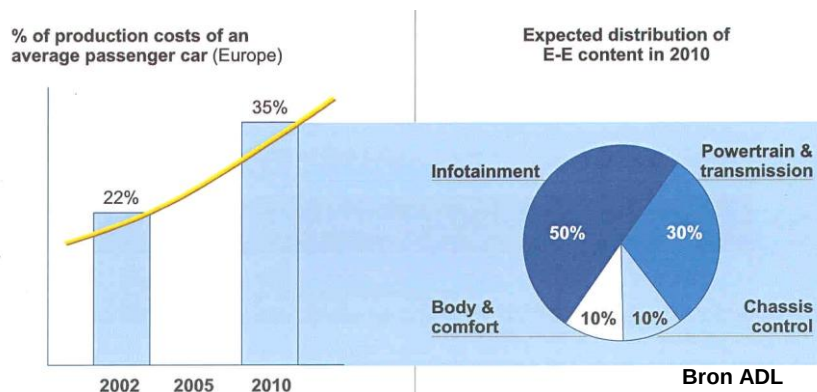


Veilig op Weg met een Rijassistent

1. Inleiding

De auto is niet meer weg te denken in onze westerse maatschappij. De auto neemt in vele facetten van ons dagelijks leven een belangrijke plaats in zoals voor het woonwerk verkeer, het doen van inkopen, het ontmoeten van andere mensen en recreatie. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het wegvervoer in Nederland gestaag blijft toenemen. Hierdoor wordt het een steeds grotere uitdaging de maatschappelijke knelpunten op het gebied van verkeersveiligheid, milieubelasting en congestie beperkt te houden.



Figuur 1 Groei van elektronica in personenwagens

Om de bovengenoemde problemen het hoofd te bieden is er op technologisch gebied al het nodige gebeurd. Zo zorgen de innovaties en systeemverbeteringen die de automotive industrie continue in de voertuigen verwerken onder andere voor steeds lagere emissies van schadelijke stoffen en verbeterde voertuigveiligheid. Deze voertuigtechnologie zal voor een groot deel worden gerealiseerd door het toepassen van meer elektronica en software (verwacht wordt dat deze rond 2010 ruwweg 35% van de fabricage kosten van personenwagens zullen bepalen tegen 22% in 2002), zie figuur 1. Momenteel speelt elektronica (hardware en software) al een rol bij 80% van alle voertuig innovaties, en groeit het laatste decennium de inspanning rond software ontwikkelingen bij de leidende voertuigfabrikanten jaarlijks met ruim een derde [Roland Berger, 2005].

De automotive sector behoort tot de top drie van de Nederlandse maakindustrie. In Nederland werken in deze innovatieve bedrijfstak nu ongeveer 40.000 mensen [ATC, 2004] bij ruim 200 bedrijven [FIER, 2003]. Als gevolg van de concentratie in Zuidoost Nederland, met ongeveer de helft van de automotive industrie, is deze sector in de regio een onmiskenbare economische factor. Met de publiek-private samenwerking in het dit jaar gestarte innovatieprogramma "High Tech Automotive Systems" (HTAS), krijgt de automotive industrie een extra impuls. Om aan de verwachte vraag naar afgestudeerde automotive ingenieurs vanuit de industrie te kunnen voldoen, is minimaal een verdubbeling van het aantal jaarlijks in Nederland afgestudeerde automotive ingenieurs vereist [HTAS, 2007]. De vraag naar afgestudeerden in Nederland met kennis op het gebied van intelligente voertuigsystemen zal naar verwachting onevenredig sterk toenemen. Dit afgezet tegen de afnemende belangstelling voor exacte studies vraagt om aansprekende opleidingsprogramma's, zodat studenten op uitdagende en aantrekkelijke wijze in

staat zijn om de noodzakelijk geachte competenties voor toekomstige beroepsbeoefening te verwerven. Onder andere door het aanbieden van de specialisatie “automotive engineering” vanaf september 2003, en de oprichting van het lectoraat ‘Automotive Control’ in 2007, wil Fontys Hogescholen hier zijn steentje aan bijdragen.

Hoewel Nederland al een van de meest verkeersveilige landen ter wereld is, waren er toch nog 811 verkeersdoden in 2006 te betreuren, marginaal lager dan de 817 in 2005 [BOVAG-RAI, 2006]. Het persoonlijk leed en de hoge maatschappelijke kosten van de verkeersonveiligheid (vele miljarden per jaar) dwingt de overheid tot het stellen van stringente eisen tot verdere reductie van het aantal slachtoffers. Het persoonlijk leed heb ik aan den lijve mogen ondervinden, waardoor ik een sterke binding met het onderwerp verkeersveiligheid heb. Toen ik nog een peuter was, werd mijn vader weggerukt uit ons gezin. Op zijn brommer op weg naar zijn werk, werd hij gegrepen door een vrachtwagen en overleed ter plekke, een weduwe met drie kleine kinderen achterlatend. Mijn verhandeling richt zich dan ook op de verkeersveiligheid, die voor verbetering voor een groot deel afhankelijk is van nieuwe voertuigtechnologie. In het bijzonder richt ik mij op de evolutie van intelligente systemen in personenwagens die een ongeval proberen te voorkomen, of de gevolgen ervan te beperken.

