE BOTSING	
		MAIS 3+	MAIS 6	MAIS 3+	MAIS 6
BEBOUWDE KOM	NEUTRAAL	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT
	INFORMATIEF	4 %	4 %	3 %	4 %
	HALF OPEN	11 %	14 %	1 %	3 %
	GESLOTEN	9 %	11 %	0 %	ND
BUITEN BEBOUWDE KOM	NEUTRAAL	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT
	INFORMATIEF	2 %	5 %	0 %	7 %
	HALF OPEN	3 %	8 %	9 %	17 %
	GESLOTEN	2 %	8 %	8 %	6 %
AUTOSNEL WEG	NEUTRAAL	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT	REFERENTIE -PUNT
	INFORMATIEF	3 %	7 %	ND	4 %
	HALF OPEN	6 %	13 %	5 %	16 %
	GESLOTEN	5 %	13 %	4 %	16 %

Tabel 6: effect van Lavia in het voorkomen van zwaargewonden (MAIS 3+) en doden (MAIS 6)

⁴⁰ Limiteur s'Adaptant à la Vitesse Autorisée

⁴¹ DE MOL, J., "Ook Franse bestuurder krijgt assistentie achter het stuur. Lavia: het Franse ISA-project", in Verkeersspecialist, Mechelen, Kluwer-Editorial, Nr 103, december 2003, blz. 13-16.

DE MOL, J., VLASSENROOT, S., "Frans ISA-project op de goede weg. Eerste onderzoeksresultaten van Lavia zijn positief"(First results of the French ISA-project, LAVIA),. Mechelen, Kluwer-Editorial, Nr 137, april 2007, blz. 10-14

Bij de interpretatie van de cijfers van Tabel 6 moet men voor ogen houden dat als referentie(punt) de huidige situatie (geen beïnvloeding van het snelheidsgedrag via een in car systeem) wordt gebruikt.

Wanneer men een effectiviteit van 5 % MAIS 3+ heeft, betekent dit dat voor die snelheidszone en voor die Lavia mode, 5 % van de huidige zwaargewonden voor die snelheidszone kunnen worden vermeden.

De cijfers slaan respectievelijk op frontale en zijdelingse botsingen; dit is 40 % van de zwaargewonden en 50 % van de doden. De andere zwaargewonde of dodelijke verkeersdeelnemers zijn hier niet inbegrepen

Uit deze berekeningen blijkt dat het half open systeem bij frontale botsing, zowel binnen als buiten de bebouwde kom maar ook op autosnelweg het meeste effect naar de verkeersveiligheid heeft. Het gesloten systeem behaalt dezelfde cijfers buiten de bebouwde kom als op autosnelwegen.

De juistheid van deze berekeningen hangt samen met het bepalen van de relatie tussen EES (Equivalent Energy Speed) en de gereden snelheid voor het ongeval.

Wanneer men de effecten van snelheid en het gebruik van ISA bekijkt naargelang het om ongevallen gaat met frontale of zijdelingse impact –op autosnelwegen- stelt men vast dat de effecten van ISA op het vermijden van dodelijke ongevallen, erg belangrijk zijn. Dit verklaart waarom ISA binnen de ITS-verkeersveiligheidssystemen zo hoog scoort.

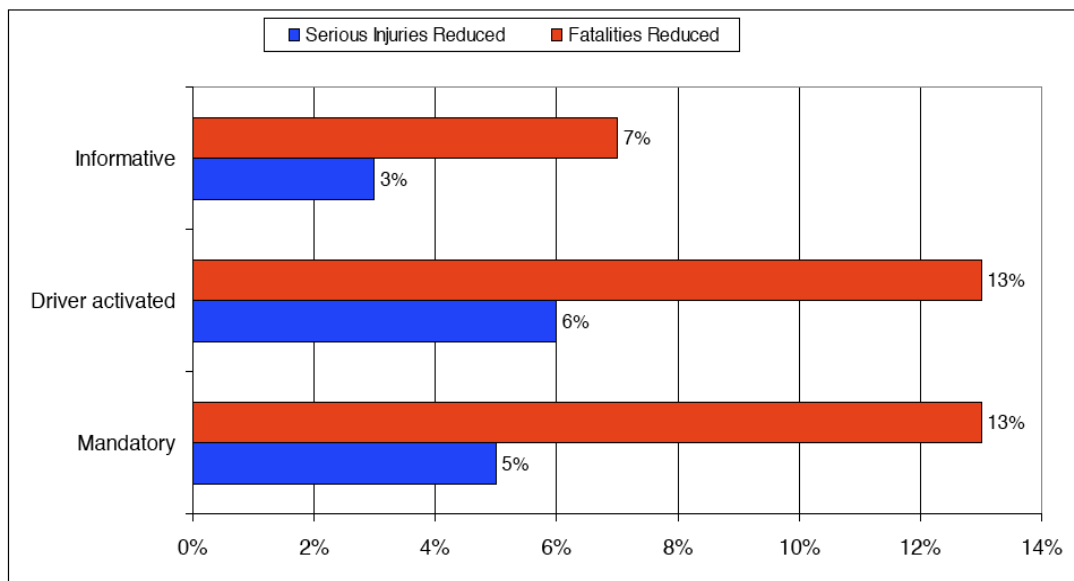


Figure 11: Frontal Impact, Motorway

Grafiek 16: en de gevolgen bij ongevallen met frontale impact (autosnelwegen)

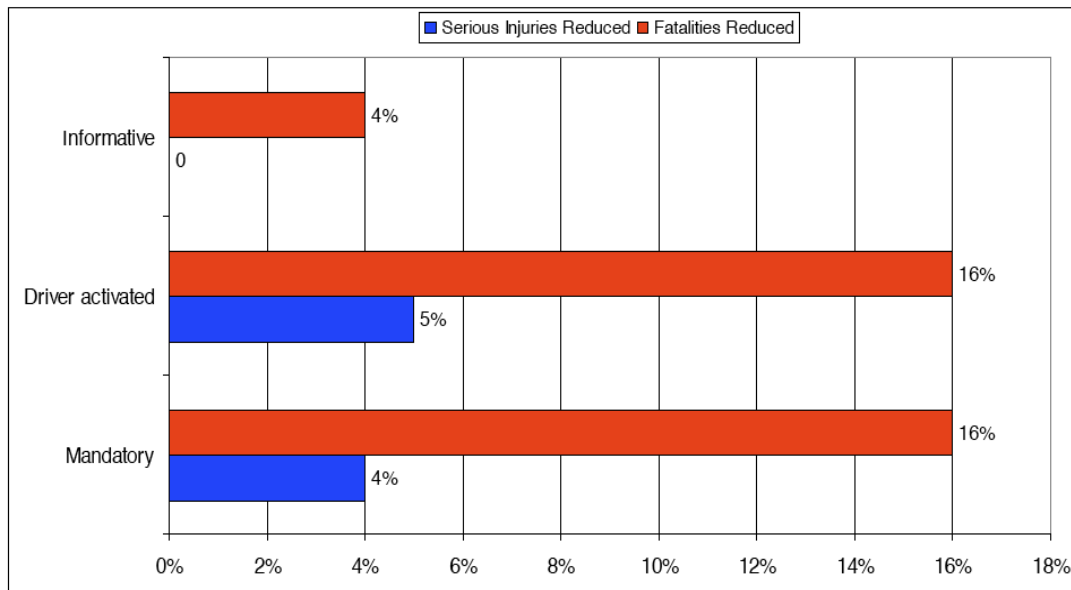


Figure 14: Side Impact, Motorway

Grafiek 17: en de gevolgen bij ongevallen met zijdelingse impact (autosnelwegen)

Bijkomend worden voor de verschillende snelheidsklassen de effecten van ISA-systemen aangeduid (zie Tabel 7). Daartoe worden in de eerste kolom de snelheidsklassen aangeduid, in de tweede kolom het risico op een ongeval met zwaargewonden (MAIS 3 en hoger), in de derde kolom het risico op een dergelijk ongeval indien men geen ISA-systeem gebruikt en in de drie volgende kolommen het risico indien één van de ISA-systemen wordt gehanteerd.

EES classes (km/h)	MAIS 3+ injury risk	Neutral	Informative	Driver activated	Mand. activated
0-20	10 %	10 %	10 %	20 %	20 %
20-30	20%	20%	20%	20%	30%
30-40	30%	30%	30%	30%	30%
40-50	50 %	20 %	20 %	20 %	10 %
50-60	70 %	10 %	10 %	10 %	10 %
60-70	90 %	5 %	10 %	0 %	0 %
>70	100%	5 %	0 %	0%	0 %
Average risk		40.5 %	40 %	32 %	29 %

Table 8: Hypothetical safety gain calculation

Tabel 7: berekening van de veiligheidseffecten van ISA (Lavia)

Gemiddeld is het risico van een ongeval met gewonden (MAIS 3+) bij al deze verschillende snelheidszones bij het niet gebruik van ISA 40,5 %. Bij het gebruik van informatieve ISA is het effect zeer beperkt (40 %) terwijl dit voor een "driver activated system" (zoals het in Vlaanderen gebruikte "Actieve pedaal") daalt naar 32 %. Voor een ISA-systeem dat niet overruled kan worden –mandatory system- daalt het risico op een dergelijk ongeval naar 29 %. De veiligheidswinst ($40,5 - 29/40,5 = 28$ %) zou 28 % bedragen. Of anders uitgedrukt een niet-overrulebaar ISA-systeem zou het risico op een ongeval met zwaargewonden met 28 % verminderen.

Traffic Sign Recognition kan slechts een beperkte bijdrage leveren aan het verhogen van de verkeersveiligheid; de berekende bijdrage zou wel 5,82 % bedragen maar vermits de behoefte aan dit systeem voor de bestuurders erg beperkt is, vormt TSR zeker geen prioriteit. Dit lijkt logisch te zijn omdat in meeste gevallen de bestuurders zich wel bewust zijn van de aanwezigheid van verkeersborden. Deze vaststelling is ongeacht het feit of men deze borden in aanwijzing of verbod, ook opvolgt of negeert.

Intersection Controle blijkt zeer effectief te zijn bij de ondersteuning van de bestuurder, maar de voordelen naar verhogen van de veiligheid (2,34 %) zijn erg beperkt. Zelfs al is het systeem effectief efficiënt in haar toepassing, toch wordt dit niet in een mogelijke daling van ernstige ongevallen bevestigd.

Met betrekking tot de **Advanced Adaptive Cruise Control** is de winst in het verminderen van zwaargewonden 11 %. Dit systeem combineert de voordelen van CA (Crash/Collision Avoidance) met de voordelen die V2V (Vehicle to Vehicle) biedt.

Het vermoeden bestaat dat deze cijfers, die betrekking hebben op het volledige wegennet, wellicht te gunstig zijn omdat dit systeem zich meestal richt op het voorkomen van vooral kop-staart-botsingen. Deze ongevallen hebben maar een beperkt aandeel (15 tot 20 % van alle ongevallen) in het totaal van de ongevallen met gewonden in Europa. Voor België zijn kop-staart-botsingen op autosnelwegen echter verantwoordelijk voor 30 à 35% (evolutie 1991-2007) van alle letselonegevallen. Ondanks het vermoeden dat de evaluatie van dergelijke systemen op het volledige wegennet te gunstig is; zal het effect op autosnelwegen hoogst waarschijnlijk groter zijn dan op andere wegen, waardoor we kunnen besluiten dat Advanced Adaptive Cruise Control toch een vermindering van 11% zwaargewonden op autosnelwegen kan veroorzaken. Aangezien de ongevallen op autosnelwegen 17% van alle zwaargewonden uitmaken, is het effect op het volledige wegennet dan ongeveer 2%

De berekende voordelen van **Advanced Automatic Crash Notification**, (AACN) -10,8 %- zijn aanzienlijk. De installatie- en onderhoudskosten zijn echter hoog waardoor –los van de belangrijke veiligheidsvoordelen- dit een belangrijke drempel kan zijn.

Bij deze resultaten moet men voor ogen dat de berekening gebeurde op voornamelijk Australische ongevalcijfers. De voordelen voor Europa zullen vermoedelijk beperkter zijn. Immers een dichter bevolkingspatroon, hogere verkeersintensiteiten, beperktere afstanden en een hogere dichtheid van hospitalen in Europa in vergelijking met Australië, zal de veiligheidsvoordelen van AACN lager aanduiden.

Collision Avoidance kan het aantal zwaargewonden met 9,1 % doen dalen. Collision Avoidance kan ondersteuning bieden in het vermijden van verschillende ongevaltypes; dit is vooral het geval bij ongevallen met frontale impact (vooral op rechte wegstukken → autosnelwegen) het meest relevant.

Collision Warning zouden een winst in zwaargewonden van 6,6 % opleveren. In combinatie met PBA (Predictive Break Assist) zou Collision Warning meer effecten op de verkeersveiligheid hebben waardoor het aantal slachtoffers nog meer zou kunnen dalen.

Vooraleer dit systeem echter operationeel kan gemaakt worden zullen specifieke HMI-karakteristieken nodig zijn om de potentieel ongewenste neveneffecten te vermijden.

Het berekende effect van **Alcohol key/lock** is een vermindering van doden met 6 % en zwaargewonden met 3 %. Indien de doelgroep specifiek kan geselecteerd worden, is het effect veel hoger. De basisvereiste is dat het systeem voldoende fraudebestendig moet zijn. Vermits deze resultaten enkel gebaseerd zijn op Australische data is een zekere voorzichtigheid bij de interpretatie nodig.

Bij deze resultaten (a-priori evaluation) moet men voor ogen houden dat de resultaten niet als een definitieve beoordeling van de waarde van de verschillende ITS-toepassingen mogen worden beschouwd. Het levert wel een sterke indicatie over de doeltreffendheid van het systeem in het terugdringen van ongevallen met doden en zwaargewonden.

Andere methoden moeten ontwikkeld worden om een nog diepgaander analyse te maken van de doeltreffendheid van de ITS-toepassingen.

4.3 Besluit

De resultaten tonen aan dat ondanks het feit dat er een groot aantal ITS applicaties bestaan (zie hoofdstuk 3.), slechts een paar applicaties een enorm potentieel hebben om de Europese verkeersveiligheid op autosnelwegen te versterken. Het introduceren van deze applicaties zou dus prioriteit moeten krijgen:

- **Electronic Stability Control:** zoals besproken in sectie 3.1.1 kan dit systeem voertuigen die aan het slippen gaan terug onder de controle brengen van de bestuurder. Wanneer men een vier sterren wagen uitrust met dit systeem, dan zal dit leiden tot een vermindering van het aantal zwaargewonden en doden met die wagen met 15%. Het systeem is al geruime tijd commercieel beschikbaar, maar niet altijd met even veel succes. Vanuit Europa kwam in 2008 de richtlijn om het systeem verplicht te voorzien in elke nieuwe wagen vanaf 2014. Het is dan ook van groot belang dat de Belgische regering deze richtlijnen implementeert.
- **Emergency Brake Assist:** dit systeem zorgt ervoor dat bij een noodstop gegarandeerd de maximale remkracht wordt uitgeoefend, iets waarin vele bestuurders niet zelf in staat zijn (zie sectie 3.1.2). Wanneer men een vier sterren wagen uitrust met dit systeem, dan zal dit leiden tot een vermindering van het aantal zwaargewonden en doden met die wagen met 17%. Ook voor dit systeem kwam vanuit Europa de richtlijn om over te gaan tot verplichte introductie op nieuwe wagens, dit binnen hetzelfde voorstel als voor ESC. Het is dan ook van zeer groot belang dat op nationaal niveau werk gemaakt wordt van deze richtlijn.
- **Collision warning & avoidance:** dit zijn applicaties waarbij een bestuurder gewaarschuwd wordt betreffende een mogelijke aanrijding, en eventueel zelfs actief ingrijpt. De implementatie kan gebaseerd zijn op lokale sensoren (zie 3.1.5 en 3.1.6) of op communicatie tussen voertuigen (zie 3.3.6). Er wordt geschat dat deze applicaties het aantal zwaargewonden met 16% kunnen doen dalen. Voor deze applicaties zijn er nog geen Europese richtlijnen. De autonome versie van deze systemen zijn bij sommige autobouwers al beschikbaar, maar de prijs is een stuk hoger dan bij ESC of EBA. De coöperatieve versies zouden een stuk

goedkoper uitgevoerd kunnen worden en geavanceerdere inschattingen van gevaarlijke situaties kunnen maken, maar dit is momenteel nog toekomstmuziek.

- **Intelligent Speed Adaptation:** deze term is een verzamelnaam voor diverse systemen die een bestuurder ertoe aanzetten of dwingen om zich aan de geldende snelheidslimieten te houden. Deze systemen kunnen het aantal zwaargewonden reduceren met 11%, en het aantal doden zelfs met 17%. Vanuit technisch standpunt zijn deze systemen vandaag zo goed als klaar voor introductie. De hardware die in de voertuigen moet ingebouwd worden is reeds commercieel verkrijgbaar, het is enkel nog een kwestie van accurate en betrouwbare snelheidsdata als input voor deze systemen te voorzien. De verkeersbordendatabank die momenteel door de Vlaamse Overheid wordt opgebouwd⁴² (periode 2008-2010) kan hierin een cruciale rol vervullen. Wel is er bij veel bestuurders een grote terughoudendheid ten opzichte van snelheidsbeperkende systemen (zelfs louter informatieve). Het kan dus ook aangewezen zijn om sensibiliseringscampagnes op te starten ter promotie van de ISA technologie, of om eens na te denken over mogelijke fiscale stimulatie.
- **Advanced Adaptive Cruise Control:** dit systeem is een evolutie van de gewone cruise controle: het systeem probeert de ingestelde snelheid aan te houden maar past wel de snelheid van het voertuig aan naarmate de afstand tot het andere voertuig geen veilig rijden mogelijk maakt. Hiervoor wordt voornamelijk gebruik gemaakt van laser of radar sensoren om de afstand te bepalen. Het op grote schaal introduceren van deze technologie zou op autosnelwegen een vermindering in zwaargewonden van 11% moeten teweeg brengen. In tegenstelling tot andere applicaties is het effect bekeken over alle wegen wel beperkter (2%).
- **Alcohol lock:** dit zijn detectoren die het niveau van alcohol intoxicatie van bestuurders analyseren, en inschatten of de persoon geschikt is voor het besturen van een voertuig. Op basis van Australische data is het berekende effect van dit systeem een vermindering van doden met 6 % en zwaargewonden met 3 %. Indien de doelgroep specifiek kan geselecteerd worden, is het effect veel hoger. De overheid zou hierop kunnen inspelen door het systematisch verplicht installeren van dit systeem bij recidiverende dronken bestuurders.

Merk op dat deze resultaten in lijn liggen met de analyse van Belgische ongevalstatistieken op autosnelwegen die uitgevoerd werd in hoofdstuk 2. Deze toonde namelijk aan dat de voornaamste probleempunten de achterwaartse aanrijdingen zijn (welke worden tegengegaan door Collision warning & avoidance en Emergency Brake Assist), en de eenzijdige ongevallen (welke opgevangen worden door Electronic Stability Control, Intelligent Speed Adaptation en Alcohol lock). Het is dus duidelijk dat technologie en ITS wel degelijke een belangrijke verhoging van de verkeersveiligheid met zich mee kan brengen. Op korte termijn kan de overheid met minimale inspanningen toch een maximaal resultaat bekomen door het uitvoeren van **volgende acties**:

- Nationale implementatie van de Europese richtlijn betreffende de verplichte introductie van Electronic Stability Control en Emergency Brake Assist.
- Verdere ondersteuning blijven bieden voor de verkeersbordendatabank en de bevolking sensibiliseren of fiscaal stimuleren met betrekking tot het nut van ISA systemen en advanced adaptive cruise control.
- Alcohol locks systematisch introduceren als strafmaatregel bij recidiverende dronken bestuurders.

⁴² <http://www.mobielvlaanderen.be/verkeersbordendatabank/>

- Verder onderzoek stimuleren naar coöperatieve vormen van Collision warning & avoidance systemen.

5. ONDERSTEUNENDE TECHNOLOGIEËN

5.1 Communicatie technologie

Alle coöperatieve ITS applicaties hebben per definitie nood aan een vorm van communicatie. Een uitgebreide beschrijving van de technische eigenschappen van de verschillende communicatie technologieën werd reeds gegeven in het steunpuntrapport 2008, ITS-technieken om verkeersveiligheid te verhogen op kruispunten met verkeerslichten (VRI'S) (De Mol et al., 2009a). Hieronder wordt de overzichtstabel uit dat rapport herhaald:

Naam	Type	Bandbreedte	Prijs gebruik	interactief	Dekking (in België)
CEN DSRC	lokaal	500 Kbps - 1 Mbps	gratis	ja	nvt
IEEE 802.11p	lokaal	27 Mbps	gratis	ja	nvt
CALM-M5	lokaal	27 Mbps	gratis	ja	nvt
CALM-IR	lokaal	128 Mbps	gratis	ja	nvt
CALM-MM	lokaal	+200 Mbps	gratis	ja	nvt
IEEE 802.15.4	lokaal	250 Kbps	gratis	ja	nvt
GSM/GPRS	cellulair	114 Kbps	betalend	ja	zeer goed
EDGE	cellulair	180 Kbps	betalend	ja	zeer goed
UMTS	cellulair	384 Kbps	betalend	ja	goed
HSPA	cellulair	3.6 Mbps	betalend	ja	goed
LTE	cellulair	+100 Mbps	betalend	ja	geen
WiMAX	cellulair	25 Mbps	Betalend	ja	zeer beperkt
RDS	broadcast	1.1 Kbps	gratis	nee	zeer goed
Darc/Swift	broadcast	16 Kbps	gratis	nee	zeer goed
DAB	broadcast	100 Kbps data	gratis	nee	zeer goed
DVB-T	broadcast	+1 Mbps data	gratis	nee	Goed
DVB-H	broadcast	+0.5 Mbps data	gratis	nee	geen

Deze bandbreedte gegevens zijn gebaseerd op technische specificaties, waardoor er in de praktijk een afwijking kan zijn tussen wat theoretisch mogelijk is, en wat de praktijk te bieden heeft. Het doel van dit hoofdstuk is om voor de belangrijkste technologieën deze afwijking in kaart te brengen. Daarnaast willen we nog een aantal andere parameters van elke technologie bepalen die nodig zullen zijn voor het model dat gebruikt wordt in hoofdstuk 7. Socio- en techno-economische evaluatie.

5.1.1 Lokale communicatie technologie

Deze extra parameters die van belang zijn voor de verschillende technologieën voor lokale communicatie zijn het maximum aantal gebruikers in 1 cel, straal van 1 cel en aantal transmission units per site. We nemen deze in beschouwing voor de meest voorkomende kandidaten.

a. CEN DSRC

Het is belangrijk om eerst en vooral op te merken dat CEN DSRC alleen gebruikt kan worden voor vehicle-to-infrastructure, en niet voor vehicle-to-vehicle communicatie. Dit is omdat de tags waarmee de voertuigen worden uitgerust (semi-) passief zijn, en moeten uitgelezen worden met een grote tag reader waar het voertuig onderdoor rijdt. Communicatie tussen tags is niet mogelijk.

Daarnaast merken we op dat voor het bepalen van de parameters we ons gefocust hebben op de CEN DSRC variant MDR, wegens de grootste compatibiliteit over de grenzen heen. Voor het invullen van het maximum aantal users per cel, en transmission units per site werd gekeken naar de grootste suppliers, qfree en kapsch. De q-free RSE650 DSRC Transceiver is volgens zijn product sheet bedoeld om per lane gehangen te worden (typisch communicatie bereik is 3m x 4m). Dus op één site krijg je eigenlijk evenveel units als er rijvakken zijn, met steeds slechts één auto tegelijk per unit. We zijn er dan ook vanuit gegaan dat op een typische autosnelweg er drie vakken in beide richtingen zijn, en dus 6 units en 6 gebruikers, met een cell radius van 4 m. Van de Kapsch premid TRX-1220 CEN DSRC Multilane transceivers werd minder informatie gevonden, maar er wordt wel vermeld dat voor Multi lane free flow, er tot 8 transceivers aan 1 controller kunnen worden verbonden. Dit lijkt dus ook een setup zoals bij q-free, met 1 transceiver per lane.

Concreet krijgen we voor CEN DSRC: 6 gebruikers per cel, 1500 kbps upstream bandbreedte, 3000 kbps downstream bandbreedte, straal van een cel is 4 m, aantal transmission units per site is 6.

b. CALM M5

De maximale theoretische bandbreedte is 27 Mbps. Hiervoor zijn echter onrealistisch perfecte omstandigheden vereist. De default waarde die normaal vermeld wordt is echter 6 Mbps. Dit werd ook verder onderzocht door Jiang et al. (2008), en als beste waarde bevonden. Het bereik van CALM M5 en 802.11p wordt theoretisch vastgelegd door de 802.11p project authorization request (PAR) op 1000m. Stibor et al. (2007) onderzocht wat de meer realistische waarde is, en kwam dankzij simulaties op een maximum bereik van 750 m.

Het inschatten van het maximum aantal gebruikers per cel is niet eenvoudig wegens het schaalbaarheidsprobleem. Momenteel halen de eenvoudige netwerkprotocollen zoals simple flooding en standaard AODV niet meer dan 50 tegelijk actieve nodes (Munguia Hoyo, 2009). Maar dit was zelfs maar bij het rebroadcasten van een paar pakketten per seconde. Het aantal simultane connecties met hogere capaciteit is onduidelijk. Het toepassen van betere routeringsprotocollen en andere optimalisaties moet wel nog tot sterkere verbeteringen kunnen leiden. Onderzoek hiernaar is echter zo omvangrijk dat dit buiten de scope van dit rapport valt. We nemen nu een inschatting met de waarde van 10, en zullen deze in verder onderzoek proberen valideren en fijnstellen.

Concreet krijgen we voor CALM M5: 100 gebruikers per cel, 6000 kbps upstream bandbreedte, 6000 kbps downstream bandbreedte, straal van een cel is 750 m, aantal transmission units per site is 1.

c. CALM IR

Hiervoor kon redelijk wat informatie uit het steunpuntrapport 2008 gehaald worden. De beschikbare datarates volgens de standaard zijn 1,2,8,16,32,64,128 Mbit/s op dit moment, met een default rate van 2 Mbit/s. Hierover zijn geen wetenschappelijke publicaties te vinden voor het valideren van deze default rate. Wel zien we dat in Japan het VICS project al enkele jaren operationeel is, en ook gebruik maakt van IR, op 1 Mbit/s. De keuze van 2 Mbit/s voor CALM-IR lijkt dus realistisch. Betreffende het aantal transmission units per site, kunnen we stellen dat door zijn directionele karakter er ook een transmitter per lane zal hangen, dus zelfde als bij DSRC, of 6 units per site. Het bereik van de transmitter wordt door Schalk & Stratil (2008) vastgelegd op 100 meter. Echter in andere presentaties van dezelfde auteur wordt dikwijls over 50m gesproken, slechts zelden over 100m. In het Japanse VICS zien we zelfs maar een bereik van 3,5m. Daarom werd gekozen om voor de meer conservatieve waarde van 50 m te gaan.

Betreffende het maximum aantal gebruikers per cel kunnen we een analyse maken vertrekkende van de technische specificaties: een CALM-IR TDMA frame bestaat uit 256 time slots, waarvan de eerste 4 management windows zijn, en de laatste 4 multicast windows. Dat betekent dat er 248 time slots zijn voor private communicatie, en er dus maximaal 248 voertuigen tegelijk met 1 transmitter kunnen communiceren. Vermenigvuldigd met de 6 transmitters per cell, geeft dit 1488 users.

Concreet krijgen we voor CALM IR: 42 gebruikers per cel, 12000 kbps upstream bandbreedte, 12000 kbps downstream bandbreedte, straal van een cel is 50 m, aantal transmission units per site is 6.

5.1.2 *Cellulaire communicatie*

Binnen deze communicatie categorie zijn we voornamelijk geïnteresseerd in het maximum aantal gebruikers per cel, bandbreedte per cel zowel up als down, en de diameter van de cel. We onderzoeken deze in realistische omstandigheden voor de meest courante technologieën.

a. GPRS

De standaard bepaalt dat de maximum bandbreedte 170 kbps is. In de praktijk worden door de operatoren echter dikwijls beperkingen opgelegd. Meer realistische waarden zijn 27 kbps up, en 54 kbps down. Het maximum aantal gebruikers per cel is 64, en de straal van een cel 2160 meter.

b. UMTS

Op dit moment zijn de beschikbare UMTS netwerken in België volledig opgewaardeerd naar HSDPA technologie. Dit is ook logisch, aangezien dit gewoon software updates zijn van de UMTS netwerk infrastructuur. Deze omschakeling wordt zowel bevestigd door Mobistar⁴³ als Proximus⁴⁴. Daarom werd gekozen om hier niet te vertrekken van de standaard UMTS specificatie, maar direct de HSDPA en HSUPA uitbreiding mee te nemen. Downloadwaarden zijn bij beide operatoren 7,2 Mbps (max volgens de standaard = 28,8 Mbps), uploadwaarden verschillen: 2 Mbps Proximus, 1,4 Mbps Mobistar (terwijl standaard spreekt over max 5,76 Mbps). Er werd gekozen om in het model de conservatieve waarde van 1,4 Mbps te gebruiken.

⁴³ http://corporate.mobistar.be/go/nl/Netwerk/mobiel_netwerk/nieuwe_evoluties.cfm

⁴⁴

http://customer.proximus.be/FAQ/topic.jsp?language=en&contentpath=00df7d283fe7496000000115c018b9c6#COM_TEC_07

De diameter van een cel is 2160 meter, dit werd afgeleid uit de huidige plaatsing van de masten door de operatoren zoals kan gezien worden op de site van het BIPT. Een verdere bespreking van deze analyse kan je vinden in sectie 7.2.1 c.

Een inschatting van het maximum aantal gebruikers binnen 1 HSDPA cel is niet eenvoudig. Een eerste analyse hiervan werd aangevangen, maar het is niet duidelijk welke nu de uiteindelijke determinerende technische factor is. Hiervoor is een diepgaand onderzoek nodig, wat buiten de scope van deze studie valt. Op dit moment houden we het bij een relatief conservatieve inschatting van 256 gebruikers per cel.