In de volgende paragraaf wordt eerst beknopt de historie van de automobiel geschetst. Daarna komen de maatschappelijke uitdagingen rond het wegtransport in Nederland aan de orde en wordt een indicatie gegeven van het aantal en soort verkeersslachtoffers in Nederland vanaf 1950. Vervolgens wordt ingegaan op veiligheidssystemen in personenwagens alsmede de bestuurder als kritische factor die, in zijn complexe rijtaak, (technologische) ondersteuning goed kan gebruiken. Beschreven wordt hoe de momentane toestand van het voertuig, het verkeer en de bestuurder kan worden bepaald. Vervolgens wordt een aantal intelligente voertuigsystemen, die kunnen bijdragen aan het voorkomen van ongevallen, besproken. Enkele uitdagingen bij het evalueren van dergelijke systemen op hun prestatie en betrouwbaarheid worden aangestipt. Tot slot wordt ingegaan op de relatie tussen het praktijkgericht onderzoek en het vraaggestuurd onderwijs.

2. Van paard en wagen naar de hedendaagse auto

De oudste vorm van goederentransport over de weg bestond uit paarden of ossen die lasten vervoerden over modderige paden. Met de toenemende handel werden deze paden vaak uitgevlakt en verbreed om de grotere transportstroom te ondersteunen. In het Romeinse rijk was er behoefte aan snelle verplaatsing van legers. De abominabele kwaliteit van de wegen werkte vaak sterk vertragend. Om dit probleem op te lossen bouwden de Romeinen verharde wegen. De bedding werd uit steengruis gemaakt zodat regenwater weg kon lopen en de wegen droog bleven. De door dieren voortgetrokken wielvoertuigen, en daarmee de handel, profiteerden daarvan mee. Een vroege voorloper van de automobiel (een zichzelf voortbewegend voertuig), is de zeilwagen. Er zijn zelfs bronnen, die aangeven dat er onder de Egyptische farao Amenemhat III, in het tweede millennium voor Christus, al zeilwagens bestonden. Het gemotoriseerde voertuig is geleidelijk ontstaan uit een vermenging van door dieren getrokken rijtuigen, de fiets en de stoommachine. Een van de bekendste ontwerpers van de stoomauto is de Franse uitvinder Nicolas Joseph Cugnot (1725-

1804). Deze officier begon in 1765 met de ontwikkeling van zijn stoomauto voor het transport van zware kanonnen, en realiseerde in 1769 een goed werkende versie, zie figuur 2. In 1771 reed hij deze tegen een muur, waarmee waarschijnlijk het eerste verkeersongeval met een gemotoriseerd voertuig in Europa een feit was.



Figuur 2 Stoomvoertuig van Cugnot uit 1771

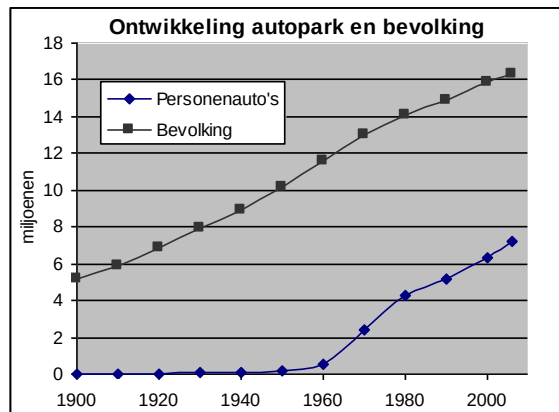
De uitvinding van de verbrandingsmotor, met een veel lager gewicht en minder brandstofverbruik voor meer vermogen, betekende het einde voor de stoomauto. In 1862 bouwde Etienne Lenoir zijn eerste auto met gasmotor, die dankzij de door Nikolaus Otto in 1878 aangebrachte verbeteringen een succes werd. Gottlieb Daimler heeft vervolgens, samen met Otto, de eerste succesvolle hoge snelheid verbrandingsmotor ontwikkeld, waarop hij in 1885 een patent kreeg. Onafhankelijk daarvan werkte Carl Benz in 1885 aan een (driewiel-)auto uitgerust met een benzinemotor, zie figuur 3. De grootste verbeteringen aan de zware oliemotor zijn gedaan door Rudolf Diesel, die zijn eerste patenten kreeg in 1892. Tot 1905 produceerde Frankrijk het grootste aantal voertuigen: in 1905 reden er al ongeveer vijftigduizend auto's rond. Deze leidende rol werd kort daarna overgenomen door de Verenigde Staten, mede door Henry Ford die de massaproductie introduceert. Van de T-Ford, die in 1908 op de markt wordt gebracht, worden tot 1916 maar liefst 720.000 exemplaren verkocht.



Figuur 3 Eerste auto met benzinemotor van Benz uit 1886

Aan het eind van de 19^e eeuw verschijnt de eerste auto in Nederland. In 1900 rijden er al ruwweg 200 personenwagens rond, en dat aantal groeit gestaag naar ruim 7,256 miljoen in 2006 [BOVAG-RAI, 2006]. Hoewel na de tweede wereldoorlog de auto beschikbaar kwam voor het grote publiek, blijkt uit figuur 4 dat in 1960 nog geen 5% van de Nederlanders een auto bezat. De auto is dan nog steeds voorbehouden aan een kleine elite. Na 1960 groeit het percentage Nederlanders dat een auto bezit echter snel naar 33% in 1990, waarna dit percentage langzaam blijft doorgroeien naar 45% in

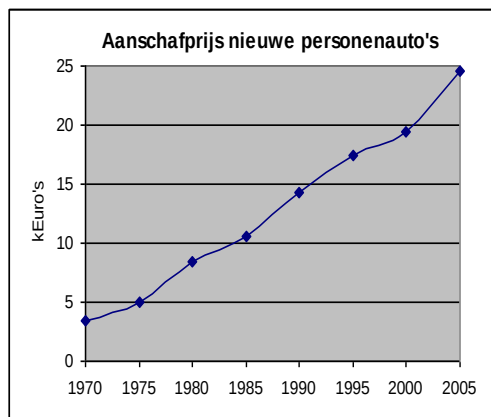
2006. Daarmee is de auto in de vorige eeuw gegroeid van een gadget voor de elite naar consumentenproduct voor de massa.



Bron CBS

Figuur 4 Ontwikkeling van autopark en Nederlandse bevolking in de vorige eeuw

Dat de hedendaagse auto een technologisch hoogstandje is, hoeft hier geen verder betoog. Dat de technologische ontwikkelingen in razend tempo zullen doorgaan blijkt onder andere uit diverse visie documenten van “the European Council for Automotive R&D” [EUCAR, 2004], “the European Road Transport Advisory Council” [ERTRAC, 2004] en “European Automotive Research Partner Association” [EARPA, 2003]. Het aantal systemen, en hun onderlinge samenhang, neemt continue toe waardoor de complexiteit onevenredig sterk toeneemt. Aan al deze verbeteringen en innovaties hangt een prijskaartje. Uit figuur 5 blijkt dat de gemiddelde aanschafprijs van een nieuwe auto de laatste decennia stijgt met ruwweg duizend euro per jaar en daarmee de inflatie overstijgt.



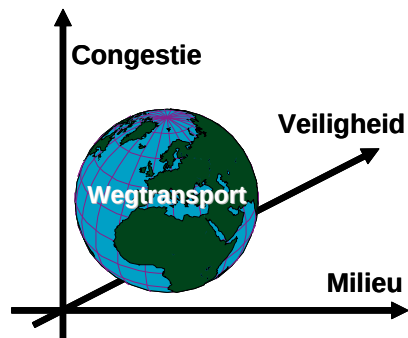
Bron RDC/RAI

Figuur 5 Ontwikkeling van de aanschafprijs van nieuwe auto's in Nederland

3. Het verkeerstrauma probleem

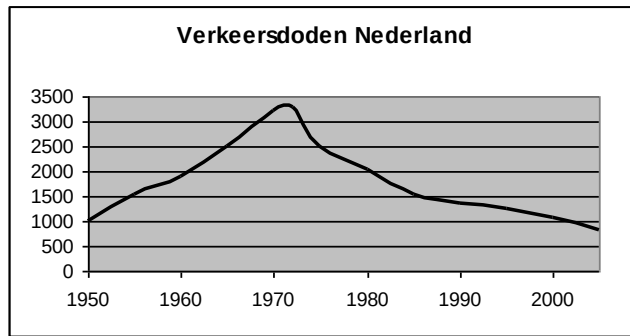
Zowel in de VS als de EG vindt het overgrote deel van het personen- en goederenvervoer over de weg plaats. In Nederland werd in 2005 met personenvervoer, gemeten over alle inwoners, gemiddeld ruim 32 km per dag afgelegd. Daarvan werd bijna 25 km ofwel 75% met een auto afgelegd. Van het totaal binnenlands goederenvervoer van 640 miljoen ton in 2005, werd 540 miljoen ton, dus

zelfs bijna 85%, over de weg getransporteerd [CBS, 2007]. Goed wegtransport is daarmee een belangrijke voorwaarde voor economische groei. Het eist echter ook een hoge tol. In Nederland blijft het autogebruik toenemen met als gevolg de nodige uitdagingen om de maatschappelijke knelpunten rond veiligheid, milieu en congestie in de hand te houden, zie figuur 6. Teneinde een duurzame groei van het wegtransport te waarborgen, worden door middel van regelgeving uitdagende doelstellingen geformuleerd. De Nederlandse lange termijn doelstellingen zijn vastgelegd in de 'Nota Mobiliteit' [V&W/VROM, 2004]. In 2020 staan we 40% minder in de file dan in 2000, de uitstoot van fijn stof en stikstof daalt met ongeveer 40% en het aantal verkeersdoden daalt met minimaal 45%.