Concreet krijgen we voor UMTS: 256 gebruikers per cel, 1400 kbps upstream bandbreedte, 7200 kbps downstream bandbreedte, diameter van een cel is 2160 m.

c. WiMAX

In het geval van WiMAX hebben we ons bij gebrek aan veel concrete informatie of effectieve rollouts (in België is enkel Clearwire op beperkte schaal commercieel actief) vooral beperkt tot een analyse van de meest recente technische specificaties. Dit leidde tot de volgende resultaten: 200 gebruikers per cel, 35000 kbps upstream bandbreedte, 144000 kbps downstream bandbreedte, diameter van een cel is 6500 m.

d. Long Term Evolution

In het geval van LTE hebben we ons bij gebrek aan veel concrete informatie of effectieve rollouts (in België is er nog geen enkele speler met de technologie commercieel actief, alleen Telenet is begonnen met eerste verkennende tests⁴⁵), vooral beperkt tot een analyse van de meest recente technische specificaties. Dit leidde tot de volgende resultaten: 400 gebruikers per cel, 86600 kbps upstream bandbreedte, 326000 kbps downstream bandbreedte, diameter van een cel is 6500 m.

5.1.3 *Broadcasting communicatie*

Binnen deze klasse van communicatie technologie zijn we voornamelijk geïnteresseerd in de realistisch beschikbare bandbreedte, en het bereik van 1 transmitter (dus de straal van 1 cel).

a. DAB

Veel informatie betreffende deze technologie werd gevonden in het boek van Fischer (2003). Voor het verzenden van ITS data over DAB zijn er op technisch vlak twee mogelijkheden:

- Als onderdeel van het Fast Information Channel (FIC). Eigenlijk het controle kanaal, heeft 100 kbps bruto datarate, maar wordt met veel error correctie gecodeerd (1/3), waardoor we een datarate krijgen van 33 kbps netto. Hierbinnen moeten zowel de multiplex configuration information (MCI), Service Information (SI) en Fast Information Data Channel (FIDC) opgenomen worden. De data zal binnen dit FIDC moeten verzonden worden, we schatten dat hier max 16 kbps voor beschikbaar zal zijn. Hiervoor kan het

⁴⁵ <http://datanews.rnews.be/nl/ict/nieuws/nieuwsoverzicht/2010/03/03/telenet-start-testproject-met-lte/article-1194714779182.htm>

bestaande VRT DAB netwerk gebruikt worden indien er nog geen andere data diensten gebruik maken van het FIDC.

- Als extra data kanaal binnen het Main Service Channel (MSC). Dus eigenlijk een extra radiozender, maar dan met data ipv audio. Hier zijn drie mogelijkheden
 - Extra stream binnen de huidige VRT multiplex. De VRT stuurt momenteel 8 muziek kanalen uit aan 160 kbps, en 2 speech kanalen (sporza en nieuws) aan 48 kbps. Samen geeft dit 1376 kbps. Rekening houdende dat de DAB MSC afhankelijk van de gekozen error correction code (28/, 3/8, 4/8, 6/8) bescherming tussen de 0.6 en 1.7 Mbit aan netto datarate heeft, betekent dit dat hun multiplex zo goed als vol zit. Typisch wordt voor een datakanaal volgens Fischer 32 of 64 kbps gebruikt (bv ook bij de BBC multiplex), daarom gaan we er van uit dat een ITS data stream binnen de VRT multiplex 64 kbps max zal kunnen krijgen.
 - Een stream binnen een nieuwe multiplex. Momenteel zijn voor België op elke locatie 4 DAB kanalen voorzien: 3 landelijke (12A van de VRT, 11B en 11C, 6C (gereserveerd voor landelijke commerciële zenders) en 1 provinciale. Momenteel is de VRT de enige met een operationeel DAB zender netwerk, maar indien er een tweede zou worden uitgerold door een consortium van commerciële landelijke radiostations, dan zou hier eventueel een deel van de multiplex geleased kunnen worden voor ITS informatie. We schatten dat 256 kbps hier het maximum zal zijn, aangezien data met een sterke ECC waarde van bv 3/8 moet gecodeerd worden. Dit betekent dat er van de bruto datarate van 2.4 Mbps reeds 682 kbps verbruikt wordt door de ITS dienst. Dit betekent dat er aan een 6/8 codering nog 1513 kbps over zijn, of 9 radiozenders aan 160 kbps.
 - Een apart DAB netwerk puur voor ITS diensten. Wanneer een nieuw DAB netwerk wordt uitgerold enkel en alleen ter ondersteuning van ITS, zou het volledige MSC gebruikt kunnen worden voor data. Aan dezelfde 3/8 codering uit het vorige scenario komen we dan afgerond aan 896 kbps.

De straal van een DAB cel kan eenduidig bepaald worden. in België maken alle toegekende frequenties deel uit van de III band. Dit betekent dat de DAB zenders gebruik maken van mode I. Volgens Fischer heeft een Single Frequency Network (SFN) in DAB in mode I een maximaal bereik van 73.7 km.

Concreet krijgen we voor DAB een datarate van 16, 64, 256 of 896 kbps, afhankelijk van de technische implementatie, waarbij alleen de waarde van 16 en 64 kbps op korte termijn haalbaar zijn op het bestaande Belgische DAB netwerk. De straal van 1 DAB cel is 73.7 km.

b. DVB

Eind 2008 werd er in Vlaanderen een tender uitgeschreven waarin 7 DVB multiplex kanalen (waarvan 1 reeds in gebruik voor DVB-T en 1 verplicht te gebruiken voor DVB-H) en 1 DAB multiplex kanaal te koop aangeboden werden voor een duurtijd van 15 jaar⁴⁶. Deze tender werd gewonnen door Norkring⁴⁷, het bedrijf dat eerder het

⁴⁶ <http://www.broadbandtvnews.com/2008/10/20/flanders-to-start-dtt-tender/>

⁴⁷ <http://www.digitalcafe.be/showthread.php?t=5208>

DVB-T en DAB zenderinfrastructuur overnam van de VRT⁴⁸. Deze DVB-T heeft een netto data rate tussen 4 en 31 Mbps volgens Fischer. Volgens Van Bruwaene et al. (2009) gebruikte men voor de overname door Norkring de volgende transmissie parameters: 8K, 64QAM, FEC 1/2, 1/4 guard interval, bit rate 14.929 Mbit/s. We gaan ervan uit dat nordic dezelfde parameters overneemt. Op dit moment is er nog steeds 1 multiplex, verdeeld over 2 SFN's (1 Oost- en West-Vlaanderen en Brabant op kanaal 22, Antwerpen en Limburg op kanaal 25). Bij DVB worden IP pakketten volgens het DVB-IPDC protocol binnen de MPEG transport stream geëncapsuleerd (eerst gedefinieerd voor DVB-H, maar kan ook voor DVB-T toegepast worden, zie Vandenberghe et al. 2008). Hiervoor hebben we twee mogelijkheden:

- Een nieuwe MPEG stream voor ITS data voorzien binnen de bestaande VRT multiplex. Momenteel worden op deze multiplex 6 digitale radio stations uitgezonden⁴⁹ aan 192 kbps (muziek), en 2 aan 128 kbps (speech). Dit betekent dat er nog 13.524 Mbps vrij is voor de vier huidige video kanalen (één, ketnet/canvas, één+, ketnet/canvas+), wat neerkomt op een datarate per videostream van 3.380 Mbps bij volledige bezetting van de beschikbare bandbreedte. Aangezien er typisch een bitrate voor video tussen 2.5 en 3.5 Mbps gebruikt wordt (Fischer p 417), betekent dit dat er niet veel marge is om de videokwaliteit te verlagen om vrije ruimte te creëren voor een ITS datastream. We schatten dan ook dat er maximum 1 Mbps zou kunnen worden vrijgemaakt, wat voor de videostreamen resulteert in een datarate van 3.124 Mbps.
- Recent konden bedrijven inschrijven bij Norkring voor het leasen van capaciteit op de 5 nog ongebruikte DVB-T multiplexen⁵⁰. Een optie zou zijn om het equivalent van 1 video kanaal te leasen voor ITS datadistributie. Dit zou op het DVB-T netwerk overeenkomen met ongeveer 3 Mbps. Norkring werd bij de toewijzing door de overheid verplicht om minstens 1 DVB-H multiplex uit te rollen, een andere mogelijkheid is om hier een datastream op te leasen, aangezien DVB-H geschikter is voor mobiele ontvangst. Grootste verandering bij deze standaard is de introductie van de 4K mode, die de gulden middenweg is tussen de 8K mode met groot bereik maar slechte mobiele receptie, en de 2K mode met goede mobiele receptie maar slecht bereik. Daarnaast werd time slicing toegevoegd voor het sparen van energie op de receiver. Beide wijzigingen hebben echter geen invloed op de totale throughput voor de multiplex. We gaan er dan ook vanuit dat de andere transmissie parameters dezelfde zullen blijven; en de bit rate voor deze multiplex dezelfde is als voor een DVB-T multiplex, namelijk 14.929 Mbit. Doordat er echter slechts 1 multiplex is voor DVB-H, en 6 voor DVB-T, is er dus slechts een capaciteit van 1/6 om dezelfde +- 24 tv zenders uit te zenden die in DVB-T mogelijk zijn. Doordat DVB-H zich richt naar mobiele toestellen zoals smartphones en PDA's, is het echter ook niet nodig om aan dezelfde kwaliteit uit te sturen als bij DVB-T, en kan de bitrate per video stream verkleind worden tot ongeveer 500 kbps. Bij het leasen van een data stream op de DVB-H multiplex lijkt 500 kbps dan ook een realistische waarde.

Betreffende het bereik van een DVB zender kunnen we vertrekken van de in Vlaanderen gebruikte transmissie parameters. Deze zijn zoals reeds vermeld 8K, 1/4 guard interval, 8 Mhz channels. Volgens Fischer komt dit overeen met een DVB-T transmitter distance van 67.1 km. Bij DVB-H namen we in het vorige aan dat

⁴⁸http://www.tv-visie.be/nieuws/belgie/norkring-private-partner-voor-het-vrt-zenderpark_26735/

⁴⁹ <http://www.hermanboel.eu/radioinvlaanderen/digitaal-dvbt.htm>

⁵⁰ <http://www.norkring.com/templates/page.aspx?id=531>

dezelfde transmissieparameters gebruikt zullen worden, behalve dat er met 4K mode ipv 8K zal gewerkt worden, en time slicing zal toegepast worden. Deze verandering van K mode heeft geen invloed op de throughput, maar wel op de range. Deze zal volgens Fischer dan halveren, we kunnen dan besluiten dat de range bij DVB-H 33.6 km is.

Concreet krijgen we voor DAB een datarate van 1, 3 of 0.5 Mbps, afhankelijk van de technische implementatie, waarbij alleen de eerste waarde op korte termijn haalbaar is op het bestaande Vlaamse DVB-T netwerk. De straal van 1 DVB-T cel is 67.1 km, en van 1 DVB-H cel is deze 33.6 km.

5.2 Vehicular Ad-Hoc Networks

Zoals reeds vermeld kunnen sommige coöperatieve ITS applicaties data uitwisselen met andere voertuigen en wegkantinfrastuctuur in hun nabije omgeving. De technologieën die hiervoor gebruikt kunnen worden werden reeds besproken in sectie 5.1.1. Eén van de meest waarschijnlijke kandidaten voor effectieve toepassing is IEEE 802.11p, of zijn evenbeeld CALM-M5. Deze technologie maakt gebruik van radiogolven in de 5.9 GHz band en voorziet onmindirectionele communicatie met een bereik tot 750 meter.

Deze technologie zorgt er echter alleen voor dat een voertuig een rechtstreekse communicatielink kan opzetten met een andere partij binnen het bereik. Het is echter noodzakelijk dat berichten verder kunnen doorgestuurd worden dan dit, ontvangen berichten moeten kunnen verder doorgestuurd worden naar het aankomende verkeer. Met andere woorden, alle voertuigen en wegkantinfrastuctuur moet één lokaal draadloos netwerk vormen. Dit netwerk noemt men in de literatuur een Vehicular Ad-Hoc Network, kortweg VANET.

Een gekend maar nog niet opgelost probleem binnen het VANET is het schaalbaarheidsprobleem. Coöperatieve veiligheidsapplicaties vereisen real-time voertuig-voertuig en voertuig-infrastuctuur communicatie. Hierbij zijn twee parameters karakteriserend: vertraging en betrouwbaarheid (Bilstrup, 2009). In verscheidene publicaties werd dankzij simulaties aangetoond dat bij hoge voertuigdensiteit de IEEE 802.11p standaard niet kan voldoen aan de strenge vereisten op gebied van beide parameters (Bilstrup et al., 2009; Eichler, 2007; Stiber & Wang, 2007; Wang et al., 2008). Deze publicaties verwijzen als belangrijkste oorzaak voor deze problemen naar de korte back-off tijden gebruikt in het CSMA/CA mechanisme voor de hoge prioriteitsberichten zoals gedefinieerd door de EDCA prioritized channel access. Echter, dit probleem op de MAC laag is niet de enige factor met een negatieve impact op het presteren van VANETs op gebied van vertraging en betrouwbaarheid. Op de fysische laag is er kwaliteitsvermindering door de hoge bewegingssnelheden binnen VANETs. Dit werd onder andere aangetoond door Ivan et al. (2009), door Sibecas et al. (2002) en door Singh et al. (2002). De hogere Packet Error Rates die door dit probleem geïntroduceerd worden leiden tot meer hertransmissies van pakketten op de MAC laag, wat het schaalbaarheidsprobleem verder doet toenemen. Op de routeerlaag kunnen niet geoptimaliseerde protocollen zoals simple flooding voor het lokaal broadcasten van berichten een hoog aantal redundante pakketten laten versturen, wat opnieuw het schaalbaarheidsprobleem doet toenemen. Gelijkaardige effecten doen zich voor wanneer ad hoc routeerprotocollen worden toegepast welke gebruik maken van flooding mechanismen voor het bepalen van een route. Een gekend voorbeeld van zulk een protocol is AODV. Op de applicatielaag is het dikwijls vereist dat elk voertuig periodiek bepaald gegevens zoals zijn positie, snelheid en richting uitstuurt. In de definitie van een basis verzameling van coöperatieve toepassingen opgesteld door ETSI (2009), kunnen verschillende applicaties gevonden worden die elk een minimum frequentie van 10 Hz moeten toepassen voor het periodiek uitsturen van applicatiegegevens. Aangezien elke zender een bereik van ongeveer 750 meter heeft, bevinden zich bij dicht verkeer een heel groot aantal voertuigen in elkaars bereik. Wanneer deze allen verschillende

applicaties draaien die elk 10 berichten per seconde uitsturen, zorgt dit voor een significante data load, en opnieuw een toename van het schaalbaarheidsprobleem.

Het schaalbaarheidsprobleem wordt dus veroorzaakt door een aantal factoren op de verschillende lagen van de netwerk stack. Om dit probleem op te lossen zal het dan ook noodzakelijk zijn om oplossingen voor deze verschillende deelproblemen te combineren tot een adequaat geheel. Op de MAC laag kan experimenteel onderzocht worden of betere back-off time waarden kunnen gevonden worden voor de vier beschikbare prioriteits categorieën van de IEEE 802.11p standaard. Andere waarden kunnen toegekend worden aan zowel het *arbitration interframe space (AIFSN)*, het *minimum contention window (CW_{min})* en het *maximum contention window (CW_{max})*. Op de routeerlaag zijn *back-firing broadcasting* (Mariyasagayam et al., 2007), *opportunistic routing* (Blaszczyszyn et al., 2008), *zone routing* en *geographic routing* mogelijke optimalisaties. Deze kunnen gecombineerd worden met technieken als het *link lifetime concept* (Rao et al., 2008), *transmission power and rate control* (Zhang et al., 2008), lokale buffering, intelligente data aggregatie, *irresponsible forwarding* (Panichpapiboon & Ferrari, 2008), etc. Op de transportlaag kunnen nieuwe protocollen ontworpen worden, of kunnen bestaande protocollen uitgebreid worden met optimalisatietechnieken. Een voorbeeld is de uitbreiding van het UDP protocol voor voertuigomgevingen die nog steeds *stateless* is, maar die niet standaard een pakket slechts één keer verstuurt. Gebaseerd op metrieken zoals burendensiteit en het aantal gepasseerde rebroadcasts van dat bericht kan het protocol beslissen om hetzelfde pakket meerdere keren te verzenden. Op de applicatielaag kunnen *generation rate control schemes* (Zhang et al., 2008) ontworpen en geïmplementeerd worden. Deze restricties zullen opgelegd worden door een entiteit die de data noden van alle applicaties overziet, bijvoorbeeld de CALM service laag. Deze entiteit kan ook een coördinerende rol opnemen die data uitwisselt tussen toepassingen om zo het aantal gegevens dat moet verstuurd worden over het VANET te beperken.

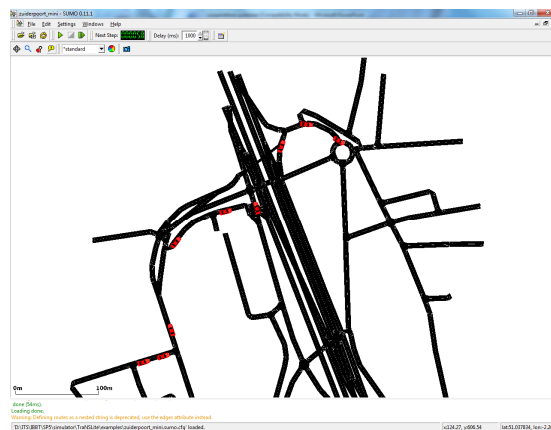
Het is duidelijk dat het in de literatuur gekend is dat er een belangrijk schaalbaarheidsprobleem speelt binnen Vehicular Ad-Hoc Networks. Tevens bestaan er oplossingen voor verschillende deelaspecten van het probleem. Er is echter geen eenduidig overzicht van het volledige probleem in al zijn aspecten, en het relatief belang en onderlinge interactie van alle deelproblemen. Dit is noodzakelijk alvorens een coherente en degelijke oplossing kan gevonden worden. Verder onderzoek is dus vereist. Daarnaast is het vereist dat de oplossing benaderd wordt vanuit de verschillende lagen samen, om een geschikte combinatie van technieken te vinden die het probleem in zijn geheel oplost. Hiervoor is opnieuw verder onderzoek vereist.

5.3 Testomgevingen

In de vorige sectie wordt vermeld dat er op het gebied van Vehicular Ad Hoc Networks nog verder onderzoek vereist is. Dit is uiteraard niet het enige domein binnen coöperatieve ITS applicaties waarin nog verder onderzoek moet verricht worden. Onboard units geschikt voor dagelijks gebruik moeten nog worden ontworpen en getest, de applicaties zelf moeten nog verder ontwikkeld en op punt gezet worden, business modellen moeten verder uitgewerkt worden, geschikte Human Machine Interfaces (HMI) moeten gedefinieerd worden, enzovoort. Voor deze ontwikkelingen zijn verscheidene testomgevingen vereist. In deze sectie lijsten we de verschillende categorieën van testomgevingen kort op, en geven wat commentaar betreffende de beschikbaarheid ervan.

Simulators zijn een zeer nuttig instrument bij onderzoek naar coöperatieve ITS applicaties. Deze kunnen gebruikt worden voor het onderzoek naar verschillende aspecten. Driedimensionale rijsimulators worden toegepast om het gedrag van bestuurders en de impact van de applicaties in kaart te brengen. De ervaring opgedaan door de testpersonen levert ook waardevolle informatie op betreffende de perceptie van ITS systemen door het algemene publiek. Dit kan zeer nuttig zijn bij het opstellen van business modellen en dergelijke. Driedimensionale rijsimulators zijn een gemeengoed

binnen de ITS onderzoeksgemeenschap. Verscheidene onderzoeksinstituten beschikken over indrukwekkende installaties (onder andere TNO in Nederland, SINTEF in Noorwegen en DLR in Duitsland). Tevens zijn zowel eenvoudige als uitermate geavanceerde varianten van zulk een rijnsimulator commercieel beschikbaar⁵¹, deze testomgeving is dus relatief eenvoudige toegankelijk voor geïnteresseerde partijen. Naast deze vorm van simulators bestaan er ook simulators op netwerkgebied. Hiervoor bestaan open source oplossingen zoals NS-2⁵² en NS-3⁵³. Daarnaast kan er ook commerciële software gebruikt worden zoals Opnet⁵⁴. Merk op dat in NS-2 standaard ondersteuning is voorzien voor de IEEE 802.11p standaard. Aan deze netwerksimulators worden ook dikwijls voertuigsimulaties gekoppeld voor het bekomen van realistische mobiliteitspatronen voor de netwerk nodes. Een gekende open source simulator is SUMO (Simulation of Urban MObility). Het is zelfs mogelijk om Vlaamse wegenkaarten in deze simulator in te laden voor een nog hogere mate van realisme (Figuur 12).



Figuur 12: SUMO simulatie omgeving Ledeborg

Kleinschalige testopstellingen vormen een ander platform waarin applicaties getest worden. Deze worden meestal eerst in een laboratorium toegepast, en in een volgende fase in echte voertuigen. Deze opstellingen maken het mogelijk om gericht elke technische component te gaan testen, maar ook om de volledige applicatie te gaan testen en demonstreren in ware omstandigheden. Ze vormen dan ook een onmisbaar onderdeel van elk ITS onderzoek. Ze zijn dan ook gemeengoed, bijna elke partij die onderzoek uitvoert naar coöperatieve applicaties heeft hiervoor een kleinschalige testopstelling gebouwd. De eigenlijke implementatie kan sterk verschillen, maar de laatste tijd kan er een lichte trend waargenomen worden voor het toepassen van de CVIS hardware. Deze bestaat namelijk uit commercieel beschikbare componenten (behalve dan de speciale kaart met communicatie interfaces, deze is nog in prototype fase), en maakt gebruik van de vrij beschikbare (op Ubuntu Linux gebaseerde) reference implementatie van het CVIS project. Nadeel is wel de relatief hoge kost van de opstelling (twee car PCs van elk een paar duizend euro), en het feit dat er gaten in het dak van de wagen moeten geboord worden. Dat het ook goedkoper en flexibeler kan werd onlangs nog bewezen in België, waar op 30 maart 2010 het IBBT NextGenITS project zijn finale resultaten voorstelde⁵⁵. Eén van de demonstraties werd gegeven met een testopstelling

⁵¹ <http://www.scanersimulation.com/en/driving-simulator-products.html>

⁵² http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/Main_Page

⁵³ <http://www.nslam.org/>

⁵⁴ <http://www.opnet.com/>

⁵⁵ <http://events.ibbt.be/en/closingeventnextgenits/photos>

welke geïnstalleerd was in gehuurde minibusjes. Het filmpje van deze demo is ook online terug te vinden⁵⁶.

Grootschalige testopstellingen zijn een stuk minder verspreid binnen de ITS gemeenschap. Bedoeling van deze testomgeving is om in een gecontroleerde omgeving bepaalde technische componenten of een volledige applicatie grootschalig en diepgaand te kunnen testen. Immers, een oplossing die perfect werkt met een klein aantal entiteiten zal zeker nog niet gegarandeerd op grote schaal even goed presteren. Testen binnen deze omgeving is dan ook noodzakelijk alvorens de ontwikkelde applicaties naar de eindgebruiker te kunnen brengen. Het is dan ook verwonderlijk dat binnen het Europese ITS onderzoek deze stap grotendeels wordt genegeerd. De ontwikkelingen van proof-of-concept implementaties op kleinschalige opstellingen zijn nu zo goed als afgerond. Zo stelden drie van de grootste Europese projecten (CVIS, Coopers en SafeSpot) eind maart 2010 hun finale demonstraties voor in Amsterdam⁵⁷. Deze afgeronde projecten zijn nu in de overgang naar nieuwe projecten die zich richten naar field operational tests, of proeftuinen (zie hieronder). Het nu reeds toepassen van de ontwikkelde applicaties in een ongecontroleerde omgeving en met echte gebruikers is op zijn minst gedurfd te noemen. Naar de mening van de auteurs is er een zeer concrete nood naar het testen in grootschalige testopstellingen van de technische oplossingen, in parallel met de proeftuinactiviteiten. Hiervoor zijn echter zeer weinig bestaande kandidaten geschikt. Eén van de best geplaatste op dit moment lijkt het Belgische IBBT iLab.t Wireless Lab. Dit is een opstelling met 200 nodes in een gecontroleerde omgeving. Een nadeel echter is dat er geen mobiliteit kan voorzien worden en dat de nodes in een indoor omgeving geïnstalleerd zijn. Verdere aanpassingen of uitbreidingen zijn dus vereist alvorens deze opstelling uitermate geschikt zou zijn voor het grootschalig testen van coöperatieve ITS applicaties.

Proeftuinen of zogenaamde Field Operational Tests (FOTs) zijn de laatste stap in het onderzoek. In deze omgeving worden afgewerkte oplossingen op grote schaal in de voertuigen van een testpubliek geïnstalleerd. Daarna kunnen zij deze vrij voor dagen, weken of zelfs maanden gebruiken. Tijdens dit testproces worden er doorlopend gegevens van de voertuigen verzameld voor verdere analyse. Op het einde van de testperiode wordt ook uitvoerig aandacht besteed aan de ervaring van de gebruiker: functioneerde de toepassing steeds naar behoren, werd deze als nuttig ervaren, enzovoort. Het opzetten van FOTs is momenteel hét zwaartepunt van Europees onderzoek naar ITS systemen. Voorbereidend werk werd reeds uitgevoerd binnen de projecten FESTA⁵⁸ (Field opErational teSt supporT Action) en FOT-net⁵⁹ (Field Operational Tests Networking and Implementation). FESTA definieerde een handboek van *good practices* voor het uitvoeren van een FOT, terwijl FOT-net alle informatie bundelt betreffende alle mogelijke FOTs die uitgevoerd worden, werden of zullen worden.

⁵⁶ <http://www.youtube.com/watch?v=cSP9xITDY3o&fmt=22>

⁵⁷ <http://www.cooperativemobilityshowcase.eu/nl/en/pages/default.aspx>

⁵⁸ <http://www.its.leeds.ac.uk/festa/>

⁵⁹ <http://www.fot-net.eu/>

6. RELEVANTE ONDERZOEKSPROJECTEN

Zowel op nationaal als op internationaal niveau worden een aantal belangrijke onderzoeksprojecten betreffende coöperatieve ITS systemen uitgevoerd. In dit hoofdstuk zullen we een heel kort overzicht van de belangrijkste hiervan geven.

Op nationaal niveau was het **IBBT Next Generation ITS** project⁶⁰ een belangrijk gegeven. Dit project had aandacht voor verscheidene applicaties zoals Real Time Verkeersinformatie (RTTI), eCall, ISA, road charging en collision hazard warning applicaties. Demonstraties werden gebouwd en aan het publiek voorgesteld op 30 maart 2010. Meer informatie betreffende deze resultaten kan zoals reeds vermeld in het vorige hoofdstuk ook online gevonden worden^{61 62}.

Op Europees niveau kunnen binnen het 6^e kaderprogramma een aantal projecten geïdentificeerd worden die de voorbije jaren een aantal relevante resultaten produceerden:

- **Intelligent Car Initiative:** Europees initiatief dat beoogt het aantal verkeersslachtoffers te halveren tegen 2010. Drie belangrijke steunpilaren van het initiatief zijn: het opstellen van een link tussen belanghebbenden en beleidsmakers (eSafety Forum), ITS onderzoek in het 7^e Europese kaderprogramma stimuleren en het bewustzijn van het publiek betreffende ITS verhogen.
- **eSafety Forum:** gezamenlijk initiatief van de Europese Commissie, industrie en andere belanghebbenden met als doel het versnellen van de ontwikkeling, uitrol en gebruik van *Intelligent Integrated Safety Systems*.
- **COMeSafety:** dit project ondersteunt het eSafety Forum betreffende alle aspecten van voertuig-voertuig en voertuig-infrastructuur communicatie. Het brengt voornamelijk resultaten van andere projecten samen zonder zelf resultaten te produceren.
- **Car 2 Car Consortium:** VZW opgericht door de Europese autobouwers, ook open voor toeleveranciers, onderzoeksorganisaties en andere partners.
- **GST:** die project creëerde een open en gestandaardiseerde end-to-end architectuur voor telematica. Het bestond uit vier technologie georiënteerde deelprojecten: Open Systemen, Certificatie, Service Payment en Security. Daarnaast waren er nog drie service georiënteerde deelprojecten: Rescue, Enhanced Floating Car Data en Safety Channel. Het project liep van begin 2004 tot begin 2007.
- **Cooperative Vehicular Information Systems (CVIS):** een van de bekendste projecten, grootschalig project dat zowel technische als niet-technische zaken aanpakte. Produceerde de eerste reference implementatie van de CALM architectuur. Deze kan beschikbaar gesteld worden aan andere projecten voor hergebruik⁶³. Dit project werd gestart begin 2006, en werd zeer recent afgesloten met een finale workshop in Brussel op 21 mei 2010⁶⁴.

⁶⁰ <https://projects.ibbt.be/nextgenits/>

⁶¹ <http://events.ibbt.be/en/closingeventnextgenits/photos>

⁶² <http://www.youtube.com/watch?v=cSP9xITDY3o&fmt=22>

⁶³ http://www.cvisproject.org/en/about_cviss/third_party_cooperation/third_party_cooperation.htm

⁶⁴ http://www.cvisproject.org/en/related_events/validation_workshop/practical_details.htm

- **Safespot:** één van de andere bekende, grootschalige projecten, met een focus op applicaties. Onderzoekt welke data relevant is voor veiligheidsapplicaties, en ontwerpt algoritmen om deze specifieke data te extraheren uit voertuigen en infrastructuur. Safespot kende hetzelfde tijdsverloop als CVIS, van begin 2006 tot midden 2010.
- **Co-operative Systems for Intelligent Road Safety (COOPERS):** dit project richt zich voornamelijk naar infrastructuur-voertuig communicatie langs autosnelwegen⁶⁵. Daardoor is het zeer relevant voor dit steunpuntrapport. Het project duurde iets meer dan 4 jaar, met start in februari 2006 en deelname aan de cooperative mobility showcase eind maart 2010 waarin de resultaten van Safespot, CVIS en COOPERS gezamenlijk werden voorgesteld.
- **SEVECOM:** richtte zich voornamelijk naar security en privacy problemen bij ITS applicaties. Dit project was wat kleinschaliger en duurde van begin 2006 tot begin 2009.
- **eIMPACT:** werkte aan een inschatting van de impact van intelligente voertuig veiligheids systemen. Duurde 2.5 jaar, van begin 2006 tot juli 2008.
- **Feedmap:** een project waarbij de focus lag op het inschatten van de technische en economische haalbaarheid van digitale kaart data correctie, door het voorzien van een feedback lus op het update mechanisme voor digitale kaarten. Hierbij werd gebruik gemaakt van de gestandaardiseerde uitwisselingsformaten en mechanismen uit het ActMAP project. Dit project duurde ook 2.5 jaar, met start begin 2006.
- **PReVENT:** ontwikkelde en demonstreerde een aantal autonome en coöperatieve ITS applicaties. Het project werd aangevangen begin 2004, en liep af met een finaal event in Brussel in januari 2008.
- **TRaffic Accident Causation in Europe (TRACE):** project dat in sectie 4.2 van dit rapport uitvoerig werd aangehaald. Dit project voerde een studie uit op beschikbare statistieken van ongevallen op het Europese wegennet, met als doel het bepalen van de belangrijkste oorzaken van ongevallen. Het project liep van begin 2006 tot midden 2008.
- **Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE (AIDE):** dit project onderzocht voornamelijk aan welke vereisten een Human Machine Interface (HMI) moet voldoen bij het aanbieden van ITS applicaties. Het project duurde iets meer dan 4 jaar, van maart 2004 tot april 2008.