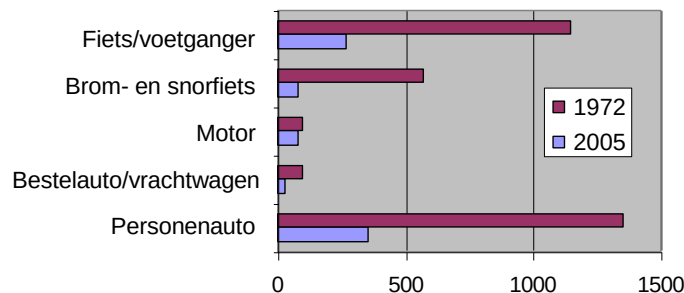
Figuur 6 Maatschappelijke uitdagingen wegtransport

In het wegtransport blijkt volgens de European Transport Safety Council (ETSC) de meeste doden per afgelegde afstand te vallen. Per 100 miljoen afgelegde personen kilometers is dit voor wegverkeer 0.95 (Motor, bromfiets = 13.8; Voetganger = 6.4; Fiets = 5.4; Auto = 0.7; Bus = 0.07), voor veerboten 0.25, voor burgerluchtvaart 0.035 en voor spoorwegen 0.035. Zoals in de inleiding al naar voren kwam is Nederland al een van de meest verkeersveilige landen ter wereld. Figuur 7 laat zien dat het aantal verkeersdoden rond 1970 piekt met ruim 3200 verkeersdoden [SWOV, 2007]. Dit is gereduceerd tot ruim 800 in 2006, ofwel ruwweg een kwart, waarmee in de 35 jaar na deze piek al veel is bereikt. De maatschappelijke kosten van de verkeersonveiligheid zijn echter nog steeds veel te hoog. De SWOV heeft deze voor 2003 geschat op ruim 12 miljard euro, waarvan bijna de helft immateriële kosten in de vorm van leed, pijn, verdriet en verlies aan levensvreugde. Er is de maatschappij dan ook veel aan gelegen het aantal verkeersslachtoffers drastisch verder te verlagen. De 'Nota Mobiliteit' [V&W/VROM, 2004] stelt het maximum aantal verkeersdoden in 2020 op 580, en het aantal gewonden op 12.250. De tussenliggende doelstelling voor 2010 ligt op 750 doden (aangescherpt in 2006 van 900) en 17.000 gewonden. Tot 2010 zullen extra verkeersmaatregelen de veiligheid op de Nederlandse wegen moeten vergroten. Na 2010 zal de verbeterde verkeersveiligheid vooral moeten komen uit nieuwe voertuigtechnologie die ongevallen helpt voorkomen en de gevolgen ervan beperkt (SWOV, 2007).



Figuur 7 Totaal aantal verkeersdoden in Nederland tussen 1950 en 2005

In de 50er jaren vallen de meeste verkeersdoden onder voetgangers en fietsers. Daarna neemt het aantal verkeersdoden onder autoinzittenden snel toe, en vanaf de 60er jaren zijn het vooral autoinzittenden die het leven laten. Ook het aantal verkeersdoden onder brom- en snorfietsen neemt van enkelen in 1950, snel toe tot ruwweg 600 eind 60er jaren. Uit figuur 8 blijkt dat vanaf 1970 zowel het aantal verkeersdoden onder kwetsbare verkeersdeelnemers (voetgangers, fietsers, brom- en snorfietsers) als autoinzittenden sterk is afgenomen.



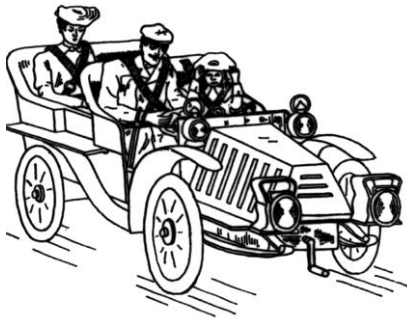
Figuur 8 Verkeersdoden naar verkeersdeelname (Nederland 2005)

Het ongevalrisico (aantal dodelijke ongevallen per afgelegde kilometer) daalt sinds 1985 voor zowel voetgangers als fietsers en autoinzittenden met 4 a 5% per jaar. Onder voetgangers vallen de meeste verkeersdoden onder kinderen tot 10 jaar en ouderen boven de 70. Ook onder de fietsers zijn het vooral de ouderen boven de 70 jaar die het slachtoffer zijn. Onder bestuurders van personenwagens valt het grootste aantal verkeersdoden onder de 20- tot 40-jarigen. Opvallend is daarbij dat het aantal enkelvoudige auto-ongevallen (ongevallen waarbij geen andere weggebruikers betrokken zijn) al jaren nauwelijks daalt, terwijl andere typen ongevallen waarbij auto's betrokken zijn wel afnemen. De meeste verkeersdoden vallen nog steeds op wegen met een snelheidslimiet van 50 of 80 km/uur. Het ongevalrisico op deze wegen is de afgelopen decennia echter wel gedaald.

4. Actieve- en passieve voertuigveiligheid

Dat men zich bewust was van de veiligheidsrisico's van auto's blijkt wel uit de 'Red Flag Act' die in Engeland tussen 1865 en 1896 gold. Daarin werd bepaald dat voor iedere auto iemand met een rode vlag moest lopen, om zo het publiek te waarschuwen dat er een auto aankwam. De Fransman Gustave-Desire Leveau octrooieerde in 1903 een riemenstelsel dat tot doel had te voorkomen dat de inzittenden, bij een botsing, uit

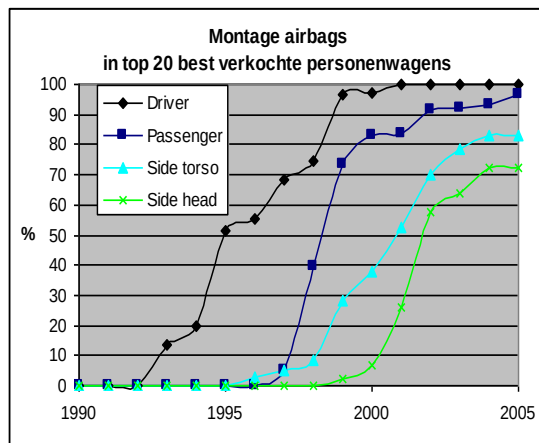
het voertuig geslingerd werden, zie figuur 9. Behalve in autoraces werden dergelijke riemenstelsels echter nauwelijks toegepast.



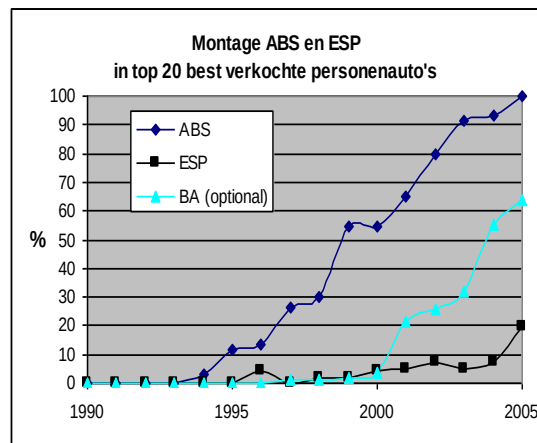
Figuur 9 Riemenstelsel van Leveau (octrooi uit 1903)

Het doel van de later ontwikkelde *veiligheidsgordels* is om een energie absorberende verbinding te maken tussen de inzittende en het voertuig. Hierdoor wordt tijdens een ongeval de inzittende zo goed mogelijk binnen de beschermende passagierskooi gehouden terwijl contact met harde interieurdelen zoveel mogelijk wordt voorkomen. Tevens worden de vertragingen en krachten die op het lichaam van de inzittende werken beperkt door de energie absorberende kreukelzone en gordels. Pas in 1955 besluiten Ford Motor Company en Chrysler Corporation de veiligheidsgordel als optie bij de auto te leveren. In 1966 gingen alle autofabrikanten in de Verenigde Staten over tot het vrijwillig installeren van een gordelsysteem op alle zitplaatsen. In Nederland wordt in 1971 voor nieuwe personenwagens de aanwezigheid van autogordels voorin verplicht gesteld, en in 1975 het dragen daarvan. In 1990 werd voor nieuwe personenwagens ook de montage van autogordels achterin verplicht gesteld, en in 1992 het dragen daarvan. Als een van de inzittenden geen gordel draagt waarschuwt de Seat Belt Reminder (SBR) de bestuurder via een lampje, of sinds 1997 ook mogelijk akoestisch (bij snelheden boven de 15 km/uur).

De *airbag* is gepatenteerd door John Hetrick in 1952. Hierbij moet, nadat een sensor een botsing heeft geconstateerd, een luchtzak snel met gas worden gevuld. De inzittende wordt tegen dit relatief zachte oppervlak geslingerd waardoor gas uit de luchtzak wordt geperst en deze een dempende werking krijgt. Een belangrijke stap naar de toepassing van de airbag wordt midden 60er jaren gemaakt door Allen Breed die een sensor ontwikkelt om een botsing vast te stellen. Pas midden 70er jaren worden de eerste airbags, door General Motors en Ford Motor Company, in productieauto's toegepast. Vanaf 1989 wordt in de VS voor de bestuurder een airbag of een zich automatisch aanleggende driepuntsgordel verplicht. Uit figuur 10 blijkt dat de frontale airbag voor de bestuurder in 1999 in bijna alle in Nederland nieuw verkochte personenwagens is gemonteerd. In 2005 is dit ook het geval voor de frontale airbag voor de voorpassagier, terwijl eveneens de airbags voor bescherming tegen zijwaartse botsingen in de meeste nieuw verkochte voertuigen is gemonteerd.