Deze generatie van projecten zijn nu allemaal definitief afgesloten. Ondertussen startten reeds een groot aantal nieuwe projecten binnen het Europese 7^e kaderprogramma. We geven opnieuw een kort overzicht van de meest belangrijke:

- **FESTA (Field opErational teSt support Action):** dit project ontwikkelde een handbook met *good practices* voor het opstellen en uitvoeren van een Field Operational Test. Dit uitzonderlijke korte project met een duurtijd van 6 maanden liep van november 2007 tot juni 2008.
- **FOT-Net (Field Operational Tests Networking and Implementation):** dit project bundelt alle informatie betreffende alle mogelijke FOTs die uitgevoerd worden, werden of zullen worden. Doel is het profileren als een centrale informatiebron voor FOTs, en het samenbrengen van alle belanghebbenden. Het project werd gestart op 1 juni 2008, en duurt tot 1 september 2010.

⁶⁵ <http://www.coopers-ip.eu/index.php?id=project>

- **euroFOT (EUROpean large-scale Field Operational Tests on in-vehicle systems):** een grootschalige FOT met maar liefst 1000 voertuigen. Deze worden echter nog niet uitgerust met coöperatieve applicaties, maar met de nieuwste autonome toepassingen. Er zijn dus nog geen voorzieningen voor voertuig-voertuig of voertuig-infrastructuur communicatie. Het project loopt van Mei 2008 tot Augustus 2011, waarbij de voertuigen effectief gedurende 1 jaar in de praktijk zullen getest worden.
- **TELEFOT:** deze FOT richt zich specifiek naar het toepassen van aftermarket en nomadische toestellen zoals smartphones, personal navigation devices, enzovoort, voor het aanbieden van coöperatieve ITS applicaties. Het project duurt 4 jaar, van juni 2008 tot juni 2012.
- **SIM-TD:** Duitse FOT die coöperatieve applicaties zal onderzoeken. Er zal gebruik gemaakt worden van 400 voertuigen en 150 road side units die dus met lokale communicatiemiddelen zullen worden uitgerust. De FOT zal plaatsvinden in de omgeving van Hessen. We moeten opmerken dat dit project niet betaald wordt door Europa, maar door verschillende Duitse federale overheidsinstanties. Het project loopt van september 2008 tot september 2012.
- **GEONET:** project dat zich voornamelijk richtte tot de netwerk aspecten van Vehicular Ad-Hoc Networks. Ontwikkelt mechanismen voor geografische adressering en routing. Het project duurde twee jaar, van februari 2008 tot februari 2010.
- **ITETRIS:** project dat werkt aan de ontwikkeling van VANET routeringsprotocollen, en een open source simulatie omgeving bouwt waarin een verkeerssimulator en een netwerk simulator aan elkaar gekoppeld worden. Het project duurt 2.5 jaar, van juli 2008 tot december 2010.
- **PRE-DRIVE C2X:** voorbereidend project voor een FOT: ontwikkelt zowel een systeem architectuur voor coöperatieve applicaties als een simulatie tool welke een verkeerssimulator aan een netwerk simulator koppelt. Dit project duurt twee jaar, en loopt van juli 2008 tot juli 2010.
- **ROSATTE (ROAd Safety ATTRIBUTES exchange infrastructure in Europe):** dit project richt zich tot het opzetten van een efficiënte en gegarandeerde *data supply chain* van overheidsdiensten naar commerciële aanbieders van digitale wegenkaarten. Het project duurt 2.5 jaar, van januari 2008 tot juni 2010.

Het is dus duidelijk dat de meeste projecten reeds afgerond werden, of dit in de loop van 2010 zullen doen. Dit betekent echter helemaal niet dat het Europese onderzoek naar ITS toepassingen een halt wordt toegeroepen. Van december 2009 tot midden april 2010 werd er door de Europese Commissie in het kader van het 7^e kaderprogramma een call for projects gelanceerd waarin budget voorzien is voor het uitvoeren van FOTs en het verder ontwikkelen van ITS applicaties (call FP7-ICT-2009-6). De respons hierop was massaal. De belangrijkste kanshebbers werden in juni uitgenodigd worden voor een evaluatie⁶⁶. Begin juli werden alle aanvragers dan geïnformeerd worden over het al dan niet aanvaard zijn van hun project. De projecten zelf kunnen dan starten vanaf januari 2011. De naadloze voortzetting van het Europese ITS onderzoek is dus verzekerd.

⁶⁶ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/docs/calls/cooperation/ict/c_handbook_200915_en.pdf

7. SOCIO- EN TECHNO-ECONOMISCHE EVALUATIE

In dit hoofdstuk analyseren we de socio- en techno-economische factoren bij het uitrollen van een ITS voor coöperatieve applicaties. Een ITS is in feite een combinatie van veel verschillende applicaties, zoals besproken in hoofdstuk 3. waar het onderscheid gemaakt werd tussen autonome en coöperatieve systemen. Aangezien de autonome applicaties doorgaans minder complex zijn, minder samenwerking tussen actoren vereisen en daardoor al frequent in auto's beschikbaar zijn (bijv. ABS en ESP), richten wij ons hier enkel op de coöperatieve applicaties. Dit betekent dat de aanwezigheid van communicatiemogelijkheden van en naar het voertuig vereist zal zijn. In deze analyse worden voor zo een ITS ecosysteem een aantal onbekenden op zowel sociaal-economisch als techno-economisch vlak onderzocht.

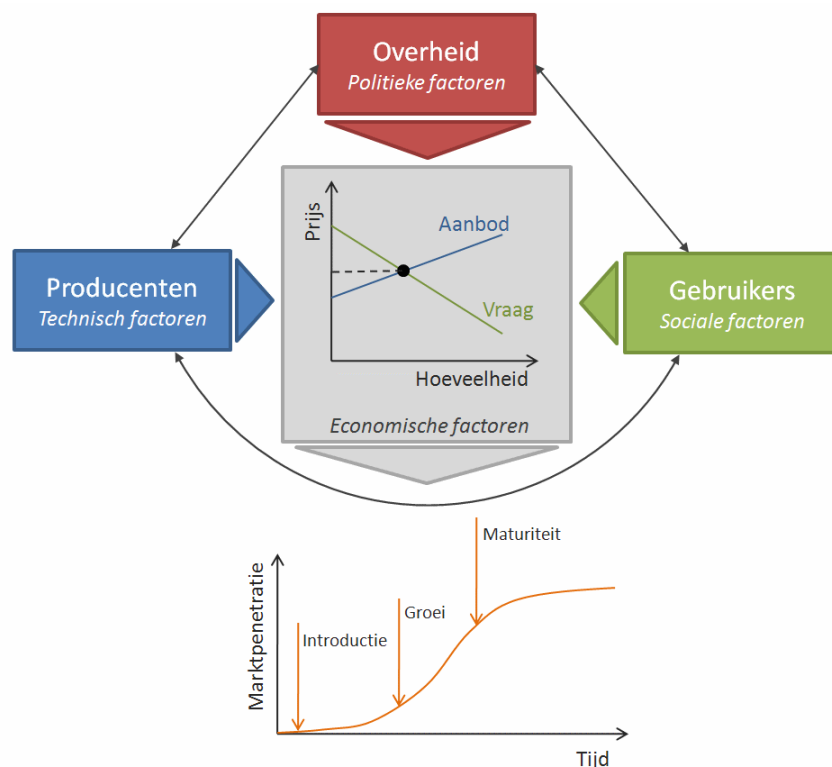
Het aanwezig zijn van de vereiste technologie is immers een noodzakelijke, maar geen voldoende voorwaarde. Het systeem vergt de samenwerking van verschillende actoren (gebruikers, producenten, netwerkoperatoren, enz.), die elk hun eigen motivatie hebben. Wanneer hun wensen en noden in conflict zijn met elkaar, belemmert dit de samenwerking. Dit socio-economisch luik bespreken we in de eerste sectie. Daarnaast zal de installatie en het gebruik van een ITS onherroepelijk grote investeringen en kosten vereisen, die moeten opwegen tegen de bekomen baten en voordelen. In de tweede sectie gaan we vooral dieper in op de kosten, maar geven ook enkele indicaties over de baten. De laatste sectie combineert de nieuwe inzichten en destilleert daaruit enkele aanbevelingen die de overheid kan helpen om de haalbaarheid van de lancering te verbeteren.

Vooraleer we de analyse aanvatten, verhelderen we nog even onze methodologie. Een klassieke investeringsanalyse is gebaseerd op een **kosten-batenanalyse**. Deze methode heeft voor complexe systemen als een ITS een aantal belangrijke gebreken, zoals de moeilijkheid om alle baten te identificeren en om alle factoren in monetaire termen uit te drukken. Er zijn evenwel weinig alternatieven. Dit wordt besproken in Leviäkangas et al. (2002), Levine & Underwood (1996) en DeCorla-Souza (1997). Een eerste alternatief is de **multicriteria-analyse**, die logischerwijs probeert om verschillende criteria tegen elkaar op te wegen. Deze methode heeft als voornaamste voordeel dat het niet nodig is om alle factoren monetair uit te drukken. Toch moeten de verschillende criteria tegen elkaar afgewogen worden op basis van wegingsfactoren (vaak ingesteld in een soort hiërarchisch netwerk). Deze gewichten moeten bepaald worden door de analist of beslissingsnemer en hebben evenzeer een subjectief karakter. De **totale-kostenmethode** daarentegen poneert dat het niet mogelijk is om alle onrechtstreekse voordelen te bepalen en focust zich op de kosten. Kostenbesparingen worden wel in rekening gebracht en ook baten kunnen eventueel via negatieve kosten worden meegeteld.

We erkennen de gebreken van de klassieke kosten-batenanalyse, maar menen dat deze alternatieven weinig meerwaarde bieden. Daarom opteren we hier voor een andere methodologie die probeert de voordelen van de alternatieven te combineren. In het socio-economisch luik identificeren we de verschillende standpunten en de belangen die zij hebben in het project, ruwweg zoals in de multicriteria-analyse. Daarnaast kopiëren we de idee van de totale-kostenmethode om alle kosten in te schatten. Vervolgens bekijken we de potentiële baten, zonder evenwel te proberen deze allemaal monetair in te schatten of af te wegen tegen de kosten. Wel bekijken we nog de totaalcost per eindgebruiker om de haalbaarheid van een positieve business case in te schatten. Daarmee bekomen we voldoende gegevens en inzichten om enkele gegronde uitspraken te doen over een eventuele investering.

7.1 Socio-economische analyse

We beschouwen hier de verschillende individuen, bedrijven of groeperingen die betrokken zijn bij of beïnvloed worden door de lancering van een ITS. We noemen ze **stakeholders** van het project, en de manier waarop zij invloed uitoefenen op elkaar wordt beschreven in een zogenaamd **value network**. Om de lancering tot een succes te maken, dienen de verschillende actoren op de juiste manier te interageren, zoniet kunnen hun afzonderlijke noden en eisen conflicteren. In Peeters (2008) wordt het netwerk en de interacties op een bevattelijke manier weergegeven. De gebruikte indeling is in feite analoog aan het PEST- of STEP-model dat een analyse opsplijst in politieke, economische, sociale en technische aspecten. Figuur 13 combineert beide om het netwerk te beschrijven.



Figuur 13: het Value Network

De politieke factoren kunnen vooral beïnvloed worden door de overheid. De wetgeving kan het kader schetsen van wat toegelaten is, en via subsidies en belastingen kan zij het gedrag van de andere actoren bijsturen. De producenten worden geacht het gewenste product op de markt te brengen, wat evenwel gelimiteerd wordt door bepaalde technische factoren. De gebruikers kunnen het product op markt aankopen, waarbij de sterkte van de vraag ingegeven zal worden door sociale factoren. In theorie regelt de economische wet van vraag en aanbod de prijsbepaling en de hoeveelheid verkochte producten. In de praktijk zal de adoptie van het nieuwe systeem echter bepaald worden door alle factoren en is er ook onderlinge beïnvloeding. De gebruikers kunnen bijv. veel belang hechten aan privacy bij het gebruik van het systeem, wat de overheid ertoe kan aanzetten bepaalde systeemvereisten op te leggen aan de producenten.

In de eerste twee subsecties bespreken we de producenten en gebruikers. Vervolgens bespreken we de wisselwerking van beide actoren in combinatie met de economische aspecten. Daarna analyseren we de adoptie van het systeem, als gevolg van deze factoren. Het doel van dit onderzoek is precies om de rol en positie van de overheid te

bepalen, vandaar dat dit hier slechts kort besproken wordt in de laatste subsectie. We komen er echter uitgebreid op terug in sectie 7.3 .

7.1.1 *Producenten*

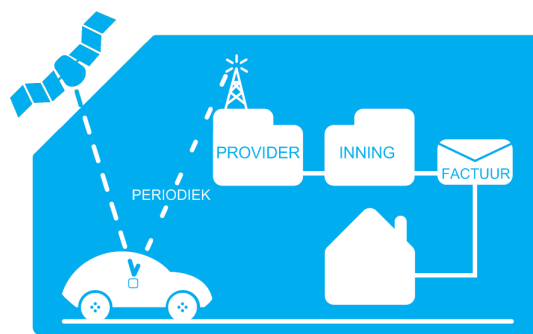
Een ITS is complex en bestaat uit veel aparte delen, waardoor meerdere producenten betrokken zijn bij de lancering. Autoconstructeurs moeten hun wagens aanpassen om de installatie en integratie van de On-Board Units (OBU) toe te laten. Om het bestaande mobiele netwerk te hergebruiken, moeten netwerk operatoren bereid zijn mee te investeren in het project. De OBU zelf moet worden ontwikkeld en geproduceerd, net als de Road Side Units (RSU). Verder moet een verkeersbeheer centrum instaan voor de continue werking en opvolging van het volledige systeem en de afzonderlijke applicaties, die ontwikkeld moeten worden door IT-bedrijven. Deze producenten zijn allen leveranciers van het totale ITS, niet-leverende bedrijven kunnen ook onrechtstreeks betrokken worden (bijv. verzekeringsmaatschappijen). Dit resulteert in een extra uitdaging op organisatorisch vlak. Alle applicaties en elementen moeten samenwerken om het volledig systeem operationeel te krijgen. Dit betekent dat de afzonderlijke producenten en serviceverleners hierop moeten voorzien zijn, evenals andere bedrijven of individuen die hiermee in contact komen.

Als voorbeeld nemen we de eCall applicatie (Michalski, 2009). Tijdens een ongeval wordt door het voertuig opgemerkt dat dit ongeval plaatsvindt. Deze genereert een minimal set of data (MSD, o.a. plaats, voertuig id, tijdstip, etc.) en stuurt deze naar de netwerk operator, samen met een 112 voice call. De operator verrijkt deze MSD informatie met de calling line identification (CLI) en locatie van de netwerk cel, en stuurt data en voice door naar een public safety answering point (PSAP) level 1. Deze kan zowel uitgebaat worden door de overheid als door een private service provider, en controleert via de voice call of het om een vals alarm gaat, indien niet stuurt deze data en voice door naar PSAP level 2. Dit is het effectieve noodcentrum van de overheid welk de juiste hulpdiensten ter plekke stuurt. Het is dus duidelijk dat bij deze enkele applicatie reeds een groot aantal actoren betrokken zijn, en deze allemaal op elkaar afgestemd moeten worden.

De producenten zelf stellen zich in de eerste plaats de vraag of de technologie matuur genoeg is. Elke component moet aanwezig en betrouwbaar zijn. In de vorige paragraaf geeft de indeling van de producenten ook een opsplitsing van het systeem in basiscomponenten weer en elk afzonderlijk lijken ze niet echt complexer dan bestaande technologieën en oplossingen. Het gebruik van GSM's, Personal Navigation Devices (PND) en het elektronische tolsysteem in Frankrijk en Italië dienen als voorbeelden. Voor afzonderlijke applicaties werden ook al Field Operational Tests uitgevoerd (zowel door academisch instellingen als bedrijven). Een PND is in principe al een gedeeltelijke miniversie van een ITS, met nog drie tekorten. Ten eerste rest de vraag of de connectie met het mobiele netwerk haalbaar is. Uit ons techno-economisch model zal blijken dat de bitrate van HSDPA (de recente technologie die nu wordt geïnstalleerd) geen probleem vormt. We verwijzen ook naar de Nederlandse kilometerheffing die gepland stond om volledig ingevoerd te zijn tegen 2018. Na de val van het Nederlands kabinet in maart 2010 werd het onderwerp kilometerprijs controversieel verklaard, en is het wachten op een beslissing van de nieuwe regering om het project te laten doorstarten of stoppen⁶⁷. Het systeem werkt als volgt (zie Figuur 14): de auto bevat een OBU die de gereden kilometers registreert. Op regelmatige basis maakt de auto (via een mobiel data netwerk zoals UMTS) contact met de centrale dienst en meldt het aantal gereden kilometers of een reeds berekende totaalprijs voor het aantal gereden kilometers, afhankelijk van het gekozen applicatiemodel. De bestuurder ontvangt geregeld een factuur om de

⁶⁷http://www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/mobiliteit_en_bereikbaarheid/kilometerprijs/

kilometerheffing te betalen. Ook dit systeem is in feite een vereenvoudigde versie van een ITS (de kilometerheffing, of Road Charging, is immers slechts een van de applicaties). Opnieuw toont dit aan dat dit afzonderlijk aspect wellicht niet de grootste belemmering zal zijn. De tweede uitdaging ligt in de samenwerking van alle onderdelen. Dit heeft echter minder te maken met de technologische haalbaarheid op zich, wel met de noodzakelijke standaarden. De derde onbekende heeft te maken met het coöperatieve luik van ITS systemen. De technologie voor lokale vehicle-to-vehicle en vehicle-to-infrastructure communicatie is dan wel gebaseerd op bestaande wireless LAN technologie, deze moet nog verder op punt gezet worden vooraleer deze nieuwe technologie matuur genoeg is om in te zetten voor veiligheidsapplicaties. Sommige applicaties eisen een positionering die nauwkeurig is tot op het rijvak. Hiervoor dienen verbetering aan de huidige GPS-gebaseerde positionering ontwikkeld te worden. Het ontwerp van betrouwbare applicaties, die indien nodig steeds de correcte waarschuwingen genereren en uitwisselen, maar niet zorgen voor valse waarschuwingen is ook een grote uitdaging.



Figuur 14: Kilometerheffing in Nederland

De technische factoren reiken verder dan enkel de maturiteit van de technologie, er zijn een aantal specifieke verwachtingen met betrekking tot het correct functioneren van het systeem in functie van de gebruikerswensen (die we bespreken in de volgende subsectie).

Een ander potentieel probleem is een te hoge kostprijs van het systeem. Een aantal elementen speelt hierin een rol. Een productie op te kleine schaal zal altijd duurder zijn: het spreiden van vaste kosten over meer eenheden en het verlagen van kosten voor grondstoffen en benodigdheden door in grote hoeveelheden te kopen leidt immers tot lagere prijzen (*economies of scale*). Dit vereist een voldoende grote afzetmarkt. Dit principe kan ook onrechtstreeks worden toegepast indien de producten en technologieën sterk gestandaardiseerd worden. Bepaalde afzonderlijke onderdelen kunnen dan immers op nog grotere schaal worden geproduceerd door gespecialiseerde bedrijven, zodat de systeemproducenten deze kunnen opkopen aan een lagere prijs in plaats van ze zelf te produceren (*out-sourcing*). Standaardisatie is echter ook noodzakelijk om te verzekeren dat alle verschillende elementen en apparaten binnen het systeem met elkaar overweg kunnen.

De kostprijs heeft een tweede aspect met betrekking tot de OBU's. De bedoeling is dat bestuurders over een OBU beschikken, maar zij beschikken doorgaans al over een wagen. Een *aftermarket* installatie lijkt niet evident, wegens de complexiteit van de integratie in het voertuig (integratie met bestaande boordcomputer van het voertuig, koppeling aan de CAN bus (seriële communicatiebus in de meeste moderne auto's) voor toegang tot voertuigspecifieke informatie (stand van het rempedaal, activatie airbags etc), bij bepaalde applicaties zoals Intelligent Speed Adaptation installatie van systemen die de snelheid van de auto kunnen aanpassen aan de omstandigheden, enz). Dit hangt in grote mate samen met de gewenste functionaliteit en dus met de gewenste applicaties. Wanneer bijv. de OBU de snelheid van de wagen kunnen veranderen, moet hij met de wagen kunnen communiceren. Daarnaast moet de OBU ook een verbinding

kunnen maken met het netwerk en bij bepaalde technologieën is het nog onduidelijk of een zender binnenin de wagen (zoals bij een Personal Navigation Device (PND)) hierbij voldoende is. Indien het apparaat volledig in de auto moet geïntegreerd worden en gebruik maken van een externe antenne, kan dit de installatie aanzienlijk bemoeilijken en dus ook duurder maken. Anderzijds moet opgemerkt worden dat PND's die achteraf worden aangekocht, momenteel tot 20 maal goedkoper zijn dan hun tegenpolen die al geïntegreerd zijn in de wagen (handheld PND is al beschikbaar vanaf ongeveer 150 euro, terwijl de optie rond de 3.000 euro bedraagt voor een Volkswagen Passat en andere middenklasse wagens). We wijten dit aan de veel lagere volumes van voertuigen met deze speciale optie, in combinatie met een hogere marge wegens het luxekarakter ervan. Tusseloplossingen kunnen gezocht worden, door bijv. het integratieramwerk voor OBU's te standaardiseren, analoog zoals bij autoradio's. Op die manier moetende autofabrikanten de OBU niet zelf installeren, maar kan de installatie toch gemakkelijk gebeuren met behoud van alle gewenste functionaliteit. We gaan er hier van uit dat de kost eerder in lijn zal liggen van 150 euro, maar bij de kostenanalyse gaan we na wat de invloed is indien onze kostinschatting van de OBU te optimistisch zou zijn.

Ten slotte staan we nog even stil bij de risico's. Elke onderneming loopt in feite een risico door te produceren: er is een kans dat er onvoldoende verkocht wordt, zodat ze haar kosten niet kan dekken en de boeken moet sluiten. De onderneming zal deze risico's willen beperken en kan zelfs weigeren om te produceren indien dit niet mogelijk is. Er is uiteraard een financieel risico, dat versterkt kan worden door een gebrek aan standaardisering. Daarnaast is er een juridisch risico: een goed ontworpen product heeft toch soms defecten en applicaties kunnen een verkeerd signaal geven of er niet in slagen een negatief gevolg te vermijden. De gebruikers zullen hierover ontevreden zijn en kunnen zelfs klacht indienen indien er onvoldoende duidelijkheid heerst over de verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van de producenten. Een duidelijke wetgeving en een strikte certificatieprocedure kunnen hierbij soelaas bieden. Hierbij moet worden opgelet dat alle verantwoordelijkheden en taken ook effectief worden toegekend. Anders zal iedereen naar elkaar wijzen wanneer iets fout loopt. Een mogelijk mechanisme om deze problematiek op te vangen is het oprichten van een specifiek fonds voor noodgevallen. In geval iets fout loopt, is het cruciaal voor de veiligheid en voor het behouden van het publiekelijk vertrouwen dat dit zeer snel wordt opgelost, wat echter verhinderd kan worden door juridische en administratieve onduidelijkheden en vertragingen. Het fonds zou dan kunnen worden aangesproken om het systeem te herstellen in afwachting van verder onderzoek, dat aanwijst waar de oorzaak ligt en wie voor de kosten moet opdraaien.

Samenvattend kunnen het volgende stellen voor de producenten:

- Er zijn veel producenten betrokken bij een ITS en het is niet evident om ze allemaal op dezelfde lijn te krijgen.
- Er zijn nog enkele technologische uitdagingen, die ogenschijnlijk niet onoverkomelijk zijn.
- De eindoplossing moet afgestemd zijn op de gebruikers (zie volgende sectie).
- De mogelijkheden van integratie en installatie van de OBU in wagens en de bijhorende kostprijs moet nog meer in detail onderzocht worden.
- Standaardisering lijkt noodzakelijk om producten op elkaar af te stemmen, de installatie en integratie van OBU's te faciliteren en de afzetmarkt te vergroten (internationaliseren) om zodoende de kostprijs te verlagen.
- Een wettelijk kader is noodzakelijk om de verantwoordelijkheden en aansprakelijkheden van alle betrokken partijen vast te leggen.

7.1.2 Gebruikers

De twee belangrijkste obstakels met betrekking tot gebruikers zijn enerzijds om hen het systeem te laten accepteren (en te doen kopen), anderzijds om hen het systeem correct te doen gebruiken. Met betrekking tot acceptatie geldt volgens de regels van de marketing dat een potentiële klant overtuigd moet zijn van het product en de prijs (waarbij we de product plaatsing en promotie aan echte marketers overlaten).

De basiseigenschap van een ITS is vrij overtuigend: een verhoogde veiligheid kan niet negatief zijn, dit werd bevestigd in de Coopers studie. De eurobarometer studies van 2006 duiden echter aan dat andere factoren spontaner worden vermeld wanneer gebruikers gevraagd wordt waar zij op letten bij de aankoop van een nieuwe wagen (zoals prijs, design en merk). Daarnaast bespreekt DeCorla-Souza (1997) dat bestuurders nauwelijks weten welke veiligheidsmechanismen in hun eigen auto aanwezig zijn. De aandacht voor en het bewustzijn van veiligheid blijkt niet erg groot. Bovendien is een ITS vrij complex. Een gebrek aan begrip kan potentiële gebruikers ontmoedigen om het systeem aan te kopen. Binnen het Coopers project geven bestuurders trouwens nog aan dat ze een systeem verkiezen dat werkt op het volledige wegennet en dat volledig in de eigen taal werkt. Een automobilisten bevraging uitgevoerd binnen het CVIS project toonde tevens aan dat de usefulness van ITS applicaties hoger is dan de willingness to pay (RACC Automobile Club, 2007).

Andere eigenschappen zoals minder file rijden en beter voor het milieu zijn soms minder relevant voor individuen. Ze zijn moeilijk in te schatten en kunnen voor individuele gebruikers mogelijks een beperkte impact hebben. Bovendien zijn ze onzeker, omdat de aanwezigheid van een ITS het gedrag van de bestuurders kan veranderen. Zo leidde de introductie van de ABS tot hogere gemiddelde snelheden (Smiley, 2007). Het is mogelijk dat de verbeterde verkeerssituatie ertoe leidt dat meer mensen zich willen verplaatsen en de files toch niet kunnen vermeden worden. Dit wil niet zeggen dat er geen voordeel is: in het voorbeeld hebben immers meer mensen gebruik kunnen maken van de weg om hun gewenste bestemming te bereiken. Kanninen noemt dit *latent demand* (verborgen vraag) en duidt op de nood om de externe kosten van bestuurders via reguleringen te internaliseren.

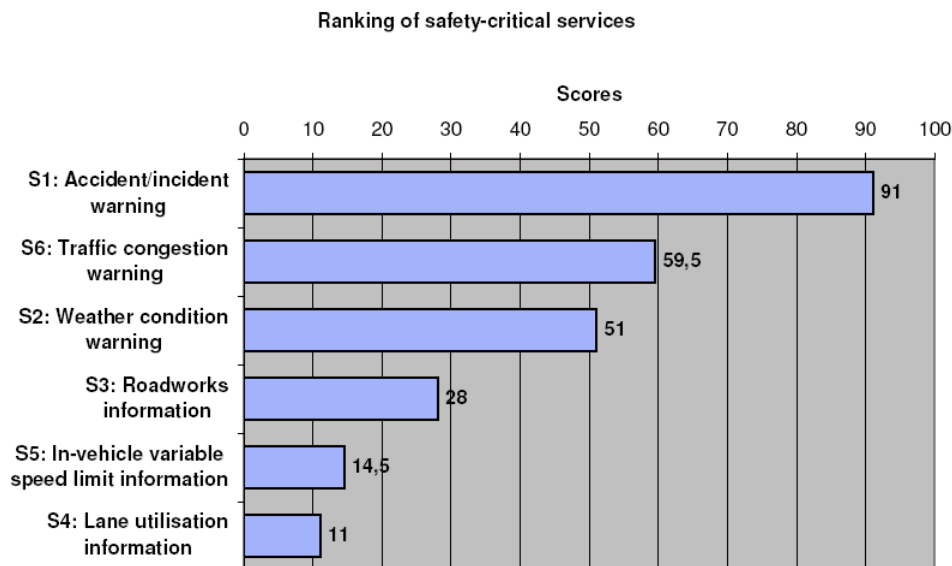
Ten slotte hebben gebruikers enkele vereisten wat betreft de eigenschappen van het product:

- Bij de aankoop van een GSM verwachten mensen niet dat deze jaren en jaren mee zal gaan; maar bij automateriaal ligt dat anders en is betrouwbaarheid een belangrijke factor. Het zal niet aanvaard worden indien de OBU het systematisch al na enkele jaren begeeft en ook de functionaliteit zal vrij continu moeten zijn.
- Het systeem dient robuust te zijn en voldoende beveiligd om kwaadwillige initiatieven te verhinderen.
- Een ander punt is de privacy: mensen hechten hier veel belang en zullen bijv. niet aanvaarden dat bijgehouden wordt waar de bestuurder is geweest (Agre, 1994).
- De effectiviteit en correctheid van het systeem zijn belangrijk. Ten eerste zal bij sommige applicaties de vraag gesteld moeten worden in welke mate de applicatie beslist in plaats van de bestuurder of de bestuurder enkel adviseert bij het nemen van een beslissing (bijv. vertragen bij Adaptive Cruise Control). Veel bestuurders wensen te allen tijde volledige controle over hun voertuig. Dit wordt ook ondersteund door de Conventie van Wenen uit 1968 m.b.t. de verkeersveiligheid. Anderzijds maakt dit het systeem ook minder effectief, en moet men zich de bedenking maken dat heel wat huidige technische voorzieningen in het voertuig deze controle reeds gedeeltelijk overnemen (ABS, ASR, ESP, ...). Ten tweede zal het systeem accurate meldingen moeten geven en logische acties ondernemen. Zo kunnen herhaaldelijke of zelfs foutieve waarschuwingen de bestuurder onnodig afleiden en wrevel opwekken. Omgekeerd mag het systeem de bestuurder niet de indruk geven dat hem niets kan overkomen. Hij moet altijd aandachtig blijven en

dit is des te meer van toepassing op eventuele recreatieve applicaties. Het systeem zal wellicht beter aanvaard worden indien de bestuurder het apparaat in min of meerdere mate kan instellen naar zijn eigen voorkeuren (veel of weinig waarschuwingen, auditief of visueel signaal en dergelijke). Algemeen kunnen we stellen dat de exacte communicatie en interactie van het overkoepelend systeem binnen de auto met de bestuurder grondig onderzocht moet worden. Het ontwikkelen van een duidelijke en goed werkende Human Machine Interface (HMI) werd als een van de voornaamste risico's geïdentificeerd binnen het Safespot project⁶⁸.