10: bron ECMD



11: bron ECMD

Figuur 10 Montage van airbags als standaardoptie op de basismodellen van de top 20 in Nederland best verkochte personenwagens

Figuur 11 Montage van ABS en ESP als standaardoptie op de basismodellen van de top 20 in Nederland best verkochte personenwagens

Bovengenoemde passieve of primaire veiligheidssystemen als de kooiconstructie, kreukelzone, gordels en airbags zijn erop gericht de letselernst van de slachtoffers van een ongeval te beperken. Actieve of secundaire veiligheidssystemen ondersteunen de bestuurder in het voorkomen van een ongeval.

Midden 50er jaren van de vorige eeuw is het *remsysteem* van personenwagens belangrijk verbeterd door het toepassen van schijfremmen. Vanaf midden 70er jaren zijn diverse intelligente tractie- en remsystemen op de markt gebracht waarmee de grip op de weg wordt verbeterd. Het Anti-lock Braking System (ABS) wordt in 1978 in productieauto's opgenomen en heeft, zoals geïllustreerd wordt in figuur 11, sinds 1994 een gestage groei doorgemaakt waardoor het nu in bijna alle productieauto's standaard wordt gemonteerd. Het ABS systeem meet de wielrotaties en gebruikt dit om de remmen aan te sturen waardoor het voorkomt dat een of meerdere banden blokkeren (ze glijden dan over de weg in plaats van rollen). Hierdoor kan de bestuurder tijdens het remmen het voertuig blijven besturen en zal bij rechtuit remmen de remafstand worden verkort. Het Electronic Stability Control (ESC) of Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP), geïntroduceerd in productieauto's midden 90er jaren, gaat een stap verder. Door ook de laterale voertuigversnelling en de gierhoek te meten zorgt het ESP ervoor dat het voertuig de richting volgt die de bestuurder via het stuurwiel aangeeft. Door een of meerdere voor- en/of achterwielen te remmen wordt onderstuur of overstuur zoveel mogelijk voorkomen. Zoals uit figuur 11 blijkt werd ESP in 2005 nog slechts in een op de vijf nieuw verkochte auto's als standaardoptie gemonteerd en blijft daarmee vooralsnog ver achter bij ABS.

De intelligente rem- en stuursystemen die de stabiliteit en wendbaarheid van het voertuig verhogen worden steeds verder in samenhang ontwikkeld waardoor het voertuig sneller kan manoeuvreren. Dit geeft de bestuurder een grotere kans een potentiële botsing te ontlopen. Veel ongevallen gebeuren echter door niet of te laat reageren door de bestuurder. Om dit te ondervangen is er vanaf de 90er jaren van de vorige eeuw, een nog steeds toenemende, aandacht voor de ontwikkeling van *Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)*. Diverse van deze bestuurder ondersteunende systemen zijn het laatste decennium al op de markt gebracht. Zo

wordt het zicht op de weg, op verkeersborden en op andere weggebruikers steeds beter door koplampen die meebewegen bij het nemen van bochten; buitenspiegels gecombineerd met dode hoek camera's; infrarood systemen voor het rijden in het donker en camera's voor achteruit rijden of parkeren.

Door toepassing van sensoren die de omgeving van het voertuig monitoren kan de bestuurder gewaarschuwd worden voor gevaarlijke situaties, en geholpen worden ongevallen te voorkomen. Als een botsing onvermijdbaar is, kan het ADAS door een bijsturing van de voertuigbeweging en/of vroegtijdige activering van gordels en airbags de letsels van de inzittenden verminderen. Deze laatste synergie tussen actieve- en passieve veiligheidssystemen wordt wel aangeduid met integrale veiligheidssystemen.

Uit het voorgaande blijkt dat ADAS veel mogelijkheden bieden om de verkeersveiligheid te verhogen. Ze werpen ook de nodige uitdagingen op, waaronder maatschappelijke (bijv. frequentie allocatie voor radars en telematica), wettelijke (bijv. de aansprakelijkheid als ADAS een deel van de controle van het voertuig overneemt) en technische. Op de diverse ADAS en enkele technische uitdagingen wordt later in deze verhandeling in meer detail ingegaan.

5. De bestuurder als kritische factor voor de verkeersveiligheid

Een auto veilig door het hedendaagse verkeer loodsen is geen eenvoudige taak, zeker niet onder slechte weersomstandigheden en bij complexe of onoverzichtelijke verkeerssituaties. Op basis van het inzicht van de bestuurder in het gedrag van het eigen voertuig, het omringende verkeer en de ter plekke geldende verkeersregels besluit de bestuurder om te versnellen, sturen of remmen waarmee de gewenste manoeuvres worden uitgevoerd om de geplande route te volgen. De concentratie en rijvaardigheid nemen af bij toenemende vermoeidheid van de bestuurder. Het is dan ook niet verwonderlijk dat bij het overgrote deel van de verkeersongevallen de oorzaak, minstens ten dele, bij een menselijke fout ligt.