Hoewel we daarmee de voornaamste bestaande eigenschappen hebben opgesomd, verwijzen we ook nog even naar de potentiële flexibiliteit van het systeem. Een initiële set applicaties kan worden ontwikkeld en gelanceerd, maar eens de OBU's, RSU's en het netwerk allen beschikbaar zijn, kunnen nieuwe applicaties worden ontwikkeld en updates gerealiseerd worden. Op die manier stelt men erg complexe applicaties even uit en kan op termijn misschien een zogenaamde *killer application* gevonden worden, die op zichzelf voldoende is om de adoptie aanzienlijk te versnellen. Binnen Coopers werd onderzoek verricht naar welke applicaties de bestuurders het interessantst vinden. Een overzicht daarvan is te vinden in Figuur 3.

Hoewel we daarmee de voornaamste bestaande eigenschappen hebben opgesomd, verwijzen we ook nog even naar de potentiële flexibiliteit van het systeem. Een initiële set applicaties kan worden ontwikkeld en gelanceerd, maar eens de OBU's, RSU's en het netwerk allen beschikbaar zijn, kunnen nieuwe applicaties worden ontwikkeld en updates gerealiseerd worden. Op die manier stelt men erg complexe applicaties even uit en kan op termijn misschien een zogenaamde *killer application* gevonden worden, die op zichzelf voldoende is om de adoptie aanzienlijk te versnellen. Binnen Coopers werd onderzoek verricht naar welke applicaties de bestuurders het interessantst vinden. Een overzicht daarvan is te vinden in Figuur 15.



Figuur 15: Appreciatie van applicaties

⁶⁸ <http://www.safespot-eu.org/>

Naast het product, kijken gebruikers ook naar de prijs. Dit is echter een resultante van de wet van vraag en aanbod en bespreken we in de volgende subsectie.

We kunnen de wensen en noden van de gebruiker dus als volgt **samenvatten**:

- De gebruiker moet attent gemaakt worden op het systeem en er grondig over ingelicht worden.
- De prijs moet voldoende laag zijn (dit wordt verderop meer concreet).
- Het product moet veilig en robuust zijn, het systeem moet op een eenvoudige manier te bedienen en te gebruiken zijn, zonder dat de bestuurder nodeloos gestoord wordt.
- De privacy van de bestuurder moet gewaarborgd zijn.

7.1.3 *Interactie en economische factoren*

De combinatie van producenten en gebruikers leidt via de wet van vraag en aanbod tot de marktprijs en het aantal producteenheden dat aan die prijs wordt verkocht. Er zijn hierbij twee relevante aspecten: enerzijds moet het nut van het product hoog genoeg zijn om de prijs te rechtvaardigen, anderzijds moet dit nut ook in voldoende mate toekomen aan de koper zelf.

Omwille van de aard van een ITS vereisen een aantal gevolgen en voordelen van het systeem dat voldoende bestuurders er gebruik van maken. Dit betekent ook dat de eerste kopers minder voordelen zullen waarnemen, wat hun bereidheid tot betalen verlaagt en bovendien kan leiden tot negatieve mond-tot-mondreclame. Dit vertaalt zich in "tragere" inkomsten (het duurt langer vooraleer de baten opwegen tegen de kosten) en dus een groter risico voor het project. Dit **kip en ei probleem** is een gekende uitdaging binnen het ITS domein, met de grootste impact bij V2V en V2I gebaseerde applicaties, en kan een succesvolle lancering in de weg staan.

Daarnaast zijn een aantal gevolgen en voordelen van een ITS van publieke aard. Zo kunnen de lagere ongevalstatistieken na enkele jaren leiden tot lagere verzekeringspremies voor alle bestuurders (en/of tot hogere winsten voor de verzekeringsmaatschappijen), geniet elke burger van het verbeterde milieu en zijn ook minder files een maatschappelijk gegeven. Gelukkig biedt een ITS ook individuele voordelen voor de gebruikers (bijv. via applicaties zoals eCall). Daarom kunnen we het systeem als een **gemengd goed** classificeren. Hoewel minder erg dan bij publieke goederen, zal wellicht toch een vorm van free rider gedrag zichtbaar zijn en/of verwacht worden. De investeerders zullen zich hier mogelijks tegen afzetten. Economisch gezien verwacht elke investeerder in ieder geval meer voordelen dan nadelen bij een transactie. Wanneer zij echter vaststellen dat andere partijen aanzienlijke voordelen verkrijgen zonder te moeten betalen, verwachten zij eigenlijk dat die partijen ook een deel van de kosten dragen of een deel van hun baten afstaan.

De bespreking tot nu toe was vrij direct gebonden aan specifieke actoren. Er zijn echter ook enkele meer algemene gevolgen voor de maatschappij in haar geheel. We spreken hier over macro-economische factoren. Dit werd onderzocht in het eImpact project⁶⁹. Op basis van de indirecte en directe gevolgen wordt een input-output model opgesteld: de verhoogde afzet van de directe producenten leidt tot een verhoogde afzet van de indirect betrokken producenten en tot meer inkomen voor werknemers van deze bedrijven. Dit inkomen kan dan deels gebruikt worden voor extra consumptie. Het onderzoek geeft te kennen dat deze effecten niet verwaarloosbaar zijn, maar erkent dat het niet eenvoudig is betrouwbare inschattingen te maken. Als voorbeeld werd de impact van de lancering

⁶⁹ <http://www.eimpact.info/>

van een Electronic Stability Control in de Europese Unie op de tewerkstelling berekend, dit kwam uit op ruim 40.000 banen (in geval van een snelle adoptie).

Tot slot komen we nog even terug op de prijs zelf. De gebruikers zullen in ieder geval moeten opdraaien voor het grootste deel van de kost, aangezien zij gezamenlijk ook van het merendeel van de voordelen genieten. Dit kan echter op meerdere manieren: onrechtstreeks via belastingen, rechtstreeks bij de aankoop of een combinatie van beide door gedeeltelijke subsidiëring en/of fiscale maatregelen. Een verwant aspect is het tijdstip waarop de gebruiker betaalt voor het systeem: een eenmalige aanschaf van de OBU en/of een abonnement voor het verbruiken van bandbreedte of gebruiken van bepaalde applicaties. Volgens het Coopers project⁷⁰ zijn bestuurders bereid te betalen voor de ITS-diensten. Als eenmalige kostprijs werd een maximum van 700 euro vermeld; terwijl een richtlijn van 25 à 150 euro per jaar werd aangegeven indien voor een zuiver abonnementsysteem werd geopteerd. Tussenvormen zijn wellicht ook mogelijk.

Samengevat komt het er voor de economische factoren op neer dat:

- Het nut voor de gebruiker hoog genoeg moet zijn.
- Het kip en ei probleem voor coöperatieve applicaties een uitdaging vormt.
- We een ITS systeem als gemengd goed kunnen classificeren. Free riding moet worden vermeden.
- Een ITS systeem onrechtstreeks tot macro-economische voordelen kan leiden. Een voorbeeld waarbij de introductie van ESC wordt bekeken spreekt over de creatie van 40.000 banen.
- De prijs voor de gebruiker een doorslaggevende rol kan spelen. Een eenmalige kostprijs van 700 euro en een jaarlijkse bijdrage van 25 à 150 euro per jaar is hierbij het maximum aanvaardbare.

7.1.4 *Adoptie van het systeem*

De voorgaande factoren bepalen, samen met de houding van de overheid, in welke mate een ITS effectief geadopteerd wordt door de gebruikers en in die zin vormt zij dus het resultaat ervan. Toch beschouwen we eerst de adoptie, omdat we binnen dit document net op zoek zijn naar de rol die de overheid moet spelen om een voldoende snelle adoptie te bekomen. Hierbij stellen zich een aantal moeilijkheden:

- Adopties van nieuwe technologieën inschatten, is altijd moeilijk en onzeker. De beste informatie kan men halen uit tijdsroevende kwalitatieve interviews met potentiële gebruikers, maar dan nog blijkt in de praktijk een groot verschil te zijn tussen wat mensen zeggen dat ze zullen kopen en wat ze effectief kopen. Dit wordt nog versterkt omdat er een groot verschil is tussen de kleine hoeveelheid mensen die het product kopen kort na de lancering (innovatieve mensen) en de grote hoeveelheid mensen die het product kopen nadat het enige tijd beschikbaar is (imiterende mensen). De moeilijkheid om over te springen van de eerste naar de tweede categorie, is een gekend probleem (Moore, 1999).
- Zoals aangegeven in sectie 7.1.1 is er onzekerheid over de mogelijkheid om de OBU achteraf in een voertuig te installeren. Indien de kostprijs hiervan te hoog ligt komt slechts een klein deel van de bevolking in aanmerking voor adoptie van het systeem (niemand zal enkel wegens dit systeem een nieuwe wagen kopen).
- Het potentieel erg grote verschil in kostprijs tussen de aankoop van een OBU in een nieuwe of oude wagen, leidt ook tot een grotere complexiteit om de adoptie te modelleren. Bij een groot prijsverschil is de adoptie aanzienlijk verschillend

⁷⁰ <http://www.coopers-ip.eu/>

voor de groep mensen die een nieuwe auto kopen versus zij die dit niet doen. Toch kan men deze groepen niet simpelweg opsplitsen, aangezien de meeste adoptietheorieën erkennen dat het aantal gebruikers van een nieuwe technologie binnen een bepaalde tijdsperiode een van de factoren is die bepaalt hoeveel mensen een aankoop zullen doen in de daaropvolgende tijdsperiode. Een analoog probleem zou zich trouwens kunnen stellen met bedrijfswagens, waar de adoptie kan verschillen omdat de eindgebruiker zelf niet rechtstreeks moet betalen.

- Een andere onzekerheidsfactor is de betalingswijze: hanteert men een eenmalige kost, een abonnement of beide? Bij abonnementen lijkt het logisch dat de gebruiker het abonnement ook kan afzeggen. Dit leidt tot een complexe kruisbestuiving tussen adoptie en annulatie van het systeem. Initiële gebruikers kunnen ontevreden zijn over het systeem, omdat er nog geen kritische gebruikersmassa is bereikt. Wanneer zij te snel afhaken, zal dit de gebruikersmassa nog verkleinen, wat de adoptie verder vertraagt. Het hierboven vermelde kip en ei probleem wordt aldus versterkt.

Deze moeilijkheden geven te kennen dat we met de huidige informatie niet in staat zijn een vrijwillige adoptie accuraat te modelleren. Het is daardoor erg moeilijk om zowel de kosten als de baten van het systeem in te schatten. Ook bij een effectieve roll-out is dit zeer belangrijk, de planning en installatie van het systeem zal namelijk afgestemd worden op de verwachte adoptie. Wanneer de inschatting erg onnauwkeurig is, heeft dit een negatieve impact op de kosten (ofwel omdat de lager dan verwachte adoptie geleid heeft tot initieel nodeloos hoge uitgaven, ofwel omdat de hoger dan verwachte adoptie leidt tot ongeplande en wellicht suboptimale installatie van additionele capaciteit).

Er zijn twee mogelijke oplossingen voor deze problemen. Men kan de roll-out uitstellen om meer informatie te verzamelen (bijv. onderzoek stimuleren bij autoproducenten naar de kosten en mogelijkheden voor de installatie in nieuwe en oude voertuigen). Hierdoor vallen een aantal onzekerheidsfactoren weg en wordt de modellering accurater. Bovendien worden technologische oplossingen doorgaans goedkoper met de tijd. Een alternatief is dat men de roll-out zo organiseert dat de onzekerheidsfactoren wegvallen. Dit is een taak die enkel de overheid op zich kan nemen.

Samengevat komt het er dus op neer dat het met de huidige informatie zeer moeilijk is om een vrijwillige adoptie accuraat te modelleren. Men kan dit op twee manieren trachten op te vangen: de roll-out uitstellen, of de roll-out zo organiseren dat de onzekerheidsfactoren wegvallen. Deze laatste manier kan enkel door de overheid op zich genomen worden.

7.1.5 *De overheid*

Een belangrijk aspect voor de overheid als actor binnen het value network is de algemene steun voor een ITS. Gezien de reikwijdte en gevolgen is dit geen project waar men vandaag over kan beslissen en de implementatie morgen van start gaat. Er is een continue ondersteuning noodzakelijk gedurende een langere periode. De investeringen zullen gespreid worden, en het systeem kan aanzienlijk vertraagd worden of veel minder effectief zijn indien deze in latere jaren worden teruggeschroefd. Ook qua internationale samenwerking en wetgeving zal er meer dan een eenmalige inspanning nodig zijn. Dit wordt bemoeilijkt doordat geen enkele partij een voortrekkersrol op zich kan nemen (precies omwille van de veelheid kleine en gediversifieerde stakeholders). De overheid heeft dus als eerste taak om het systeem op de agenda te plaatsen en de meningsverschillen van zowel politieke partijen als alle andere stakeholders uit te werken. Een gebrek aan politieke wilskracht is een eerste belangrijk obstakel. Deze verantwoordelijkheid moet voldoende concreet worden ingevuld (bijv. publieke bewustzijns campagnes lanceren).

Onderzoek van eImpact⁷¹ wees er op dat directe methodes om in te spelen op de barrières (zoals verplichte installatie, belastingsvoordelen en reductie van de verzekeringspremie) doorgaans effectiever ingeschat worden dan meer voorkomende methodes (sensibiliseringscampagnes, coöperatief onderzoek en training van de bestuurders). Dit suggereert opnieuw de noodzaak om de betrokken partijen op een lijn te krijgen. Dit vereist uiteraard een vorm van onderlinge communicatie, een platform dat best door de overheid wordt opgestart en via onderzoek wordt gerealiseerd.

De maatregelen die de Belgische overheid neemt om haar doelen te bewerkstelligen, moeten effectief en efficiënt zijn. Daarnaast moeten ze ook in lijn liggen met de wetgeving van de Europese Unie (bijv. met betrekking tot concurrentie). Vanuit kostperspectief wordt een ITS best cross-border bekeken, maar zowel politieke, maatschappelijke als economische verschillen tussen de landen maken een volledig gemeenschappelijke lancering mogelijk minder interessant. Door coördinatie en internationaal overleg kan een balans gezocht worden tussen de twee: zoveel mogelijk kosten delen met een beleid dat toch afgestemd is op de regio.

Een gevoelig punt is de mate waarin de overheid zelf de organisatie in handen moet nemen. Gezien de grote maatschappelijke impact van het product lijkt een volledige uitbesteding aan privémaatschappijen niet aangewezen en dus ogen private public partnerships (PPP) de juiste manier om (delen van) een ITS te lanceren en beheren. Op die manier zal immers op een natuurlijke wijze een balans gezocht worden tussen kostenefficiëntie en effectiviteit van de organisatie enerzijds, en maatschappelijke belangen anderzijds. In de praktijk wordt dit echter soms bemoeilijkt door politieke factoren. Hoe worden de private partners gekozen? Hoe wordt de samenwerking georganiseerd? Als de invulling suboptimaal is, heeft een PPP weinig nut.

Met betrekking tot de adoptie hebben we in de voorgaande sectie geconcludeerd dat er op dit moment nog een aantal belangrijke onzekerheidsfactoren spelen. Specifieke reguleringen kunnen deze in principe omzeilen. Een eenvoudig scenario zou zijn dat OBU's verplicht worden in nieuwe wagens en verder niet beschikbaar zijn, terwijl er geen abonnementskosten gelden. Als de kostprijs niet te hoog ligt, zal dit een beperkte impact hebben op de aankoop van nieuwe wagens en kan men vrij nauwkeurig schatten wat de adoptie van het systeem zal zijn. Deze verplichting zal echter weinig populair zijn, tenzij de overheid de kosten grotendeels op zich neemt. Onze kostenberekening zal echter aangeven dat dit niet vanzelfsprekend is. Andere scenario's kunnen opgebouwd worden door elementen te wijzigen, maar dit zal leiden tot een minder nauwkeurige adoptievoorspelling en mogelijk ook tot hogere kosten (bijv. voorzien van de nodige infrastructuur voor het installeren van OBU's in oudere wagens). Hier dient dus een evenwicht gezocht te worden op basis van economische en pragmatische overwegingen.

De rol van de overheid kan als volgt worden **samengevat**:

- Voor de succesvolle roll-out van een coöperatief ITS ecosysteem is een continue ondersteuning door de overheid noodzakelijk over een lange periode.
- Het is noodzakelijk dat de overheid het systeem op de agenda plaatst en de betrokken stakeholders op één lijn krijgt. Hiervoor is een sterke politieke wilskracht vereist. Een mogelijk hulpmiddel kan het oprichten van een platform voor onderlinge communicatie zijn.
- De coördinatie door de overheid moet zowel in lijn liggen met de wetgeving en ontwikkelingen binnen de EU, als met de regionale vereisten.
- Een private public partnership (PPP) lijkt een aangewezen organisatievorm.
- Er moet nagedacht worden over specifieke reguleringen om de adoptie eenduidiger te maken.

⁷¹ <http://www.eimpact.info/>

7.2 Techno-economische analyse

Vanuit techno-economisch perspectief kunnen we ons de vraag stellen of het de moeite loont om een ITS te lanceren. Het technisch gedeelte van de analyse werd in feite in de voorgaande hoofdstukken uitgevoerd. Toch heeft het hier een belangrijk invloed: dit bepaalt de technologieën en applicaties die in aanmerking komen en welke parameters relevant zijn. Ons model bouwt hierop verder en analyseert de kosten van elk van die mogelijke technologieën. In principe zullen de betrokken partij afzonderlijk de kosten tegen de baten afwegen en pas bereid zijn hun deel van de kosten te dragen indien de baten hoger zijn. Zoals in de inleiding vermeld, heeft een overkoepelende kosten-batenanalyse het nadeel dat zij individuele aspecten niet in rekening brengt. Daarom bekijken wij in de eerste subsectie de totale kosten, om de haalbaarheid in te schatten en te kunnen vergelijken met andere projecten. Daarna staan we stil bij de baten, waarbij we focussen op het standpunt van de afzonderlijke actoren. De overheid kan hierbij een intermediaire rol spelen en overmatige baten van de ene actoren overhevelen naar actoren die onrendabele investeringen moeten maken.

We merken nog op dat de complexiteit en moeilijkheden, zoals besproken in de voorgaande secties, al te kennen geven dat een lancering niet van vandaag op morgen zal kunnen plaatsvinden. Aangezien we in ons model de bestaande infrastructuur hergebruiken, kan dit een belangrijke impact hebben. Immers, de operatoren vervangen gradueel hun installaties van oudere technologieën (GPRS en UMTS) naar nieuwere (HSDPA). In ons model gaan we ervan uit dat alle bestaande infrastructuur op het moment van de lancering al overgeschakeld is naar HSDPA.

In de eerste subsectie beschrijven we het door ons ontwikkelde kostenmodel. Vervolgens bespreken we de kosten die hieruit resulteren in subsectie 2, en de baten (in beperkte vorm) in subsectie 3. De laatste subsectie poogt de haalbaarheid van een geldige business case te evalueren

7.2.1 Kostenmodel

We zullen hier het door ons opgestelde kostenmodel bespreken. Het model maakt gebruik van tal van parameters en laat de gebruiker ook toe om de roll-out strategie te definiëren aan de hand van enkele scenario's. Het resultaat bestaat uit een berekening van de totale kostprijs, die echter ook wordt opgesplitst in stukken om een overzicht van de belangrijkste elementen toe te laten. Het is belangrijk op te merken dat ons model er meteen vanuit gaat dat een selectie applicaties samen ontwikkeld en aangeboden worden. Dit is een toevoeging op andere onderzoeksprojecten waar typisch individuele applicaties en hun investeringen bekeken worden. Een gezamenlijke lancering kan echter tot belangrijke kostenbesparingen leiden, die dan niet in rekening werden gebracht. We bespreken achtereenvolgens de verschillende scenariomogelijkheden, de gevraagde capaciteit, de bepaling van het netwerk, het kostenoverzicht en de kostenmodellering.

a. Scenario

Het scenario bepaalt de wijze waarop de lancering plaatsvindt. Hierbij dienen veel beslissingen genomen te worden, waarbij een aantal keuzes niet eenvoudig in absolute termen van "beter" en "minder" te vatten zijn. Daarom beschouwen we ze als parameters in ons model, zodat we verschillende scenario's gemakkelijk kunnen vergelijken in termen van de totale eindkost.

Een eerste belangrijk aspect bij de lancering van een ITS, is de **fasering**. Het is bijzonder kostelijk om vanaf de eerste dag alle capaciteit en opties te voorzien, en dit is bovendien onnodig (aangezien niet alle bestuurders al vanaf het begin het systeem in bezit zullen hebben). Het model laat toe om het beginjaar van (maximaal 5) afzonderlijke fasen te definiëren. Hierbij kan dan aangeduid worden in welke fasen de

infrastructuur wordt uitgebreid. Onderstel dat fase 2 begint in jaar 5, dan moet bij de initiële lancering voldoende infrastructuur voorzien zijn om tot in jaar 5 een bepaalde capaciteit (in termen van aantal auto's of hoeveelheidbandbreedte) aan te kunnen. Stel dat men verwacht dat de adoptie in jaar 5 ongeveer 50% zal bedragen, dan moet dus initieel slechts de helft van de maximale capaciteit worden voorzien.

Een tweede aspect is de **capaciteitsvoorziening** in functie van de gewenste beschikbaarheid van de diensten. Bij erg druk verkeer zijn er meer mensen op de autosnelweg, wat een grotere last op het systeem betekent. Maar niet op elk stuk van de autosnelweg is de kans op verkeersdrukte even groot, het is dus niet noodzakelijk om de volledige autosnelweg te voorzien van infrastructuur die de diensten beschikbaar maakt aan alle gebruikers in alle verkeerssituaties (i.e. file in beide richtingen). Per fase kan daarom aangeduid worden hoeveel procent van de autosnelweg moet voorzien zijn op welk type verkeer (van geen verkeer tot file in beide richtingen). Het scenario legt dus vast met welke verkeerssituaties moet rekening gehouden worden en met welke niet.

Ten derde kan een **selectie applicaties** gekozen worden. De introductie van nieuwe applicaties kan gespreid worden over de fasen, zodat bijvoorbeeld initieel enkel applicaties voor veiligheid en efficiëntie ter beschikking zijn, terwijl er na enkele jaren ook een recreatief aanbod is. Verder kan men instellen hoe complex de applicaties zijn, de hoeveelheid ontwikkelaars en verkeersmanagers die ervoor benodigd zijn, hoe vaak ze gebruikt worden, hoeveel bandbreedte zij verbruiken, of er lokale infrastructuur nodig is (zoals intelligente verkeersborden) en dergelijke. De inschattingen daarvan gebeuren op basis van het overzicht in sectie 3.3.11 .

Ten vierde zijn er verschillende mogelijkheden met betrekking tot de **gebruikte communicatie technologie**. Op basis van de technische studie in hoofdstuk 5. werden een aantal mogelijke technologieën geselecteerd, die werden onderverdeeld in 3 typen. Qua broadcast technologieën (uni-directionele communicatie van 1 zender naar een onbepaald aantal ontvangers binnen een bereik van een groot aantal kilometers, bv. FM radio transmissie) kan men kiezen tussen DVB-T, DAB of MBMS. Bij de unicast technologieën (cellulaire mobiele data netwerken met een bereik van enkele kilometers per basis station) zijn HSDPA, WiMAX en LTE mogelijk. GPRS en UMTS laten we buiten beschouwing omdat ze tegen het moment dat een roll-out effectief kan plaatsvinden (ten vroegste binnen enkele jaren) verouderd en vervangen zullen zijn (door HSDPA of andere). Ten slotte beschouwen ook nog CALM-IR en CALM-M5 als lokale technologieën (een zender en een ontvanger op enkele tientallen of honderden meters van elkaar). De drie types zijn inherent verschillend en kunnen nuttig zijn voor verschillende applicaties, daarom kunnen ze gecombineerd worden. Per type kan er echter wel maar een specifieke technologie gekozen worden: ze hebben gelijkaardige eigenschappen en een combinatie zou wellicht toch alleen maar leiden tot hogere vaste kosten. Binnen ons model zijn slechts een handvol parameters van deze technologieën relevant: wat is hun bereik (in beide richtingen – upload en download), hoeveel bandbreedte is er beschikbaar (in beide richtingen) en hoeveel connecties kunnen er simultaan gemaakt worden.

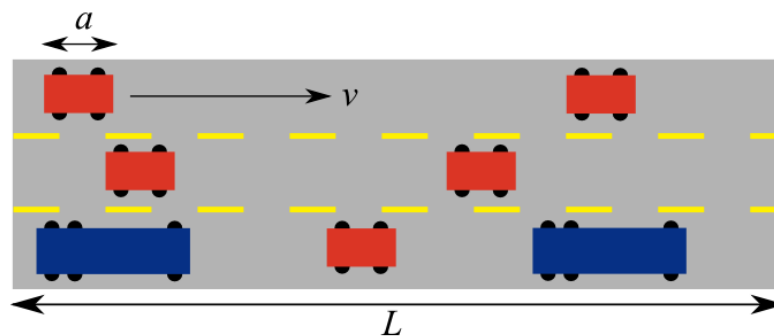
b. Capaciteitsvraag

Om de vaste kosten te bepalen, moeten we een zicht hebben op de benodigde infrastructuur. Dit op zijn beurt hangt af van de benodigde bandbreedte. We moeten dus bepalen hoeveel capaciteit het netwerk dient te dragen. Dit wordt gedetermineerd door een aantal elementen.

Het wegennet zelf is natuurlijk een belangrijke factor. De totale lengte van de Belgische autosnelwegen bedraagt 1.763km⁷². Er is ook nood aan enkele statistische gegevens over het verkeer. Hiervoor kunnen we beroepen op officiële informatie. Zo blijkt bijv. dat de gemiddelde jaarlijkse stijging van de verkeersintensiteit in de laatste 10 jaar ongeveer 1,5 procent bedraagt in Vlaanderen⁷³.

Daarnaast moeten we kijken naar het aantal auto's dat zich bevindt op de snelweg. Echter, dit wijzigt van moment tot moment. De infrastructuur moet een bepaalde capaciteitsvoorziening ondersteunen op elk gegeven moment. Ruwweg kunnen we vijf situaties beschouwen: geen dekking, enkel dekking, normaal verkeer, file in een richting en file in beide richtingen. In het scenario kan dan bepaald worden hoeveel procent van de autosnelweg voorzien moet zijn op welke situatie. Er is een model opgesteld voor elk van deze verkeerssituaties, zodat geschat kan worden hoeveel auto's er onder die omstandigheden op een stuk snelweg aanwezig zijn.

Voor de situaties "geen dekking" en "enkel dekking" is de hoeveelheid verkeer irrelevant. Er worden respectievelijk geen masten geplaatst en net genoeg masten om op alle plaatsen connectiviteit te kunnen aanbieden (enkel afgaande op de technologische parameters). Voor de situatie "normaal" verkeer bouwden we een model op basis van de tweesecondenregel⁷⁴. Deze vuistregel stelt dat auto's voor de veiligheid onderling een afstand van 2 seconden (de onderstelde reactiesnelheid) dienen te bewaren. In Figuur 16 geven we dit grafisch weer.



Figuur 16: Tweesecondemodel

Bij een vaste snelheid kunnen we dan een formule opstellen voor het aantal auto's op een stuk snelweg. De a in de formule duidt op de lengte van de wagen. We schatten hierbij een gemiddelde lengte van vrachtwagens op 13m, van auto's op 5m en de hoeveelheid vrachtwagens op 20%. De gemiddelde lengte van een voertuig bedraagt dan 6,6m. L is de lengte van het stuk snelweg. De snelheid geven we aan als v en leggen we vast op 120km/u of 33,33m/s. Op twee seconden legt een auto dus tweemaal de waarde van de snelheid in m/s af, of 66,66m. Dit model geldt voor een enkel rijvak, dus Q vermenigvuldigen we nog met het aantal rijvakken (doorgaans 6). Dit is een erg gesimplificeerd model, zo rijden vrachtwagens doorgaans slechts 90km/u en kunnen voertuigen ook uitwijken en voorbijsteken. Desalniettemin liggen de waardes in lijn met de resultaten bekomen door Vandenberghe et al. (2009).