Volgens Rasmussen kunnen drie gedragniveau's worden onderscheiden waarop een mens in staat is een apparaat te bedienen [Rasmussen, 1983]:

- handelen op basis van kennis (knowledge based behaviour) waarbij de actie wordt bepaald door diverse mogelijkheden onderling af te wegen,
- handelen op basis van regels (rule based behaviour) waarbij de actie wordt bepaald op basis van in het verleden opgedane ervaringen,
- handelen op basis van vaardigheden (skill based behaviour) waarbij zeer snel en bijna automatisch wordt gereageerd.

Vanuit de optiek van een bestuurder heeft Michon de rijtaak op basis van de tijdshorizon of hiërarchie opgedeeld [Michon, 1985]:

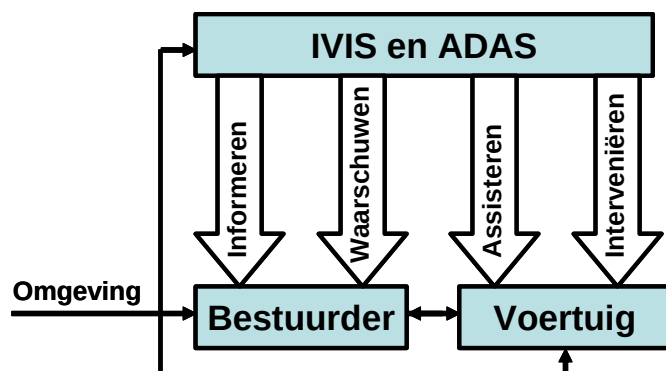
- navigeren, waarbij op basis van de te bereiken bestemming de meest geschikt geachte route wordt gekozen,
- manoeuvreren, waarbij de bestuurder het voertuig over de gekozen route leidt daarbij onder andere rekening houdend met het direct omringende verkeer,
- aansturen, waarbij de bestuurder de bewegingen van het voertuig controleert door het bedienen van de rempedaal, de gaspedaal en het stuurwiel.

De diverse acties en besluiten die een bestuurder moet nemen tijdens het rijden kunnen zowel worden ingedeeld op basis van gedrag als hiërarchie. Tabel 1 geeft hiervan een aantal voorbeelden [Hoedemaeker, 1999].

	Navigeren	Manoeuvreren	Aansturen
Kennis	Bepalen route in een onbekende omgeving	Het onder controle houden van een slippende wagen	Onervaren bestuurder tijdens diens eerste rijles
Regels	Kiezen tussen voor de bestuurder bekende routes	Inhalen van ander verkeer	Besturen van een onbekend voertuig
Vaardigheden	Volgen van de dagelijkse route tussen huis en werk	Passeren van een bekend kruispunt	Het nemen van een bocht

Tabel 1 Menselijk gedrag (vertikaal) en hiërarchie van de rijtaak (horizontaal)

Tijdens het rijden neemt de bestuurder voortdurend allerlei informatie tot zich rond het eigen voertuig en het gedrag van andere weggebruikers, alsmede via signalering en meldingen op wegkant systemen. De bestuurder hoort het band-, motor- en rijwind geluid en voelt trillingen via stuurwiel, pedalen en stoel. In-Vehicle Information Systems (IVIS) geven de bestuurder additionele informatie. ADAS waarschuwen of assisteren de bestuurder. Figuur 12 geeft een schematische voorstelling van deze informatiestromen.



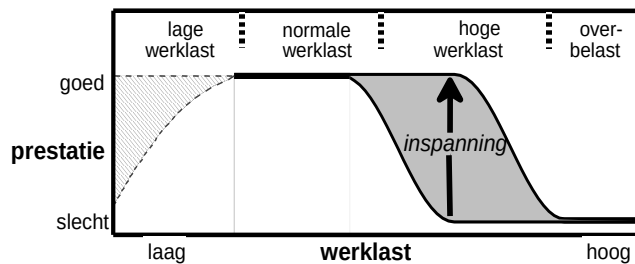
Figuur 12 Informatiestromen tussen bestuurder, voertuig en ondersteunende systemen.

Diverse factoren waaronder de ervaring van de bestuurder, diens fysieke gesteldheid, afleiding (praten, eten, roken) en werklast bepalen hoe goed deze de complexe rijtaak kan uitvoeren. De werklast is daarbij een complexe grootheid die voor een bestuurder in ruwweg drie categorieën kan worden ingedeeld:

- visuele werklast (met name bepaalt door het aantal verschillende bronnen waar de bestuurder naar moet kijken),
- fysieke werklast (met name bepaalt door de handelingen van de bestuurder met handen en voeten),
- mentale werklast (met name bepaalt door de hoeveelheid informatie die de bestuurder verwerken).