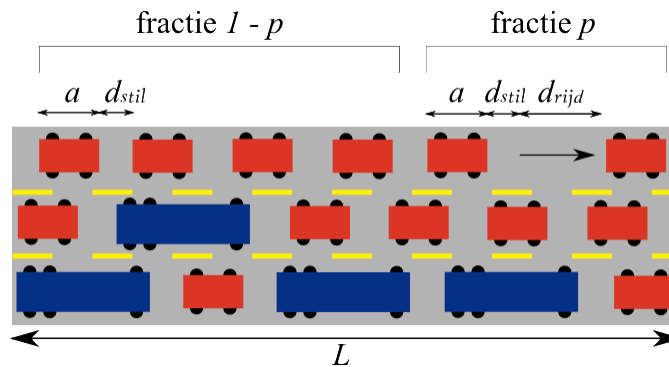
$$Q = \frac{L}{a + 2v}$$

⁷²http://statbel.fgov.be/nl/modules/publications/statistiques/verkeer_vervoer/Lengte_wegennet.jsp

⁷³ Verkeerstellingen Vlaanderen: <http://wegen.vlaanderen.be/documenten/tellingen/>

⁷⁴ <http://nl.wikipedia.org/wiki/Tweesecondenregel>

Daarnaast werd ook een filemodel ontwikkeld. Dit gaat ervan uit dat de meeste auto's stilstaan en dat ze telkens in een golfbeweging vooruitgaan: een auto rijdt voorwaarts om de lege ruimte voor zich op te vullen. In Figuur 17 stellen we dit schematisch voor.



Figuur 17: Filemodel

We gaan ervan uit dat stilstaande auto's een afstand d_{stil} van 1,6m ruimte tussenlaten, dat de auto's gemiddeld 80% van de tijd stilstaan en dat zij zich voortbewegen aan 18km/u voor een afstand d_{rijd} van 6,6m. We gebruiken dezelfde maten voor auto's en vrachtwagens als voorheen. De bekomen formule is dan:

$$Q = \frac{L}{a + d_{stil} + p \cdot d_{rijd}}$$

Voor de verkeerssituatie "file in enkele richting" combineren we dan 3 rijvakken normaal verkeer met 3 rijvakken file; voor "file in beide richtingen" zijn er 6 vakken met file.

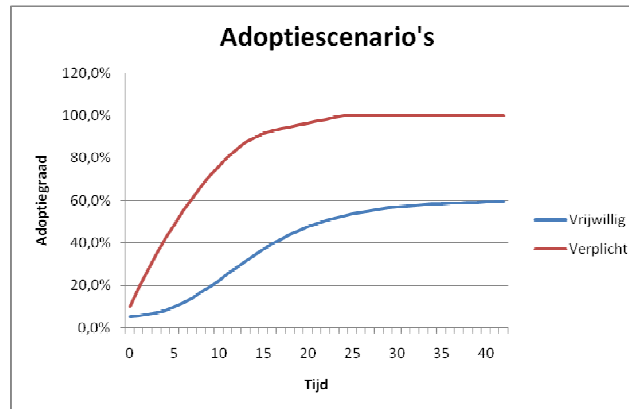
We kennen nu al de lengte van de autosnelweg en het aantal auto's dat zich erop bevindt. Niet alle auto's beschikken over een OBU, het systeem wordt pas langzaam geadopteerd. Een adoptiemodel laat toe om in te schatten hoeveel voertuigen er op een bepaald moment effectief zullen zijn met ITS technologie. Zoals eerder al vermeld, is de inschatting van de adoptie tegelijk erg moeilijk en cruciaal voor de kwaliteit van de resultaten. We beschouwen hier twee verschillende mogelijkheden. Het eerste adoptiemodel waar we van uit gaan, onderstelt een actief beleid. Dit wil zeggen dat de overheid de aanschaf van het gebruikerssysteem verplicht bij de aankoop van een nieuwe wagen. Op deze manier zijn we zeker dat de adoptie voldoende snel verloopt en dat onze inschatting vrij accuraat is. Er bestaan immers statistieken over de aankopen van nieuwe wagens⁷⁵. Wegens de potentiële moeilijkheden van een aftermarket installatie, gaan we ervan uit dat het systeem enkel in alle nieuwe auto's wordt geïnstalleerd. Het tweede model gaat wel uit van een vrijwillige adoptie. Hierbij kunnen we niet terugvallen op statistieken. We moeten een inschatting maken, waarbij we ons hier baseren op het gekend en veelgebruikt Gompertz-model. De algemene formule hiervoor is:

$$y(t) = ae^{be^{ct}}$$

Waarbij a de finale adoptiegraad vastlegt, b de adoptiesnelheid bepaalt en c de helling beïnvloedt (de variabele t is uiteraard de tijd, uitgedrukt in jaren). Er is weinig

⁷⁵ Website Federale Overheidsdiensten Economie, Mobiliteit en Vervoer

informatie beschikbaar over de adoptie van een ITS. We leggen daarom arbitrair de parameters vast op respectievelijk 55%, -6 en -0,15. Aangezien de adoptie in een dergelijk model traag op gang komt, lijkt dit toch niet helemaal realistisch (wegens een groot risico op non-acceptatie van de gebruikers, cfr. het kip en ei probleem). Daarom tellen we er nog 5% bovenop, die bijvoorbeeld bekomen kan worden doordat de overheid een aantal acties onderneemt (zoals bepaalde subsidies toekennen) om de initiële adoptie te versnellen. Figuur 6 geeft het tijdsverloop van de adoptie weer in beide gevallen.



Figuur 18: Adoptie-evolutie

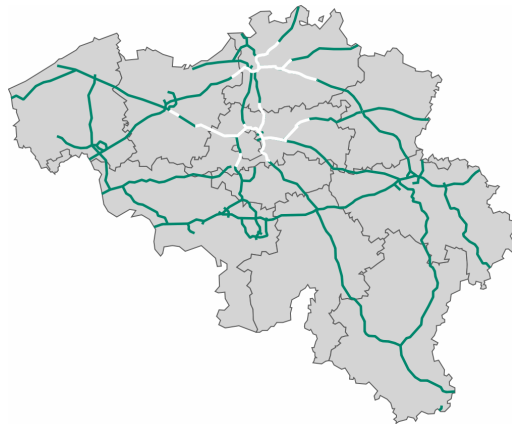
Het totale dataverbruik is simpelweg het aantal uitgeruste auto's, wat we in principe kunnen berekenen op basis van de bovenstaande elementen, maal het gemiddeld dataverbruik. Dit laatste schatten we in op basis van de selectie van applicaties. Per applicatie legt het scenario namelijk vast hoeveel bandbreedte ervoor benodigd is en hoeveel procent van de gebruikers ze benutten.

c. Bepaling van het netwerk

In de voorgaande sectie werd berekend welke capaciteit voorzien moet worden op de snelweg. Deze informatie kan nu gebruikt worden om te bepalen welke netwerkinfrastructuur er nodig is vanuit het standpunt van de broadcast, unicast en lokale communicatie technologieën. Met betrekking tot de unicast technologieën lijkt het erop dat een volledig nieuw netwerk uitrollen bijzonder duur en wellicht onnodig is: de bestaande infrastructuur van de netwerkoperatoren kan hergebruikt worden. Uit officiële informatie blijkt dat er ruim 65.000 sites staan in België. Door de geografische data van deze sites te combineren met informatie over de autosnelwegen, stelden we vast dat ongeveer 650 sites op minder dan 200m van een autosnelweg gelegen zijn en iets minder dan 800 op een afstand van 350m. Indien modernere technologieën gebruikt worden, kunnen in principe nog meer sites hergebruikt worden, omdat de grotere afstand tot de snelweg dan een kleinere rol speelt (er staan bijv. al ongeveer 1.650 sites binnen een afstand van 1 kilometer van de autosnelweg), maar aangezien daarbij ook meer bandbreedte beschikbaar is, is hier mogelijks geen behoefte aan. In ons model gaan we ervan uit dat er ongeveer 800 sites hergebruikt kunnen worden. De afstand van 350m brachten we niet in rekening, maar dit is verwaarloosbaar (het bereik van HSDPA bedraagt 2.160m, op een afstand van 350m van de snelweg is er nog een bereik van iets meer dan 2.100m). We gaan ervan uit dat alle sites en hun backhaling-connectie (d.i. een connectie met het centrale verkeerscentrum en het internet) herbruikbaar zijn en dat ongeveer 20 procent van de dataverkeercapaciteit afgehuurd kan worden. Met betrekking tot de broadcast-technologieën gaan we ervan uit dat er een kanaal

beschikbaar is op DVB-T of DAB (beide hebben een nagenoeg volledige dekking in België).

Nu rest de vraag of de bestaande infrastructuur voldoende is, en zo nee, welke nieuwe infrastructuur dan benodigd is. De gewenste capaciteit van het netwerk werd al bepaald, dus we weten hoeveel bandbreedte beschikbaar moet zijn voor hoeveel auto's. De parameters van de gekozen technologie bepalen dan in principe op welke onderlinge afstand de masten moeten staan en door dit te vergelijken met de beschikbare masten, kunnen we bepalen of en hoeveel nieuwe masten nodig zijn. Een moeilijkheid schuilt in de verdeling van de bestaande capaciteit over de snelweg. Dit model dient enkel ter ruwe inschatting en levert dus zeker geen gedetailleerde planning. Toch moeten we kiezen welk stuk van de autosnelweg we voorzien op welke verkeerssituatie. Figuur 19 geeft de autosnelwegen van België weer met indicatie van de structurele fileproblemen⁷⁶. Als we een kaart bekijken met de bestaande masten⁷⁷, is het duidelijk dat de meeste sites langs de drukste stukken van de autosnelweg staan en het is logisch dat we de grootste capaciteit op deze punten voorzien. Hoewel het verband in de realiteit wellicht niet 100% eenduidig is, gaan we er in dit model voor de eenvoud wel van uit.



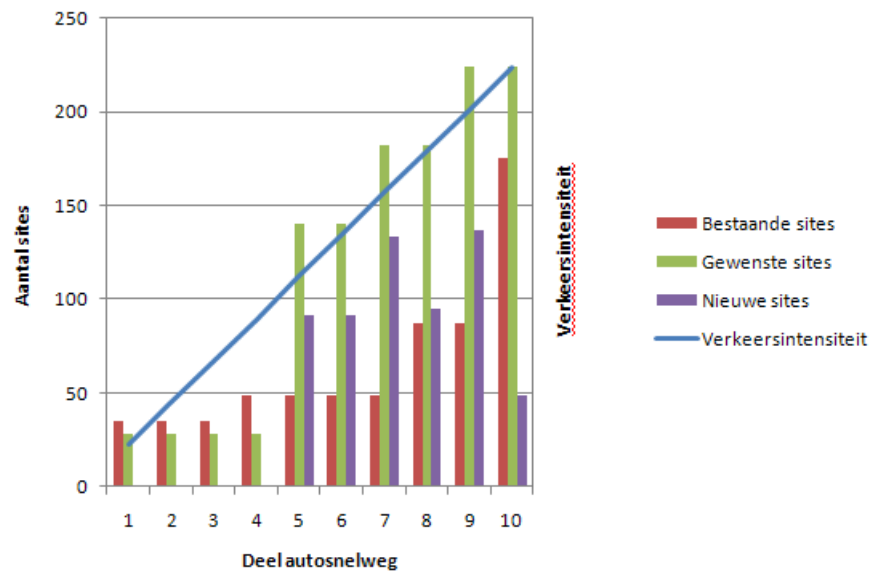
Figuur 19: Autosnelwegen in België, met indicatie van file-problemen

Uit Vandenberghe et al. (2009) blijkt dat de verkeersintensiteit lineair stijgt, dit wil zeggen, als we de volledige snelweg in stukken opdelen en deze rangschikken van kalm naar druk, dan blijkt de verkeersintensiteit lineair toe te nemen. Uit deze gegevens en veronderstellingen volgt dat we het probleem conceptueel kunnen voorstellen zoals in Figuur 20. Deze grafiek deelt de autosnelwegen op in 10 klassen, volgens stijgende verkeersintensiteit, weergegeven in het blauw (het model werkt met continue waarden, niet met discrete stukken). Het hier afgebeelde scenario is zo opgesteld dat 40% van de autosnelweg voorzien is op gewone dekking, 20% voorzien is op normaal verkeer, 20% op enkele file en 20% op dubbele file. De technologische parameters bepalen voor elk van de verkeerssituatie de overeenkomstige densiteit van de sites, in het groen op de grafiek. Dit moet nu vergeleken worden met de beschikbare densiteit van sites. Deze is niet in detail gekend, maar op basis van de algemene gegevens van het BIPT, konden we via een kleine steekproef een goede inschatting maken. Dit gebeurde door de autosnelweg in een viertal categorieën te verdelen, gaande van beperkte tot zeer goede dekking. Er werd dan visueel geschat hoeveel procent van de autosnelweg hieraan voldeed. Voor een aantal stukken van elke categorie werd dan op de kaart nagegaan hoeveel

⁷⁶ http://www.verkeerscentrum.be/verkeersinfo/structurele_files_2009

⁷⁷ <http://www.sites.bipt.be/>

masten er naast dat stuk autosnelweg stonden. Als test berekenden we hoeveel sites er volgens onze distributie naast de volledige autosnelweg zouden moeten staan en vergeleken dit met de eerder gevonden 800 sites beschikbaar binnen een straal van 350m en corrigeerden onze inschatting. De verdeling van het aantal bestaande sites is aangegeven in het rood in Figuur 20. We zoeken nu het aantal nieuwe sites die aangelegd moeten worden, dit is voor elk stuk autosnelweg precies het verschil tussen het aantal gevraagde sites min het aantal bestaande sites (het resultaat is aangeduid in het paars) - waarbij negatieve resultaten uiteraard worden genegeerd en niet leiden tot het verwijderen van sites.



Figuur 20: Het plaatsen van nieuwe sites

d. Kostenoverzicht

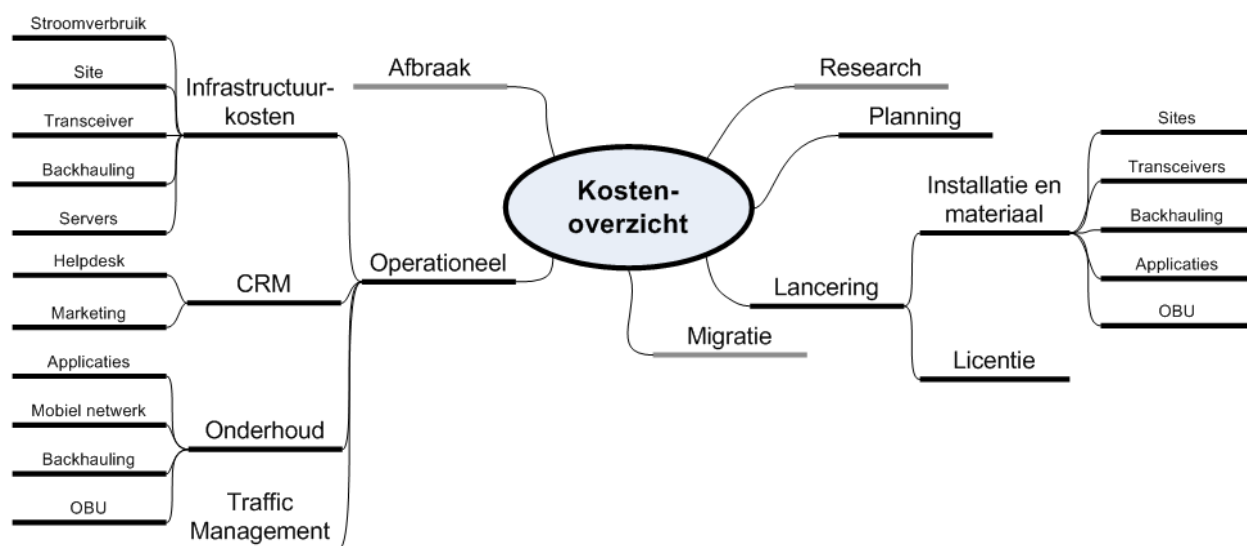
Vooraleer we de kosten kunnen modelleren en bepalen, moeten we ze identificeren. We overlopen de verschillende fasen van het project om de belangrijkste elementen op de lijsten.

- De kosten van de onderzoeksfase rekenen we niet mee, omdat het sunk costs zijn op het moment dat er beslist wordt over de investering. Dit zijn kosten die onvermijdbaar zijn (bijv. omdat ze in het verleden werden gemaakt en vandaag geen waarde meer hebben), niet kunnen beïnvloed worden door de investeringsbeslissing en daarom ook niet relevant zijn voor de beslissing.
- De planningsfase is niet altijd gemakkelijk te onderscheiden van de onderzoeksfase. We brengen de personeelskosten voor het opstellen van een gedetailleerd plan in rekening, maar niet de praktische organisatie. Ten eerste omdat er momenteel nog geen gestandaardiseerd systeemontwerp beschikbaar is, zodat een lijst van taken en kosten niet accuraat zou zijn. Daarnaast zal informatie over kosten vaak niet publiekelijk beschikbaar zijn, aangezien de lancering het werk van veel verschillende en soms onderling concurrerende bedrijven is. Bovendien zullen privébedrijven de gemaakte kosten ongetwijfeld verhalen op de consument door ze in de prijzen te verrekenen, zodat veel planningskosten automatisch in rekening gebracht worden.
- De lanceringsfase wordt in rekening gebracht aan de hand van materieel-, verplaatsings- en installatiekosten van de infrastructuur. Ook de licentiekost wordt in rekening gebracht. In het geval HSDPA is dit een deel van de lease-

kost bij het hergebruiken van materiaal van de bestaande mobiele operatoren. In het geval van WiMAX en LTE is dit de aanschafprijs van een bijhorende licentie.

- Een migratiefase is niet van toepassing, aangezien er geen oudere versie van een ITS aanwezig is.
- De kosten van de operationele fase bestaan uit onderhoud, infrastructuurkosten (lease-, vervangings- en elektriciteitskosten), Customer Relationship Management (helpdesk en marketing) en het centrale verkeerscentrum.
- Een afbraakfase is moeilijk in te beelden. Het systeem zal wellicht operationeel blijven na onze investeringstermijn, al kan het natuurlijk wel geüpgrade worden. Echter, deze wijzigingen zullen enkel plaatsvinden na een positieve economische evaluatie (m.a.w. ze zullen de rendabiliteit van het project verhogen). We brengen deze fase niet in rekening.

Figuur 21 geeft het door ons veronderstelde kostenoverzicht weer, waarbij de fasen die we niet in rekening brengen (research, migratie en afbraak) aangeduid werden in grijs. In de volgende sectie zullen we de afzonderlijke elementen in detail overlopen en bespreken hoe we ze gemodelleerd hebben.



Figuur 21: Kostenoverzicht van de roll-out van een ITS

e. Kostenmodellering

Er zijn een aantal methoden om een kost te bepalen, afhankelijk van de situatie. Nieuwsprijzen van materiaal worden waar mogelijk opgezocht of overgenomen uit andere studies. Indien dit niet voorhanden is, wordt een inschatting gemaakt op basis van extrapolatie van andere gegevens (gelijkaardige producten of som van componenten). Vervangingskosten en onderhoud worden vaak uitgerekend als een percentage van de originele kost. Voor de resterende waarden werden zogenaamde *cost drivers* gezocht: dit zijn de factoren die in grote mate de kost determineren (vaak arbeid). Door de noodzakelijke hoeveelheid van die cost driver in te schatten en de prijs per eenheid ervan, kan de kost worden geschat.

Voor de planning kijken we naar de personeelskost. De cost driver is daar logischerwijs de loonkost van een *network planner*. We schatten deze op 50.000 euro. Om te bepalen hoeveel mensen benodigd zijn, kennen we elke netwerk planner

100 sites toe (waarvan hij de locatie moet bepalen). Dit is meer dan bij traditionele plannings van mobiele netwerken (zo hanteren Van Ooteghem et al. (2009) een waarde van 43 sites per planner), omdat de mogelijke locaties een stuk beperkter zijn. De mast moet immers naast de autosnelweg staan, wat het aantal mogelijkheden verkleint en het werk versnelt.

In verband met de installatie van infrastructuur, wijzen we opnieuw naar het hergebruik van het bestaande netwerk. In de mate dat hergebruik mogelijk is, moet uiteraard geen nieuw materiaal worden aangekocht en geïnstalleerd. Het is mogelijk dat zowel de site zelf als de transceivers hergebruikt worden, maar evenzeer dat enkel de site herbruikbaar is en dat er eigen transceivers aan bevestigd moeten worden. Voor de aankoop en installatie van een site voor het mobiele netwerk hanteren we een totaalprijs van 40.000 euro, dit betreft dus de mast, het bijhorend materiaal ernaast en de installatie van beide. Dit is iets lager dan de gebruikte kost in Van Ooteghem (2009), omdat die prijs aan de hoge kant leek, gegeven de prijs van een individuele mast⁷⁸. De materiaalkosten van transceivers beschouwen we als volgt:

Unicast

HSDPA sector transceiver	4.000
WiMAX sector transceiver	5.000
LTE sector transceiver	7.500

De kost van lokale transceivers hebben we in rekening gebracht in een totaalprijs van een Road-Side Unit. Voor een RSU gebaseerd op CALM-M5 rekenen we een prijs van €3.000, terwijl dit bij CALM-IR €32.000 bedraagt. Het grote verschil is te wijten aan het feit dat CALM-IR directioneel is, zodat bij een brede autosnelweg met 6 vakken, niet 1, maar 6 transceivers noodzakelijk zijn. Deze worden bevestigd aan zogenaamd gantries, metalen bouwwerken over de autosnelweg waaraan verkeersborden of infrastructuur kan gehangen worden, die een hoge kost met zich meebrengen. Deze gantries worden geïllustreerd in Figuur 22.



Figuur 22: Gantry boven autosnelweg

De installatiekosten vallen uiteen in verplaatsings- en personeelskosten. De personeelskost onderstelt dat 2 technici (met een loon van 40.000 euro) ongeveer 1 dag nodig hebben per installatie (hiervoor vonden we geen referentie), terwijl we het transport vastleggen op gemiddeld 150km aan 0,3 euro per km. Dit levert een kost van ongeveer 410 euro.

⁷⁸ Ongeveer €3.500 voor een American Tower Amerite van 30m hoog.

Inzake backhauling gaan we, zoals eerder al vermeld, ervan uit dat deze hergebruikt kan worden op alle bestaande sites. Er is geweten dat er al bijna overal fiber ligt langs de autosnelweg, wat normaal dus voldoende zou moeten zijn. We gaan er in eerste instantie van uit dat deze geleased kan worden, aan €1.000 per backhaulconnectie. Tijdens de kostenbespreking vergelijken we nog even wanneer dit niet haalbaar zou zijn en een nieuwe kabel gelegd moet worden. De connectiekost van nieuwe sites beschouwen we als onderdeel van de installatie van die sites. Verder is er ook elektriciteit voorzien langs het grootste deel van de autosnelweg. Soms zijn evenwel werken nodig om een kabel te leggen naar de dichtstbijzijnde hoog- of laagspanningskast. De voornaamste kosten zijn het trekken van de elektriciteitskabel zelf en de signalisatie tijdens de werken (ook noodzakelijk wanneer er enkel naast de snelweg wordt gewerkt). Meer concrete informatie werd opgevraagd, maar nog niet ontvangen en daarom niet in rekening gebracht. Gezien het zeer beperkt aantal nieuwe sites (cfr resultaten) is de afwijking hierdoor op het eindresultaat wellicht erg klein.

Beschouwen we nu de applicaties, deze moeten ontwikkeld worden. Het scenario bepaalt de set van applicaties en geeft ook aan hoeveel software ontwikkelaars nodig zijn per applicatie (dit is de cost driver). Hun loon bedraagt 50.000 euro.

Het laatste element van de installatie- en materiaalkosten, is de OBU. We schatten de prijs van het kernapparaat op 200 euro, op basis van de prijs van een Personal Navigation Device (PND): deze beschikt namelijk ook over een scherm, speaker, geheugen en rekenkracht. Daarnaast moet de OBU over een of meerdere transceivers beschikken voor de verschillende types technologieën. We maken gewoon de som van beide, waarbij de afzonderlijke kosten componenten in onderstaande tabel worden weergegeven:

Unicast	
HSDPA transceiver	25
WiMAX transceiver	50
LTE transceiver	125
Local	
CALM-IR sector transceiver	60
CALM-M5 sector transceiver	60
Broadcast	
DVB-T receiver	10
DAB receiver	80

De licentiekost die we in rekening nemen, bedraagt een éénmalige aankoopkost van respectievelijke 15 miljoen euro en 25 miljoen euro voor WiMAX en LTE per 10 jaar. Bij HSDPA rekenen we met een jaarlijkse kost van 4 miljoen euro, wat in feite een lease-kost is om de licentie van bestaande operatoren te gebruiken. Deze prijzen zijn gebaseerd op de informatie die bekend is inzake de veiling van mobiele licenties eind september 2010⁷⁹. Bemerkt dat WiMAX ook gebruikt kan worden zonder licentie in een gedeeld spectrum. Dit is echter geen valabele optie: voor veiligheidsapplicaties willen we geen risico lopen dat er interferentie plaatsvindt.

Inzake de continue infrastructuurkosten beschouwen we de lease-kosten van gehuurd materiaal en de energiekosten van eigen materiaal. Lease-kosten worden in rekening gebracht wanneer we sites, transceivers en backhaulconnecties

⁷⁹http://www.tijd.be/nieuws/ondernemingen_media_telecom/Veiling_mobiele_licenties_in_september.8891320-435.art

hergebruiken en liggen op ongeveer 10% van de nieuwprijs (dit lijkt billijk, gezien het geen exclusief gebruik betreft en we onderstellen dat dit afgeschreven wordt op 5 jaar). We gaan ervan uit dat alle sites en hun backhaulconnectie hergebruikt kunnen worden, maar slechts 40% van de transceivers (omwille van potentiële capaciteitsproblemen). Voor het hergebruik van broadcast transmitters hanteren we een abonnementskost van 5 euro per gebruiker per maand. Het serverpark wordt gehuurd. Per applicatie is aangegeven hoeveel servers er nodig zijn voor het behandelen van 1.000.000 gebruikers (dit is de cost driver). Per server hanteren we een (courante) kost van 1.500 euro per jaar. De stroomconsumptie is gebaseerd op Deruyck et al. (2004), waarbij we enkel de transceivers en sites in rekening in brengen. Andere elementen (bijvoorbeeld RSU's) verbruiken vaak ook stroom, maar beduidend minder (het kort bereik vereist een minder sterke antenne of verzender). Het serverpark verbruikt ook energie, maar dit is inbegrepen in de huurkost. De stroomconsumptie is als volgt:

Unicast Basestation

Energy cost per KWh	0,09	€ / KWh
HSDPA	3,70	KW
WiMAX	3,00	KW
LTE	3,80	KW

Het volgende element van de operationele kosten, is *Client Relationship Management*. Met betrekking tot de helpdesk wordt ervan uitgegaan dat alle bestaande klanten één telefoontje doen per jaar, en nieuwe klanten twee. De gemiddelde duur voor het afhandelen van een gesprek bedraagt een kwartier. Verder nemen we aan dat de gemiddelde medewerker van de helpdesk 75% van de tijd bezig is met klanten helpen. Op die manier bekomen we dat een helpdesk medewerker ongeveer 5.200 klanten kan bedienen per jaar. Op basis van de adoptie weten we hoeveel bestaande en nieuwe klanten we hebben in elk jaar. Ervan uitgaande dat een medewerker ongeveer 40.000 euro per jaar kost en dat er daarbovenop 30% overheadkosten van toepassing zijn, kunnen we afleiden wat de jaarlijkse kosten zijn van de helpdesk. Voor wat betreft de marketing, wijzen we op het actief beleid dat we onderstellen. Er is dus geen nood aan verkoopstimulerende advertenties. Wel is er nood aan communicatie over de werking, het nut, de voordelen en het correct gebruik van een ITS. Het budget dat we hier voorzien is omgekeerd evenredig aan het aantal bestuurders dat al over een OBU beschikt. In het eerste jaar (geen gebruikers) bedraagt de kost 275.000 euro. Op basis van informatie van het Vlaams Parlement, bedroeg het budget van overheids campagnes in 1996 ongeveer 140 miljoen BEF voor enkele tientallen projecten. Geëxtrapoleerd naar vandaag mikken we op een kleine 7 miljoen euro voor 25 projecten. In de volgende jaren daalt de kost proportioneel met de toegenomen adoptie.

Onderhoud van materiaal wordt vastgelegd op 15% van de nieuwprijs. Voor het onderhoud van de applicaties gaan we uit van een team van *software developers*. Hun aantal wordt bepaald door de set van applicaties en hun loon is vastgelegd op 40.000 euro. We houden daarbovenop rekening met een overhead kost van 30% (bovenop de totale personeelskost). Met betrekking tot de OBU gaan we ervan uit dat het onderhoud verwaarloosbaar is, in principe zou deze namelijk een erg lage kans op falen moeten hebben.

Het laatste aspect van de operationele kosten, betreft het traffic management center. Per applicatie legt het scenario vast hoeveel centrale operatoren nodig zijn. We kennen hen een loon van 40.000 euro toe en brengen daarbovenop 30% overhead in rekening.

7.2.2 Resultaten van het kostenmodel

Het kostenmodel laat toe om alle mogelijke scenario's met elkaar te vergelijken met verschillende mogelijke parameters. Aangezien het model vrij complex is, leidt dit tot onoverzichtelijke multi-dimensionele vergelijkingen. Daarom gaan we structureel te werk om de relevante mogelijkheden te beschouwen. We onderscheiden twee klassen, verbonden met het adoptiemodel (verplicht of vrijwillig). Voor elk van deze klassen stellen we een tabel op die verschillende applicaties en technologieën met elkaar vergelijkt. Hieruit selecteren we dan de specifieke case en verfijnen die nog met de overgebleven parameters (voornamelijk de fasering van de roll-out). Op deze manier hebben we referentiepunten voor alle afzonderlijke parameters en kunnen we conclusies opstellen.

a. Selectie van een scenario

Tabel 8 en Tabel 9 geven het overzicht in geval van vrijwillige en verplichte adoptie. Wat betreft de applicaties, merken we op dat er in feite twee verschillende types zijn: veiligheidsgelateerde applicaties en recreatieve applicaties. Deze hebben we als afzonderlijke sets beschouwd en elk afzonderlijk, of samen opgenomen in het scenario. Voor de recreatieve applicaties hebben we ook nog een "ja++"-scenario, dat een extra groot datavolume veronderstelt. Het dataverkeer stijgt namelijk erg snel, en wat vandaag een realistisch dataverbruik lijkt, kan binnen enkele jaren al tekort schieten. Langs de technologiekant hebben we niet alle mogelijkheden opgesomd. Qua technologieën voor lokale communicatie blijkt dat CALM-M5 in alle gevallen beter en goedkoper is dan CALM-IR. De reden daarvoor is dat CALM-IR gebaseerd is op infrarood, en directioneel is. Voor brede autosnelwegen kan daarom behoefte zijn aan meerdere transceivers op de RSU's welke aan gantries bevestigd worden, wat de kosten omhoog jaagt. Het gebruik van een broadcasttechnologie is niet noodzakelijk, het verkeer kan in principe ook over het unicast netwerk verzonden worden.

Om de tabel niet te overladen, hebben we niet telkens de kosten van elke broadcasttechnologie opgenomen, maar telkens de goedkoopste geselecteerd en aangegeven om welke technologie het gaat. De roll-out en de bijhorende kosten worden in de tijd gespreid. Om toch één simpele vergelijkingsmaatstaf te hebben, berekenen we de Net Present Cost van de eerste tien jaar van de lancering. Een Net Present Cost (of Value) berekent de effectieve waarde van een aantal geldstromen in de toekomst, rekening houdende met het tijdseffect. Omwille van de interest kan men namelijk €1 vandaag niet gelijkstellen aan €1 morgen. Men gaat dus toekomstige stromen 'verdisconteren' met een gepaste rentevoet:

$$NPC = \sum_t \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Voor een groot, risicovol project is een rentevoet r van 15% aannemelijk. Men moet hierbij oppassen om de bekomen waarde niet als een éénmalige investeringskost te zien. Immers, de rente bij de bank bedraagt beduidend minder dan 15%. Wie dus vandaag die som geld bij de bank plaatst, zal in de toekomst wellicht niet alle kosten kunnen dragen. Het is wel een goede maatstaf om verschillende investeringsprojecten met elkaar te vergelijken, omdat de tijdsfactor van het risico in rekening is gebracht. We wijzen erop dat de waarde ook sterk bepaald wordt door de projectduur die we in rekening brengen. Hoe korter, hoe minder onzekerheid er is met betrekking tot projectwijzigingen en onvoorziene omstandigheden. Daarentegen geeft het in rekening brengen van een langere projectduur wel een completer overzicht van alle kosten over de looptijd van het project. We verkiezen een niet te lange duur (hier 10 jaar) als referentiepunt, omdat dit project steunt op moderne technologieën, zodat snelle ontwikkelingen op dat vlak een aanzienlijke impact kunnen hebben.

Applicaties		Technologieën						Unicast
Veiligh.	Recr.	HSDPA		WiMAX		LTE		Broadcast
		Nee	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja	
Ja	Nee	991,23	991,23	1.124,85	1.902,18	1.316,78	2.094,12	Kost (10 jaar) €1M
		--	MBMS	--	DVB-T	--	DVB-T	Broadcasttechn.
Nee	Ja	1.012,22	--	1.083,63	--	1.275,50	--	Kost (10 jaar) €1M
		--	--	--	--	--	--	Broadcasttechn.
Ja	Ja	1.063,22	1.055,06	1.126,41	1.903,75	1.318,35	2.095,68	Kost (10 jaar) €1M
		--	MBMS	--	DVB-T	--	DVB-T	Broadcasttechn.
Ja	Ja++	1.291,21	1.281,17	1.126,55	1.903,87	1.318,40	2.095,73	Kost (10 jaar) €1M
		--	MBMS	--	DVB-T	--	DVB-T	Broadcasttechn.

Tabel 8: kosten bij verplichte adoptie (in miljoen EURO, over 10 jaar)

Applicaties		Technologieën						Unicast
Veiligh.	Recr.	HSDPA		WiMAX		LTE		Broadcast
		Nee	Ja	Nee	Ja	Nee	Ja	
Ja	Nee	446,5	446,5	492,9	793,8	562,9	863,8	Kost (10 jaar) €1M
		--	MBMS	--	DVB-T	--	DVB-T	Broadcasttechn.
Nee	Ja	435,8	--	451,7	--	521,7	--	Kost (10 jaar) €1M
		--	--	--	--	--	--	Broadcasttechn.
Ja	Ja	484,2	478,6	494,5	795,3	564,4	865,3	Kost (10 jaar) €1M
		--	MBMS	--	DVB-T	--	DVB-T	Broadcasttechn.
Ja	Ja++	607,9	602,2	494,5	795,3	564,4	865,3	Kost (10 jaar) €1M
		--	MBMS	--	DVB-T	--	DVB-T	Broadcasttechn.

Tabel 9: Kosten bij vrijwillige adoptie (in miljoen EURO, over 10 jaar)

Deze tabellen bevatten reeds heel wat info. We merken vooraleerst op dat de rode velden onhaalbaar zijn: ons model rekent na wat de reële beschikbare bandbreedte is als gevolg van de insteltijd om een verbinding te maken met het mobiel netwerk. Wanneer de cellen groot zijn (de masten staan ver uit elkaar), heeft een voertuig een relatief lange tijd verbinding met eenzelfde mast en is die insteltijd verwaarloosbaar. Wanneer de masten echter te dicht bij elkaar komen te staan, kan de auto slechts zo'n korte verbinding maken, dat hij onmogelijk alle gewenste data kan opsturen. Dit is het geval wanneer HSDPA gebruikt wordt in een scenario waarin zeer veel bandbreedte vereist is.

Met betrekking tot de applicaties leren we dat het de moeite loont om applicaties te voorzien op dezelfde infrastructuur omdat de kost per applicatie aanzienlijk daalt wanneer de infrastructuur gedeeld wordt. Dit kan men zien door rij 1 en 2 te vergelijken met rij 3. Wat de technologie betreft, blijkt de bestaande technologie (HSDPA) het goedkoopst is, maar niet geschikt is als langere termijnoplossing omwille van moeilijkheden om de stijgende datacapaciteit aan te bieden. Naast het feit dat de oplossing technisch niet haalbaar is, blijken de kosten vanaf een bepaald punt sterk te stijgen en hoger te liggen dan bij WiMAX. Hierbij spelen twee achterliggende factoren. HSDPA heeft een lager bereik en bandbreedte en daarom zijn meer (kostelijke) masten nodig dan bij WiMAX. Anderzijds is er al aanzienlijke HSDPA infrastructuur beschikbaar. Bij WiMAX moeten alle transceivers worden

aangekocht, die echter minder kostelijk zijn dan een volledige site. Zelfs bij hoge datavolumes lijkt LTE weinig voordeel te behalen. De meerkost van de LTE transceivers weegt niet op tegen het feit dat er nog minder sites nodig zijn voor LTE.

Het gebruik van broadcast is enkel relevant indien veiligheidsapplicaties aangeboden worden, de recreatieve applicaties zullen er namelijk geen gebruik van maken (er zijn al DAB-radio's bijvoorbeeld). Het gebruik van broadcast is enkel kostenverlagend in combinatie met HSDPA en dan nog enkel in de onderstelling dat MBMS ook mogelijk is op HSDPA (oorspronkelijk ontworpen voor UMTS). Wanneer een andere unicasttechnologie gebruikt wordt, is er voldoende bandbreedte beschikbaar om de informatie via dat netwerk te versturen. DAB lijkt hierbij minder interessant dan DVB-T omwille van twee redenen. Ten eerste is de beschikbare bandbreedte slechts 64kbps in een kanaal, wat toch behoorlijk weinig is. Ten tweede schatten we dat een DAB-ontvanger iets duurder is dan een DVB-T ontvanger.

HSDPA biedt op vandaag de benodigde service aan de laagste prijs, maar zal op een gegeven moment de nodige capaciteit niet meer aankunnen. Daarom kiezen we er hier voor om met het scenario van WiMAX verder te werken. In realiteit zal het mogelijks interessanter zijn om initieel gebruik te maken van de bestaande HSDPA infrastructuur, en enkel bij uitbreiding over te schakelen naar WiMAX. Op die manier kan men proberen een scenario te bekomen dat het midden houdt tussen vrij lage initiële kosten en kosten op langere termijn. Een nadeel daarbij is dat HSDPA en WiMAX behoorlijk verschillen, wat voor eindgebruikers vervelend kan zijn (geen *backward compatibility*). Om dit op te vangen zou men kunnen vertrekken van HSDPA, om dan over te schakelen naar LTE, welke wel backwards compatibel is maar in Tabel 8 en Tabel 9 ongeveer 14% duurder blijkt te zijn dan WiMAX.

Ons model is echter niet zo uitgebreid dat het het hierboven beschreven scenario kan modelleren: slechts één unicasttechnologie kan in de praktijk gekozen worden. We kiezen daarom voor het scenario met vrijwillige adoptie, met een aanbod van zowel recreatieve als veiligheidsapplicaties over WiMAX. De meerkost van recreatieve applicaties is namelijk beperkt.

b. Verfijning van het scenario

Nu proberen we dit scenario nog wat specifiekier te maken door de fasering te analyseren. Hierbij beschouwen we drie mogelijkheden. De eerste waarin snel een zeer grondige dekking wordt geleverd. Het derde verloopt een stuk trager en levert ook een minder volledige dekking. Scenario twee ligt tussenin. Bemerkt dat het leveren van dekking geen zwart/wit beeld is. Zoals eerder besproken, werken we met verkeerssituaties. De beste dekking levert connectiviteit aan alle wagens, zelfs indien er een file is in beide richtingen. Op bepaalde delen van de autosnelweg komt dit niet frequent voor en is de kost behoorlijk hoog in vergelijking met het nut van de gebruikers. Tabel 10 geeft de mogelijkheden weer.

Jaar	Scenario 1			Scenario 2				Scenario 3				
	1	3	5	1	3	5	8	1	3	5	7	10
File 2 richtingen	0%	0%	50%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	5%
File 1 richting	0%	50%	50%	0%	0%	10%	20%	0%	0%	0%	10%	15%
Normaal verkeer	50%	50%	0%	0%	30%	20%	40%	0%	10%	30%	20%	30%
Connectie beschikbaar	50%	0%	0%	70%	70%	40%	30%	50%	60%	60%	70%	50%
Bestaande infrastructuur	0%	0%	0%	30%	0%	0%	0%	50%	30%	10%	0%	0%

Tabel 10: Capaciteitsvoorziening per fase in 3 cases

De bijhorende kosten bedragen respectievelijk €528,2 miljoen, €494,5 miljoen en €487,8 miljoen. Ter vergelijking, wanneer helemaal niets gefaseerd wordt en de autosnelweg al vanaf het begin wordt uitgerust zoals op het einde van geval 1, bedraagt de kost €578,9 miljoen. Er kan dus 5 à 15% bespaard worden door de installatie van de ITS goed te spreiden in de tijd en enkel capaciteit te voorzien waar nodig. We kiezen voor geval 2 als concrete case voor ons scenario. Een laatste aspect dat we nog kunnen instellen, is het tempo waaraan nieuwe applicaties ter beschikking worden gesteld aan de gebruikers. Totnogtoe onderstelden we dat alle applicaties meteen beschikbaar waren. Wanneer we de lancering van recreatieve applicaties uitstellen tot in fase 4, heeft dit een verwaarloosbare invloed (€492,9 miljoen, dus een verschil van minder dan 0,4%). Er zijn twee oorzaken: WiMAX en de trage adoptie. WiMAX biedt een redelijk bereik en veel bandbreedte. Wanneer initieel weinig bandbreedte nodig is, moeten toch voldoende transceivers geplaatst worden om connectiviteit op alle plaatsen te kunnen aanbieden. Er is dan echter meteen voldoende bandbreedte beschikbaar voor bijkomende, recreatieve applicaties. Anderzijds zorgt de trage adoptie ervoor dat er initieel weinig nood is aan bandbreedte (ongeacht of een individueel voertuig meer of minder bandbreedte gebruikt), zodat investeringen om extra bandbreedte aan te bieden sowieso pas later plaatsvinden. In elk geval lijkt de relatief beperkte meerkost hier niet op te wegen tegen het voordeel voor de gebruiker (die daardoor wellicht meer bereid zal zijn het systeem aan te kopen).

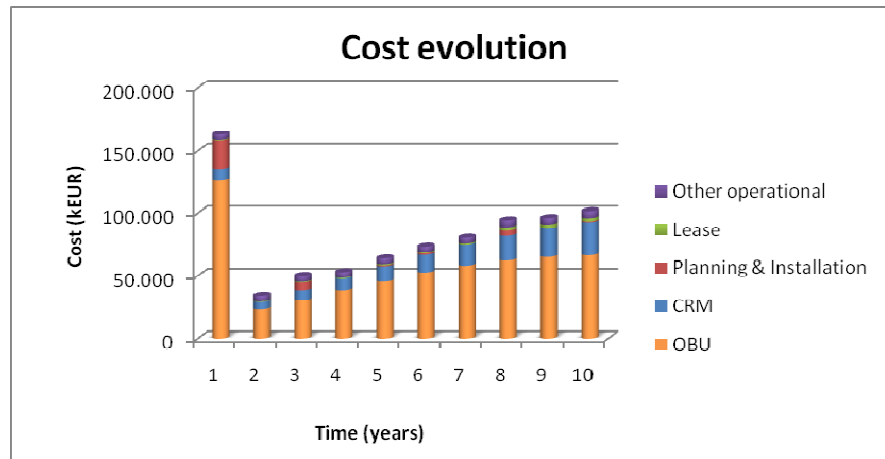
We bekijken tenslotte nog een niet-monetair aspect van dit scenario, met name de afstand tussen de WiMAX-masten. In het eindscenario, vanaf jaar 8, staan de masten gemiddeld op 3.628m van elkaar. Dit is uitgemiddeld over 10% van de autosnelweg (voorzien voor files in beide richtingen), waar de afstand 1.062m bedraagt, 20% (enkele file) met afstand 1.868m, 40% (gewoon verkeer) met afstand 7.796m 30% (connectiviteit) met afstand 13.000m. In totaal worden 482 sites hergebruikt en 40 nieuwe masten bijgeplaatst. Het systeem leidt met andere woorden niet tot een wildgroei van nieuwe masten om het landschap te verstoren.

c. Analyse van de kosten

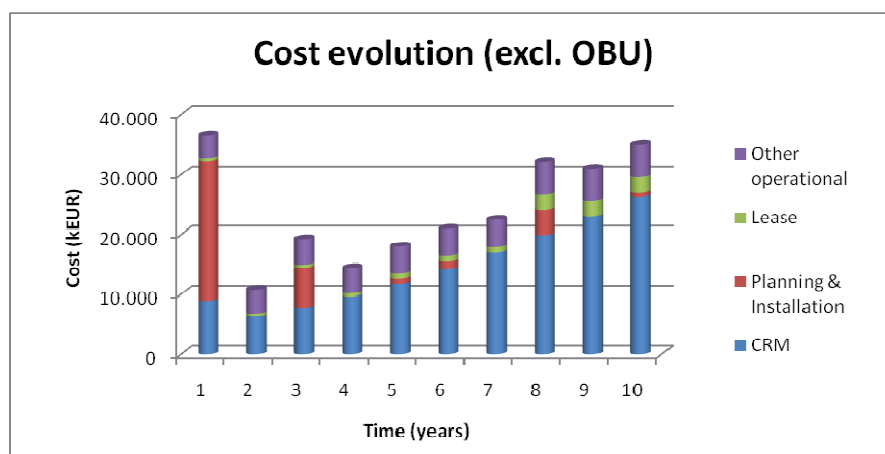
In deze sectie analyseren we de kosten in meer detail. Vooraleer we met de analyse beginnen, vatten we eerst nog even samen wat ons scenario precies inhoudt:

- De adoptie is vrijwillig en verloopt via een Gompertz-model: we onderstellen dat dit van 5% vertrekt en langzaam groeit tot 60% (zie Figuur 18: Adoptie-evolutie).
- Technologie: er wordt gebruik gemaakt van WiMAX als technologie voor het mobiel netwerk, en CALM-M5 wordt gebruikt voor lokale communicatie. Broadcasting wordt niet gebruikt.
- Applicaties: zowel recreatieve als veiligheidsapplicaties worden aangeboden vanaf het begin.
- De installatie wordt over 8 jaar gespreid en de capaciteit wordt aangepast aan de verwachte vraag op het netwerk.

Zoals hierboven vermeld, bedraagt de Net Present Cost over 10 jaar in dit geval €494,5 miljoen. De kosten zijn gespreid over de tijd. Figuur 23 geeft deze evolutie weer, Figuur 24 doet hetzelfde, maar laat de OBU buiten beschouwing. Het is namelijk meteen duidelijk dat de OBU een groot deel van de kost vormt.



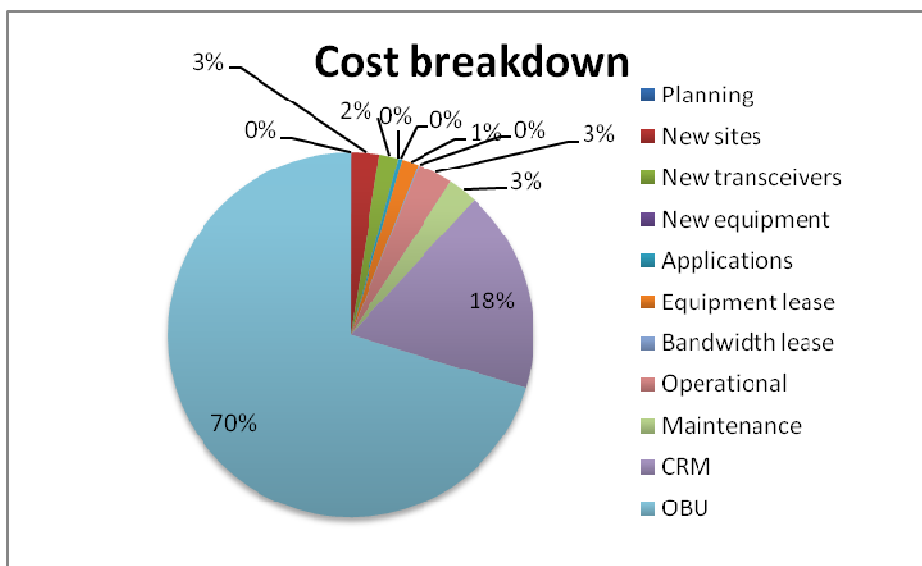
Figuur 23: Kostenevolutie



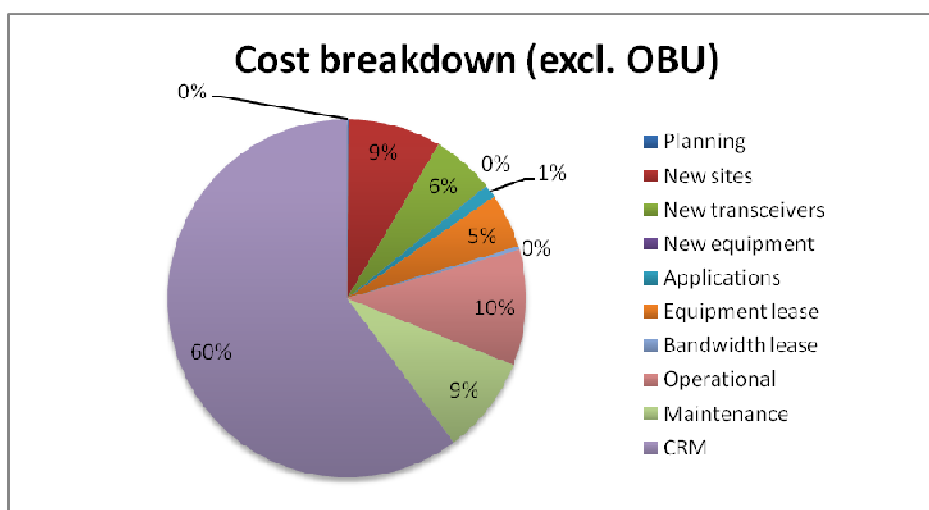
Figuur 24: Kostenevolutie, exclusief On-Board Unit

Na een erg hoge initiële investering, blijken de jaarlijkse kosten lager te liggen. Maar ze stijgen sterk, met een *Compound Annual Growth Rate* van 12,95% tussen jaar 2 en 10. Dit heeft twee oorzaken. Doordat de lancering gespreid wordt in de tijd, gebeuren er in de eerste 8 jaar nog behoorlijk wat uitbreidingsinvesteringen. Daarnaast neemt ook het aantal gebruikers nog sterk toe, zodat de Client Relationship Management kosten ook toenemen. In de tien daaropvolgende jaren geeft het model aan dat de kosten nog maar met een CAGR van 0,8% toenemen.

Bekijken we nu dezelfde informatie op andere manier, door de kosten over de 10 jaar op te tellen per categorie. Dit levert een overzicht in Figuur 25 en Figuur 26.



Figuur 25: Kostenoverzicht



Figuur 26: Kostenoverzicht, exclusief On-Board Unit

De OBU is verantwoordelijk voor 70% van de kosten, terwijl de CRM verantwoordelijk is voor 18% van de kosten. Het restant wordt vrij gelijkmatig verdeeld over de andere posten, met uitzondering van de planning en applicaties, die een verwaarloosbare bijdrage hebben. Ter verduidelijking, de operationele kosten bestaan uit de kosten van het traffic management centrum en van de stroomconsumptie van nieuw materieel.

De OBU blijkt de allerbelangrijkste kost te zijn. Dit is in lijn met de verwachtingen: een aanschafprijs van ongeveer 310EUR per gebruiker leidt al snel tot erg hoge kosten. De infrastructuur vereist ook wel investeringen, maar de kost per gebruiker is beperkt (vergelijk met een GSM, waarbij abonnementen bestaan vanaf 5 euro per maand en dus 60 euro per jaar). Tabel 11 geeft dit weer.

Jaar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Totale kost (incl OBU) - €M	187,8	34,0	50,1	53,0	64,1	73,7	80,8	94,7	96,5	101,9
Totale kost (excl OBU) - €M	61,6	10,8	19,4	14,6	18,1	21,1	22,6	32,3	31,3	35,3
# voertuigen (1.000)	407,3	482,3	581,3	705,4	853,6	1.023,4	1.211,1	1.412,4	1.622,6	1.837,2
Kost per voertuig (incl. OBU) - €	461,2	70,6	86,1	75,2	75,1	72,0	66,7	67,1	59,4	55,4
Kost per voertuig (excl. OBU) - €	151,2	22,4	33,3	20,6	21,2	20,6	18,7	22,9	19,3	19,2

Tabel 11: Jaarlijkse kost per voertuig

De infrastructuurkosten nemen dus een relatief klein stuk van de totale kosten in. We zouden verwachten dat dit in grote mate te wijten is aan het hergebruiken van de bestaande sites, maar dit blijkt niet te kloppen. Wanneer we in plaats van zoveel mogelijk masten te huren, zelf alle nieuwe masten plaatsen, verhoogt dit de NPC van €494,5 naar €496,7 miljoen. Het aantal sites is namelijk beperkt en het prijsverschil tussen 10 jaar een mast huren, of eenmalige kost van €40.000, is ook niet erg groot. Dit betekent dat deze nieuwe markt in principe vrij open is voor nieuwe spelers buiten bestaande mobiele operatoren (al zal hun kennis, expertise en klantenbestand natuurlijk in hun voordeel spelen).

We wijzen nog even op de hoge kosten voor Client Relationship Management. We gaan hier uit van een beschikbaar centrum waar klanten naartoe kunnen bellen voor informatie. Gezien de enorme kost kan dit mogelijks geoptimaliseerd worden in lijn met de bestaande operatoren. Zij stellen een website ter beschikking met vrij veel informatie. Een aantal administratieve verzoeken kunnen via een gratis nummer worden geregeld, waarbij de klant niet met een medewerker spreekt. Specifieke vragen kunnen gesteld worden, maar dit gebeurt dan op een betalend nummer. Dit zorgt ervoor dat klanten doorgaans de moeite doen om zelf even iets op te zoeken i.p.v. meteen naar de telefoon te grijpen, en wanneer ze dit toch doen, dragen ze bij in de kosten. Hiermee kunnen wellicht enkele miljoenen euro per jaar worden bespaard.

We verwijzen ook nog terug naar twee eerder vermeldde assumpties. We hebben ondersteld dat er overal kabel beschikbaar is langs de autosnelweg (dark fiber van de overheid zelf) en dat we bestaande backhaulconnectie van operatoren konden hergebruiken. Verder hebben we de kost van de OBU in principe optimistisch ingeschat (gezien de potentieel hogere kosten bij integratie door de autoproducenten en de moeilijkheden van een installatie achteraf). We maken kort een zeer ruwe inschatting van beide effecten. Als we onderstellen dat er 2.250km kabel gegraven moet worden (langs de volledige autosnelweg en een overhead van 30% voor backhauling), komt dit neer op een kost van ongeveer €45 miljoen, gerekend met een kost van €20 per m. Als we rekening houden met hogere installatiekosten, kunnen we de totaalkost van de OBU zelf bijv. van €310 tot €750 verhogen. Dit betekent dan een meerkost van ongeveer €700 miljoen na 10 jaar (wanneer er ongeveer anderhalf miljoen gebruikers zijn). We komen hier bij het bekijken van de business case nog op terug.

We bemerken dat zelfs deze verhoogde kost voor de OBU misschien nog niet alles zal dekken. Het is mogelijk dat auto's bijv. zullen uitgerust worden met additionele sensoren (detecteren van andere bestuurders, het rijvak, obstakels, enz.). Hiervan lopen de kosten snel op. Ze zijn echter vooral gebonden aan de veiligheid van de individuele gebruiker en spelen een kleinere rol bij de communicatie tussen verschillende voertuigen (wat de autoconstructeurs meer vrijheid geeft om ze zelf te ontwikkelen en installeren). Gezien dit individueel karakter nemen we ze niet op, ze zijn immers niet noodzakelijk voor het systeem. Er bestaat wel onderzoek over de

kosten hiervan⁸⁰; waaruit blijkt dat de kost al snel kan verhogen met 300 à 500 euro tot zelfs ruim boven de 1.000 afhankelijk van het aantal en de complexiteit van de sensoren en hulpsystemen. We gaan er dus eigenlijk van uit dat deze opties niet standaard zullen zijn, maar enkel beschikbaar zullen zijn in de hogere voertuigklassen voor mensen die hiervoor willen en kunnen betalen.

7.2.3 Baten

De potentiële baten van een ITS zijn groot, wat verklaart waarom al sinds de jaren '80 haalbaarheidsstudies uitgevoerd werden (Figueiredo et al., 2001). De meest voor de hand liggende zijn een verhoogde veiligheid en betere verkeersefficiëntie. Onrechtstreekse voordelen zijn minder milieuvervuiling, lagere verzekeringspremies (wegens lagere kansen op ongevallen), ondersteuning van consumptie en werkgelegenheid en dergelijke meer. Er zijn verschillende publicaties beschikbaar die de kosten en/of baten van afzonderlijke applicaties beschrijven en het laatste decennium zijn er veel grote onderzoeksprojecten die trachten een zicht te creëren op het geheel van alle applicaties samen.

In een traditionele kosten-batenanalyse stelt men een lijst op van alle kosten en baten om te bepalen in welke mate een investering interessant is. Zoals ook in de inleiding besproken, is dit niet evident in het geval van een ITS. Alle voordelen moeten geïdentificeerd en uitgedrukt in monetaire termen, waarbij nog niet werd stilgestaan bij allocatieproblemen. Het eImpact project⁸¹ levert een aanzet om de meeste baten monetair uit te drukken, maar kan ons toch geen definitief antwoord verschaffen omwille van een aantal redenen. Ten eerste kan de situatie verschillen van land tot land, bijvoorbeeld op basis van de cultuur, accijnzen of wetgeving. Ten tweede worden mogelijke gedragwijzigingen na de invoering van een ITS genegeerd (cfr *latent demand*) en ten slotte worden de baten niet gealloceerd. Wat dit laatste betreft, merken we op dat de overheid een belangrijke intermediaire rol kan spelen, maar in de praktijk zal dit tot onkosten leiden. Dergelijke beslissingen liggen immers gevoelig en pressiegroepen zullen proberen de politieke beslissingen te beïnvloeden, wat een suboptimaal resultaat kan opleveren. Bovendien is er een extra administratieve en organisatorische kost.

In deze sectie overlopen we de volgens ons voornaamste en min of meer objectieve baten en geven aan hoe deze geëvalueerd kunnen worden.

- **Veiligheid:** het is niet mogelijk de inherente waarde van een mensenleven of menselijk leed te bepalen en zeker ook niet de bedoeling om er een vorm van koopprijs aan vast te hangen. Anderzijds is het toch nuttig om de financiële en niet-financiële kosten en baten van verschillende projecten onderling te kunnen vergelijken, ook rekening houdende met deze factor. De Brabander (2005, 2007) leverde hierover onderzoek in het kader van projecten rond verkeersveiligheid. Op basis van rechtstreekse kosten gerelateerd aan ongevallen en onrechtstreekse economische kosten omwille van een sterfgeval (de gederfde arbeid en consumptie) inclusief de waarde gebaseerd op de zogenaamde betalingsbereidheid, stelt men dat een economische baat van ongeveer 5.6 miljoen euro gehanteerd kan worden per gered mensenleven; voor een ontweken ernstig of licht ongeval gelden baten van 700.000 euro, respectievelijk 21.000 euro. Omwille van deze hoge waarden, is het noodzakelijk nauwkeurige cijfers te hebben over de veiligheidsimpact: enkele procenten meer ongevallen kan een aanzienlijk effect hebben op de kosten/baten ratio. Ook wanneer deze baat niet

⁸⁰ <http://www.itscosts.its.dot.gov/>

⁸¹ <http://www.eimpact.info/>

monetair wordt uitgedrukt, maar het aantal vermeden slachtoffers door de overheid wordt afgewogen tegen de kosten, blijft het belangrijk om over accurate gegevens te beschikken. Field Operational Tests (FOT) leveren hierbij een betere inschatting dan simulaties of theoretische beschouwingen op basis van statistieken. Omdat ongevallen in principe zeldzame gebeurtenissen zijn, zal een accurate inschatting echter pas mogelijk zijn nadat een systeem voldoende langdurig en wijdverspreid getest werd (wat tot op heden niet het geval is). Met betrekking tot FOT leverde het FESTA project⁸² onderzoek naar de mogelijkheden en moeilijkheden. Hieruit bleek dat alle stakeholders een waarde hechten aan de resultaten van een FOT, maar dat ze ook enkele bedenkingen hebben (vooral inzake privacy, veiligheid en verantwoordelijkheid). Er werd daarnaast aangehaald dat de hoge kost van meetinstrumenten een belangrijk obstakel kan zijn. We wijzen hierbij echter ook nog even terug op de impact analyse in hoofdstuk 4. , waaruit blijkt dat een ITS systeem zoals voorgesteld in ons model (met de volgende actieve coöperatieve veiligheidsapplicaties: eCall, Collision Warning en Avoidance, Lane change assistant, Road conditions information) op de autosnelwegen de veiligheid verhoogt met ongeveer 22%

- **Congestie:** er dient een onderscheid gemaakt te worden tussen personen- en vrachtvervoer. Op basis van gemiddelde uurlonen kan een inschatting gemaakt worden van de tijdskost ten gevolge van vertragingen en files (volgens eImpact ongeveer 11 à 32 euro per uur voor auto's, respectievelijk vrachtwagens). Er is niet echt geweten in welke mate de tijdswinst door de werknemers zal gebruikt worden om meer te werken, dan wel om meer vrije tijd te nemen. Dit kan een invloed hebben op de mate waarin werkgevers deze baat als relevant beschouwen.
- **Milieu:** de uitstoot van schadelijke gassen door voertuigen zal in principe lager uitvallen met een ITS. Dit kan als een monetaire waarde worden uitgedrukt door per gas een eenheidskost te hanteren (gemiddeld 4,2 euro volgens het ExterneE project⁸³), die nodig is om de negatieve effecten van het gas te neutraliseren. Het inschatten van verminderde reisduren is echter zeer moeilijk, bovendien blijkt uit Mehta et al. (2003) dat er vanaf een bepaalde adoptiegraad terug een stijging is van uitstoot (bijv. omdat de secundaire wegen ook last krijgen van file wanneer teveel gebruikers hiervoor opteren om een andere file te vermijden).
- **Macro-economische factoren:** we denken hierbij in de eerste plaats aan werkgelegenheid en de toegenomen economische activiteit. Dit werd besproken in sectie 7.1.3 Interactie en economische factoren. Ook hier is het moeilijk om dit als een financiële waarde uit te drukken. Een mogelijkheid zou zijn om te vertrekken van de kostprijs van andere overheidsprojecten die de werkgelegenheid dienen te stimuleren.
- **Specifieke actorvoordelen:** bepaalde actoren zullen positief beïnvloed worden door de lancering van een ITS. Denk bijv. aan verzekerings- en transportmaatschappijen. Deze voordelen zijn belangrijk, omdat ze voorkomen bij actoren die niet rechtstreeks kosten moeten dragen. De overheid kan zich hier dus als tussenpersoon opstellen door deze voordelen te belasten en daarmee de kosten van andere actoren te vergoeden. Gezien erg specifiek moeten ze afzonderlijk geanalyseerd worden. Het is ook logisch dat eventuele taksen herzienbaar moeten zijn: op voorhand kan een bepaalde baat verwacht worden en op basis daarvan een taks ingesteld, maar het zou onrechtvaardig zijn deze te behouden wanneer achteraf blijkt dat de baat aanzienlijk lager uitvalt.

⁸² <http://www.its.leeds.ac.uk/festa/>

⁸³ <http://www.externe.info/>

7.2.4 Een geldige business case?

Een klassieke kosten-batenanalyse weegt de totale kosten op tegen de totale baten. Pas indien dit positief blijkt, zal men verder onderzoeken hoe de investering praktisch geregeld kan worden om alle partijen op een lijn te krijgen. Zoals in voorgaande sectie aangehaald, is een belangrijk obstakel dat de positieve effecten vaak subjectief, niet monetair en moeilijk te schatten zijn. Dit kan een beperking zijn voor het beschouwen van de kosten-batenanalyse, maar dit is niet noodzakelijk geval wanneer we een ander standpunt innemen. Voor de eindgebruiker wordt de vraag dan welke waarde het systeem hem biedt en hoeveel hij hiervoor wenst te betalen. Indien de eindgebruikers een prijs willen betalen die alle kosten dekt, menen zij blijkbaar dat de voordelen hierop doorwegen. Daarom stellen we hier een vereenvoudigde business case op. We gaan uit van een abonnementskost, omdat we op die manier inkomsten en uitgaven gemakkelijker over eenzelfde periode kunnen vergelijken. We houden geen rekening met de wisselwerking tussen de prijs van het systeem en de adoptie en proberen we de inkomsten ook niet te maximaliseren door bijv. twee abonnementen aan te bieden (een basisabonnement voor veiligheidsapplicaties en een abonnement waarmee ook recreatieve diensten beschikbaar zijn tegen een hogere prijs).

Binnen ons kostenmodel zijn in principe alle relevante kosten opgenomen, maar dan wel tegen effectieve (fabricage)kostprijs. Ondernemingen hebben nog een zekere additionele overhead die als indirecte kosten over alle activiteiten worden gespreid (zoals bijv. administratie en management). We gaan hierbij uit van een eenvoudige *mark-up pricing* en tellen bovenop de berekende kostprijs een marge van 30%. We rekenen geen extra marge aan voor winst, deze zit vervat in de berekening van de Net Present Value van het project, waarbij de discount factor van 15% als vergoeding voor het risico dient. Dit levert dan de te dragen uitgaven. Zoals eerder vermeld, werd in het Coopers project bepaald dat gebruikers een jaarlijkse kost van 25 à 150 euro redelijk vonden voor een ITS. Er zijn tal van sites met overzichten van autokosten (zoals de reeds aangehaalde Eurobarometer studies), waaruit blijkt dat de totaalkost van een wagen al snel meer bedraagt dan 3.500 euro per jaar. Een prijsstijging van 1 à 5% lijkt effectief geen onoverkomelijk probleem. Nemen we als initieel voorbeeld dat de abonnementskost 75 euro bedraagt. Hiermee kunnen we dan de inkomsten bepalen, uitgaande van het aantal gebruikers. Tabel 12 geeft de evolutie van uitgaven en inkomsten.

Jaar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uitgaven	244,2	44,2	65,1	68,9	83,3	95,8	105,0	123,1	125,4	132,4
Inkomsten	30,5	36,2	43,6	52,9	64,0	76,8	90,8	105,9	121,7	137,8
Cash Flow	-213,7	-8,1	-21,5	-16,0	-19,3	-19,1	-14,2	-17,2	-3,7	5,4
DCF	-213,7	-7,0	-16,2	-10,5	-11,0	-9,5	-6,1	-6,5	-1,2	1,5
NPV	-213,7	-220,7	-236,9	-247,4	-258,5	-267,9	-274,1	-280,5	-281,8	-280,2

Tabel 12: Cash flow van het project bij abonnementsprijs van 75 euro

We stellen vast dat de cash flow (kasinkomsten minus kasuitgaven) slechts in jaar 10 positief zijn. De NPV na 10 jaar is dan ook ruim negatief. De onderstelling is echter hierbij dat de economische waarde van de technische infrastructuur 0 is op het einde van het jaar 10. Dit hoeft niet zo te zijn. Tabel 13 toont de situatie indien we de prijs verhogen naar de maximaal opgestelde prijs van 150 euro.

Jaar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uitgaven	244,2	44,2	65,1	68,9	83,3	95,8	105,0	123,1	125,4	132,4
Inkomsten	61,1	72,3	87,2	105,8	128,0	153,5	181,7	211,9	243,4	275,6
Cash Flow	-183,1	28,1	22,1	36,9	44,8	57,7	76,6	88,7	118,0	143,2
DCF	-183,1	24,4	16,7	24,3	25,6	28,7	33,1	33,4	38,6	40,7
NPV	-183,1	-158,7	-141,9	-117,7	-92,1	-63,4	-30,3	3,1	41,6	82,3

Tabel 13: Cash flow van het project bij abonnementsprijzen van 150 euro

Nu is de cash flow positief vanaf jaar 2 en is het project break-even na iets minder dan 8 jaar. De NPV na 10 jaar bedraagt iets meer dan 82 miljoen euro.

In de vorige sectie haalden we twee assumpties (fiber beschikbaar en potentieel hogere kost voor OBU) aan en berekenden we de bijhorende kost. Stel dat het toch nodig is de aanleg van fiber te betalen, dan levert dit een additionele kost van 40 miljoen euro in het begin van het project. Bij een abonnementskost van 150 euro wordt de break-even dan nog een jaar uitgesteld. De andere assumptie, in verband met de te lage kost voor de OBU, gaf aanleiding tot een meerkost van 700 miljoen euro. Het is meteen duidelijk dat deze in dit geval niet gedragen kan worden. De abonnementskost ligt al op het maximum aangegeven door de gebruikers, maar in dit geval worden ook recreatieve applicaties aangeboden. Dit kan de waarde voor de klant aanzienlijk verhogen. Bovendien wijzen we op de Touring Safe Drive⁸⁴, die aangeboden wordt met een installatiekost van 145 euro en daarbovenop een maandelijks abonnement aan 19,5 euro (234 euro per jaar). Dit toestel biedt enkel eCall, Remote Assistance en diefstalbeveiliging, wat een aanzienlijk kleiner aanbod aan applicaties is. We verhogen de abonnementsprijs stapsgewijs en bekomen pas een aanvaardbare business case bij een waarde van 300 euro (of 25 euro per maand). Het resultaat is samengevat in Tabel 14, in dit geval is ook de additionele kost voor de fiber meegerekend. Opnieuw is de cash flow al positief in jaar twee en break-even wordt bereikt na ongeveer 7 jaar en 4 maanden.

Jaar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uitgaven	490,6	82,2	115,3	131,8	158,4	181,9	200,2	225,2	232,0	241,2
Inkomsten	122,2	144,7	174,4	211,6	256,1	307,0	363,3	423,7	486,8	551,2
Cash Flow	-368,5	62,4	59,1	79,8	97,7	125,1	163,1	198,6	254,8	310,0
DCF	-368,5	54,3	44,7	52,5	55,8	62,2	70,5	74,6	83,3	88,1
NPV	-368,5	-314,2	-269,5	-217,1	-161,2	-99,0	-28,5	46,1	129,4	217,5

Tabel 14: Cash flow van het project bij verhoogde OBU-kost en abonnementsprijs

Deze resultaten ogen vrij positief, toch is enige voorzichtigheid geboden. De complexiteit van de situatie en de problemen om alle partijen op eenzelfde lijn te krijgen, zijn hiermee niet van de baan. Bovendien steunen deze cijfers op de onderstelde adoptie. Een iets tragere adoptie zal uiteraard niet meteen leiden tot een erg negatieve business case in ons model. Echter, er is steeds een risico dat het systeem simpelweg niet aanslaat; en dit risico is nog belangrijker indien men zoals hier via een (wellicht opzegbaar) abonnementsstelsel werkt. Het kip en ei probleem is een zeer belangrijk risico, want het is duidelijk dat er een zeer belangrijke initiële investering vereist is, die enkel teruggewonnen kan worden indien een minimale hoeveelheid gebruikers het systeem aankopen. De overheid kan een rol spelen om deze drempel te verlagen.

⁸⁴ <http://www.touring.be/nl/beschermen/onderweg/safedrive/index.asp>

De overheid kan de investering van de gebruiker verlichten door een rechtstreekse subsidie. Deze uitgave kan verantwoord worden aan de hand van enkele maatschappelijke voordelen van een ITS (zoals verhoogde veiligheid, minder file en macro-economische effecten). Deze leiden onrechtstreeks tot besparingen voor de maatschappij, terwijl de eindgebruiker er wellicht toch geen rekening mee houdt bij zijn aankoop. Deze uitgaven kunnen ook bekomen worden door een aantal partijen te belasten, die automatisch meegenieten van het systeem zonder dat ze moesten bijdragen tot de kosten. In het geval van verzekeringsmaatschappijen kan dit ook via reguleringen worden ondersteund, door hen op te leggen dat ze ITS-gebruikers een korting moeten aanbieden. De overheid kan zelf investeren in het systeem en zich als aandeelhouder gedragen. Dit wil zeggen dat zij de risico's (gedeeltelijk) op zich neemt, maar hiervoor ook beloond wordt wanneer het systeem succesvol is. Meer concreet onderzoek naar de houdingen van de producenten en eindgebruikers is nodig om te bepalen bij welke partijen het meest twijfel is. Dit zal dan bepalen welke van deze of andere suggesties het best geschikt is.

In dit kader wijzen we ook op de mogelijkheden van de overheid. Zelfs indien een investering aangewezen lijkt, moet men nog bepalen of er voldoende budget beschikbaar is. Met betrekking tot verkeersveiligheid, hebben we enkele projectvoorbeelden samengevat in Tabel 15 (gegevens van Mobiel Vlaanderen⁸⁵).

Projectkost (MEUR)	Projectbeschrijving
1.7	Beveiliging parkings langs autosnelwegen
3.5	Net houden van fietspaden
13.2	Aangeven zone 30 naast 440 scholen
27	Aanleg en onderhoud wegennet
28.8	Efficiënt en veilig verkeer rond luchthaven
46	Omvorming klaverblad aan autosnelweg in Lummen
60	Aanleg fietspaden

Tabel 15: Veiligheidsprojecten van de overheid

Het totaal budget in Vlaanderen voor investeringen in weginfrastructuur steeg van 191 miljoen euro in 2004 tot 284 miljoen euro in 2008. Aan de ruimere categorie Mobiliteit en Openbare Werken 2,9 miljard euro gespendeerd in 2009, wat neerkomt op bijna 12% van de totale uitgaven van de overheid. Het ITS project is duidelijk bijzonder duur, maar daar staat wel een erg grote reikwijdte en impact tegenover. De investering is gespreid in de tijd en dus moet niet het volledige bedrag op één moment op tafel worden gelegd. Bovendien heeft dit project ook een aantal andere gevolgen dan een verhoogde verkeersveiligheid, zodat een eventuele investering misschien niet helemaal ten laste van het departement Mobiliteit en Openbare werken moet liggen.

Om af te sluiten, wijzen we nog even op een impliciete assumptie die hier werd gemaakt: er zijn geen externe actoren die nadelen ondervinden van de lancering van een ITS. We kunnen er zelf geen bedenken en er wordt ook niet naar verwezen in andere onderzoeksprojecten. Toch is het niet helemaal ondenkbaar dat bepaalde bedrijfsmodellen een zekere negatieve impact gewaarworden. Indien dit alsnog wordt vastgesteld, moet dit als extra kost worden verrekend.

⁸⁵ <http://www.mobielvlaanderen.be/>

7.3 De rol van de overheid

We hebben in dit hoofdstuk eerst vanuit socio-economische invalshoek geschetst welke partijen allemaal betrokken zijn bij de lancering van een ITS en wat hun vereisten zijn. Daaruit bleek dat er een belangrijke samenwerking nodig is, die best gecoördineerd kan worden door de overheid. Vervolgens stonden we stil bij de techno-economische factoren, waaruit bleek dat er belangrijke investeringen nodig waren. De coördinatie van de overheid wordt dus best uitgebreid op financieel vlak, zodat de winsten van bepaalde partijen als vergoeding kunnen dienen voor de kosten van andere partijen (uit het value network bleek immers dat zij die voordeel doen bij de lancering van een ITS niet noodzakelijk de kosten ervan moeten dragen). Deze kernlijnen verwerken we hieronder tot enkele specifieke opmerkingen en aanbevelingen.

- Op basis van de huidige informatie blijkt het nuttig om bij de lancering snel over te schakelen op een meer recente **technologie** dan HSDPA. WiMAX lijkt momenteel aangewezen, maar indien de lancering nog lang uitgesteld wordt, kan de situatie natuurlijk veranderen. Het gebruik van broadcasting blijkt niet bijzonder kostefficiënt, dus het is beter volledig gebruik te maken van een mobiel netwerk. Het aanbieden van recreatieve applicaties blijkt een relatief beperkte meerkost te betekenen en is dus wellicht interessant (om de gebruikers' bereidheid tot betalen te verhogen). De lancering kan uitgespreid worden over de tijd.
- Er is nood aan een **prijsmodel** dat vastlegt hoe de eindgebruikers zullen bijdragen aan het systeem. Zij zullen sowieso rechtstreeks of onrechtstreeks de voornaamste kosten dragen. Het is echter nuttig om in samenspraak met hen en met de producenten te evalueren of dit moet gebeuren via een abonnement, een eenmalige aankoopprijs of beide. Een te hoge initiële kostprijs kan immers afschrikken en meer mensen ertoe aanzetten een tweedehands wagen te kopen (wat de adoptie kan vertragen), terwijl de organisatie van een abonnementsysteem mogelijks meer overhead met zich mee zal brengen en daardoor op langere termijn duurder uitvallen. Bovendien heeft een abonnementsysteem het nadeel dat het in principe opgezegd kan worden door de gebruiker, wat de adoptie nadelig kan beïnvloeden.
- Bij de kostenverdeling kreeg de OBU een erg hoog gewicht, en in mindere mate ook de Client Relationship Management activiteiten. Dit geeft aan dat hierop moet geconcentreerd worden bij het **zoeken naar besparingen**. Zoals eerder vermeld kan internationale samenwerking hierbij een mogelijkheid zijn (het economies of scale principe).
- Er is nood aan een **internationale standaard en certificatieprocedure**, zowel op vlak van hardware en software als een aantal elementaire processen die hierop gebaseerd zijn. Er zijn al verschillende projecten (cfr referenties) die hiertoe een eerste aanzet leveren. Een aandachtspunt is dat er ook verschillen zijn tussen landen onderling, zodat op een aantal vlakken voldoende flexibiliteit moet ingebouwd worden (bijv. het spectrumbeheer is anders).
- Op basis van beide bovenstaande punten lijkt een **Europese aanpak** bijzonder aangewezen.
- Het **juridisch kader** voor een ITS moet nog bepaald worden. De verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van de verschillende partijen moet gedefinieerd worden en dit moet consistent zijn met de certificatieprocedure. Daarnaast moet ook de strafwetgeving rekening houden met mogelijke vormen van misbruik. Als laatste belangrijk punt wijzen we op de privacy van de gebruikers, die te allen tijde gegarandeerd moet worden.
- De praktische organisatie is aanzienlijk. Een aantal taken en verantwoordelijkheden is niet meteen toewijsbaar en vereist mogelijks dat nieuwe bedrijven worden opgericht (uitvoeren van de certificatieprocedure, het traffic

management centrum, de helpdesk, enz.). Om de kosten te optimaliseren is een goede **planning en timing** belangrijk. De overheid bevindt zich in een unieke positie om dit in goede banen te leiden (wat uiteraard niet uitsluit dat zij die taken uitbesteedt, al dan niet naar een PPP).

- De overheid zal moeten bepalen hoe zij bij de **kostenallocatie wil intermediairen**: is er een nood aan reguleringen, taksen en subsidies? Om de lancering te versnellen en de twijfels van bepaalde actoren weg te nemen, kan er ook rechtstreeks geïnvesteerd worden in het project. In elk geval is het noodzakelijk dat de basisconcepten van het hier voorgestelde value network meer concreet en meer in detail worden onderzocht en uitgewerkt.
- Omwille van de pluraliteit van de actoren, is er nood aan een **enkele visie**. De overheid moet de lancering van een ITS niet alleen praktisch opvolgen, maar ook verkopen naar alle partijen. De eindgebruikers zijn daarbij zeker belangrijk. De communicatie heeft drie belangrijke doeleinden: bewustmaking (het bestaat en het is nuttig), aanvaarding (de twijfels zijn ongegrond) en opvoeding (zo dient het gebruikt te worden voor maximaal effect).
- Als laatste punt komen we nog eens terug op de **adoptie**. We zijn ervan overtuigd dat dit een van de kernproblemen kan zijn bij de lancering. Een te trage adoptie kan ervoor zorgen dat de lancering niet succesvol is. Een te snelle adoptie kan dan weer voor een erg hoge initiële investering zorgen, want evenzeer gewenst is. Er is nood aan marktonderzoek om de adoptie goed te kunnen inschatten, zodat hierop verder gewerkt kan worden om te beslissen over een eventuele investering.

8. CONCLUSIES EN BELEIDSAANBEVELINGEN

Uit de **ongevalstatistieken** voor autosnelwegen blijkt dat ongevallen op autosnelwegen verantwoordelijk zijn voor 14% van het totaal aantal dodelijke verkeersslachtoffers, en 17% van het totaal aantal zwaargewonden. Tevens is het opmerkelijk dat de algemene ongevalcijfers een algemene dalende of stagnerende trend vertonen, maar op autosnelwegen gaan de ongevalcijfers vanaf 2004 terug in stijgende lijn. Het beveiligen van autosnelwegen moet dan ook een belangrijk gewicht krijgen bij het bepalen van maatregelen ter verhoging van de verkeersveiligheid. Hierbij is het ontwerpen van vergevingsgezinde wegen een *conditio sine qua non*, samen met andere elementen die de veiligheid bepalen zoals handhaving, opleiding en het engagement van alle actoren om aan veiligheid te werken. Vanuit technologisch standpunt kunnen ITS applicaties, het onderwerp van dit rapport, toegepast worden ter verhoging van de verkeersveiligheid op autosnelwegen. Gebaseerd op de ongevalstatistieken moeten deze voornamelijk trachten het aantal achterwaartse aanrijdingen en eenzijdige ongevallen te minimaliseren.

Uit het grote aanbod van **ITS applicaties** zijn er slechts een aantal die specifiek deze pijnpunten aanpakken. Er werd aangetoond dat deze applicaties een enorm potentieel hebben om de verkeersveiligheid te versterken. Het introduceren van deze applicaties zou dus prioriteit moeten krijgen:

- Electronic Stability Control (15% minder doden en zwaargewonden)
- Emergency Brake Assist (17% minder doden en zwaargewonden)
- Collision warning & avoidance (16% minder zwaargewonden)
- Intelligent Speed Adaptation (17% minder doden en 11% minder zwaargewonden)
- Advanced Adaptive Cruise Control (11% minder zwaargewonden op autosnelwegen, over alle wegen wel slechts 2%)
- Alcohol lock (6% minder doden en 3% minder zwaargewonden, met veel hoger effect indien de doelgroep specifiek kan geselecteerd worden).

Het is dus duidelijk dat technologie en ITS een belangrijke verhoging van de verkeersveiligheid met zich mee kan brengen. Dankzij een aantal **korte termijn acties** kan de overheid met minimale inspanningen toch een maximaal resultaat bekomen:

- Werk maken van de nationale implementatie van de Europese richtlijn betreffende de verplichte introductie van Electronic Stability Control en Emergency Brake Assist.
- Verdere ondersteuning blijven bieden voor de verkeersbordendatabank en de bevolking sensibiliseren met betrekking tot het nut van ISA systemen of fiscaal stimuleren.
- Alcohol locks systematisch introduceren als strafmaatregel bij recidiverende dronken bestuurders.
- Verder onderzoek stimuleren naar coöperatieve vormen van Collision warning & avoidance systemen. Eén van de probleempunten dat hierbij zeker moet worden onderzocht is het schaalbaarheidsprobleem in Vehicular Ad Hoc Networks. Andere aspecten zoals applicatieontwerp en validatie, business modellering en opzetten van zowel grootschalige testopstellingen als proeftuinen mogen zeker niet over het hoofd gezien worden. Van belang is dat dit onderzoek zal moeten worden uitgevoerd in lijn met de veelvuldige ontwikkelingen op Europees niveau.

Tenslotte werd een **socio- en techno-economische studie** uitgevoerd betreffende een compleet ITS ecosysteem, gebaseerd op het gelijktijdig aanbieden van een aantal coöperatieve ITS applicaties welke gebruik maken van communicatie met services op het internet alsook rechtstreekse communicatie met voertuigen en weginfrastructuur in hun

nabije omgeving. Dit is een systeem welke typisch in huidig Europees onderzoek wordt toegepast, maar pas op middellange tot lange termijn effectief uitrolbaar is. Uit de uitgevoerde studie kon zowel de **rol van de overheid op langere termijn** als een aantal opmerkingen en aanbevelingen voor de effectieve realisatie van het beoogde IST ecosysteem worden gedestilleerd:

- Het is noodzakelijk dat de overheid het systeem op de agenda plaatst en de betrokken stakeholders op één lijn krijgt. De overheid moet de lancering van een ITS niet alleen praktisch opvolgen en ondersteunen over een lange periode, maar ook verkopen naar alle partijen. De eindgebruikers zijn daarbij zeker belangrijk. Een mogelijk hulpmiddel bij deze coördinerende rol kan het oprichten van een platform voor onderlinge communicatie zijn.
- Op basis van de huidige informatie blijkt het nuttig om bij de lancering snel over te schakelen op een meer recente technologie dan HSDPA. Het aanbieden van recreatieve applicaties blijkt een relatief beperkte meerkost te betekenen en is dus wellicht interessant om de bereidheid tot betalen van de gebruikers te verhogen. De lancering kan uitgespreid worden over de tijd.
- Er is nood aan een prijsmodel dat vastlegt hoe de eindgebruikers zullen bijdragen aan het systeem. Zij zullen sowieso rechtstreeks of onrechtstreeks de voornaamste kosten dragen. Het is echter nuttig om in samenspraak met hen en met de producenten te evalueren of dit moet gebeuren via een abonnement, een eenmalige aankoopprijs of beide.
- Bij de kostenverdeling kreeg de OBU een erg hoog gewicht. Dit geeft aan dat hierop moet geconcentreerd worden bij het zoeken naar besparingen. Internationale samenwerking kan hierbij een mogelijkheid zijn (het economies of scale principe).
- Er is nood aan een internationale standaard en certificatieprocedure, zowel op vlak van hardware en software als een aantal elementaire processen die hierop gebaseerd zijn.
- Op basis van beide bovenstaande punten lijkt een Europese aanpak bijzonder aangewezen.
- Het juridisch kader voor een ITS moet nog bepaald worden. De verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid van de verschillende partijen moet gedefinieerd worden. Daarnaast moet ook de strafwetgeving rekening houden met mogelijke vormen van misbruik. Als laatste belangrijk punt wijzen we op de privacy van de gebruikers, die te allen tijde gegarandeerd moet worden.
- De praktische organisatie is aanzienlijk. Een aantal taken en verantwoordelijkheden is niet meteen toewijsbaar en vereist mogelijks dat nieuwe bedrijven worden. Om de kosten te optimaliseren is een goede planning en timing belangrijk. De overheid bevindt zich in een unieke positie om dit in goede banen te leiden. Een private public partnership (PPP) lijkt een aangewezen organisatievorm.
- De overheid zal moeten bepalen hoe zij bij de kostenallocatie wil intermediairen: is er een nood aan reguleringen, taksen en subsidies? Om de lancering te versnellen en de twijfels van bepaalde actoren weg te nemen, kan er ook rechtstreeks geïnvesteerd worden in het project.
- De adoptie kan één van de kernproblemen zijn bij de lancering. Een te trage adoptie kan ervoor zorgen dat de lancering niet succesvol is. Een te snelle adoptie kan dan weer voor een erg hoge initiële investering zorgen, want evenzeer ongewenst is. Er is nood aan marktonderzoek om de adoptie goed te kunnen inschatten, zodat hierop verder gewerkt kan worden om te beslissen over een eventuele investering en/of specifieke reguleringen om de adoptie eenduidiger te maken.

9. LITERATUURLIJST

- Aarts, L.T., Van Schagen, I.N.L.G (2006). *Samenhang tussen ongevalrisico, snelheid en wegkenmerken op 80km/uur- wegen*, SWOV, Leidschendam, R-2006-11
- Abele, J., Kerlen, C., Krueger, S., Baum, H., Geißler, T., Grawenhoff, S., Schneider, J., & Schulz, W.H. (2005). *Exploratory study on the potential socio-economic impact of the introduction of intelligent safety systems in road vehicles*. Tetlow, Germany: VDI/VDE Innovation, 166 blz.
- Agre, P.E. (1994). *Social Choice about Privacy: Intelligent Vehicle-highway Systems in the United States*, Information Technology & People, 1994
- Battelle (2007). *Volvo Intelligent Vehicle Initiative Field Operational Test – Volvo IVI FOT*, USDOT, 2007.
- Bayly, M., Fildes, B., Regan, M., Young, K. (2007). *Review of crash effectiveness of Intelligent Transport Systems*, Project No. 027763 – TRACE, D4.1.1 – D6.2
- Bilstrup, K., Uhlemann, E., Ström, E., Bilstrup, U. (2009). *On the Ability of the 802.11p MAC Method and STDMA to Support Real-Time Vehicle-to-Vehicle Communication*, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2009, Article ID 902414
- Bishop, R. (2000). *Intelligent Vehicle Applications Worldwide*. Intelligent Transportation Systems. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2000.
- Blaszczynsyn, B., Laouiti, A., Muhlethaler, P., Toor, Y. (2008). *Comparison for VANETs: Conventional Routing vs an Advanced Opportunistic Routing Scheme using Active Signaling*, in proceedings of the 8th International Conference on ITS Telecommunications (Phuket, 2008)
- Blum, J.J., Tararakin, A., Eskandarian, A. (2008). *Efficient certificate distribution for vehicle heartbeat messages*, in Proceedings of the 68th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC '08), pp. 1–5, Calgary, Canada, September 2008
- Carsten, O., Tate, F., *External Vehicle Speed Control Deliverable D17. Final report: Integration*. July 2000.
- Casteels, Y. (2009). *Evolutie van de verkeersveiligheid in België 2002-2007*, BIVV Observatorium voor de verkeersveiligheid, beschikbaar op http://bivvweb.ipower.be/observ/observatorium_nl.htm#.
- Casteels, Y., Casteels, H. et al (2010). *Statistieken verkeersveiligheid 2008*, BIVV Observatorium voor de verkeersveiligheid, beschikbaar op http://bivvweb.ipower.be/observ/observatorium_nl.htm#.
- Crudin, C.M., Bro, W. et al (2009). *Does ESC (Electronic Stability Control) change the way we drive?*, TRB 2009 Annual Meeting.
- Cuny, S., Page, Y., Zangmeister, T. (2008). *Evaluation of the safety benefits of existing Safety Functions*. TRACE project report D.4.2.2..
- Darbha, S., Rajagopal, K.R. (1998). *Intelligent Cruise Control Systems And Traffic Flow Stability*, University of California, Berkley, Research report 1998.
- De Brabander, B. (2005). *Investeringsanalyse in verkeersveiligheid in Vlaanderen. Een handleiding voor kosten-batenanalyse*, Lannoo, Leuven.
- De Brabander, B. (2007). *De waardering van dedelijke verkeersslachtoffers in Vlaanderen*. Steunpunt Mobiliteit en Openbare Werken spoor Verkeersveiligheid, rapport RA-2007-111.
- DeCorla- Souza, P. (1997). *Total Cost Analysis: An alternative to benefit-cost analysis in evaluating transportation alternatives*, Transportation, 1997

- De Mol, J., *Ook Franse bestuurder krijgt assistentie achter het stuur. Lavia: het Franse ISA-project*, in *Verkeersspecialist*, Mechelen, Kluwer-Editorial, Nr 103, december 2003, blz. 13-16.
- De Mol, J., Vlassenroot, S., *Frans ISA-project op de goede weg. Eerste onderzoeksresultaten van Lavia zijn positief* (First results of the French ISA-project, LAVIA),. Mechelen, Kluwer-Editorial, Nr 137, april 2007, blz. 10-14
- De Mol, J., Vlassenroot, S. (2006). *Krachtlijnen voor het leveren van snelheidsinformatie in functie van het toekomstig opstellen van een snelheidsdatabank (Feasibility study: a speed map for Flanders)*, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap Afdeling Beleid Mobiliteit en Verkeersveiligheid, MC/2005/06/CDO, Gent, 2006, 142 blz. + bijlagen.
- De Mol J., Vlassenroot S., Allaert G (2009). *Abnormaal veel ongevallen met bestelwagens. Bestelwagens veilig begrenzen ?*, in *Verkeersspecialist*, Kluwer, nr 158, juni 2009, blz. 26-30.
- De Mol, J., Vandenberghe, W., Vlassenroot, S., De Baets, K. (2009a). *ITS-technieken om verkeersveiligheid te verhogen op kruispunten met verkeerslichten (VRI'S)*, Steunpunt Mobiliteit en Openbare Werken, 2009
- Deruyck, M., Vereecken, W., Tanghe, E., et al. (2004). *Power consumption in wireless access networks*, Proceedings of the 16th European Wireless conference, Lucca, Italy, 12-15 April 2004
- Dingus, T., et al. (2006). *The 100 Car Naturalistic Driving Study*, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), 2006.
- Dubbeldam, R. (red.) (2006). *NOA Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen*. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer AVV, Rotterdam. 2006, 201 blz.
- Eichler, S. (2007) *Performance Evaluation of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standard*, in Proceedings of Vehicular Technology Conference (Dublin, 2007)
- Ekman, P., Friesen, W. *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, CA
- Erke, A. (2008). *Effects of electronic stability control (ESC) on accidents: A review of empirical evidence*, Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 167-173.
- ETSI (2009), *ETSI Technical Report 102 638; Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions*, Sophia Antipolis Cedex, France
- Eurobarometer Study (2006). *Use of Intelligent Systems in Vehicles*, December 2006
- Eurobarometer Study (2006). *Users' Attitudes Towards Electronic Active Safety Systems in Vehicles*, May 2006
- Figueiredo, L., et al. (2001). *Towards the development of intelligent transportation systems*, Intelligent Transportation Systems, 2001
- Fildes B.N., Digges K.H., Carr D., Dyte D. & Vulcan A.P. (1995). *Side impact regulation benefits*, Report CR154, Federal Office of Road Safety, Canberra.
- Fischer, W. (2003). *Digital Video and Audio Broadcasting Technology: a practical engineering guide.* , Springer
- Fleury, D., Brenac, T. (2001). *Accident prototypical scenarios, a tool for road safety research and diagnostic studies*. Accident Analysis and Prevention, 33, 267-276, 2001.
- Francher, P. (1998). *Intelligent Cruise Control Field Operational Test*, National Highway Traffic Safety Administration U.S. Department of Transportation, May 1998.

- General motors corporation (2005). *Automotive Collision Avoidance System Field Operational Test (ACAS FOT) – Final Program Report*. DOT HS 809 886, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2005.
- Green, P. E., Woodrooffe, J. (2006). *The estimated reduction in the odds of loss-of-control type crashes for sport utility vehicles equipped with electronic stability control*, Journal of Safety Research 37 (2006) 493–499.
- Hoetink, A.E. (2003) *Advanced Cruise Control en verkeersveiligheid*, SWOV, Rapport 2003.
- Hoogendoorn, S., et al. (2006) *Full Traffic – WP Dataloggers & WP Verkeersimpact*, Report Technische Universiteit Delft, 2006.
- Huan, Y.H., et al. (2008). *Chinese truck drivers' attitudes toward feedback by technology: A quantitative approach*, Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 1553–1562.
- Huang, Y.H., Roetting, M., Mcdevitt, J.R., Melton, D., Smith, G.S. (2005). *Feedback by technology: Attitudes and opinions of truck drivers*, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 8 (2005), pp. 277–297.
- Ivan, I., Besnier, P., Crussi re, M., Drissi, M. (2009). *Physical Layer Performance Analysis of V2V Communications in High Velocity Context*, in Proceedings of the 9th International Conference on ITS Telecommunications (Lille, 2009)
- Jiang, D., Chen, Q., Delgrossi, L. (2008). *Optimal Data Rate Selection for Vehicle Safety Communications*, in proceedings of VANET 2008
- Kanninen, B. et al. (1995). *Intelligent Transportation Systems: an economic and environmental policy assessment*, Transportation Research Part A: Policy and Practice vol. 30 issue 1, 1995
- Karabatsou, V., Gwehenberger, J., Nigel, S., Van Paassen, R., Stanzel (2007). M. *Literature review on accident configurations*. TRACE project report D4.1.2., 2007.
- Karabatsou, V., Pappas, M., Van Elslande, P., Fouquet, K., Stanzel, M., Fildes, B., & De Lange, R. (2007). *A priori evaluation of safety functions effectiveness - Methodologies*. TRACE project report, D4.1.3., 2007
- Kesting, A., et al. (2006). *Jam-avoiding adaptive cruise control (ACC) and its impact on traffic dynamics*, Archives of Physics January 2006.
- Kloeden, C. N., Mclean, A. J., Moore, V. M., Ponte, G. (1997). *Travelling speed and the risk of crash involvement*. Volume 1: findings. Report No. CR 172 . Federal Office of Road Safety FORS, Canberra
- Korse, M.J., et al. (2003). *Op Koers? Resultaten van de proef met het Lane Departure Warning Assistant systeem*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2003.
- Lassarre, S., Romon, S., *Utilisation du LAVIA et influence sur les vitesses pratiqu es en vue de l'évaluation de l'utilite*, blz. 65-74 in PAGE, Y., DRISCOLL, R., LASSARRE, S , CARNET DE ROUTE DU LAVIA Limiteur s'adaptant à la vitesse autoris e, Versailles Congrès, 2006
- Leblanc, D., Sayer, J., Winkler, C., Ervin, R., Bogard, S., Devonshire, J., Mefford, M., Hagan, M., Bereket, Z., Goodsell, R., Gordon, T. (2006). *Road Departure Crash Warning System Field Operational Test (RCDW FOT)*, Technical Report, Vol. 1, NHTSA, US-DOT, 2006.
- Lehmann, G., Cheale, A. (1998). *The contribution of onboard recording systems to road safety and accident analysis*. In: Proceedings of the 16th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles (ESV), pp. 462–466, 1998.

- Lehmann, G. *The features of the accident data recorder and its contribution to road safety*. In: Proceedings of the 15th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles (ESV), 2, pp. 1565–1568.
- Leviäkangas, P., et al. (2002). *Profitability Evaluation of Intelligent Transport System Investments*, Journal of Transportation Engineering, 2002
- Levine, J., Underwood, S. (1996). *A multiattribute analysis of goals for intelligent transportation system planning*, Transportation Research Part C: Emerging technologies, 1996
- Lierkamp, D. (2003). *Treating Inadequate Headway's on a High Flow Freeway*, Cooper@tive Tr@nsport@tion Dyn@mics 2, 3.1–3.31 (2003)
- Lotan, T. et al. (2006). *An In-Vehicle Data Recorder for Evaluation of Driving Behavior and Safety*, TRB 2006 Annual Meeting.
- Maccubbin, R.P., et al (2003). *Intelligent Transportation Systems Benefits and Costs*, U.S. Department of Transportation (USDOT), 2003
- Malone, K. M., Ejkelenbergh, P. (2004). *A Quick Scan of Quantified Effects of Advanced Driver Support Systems*, ADASE II Extension, December 10, 2004.
- Mariyasagayam, M.N., Osafune, T., Lenardi, M. (2007). *Enhanced Multi-Hop Vehicular Broadcast (MHVB) for Active Safety Applications*, in proceedings of the 7th International Conference on ITS Telecommunications (Sophia Antipolis, 2007)
- Mehta, T., et al. (2003). *Assessing the Environmental Benefits of Intelligent Transportation Systems Measures: Methodologies and Applications*, Texas Department of Transportation, 2003
- Michalski, W. (2009). *Recommendations and Regulations of the European Commission Regarding the Pan-European eCall*, Journal of Telecommunications and Information Technology, 2009
- Minderhoud, M. (1999). *Supported driving: impacts on motorway traffic flow*, PhD Thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 1999.
- Minderhoud, M.M., Bovy, P.H.L. (1999). *Impact of intelligent cruise control on motorway capacity*, TRB paper No. 990049, Transportation Planning and Traffic Engineering Section, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, 1999.
- Moore, G.A. (1999). *Crossing the Chasm. Marketing and Selling Technology Products to Mainstream Customers*, 3th ed. Oxford: Capstone Publishing, 1999
- Mundewadikar, R.S. Dorle, S.S. Keskar, A.G. Chakole, M.B. (2003). *An Architecture for Intelligent Automotive Collision Avoidance Systems*, Proceedings of the 3rd Annual Intelligent Vehicle Systems Symposium of National Defense Industries Association (NDIA), National Automotive Center and Vectronics Technology, June 9 –12, 2003, Traverse City, Michigan, pp 183 – 188.
- Munguia Hoyo, F. (2009). *Network solutions targeting the scalability problems in vehicular ad hoc networks.*, master thesis.
- Naing, C., Bayer, S., Van Elslande, P., Fouquet, K. (2007). *Which factors and situations for human functional failures? Developing grids for accident causation analysis*. TRACE report, 2007, p. 54
- Najm, W.G., Stearns, M.D., Howarth, H., Koopmann, J., Hitz, J. (2006). *Evaluation of an Automotive Rear-End Collision Avoidance System*, U.S. Department of Transportation Research and Innovative Technology Administration Advanced Safety Technology Division, DOT-VNTSC-NHTSA-06-01, , Cambridge, January 2006, p. 425
- NHTSA (2002). *Evaluation of Lane Change Collision Avoidance Systems Using the National Advanced Driving Simulator*. February 2002.

- Nishira, H., Seto, Y., Yamamura, Y., Kawabe, T. (2005). *Research on an advanced adaptive cruise control system using vehicle-to-vehicle communication and vehicle behavior prediction*, Proceedings. JSAE Annual Congress, 62 (05), pp.13-16, 2005.
- Page, Y., Riviere, C., Cuny, S., Zangmeister, T. (2007). *A posteriori evaluation of safety functions effectiveness - Methodologies*. TRACE project report D.4.2.1., 2007.
- Panichpapiboon, S., Ferrari, G. (2008). *Irresponsible Forwarding*, in proceedings of the 8th International Conference on ITS Telecommunications (Phuket, 2008)
- Pape, D., Mcmillan, N. (2003). *Evaluation of the Freightliner Intelligent Vehicle Initiative Field Operational Test Freightliner IVI FOT*, U.S. Department of Transportation (USDOT), September 2003.
- Pappas, M., *WP4-Summary Report*, 18 September 2009, Project No. 027763 – TRACE, D4.3, p. 36
- Pappas, M., Stanzel, M., Page, Y., Hermitte, T., Lahausse, J., Fitzharris, M., Fildes, B., *A priori evaluation of safety functions effectiveness – Results on safety increments*, TRACE, project no 027763, D4.1.4, 118 p.
- Pauwelussen, J., Minderhoud, M. (2008) *The effects of deactivation and (re)activation of ACC on driver behaviour analyzed in real traffic*, Preprint submitted to 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- Peeters, H., Assing, K. (2008). *Market failures in relation to the deployment of cooperative vehicle safety systems*, 2008
- RACC Automobile Club (2007). *Stakeholder utility, data privacy and usability analysis and recommendations for operational guarantees and system safeguards: Europe*, Deliverable D.DEPN.4.1 of the FP7 CVIS project, 2007
- Rao, S.A., Pai, M., Bousedjra, M., Mouzna, J. (2008). *GPSR-L: Greedy Perimeter Stateless Routing with Lifetime for VANETS*, in proceedings of the 8th International Conference on ITS Telecommunications (Phuket, 2008)
- Rimini-Döring, M., Altmüller, T., Ladstätter, U., Rossmeier, M. (2005). *Effects of lane departure warning on drowsy drivers' performance and state in a simulator*. In *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 2005, Rockport, Maine, USA.
- Roetting, M. et al. *When technology tells you how you drive - Truck drivers' attitudes towards feedback by technology*, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 6 (4), 275-287.
- Sandin, J., Ljung, M. (2007). *Understanding the causation of single-vehicle crashes: a methodology for in-depth on-scene multidisciplinary case studies*, International Journal of Vehicle Safety 2007 - Vol. 2, No.3, pp. 316 – 333
- Sayer, J., Leblanc, D., Bogard, S., Hagan, M., Sardar, H., Buonarosa, M. L., Barnes, M. *Integrated Vehicle-Based Safety Systems Field Operational Test Plan*, December 2008, DOT HS 811 058, The University of Michigan
- Schalk, A., Stratil, H. (2008). *Infrared Communication in the context of CALM*, in proceedings of ITS Europe 2008
- Schermers, G., Malone, K.M. (2004). *Dutch Evaluation of Chauffeur Assistant (DECA)*, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, 2004.
- Scholiers et al (2008). *PreVAL - Project final report and recommendations for future assessments*, PreVENT IP Deliverable D12/D16.4, 2008.
- Scully, J., Newstead, S. (2008). *Evaluation of electronic stability control effectiveness in Australasia*, Accident Analysis and Prevention 40 (2008) 2050–2057.

- Sibecas, S., Corral, C.A., Emami, S., Stratis, G. (2002). *On the suitability of 802.11a/RA for high-mobility DSRC*, Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th, vol.1, no., pp. 229- 234
- Singh, J.P., Bambos, N., Srinivasan, B., Clawin, D. (2002). *Wireless LAN Performance under Varied Stress Conditions in Vehicular Traffic Scenarios*, Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall 2002), vol. 2, pp. 743-747, Oct. 2002
- Smiley, A. (2007). *Behavioral Adaptation, Safety, and Intelligent Transportation Systems*, Journal of the Transportation Research Board, 2007
- Solberg, A., Schmid, A., Baggen, M., Alesiani, F., Stratil, H., Bossom, R., Forkert, S., Schlingelhof, M., Burkert, A., Haverkamp, S., Mathias, P. (2007). *D.CVIS.3.3 Architecture and System Specifications*, deliverable of the CVIS project, 31 July 2007
- Stibor, L., Wang, Y. (2007). *Neighborhood evaluation of vehicular ad-hoc network using IEEE 802.11p*, in Proceedings 7th International Conference on ITS Telecommunications (Paris, 2007)
- Stibor, L., Zang, Y. (2007). *Evaluation of communication distance of broadcast messages in a vehicular ad-hoc network using IEEE 802.11p*, in proceedings of WCNC 2007
- SWO (2008)., *Factsheet Intelligente Transportsystemen (ITS) en verkeersveiligheid*, Leidschendam, juni 2008, 6 blz.
- Taylor, M. C., Lynam, D. A., Baruya, A. (2000). *The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents*. TRL Report, No. 421. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire.
- Toledo, T., et al. (2008). *In-vehicle data recorders for monitoring and feedback on drivers' behavior*, Transportation Research Part C 16 (2008) 320–331.
- Umtri, General Motors (2005). *Automotive collision avoidance system Field operational test report Methodology and results*, NHTSA, 2005.
- Van Arem, B. (2006). *The impact of Co-operative Adaptive Cruise Control on traffic flow characteristics*, Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on Volume 7, Issue 4, Dec. 2006 Page(s):429 – 436.
- Van Arem, B., et al. (1996). *An Assessment of the impact of Autonomous Intelligent Cruise Control*, TNO Report, 1996.
- Van Arem, B., et al. (2007) *Design and evaluation of an Integrated Full-Range Speed Assistant*, TNO report, March 2007.
- Van Arem, B., et al. (2008). *Slimmer en beter- de voordelen van intelligent verkeer*, TNO rapport 2008.
- Van Arem, Zwaneveld (1997). *Traffic effects of automated vehicle guidance systems*, TNO INRO/VVG 1997-17, December 1997.
- Van Bruwaene, K., Vandenberghe, W., Carels, D. (2009). *D3.2 Communication technology report*, deliverable of the IBBT NextGenITS project
- Vandenberghe, W., et al. (2009). *Road Tolling E2E impact study*, Deliverable D4.1 & D4.4, IBBT GBO project Next Generation ITS
- Vandenberghe, W., Leroux, P., Moerman, I., De Turck, F., Demeester, P. (2008). *Design of a scalable ITS architecture based on IP datacast over DVB-H/SH*, International Conference on Intelligent Transport System Telecommunications (ITST),978-1-4244-2858-8, Thailand, Phuket
- Van den Bossche, F., (2006) *Road safety, risk and exposure in Belgium, an economic approach*, Universiteit Hasselt, Toegepaste economische wetenschappen, doctoraatsverhandeling

- Van Driel, Van Arem (2008). *Traffic flow impacts of a congestion assistant*, TRB 2008 Annual Meeting.
- Van Driel, C. J. G. (2007). *Driver support in congestion – an assessment of user needs and impacts on driver and traffic flow*, PhD Thesis University of Twente, The Netherlands, 2007. Trail Thesis Series 2007/10.
- Van Elslande, P., Fouquet, K. (2007). *Analysing human functional failures in road accidents*. TRACE, report D5.1., 2007, p. 39
- Van Elslande, P., Fouquet, K., *Typical human functional failure-generating scenarios: a way of aggregation.*, TRACE report D5.3., 2007, p. 52
- Van Elslande, P., Vatonne, V., Vallet, H., Fouquet, K., Canu, B., Fournier, J.-Y. (2007) *Assessing drivers' needs and contextual constraints for safety functions: A human centred approach from in-depth accident analysis*. TRACE project report D4.1.5., 2007.
- Van Mieghem, R. (2004). *Adaptive Cruise Control systemen in gemengd verkeer*, Civiele Technologie & Management, Universiteit Twente, augustus 2004.
- Van Ooteghem, J., et al. (2009) *Municipalities as a Driver for Wireless Broadband Access*, Wireless Personal Communications, 2009
- Visvikis et al. (2008). *Study on lane departure warning and lane change assistant systems*, TRL report, 2008
- Volvo Car Corporation, University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) (2009). *Advanced Crash Avoidance Technologies Program – Annual Report of the Volvo-Ford-UMTRI Project*, February 2009, DOT HS 811 088, p. 23.
- Vural, E., Cetin, M., Ercil, A., Littlewort, G., Barlett, M., Movelan, J. (2008). *Automated Drowsiness Detection For Improved Driving Safety*, Proc. 4th international conference on automotive technologies. Istanbul, 2008
- Wang, Y., Ahmed, A., Krishnamacari, B., Psounis, K. (2008). *IEEE 802.11p Performance Evaluation and Protocol Enhancement*, in Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (Columbus, 2008)
- Wang, J.-S., Knipling, R. R., & Blincoe, L. J. (1999). *The Dimensions of Motor Vehicle Crash Risk*. Journal of Transportation and Statistics /vol2_n1, 19-43. May 1999. Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.
- Willwarn (2007). *DeliverablePR-22100-SPD-070131-v13 WILLWARN Final Report*, 31.01.2007, a PREVENT-project, 71 blz.
- Wilmink, I., et al. (2008). *Socio-economic Impact Assessment of Stand-alone and Cooperative Intelligent Vehicle Safety Systems (IVSS) in Europe*, eIMPACT Deliverable D4, 2008.
- Wilmink, Klunder, Mak (2007). *The impact of Integrated full-Range Speed Assistance on traffic flow – Technical report of the SUMMITS-IRSA project*, TNO Report 2007-D-R0286/B, 2007.
- Wouters, P. I. J., Bos, J.M.J. (2002). *Traffic accident reduction by monitoring driver behaviour with in-car data recorders*, Accident Analysis and Prevention 32 (2000) 643–650.
- Yi (Grace) Qi (2008). *Vehicle Infrastructure Integration (VII)-Based Driver Warning System for Run-Off-Road Crash Prevention*, Transportation Research Board Annual Meeting Washington, D.C. Nov 12, 2008.
- Yi (Grace) Qi. (2008). *Vehicle Infrastructure Integration (VII)-Based Highway Lane Change Warning System for Collision Prevention*, Transportation Research Board Annual Meeting Washington, D.C. Nov 12, 2008.

Young, S. K., Eberhard, C. A., Moffa, P. J. (1995). *Development of Performance Specifications for Collision Avoidance Systems for Lane Change, Merging, and Backing. Task 2 Interim Report: Functional Goals Establishment*. TRW Space and Electronics Group Washington, DC. U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration. February 1995.

Zhan, B., et al. (2006) *A study of Chinese truck drivers' attitudes toward feedback by technology*, *Safety Science* 44 (2006) 747–752.

Zhang, W., Festag, A., Baldessari, R., Le, L. (2008). *Congestion Control for Safety Messages in VANETs: Concepts and Framework*, in proceedings of the 8th International Conference on ITS Telecommunications (Phuket, 2008)

10. BIJLAGEN

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Volledig wegennet																	
Ale letselgevallen	58.223	55.438	54.933	52.018	50.744	48.750	50.078	51.167	51.801	49.065	47.444	42.740	43.853	43.565	40.368	41.114	42.521
Letselgevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	3.406	3.179	3.227	3.112	3.086	3.139	3.233	3.526	3.714	3.833	3.864	3.603	3.566	3.750	3.771	3.962	4.138
% ongevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	5,8%	5,7%	5,9%	5,9%	6,1%	6,4%	6,5%	6,9%	7,2%	7,8%	8,2%	8,2%	8,2%	8,6%	9,3%	9,6%	9,7%
Autosnelwegen																	
Ale letselgevallen	3.029	3.309	3.487	3.688	3.628	3.628	4.075	4.187	4.446	4.713	4.557	3.870	3.555	3.383	3.638	3.919	3.825
Letselgevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	317	293	301	334	362	399	404	446	535	631	647	607	475	506	545	616	681
% ongevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	10,5%	8,9%	8,7%	9,1%	10,0%	11,0%	9,9%	10,7%	12,0%	13,4%	12,0%	13,1%	13,4%	15,1%	15,0%	15,7%	15,2%
Volledig wegennet, doelrijke																	
Ale letselgevallen	1.680	1.553	1.517	1.564	1.337	1.237	1.255	1.345	1.259	1.356	1.378	1.264	1.142	1.056	997	1.001	1.002
Dodelijke letselgevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	97	101	78	93	75	78	78	85	106	119	107	102	73	78	68	90	87
% dodelijke ongevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	5,8%	6,5%	5,0%	5,9%	5,6%	6,3%	6,1%	6,3%	8,2%	8,8%	7,8%	8,1%	6,4%	6,9%	6,9%	9,0%	8,7%
Autosnelwegen, doelrijke																	
Ale letselgevallen	171	180	189	177	179	161	156	176	182	197	173	151	123	117	139	142	137
Dodelijke letselgevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	17	13	13	10	13	15	14	18	24	25	13	18	10	10	23	20	17
% dodelijke ongevallen met minstens 1 lichte vrachtwagen	9,9%	7,2%	6,9%	5,6%	10,6%	9,3%	9,0%	10,2%	13,2%	12,7%	7,5%	11,9%	8,1%	8,6%	16,5%	14,1%	12,4%

Bijlage 1: Evolutie van het aantal letselgevallen en van het aantal dodelijke letselgevallen waarbij minstens een lichte vrachtwagen (< 3,5t) is betrokken

Bijlage 2: Taxonomy of Intelligent Transport Systems (uit TRACE: Traffic Accident Causation in Europe – Bayly et al., 2007)

1. In Vehicle systems

1.1. Active Systems

- 1 Active Front Steering
- 2 Active Rollover Protection
- 3 Adaptive Cruise Control
- 4 Advanced Driver Assistance Systems
- 5 Alcohol Detection and Interlock
- 6 Animal Detection Systems
- 7 Anti-lock Braking System
- 8 Automated Windscreen Wipers
- 9 Brake Assist
- 10 Daytime Running Lights
- 11 Driver Vigilance Monitoring
- 12 Electronic Brake Force Distribution
- 13 Electronic Licence
- 14 Electronic Stability Control
- 15 Emergency Brake Advisory System
- 16 Following Distance Warning
- 17 Forward Collision Warning and Avoidance
- 18 Heads-Up Display
- 19 Helmet-Mounted Displays
- 20 Intelligent Lighting Systems
- 21 Lane Change Collision Warning and Avoidance
- 22 Lane Departure Warning and Control
- 23 Lane Keeping Assistance
- 24 Linked Braking Systems
- 25 Parallel Parking Assist
- 26 Pedestrian Detection Systems
- 27 Rear-Impact Countermeasures
- 28 Rear-View Displays
- 29 Reverse Collision Warning System
- 30 Road Departure Warning and Avoidance Systems
- 31 Road Surface Condition Monitoring
- 32 Seatbelt Reminder and Interlock Systems
- 33 Speed Alerting and Limiting Systems

- 34 Stop-and-Go
- 35 Traction Control
- 36 Tutoring Systems
- 37 Vehicle Diagnostic Systems
- 38 Vision Enhancement

1.2 Passive systems

- 1 Active Head Restraints
- 2 Airbag Jackets
- 3 Airbags
 - 3.1 Adaptive Steering Column
 - 3.2 Buckle Sensors
 - 3.3 Dual-stage Airbag
 - 3.4 Inflatable Carpet
 - 3.5 Inflatable
 - 3.6 Knee
 - 3.7 Radial Deployment Airbag
 - 3.8 Roofbag
 - 3.9 Seat Position Sensor
 - 3.10 Side Airbags
 - 3.11 Weight and Pattern Recognition
 - 3.12 Child Seat Detector
- 4 Anti-Submarining
- 5 Automatic Rollbars
- 6 Crash Data Recorders
- 7 Emergency Lighting Systems
- 8 External Airbags
- 9 Impact-Sensing Cut-Off Systems
- 10 Impact-Sensing Door Unlock
- 11 Pop-Up Bonnet Systems
- 12 Seatbelt Pre-Tensioners
- 13 Seatbelt Load Limiters

1.3 Combined Active and Passive Systems

- 1 Extendable Bumper
- 2 Motorised Seatbelts
- 3 Pre-Crash Systems

2 Infrastructure-Based Systems

2.1 Active Systems

- 1 Animal Detection Systems
- 2 Automated Enforcement Systems
 - 2.1 Breath Testing
 - 2.2 Electronic Licence Plates
 - 2.3 Headway Monitoring
 - 2.4 Laser Speed Detectors
 - 2.5 Rail Crossing Enforcement
 - 2.6 Red Light Camera
 - 2.7 Saliva
 - 2.8 Tagging and Tracking Systems
- 3 Bicycle Signal Systems
- 4 Construction Zone Systems
 - 4.1 Dynamic Lane Merging
 - 4.2 Real-time Information Systems
 - 4.3 Variable Speed Limits
- 5 Pedestrian Signal Systems
 - 5.1 Accessible Pedestrian Signals
 - 5.2 Automatic Pedestrian Detection
 - 5.3 Countdown Signal
 - 5.4 Flashing Crosswalk Lights
 - 5.5 High-intensity Activated Crosswalk
 - 5.6 Pedestrian Warning Sign
 - 5.7 Scanning Eyes
 - 5.8 Smart
 - 5.9 Wheelchair Detection
- 6 Speed Feedback
- 7 Traffic Control
 - 7.1 Automated Tolling; Electronic Toll Collection
 - 7.2 Congestion
 - 7.3 Dynamic Lane Control
 - 7.4 Probe Vehicle; Floating Car
 - 7.5 Ramp Control/Ramp Metering
 - 7.6 Route
 - 7.7 Signal
 - 7.8 Traffic

- 7.9 Tunnel/Bridge
- 8 Variable Message Signs
- 9 Variable Speed Limits
- 10 Weather Information and Maintenance Systems
 - 10.1 Access Control
 - 10.2 Anti-icing Systems
 - 10.3 Flood Warning Systems
 - 10.4 Low Visibility Warning Systems
 - 10.5 Maintenance Vehicle Management Systems
 - 10.6 Precipitation/Wind Warnings
 - 10.7 Wet Condition Warning Systems
 - 10.8 Weather-related Signal Timing

2.2 Passive Systems

- 1 Incident Management Systems

2.3 Combined active and passive systems

3 Co-operative systems

3.1 Active Systems

- 1 Advanced Traveller Information
- 2 Advanced Warning Device
- 3 Electronic Clearance
 - 3.1 Credential Checking
 - 3.2 Border Clearance
 - 3.3 Safety Screening/Automated Vehicle Safety Inspections
 - 3.4 Weigh-in-motion
- 4 Fleet Management Systems
 - 4.1 Automatic Vehicle Location; Computer Aided Dispatch
 - 4.2 Cargo Monitoring Systems
 - 4.3 Digital Tachographs
 - 4.4 Electronic Towbar; Electronic
 - 4.5 Hazardous Materials Systems/HAZMAT
 - 4.6 Smart Cards
- 5 Intelligent Speed Adaptation
- 6 Intersection Collision Avoidance
- 7 Inter-Vehicle Communication Systems
- 8 Navigation Systems
- 9 Pay-As-You-Drive Insurance
- 10 Railway Crossing

- 10.1 Advanced Warning for Railroad Delays
- 10.2 Automated Horn Warning
- 10.3 In-vehicle Warning System; Vehicle Proximity Alert
- 10.4 Obstacle Detection Systems
- 10.5 Railway Crossing Cameras
- 10.6 Second Train Warning
- 11 Road Geometry Warnings
- 12 Rollover Warning Systems
- 13 Vehicle Pre-Emption Systems

3.2 Passive Systems

- 5.2.1 Automatic Crash Notification

3.3 Combined Active and Passive Systems → none