Vooral de mentale werklast van de bestuurder is van belang voor diens rijprestatie en daarmee de verkeersveiligheid. Enerzijds zijn veel ongevallen het gevolg van concentratie verlies of zelfs het in slaap vallen van de bestuurder. Anderzijds bestaat het gevaar dat de bestuurder wordt overspoeld met informatie. Ook plotselinge pieken in werklast, bijvoorbeeld als de bestuurder onverwacht met een complexe

verkeerssituatie wordt geconfronteerd, zijn ongewenst. Als aangegeven in figuur 13 zal zowel een te lage als een te hoge werklast de rijprestaties nadelig beïnvloeden.



13: bron TNO-D&V)

Figuur 13 Rijprestatie versus werklast van de bestuurder

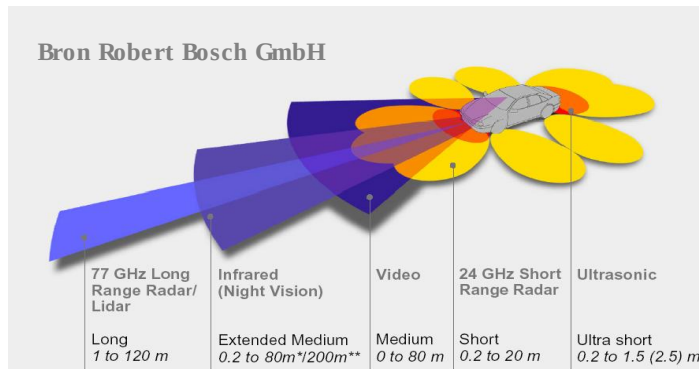
Voor een optimale rijprestatie moet zoveel mogelijk een juiste werklast voor de bestuurder worden nagestreefd. Met name de informatie die de bestuurder via IVIS en ADAS krijgt moet in goede harmonie gebeuren tussen mens en machine. Een goed ontworpen multimedia adaptieve interface zal ervoor zorgen dat de werklast van de bestuurder zoveel mogelijk op het gewenste niveau ligt. Deze interface zal de op dat moment relevante informatie selecteren en deze zodanig stroomlijnen dat de bestuurder op het juiste moment, de juiste informatie van de verschillende systemen krijgt. Ook zal deze er zorg voor moeten dragen dat er geen onderbelasting is door te weinig stimuli (de zogenaamde snelweg-hypnose) en er geen nodeloze herhalingen zijn. Om de juiste informatie te bepalen is het onder andere nodig de verkeerssituatie en de toestand van de bestuurder in te schatten. Dan kan, als een afnemende alertheid van de bestuurder wordt geconstateerd, de bestuurder eerder of meer indringend worden gewaarschuwd. Als een gevaarlijke verkeerssituatie wordt geconstateerd kan de intelligente interface onder andere de niet direct noodzakelijke informatie naar de bestuurder beperken.

6. Bepalen van de toestand van het voertuig, het verkeer en de bestuurder.

Om een intelligent voertuigstelsel in staat te stellen een positieve bijdrage te leveren zal deze in ieder geval de huidige toestand van het te beïnvloeden systeem moeten kennen of deze zo goed mogelijk moeten schatten. Voor ADAS betreft dit het voertuig en het omringende verkeer en, afhankelijk van hoe intelligent de bestuurdersinterface is, ook de bestuurder.

Voor het monitoren van de beweging van *het voertuig* en de verschillende voertuigsystemen als de wielophanging, het remsysteem en het stuursysteem, worden voornamelijk bewegingsensoren en krachtsensoren gebruikt. In veel hedendaagse personenwagens is ieder voertuigstelsel daarbij uitgerust met zijn eigen sensoren en regelaar. De verschillende voertuigsystemen beschikken daardoor niet over dezelfde informatie en streven niet noodzakelijkerwijs in alle situaties het zelfde doel na. Ze kunnen elkaar zelfs tegenwerken. Door, daar waar nodig geacht, de regelaar van een voertuigstelsel afhankelijk te maken van een regelaar voor het voertuig als geheel, kan dit worden teruggebracht. De toestand van het voertuig kan daarbij worden bepaald door alle relevant geachte sensorsignalen te bundelen en hun onderlinge consistentie te bepalen. Dit gebeurt met behulp van een intelligent on-line filter dat gebruik maakt van een wiskundig model van het voertuig. Naast een eenduidige

kwalitatief goede set van gemeten sensordata kan met behulp van dit model sensordata worden uitgerekend die niet daadwerkelijk gemeten is (virtuele sensoren). Zo kan de voor een ESP systeem belangrijke zijwaartse voertuigsnelheid betrouwbaar bepaald worden zonder gebruik te maken van voor productieauto's (te) dure sensoren. Als gemeten sensordata teveel afwijkt, kunnen diagnose systemen daarvan gebruik maken om een inschatting te maken of de sensor of het (sub)systeem niet naar behoren functioneert. Het geheel is daarmee meer dan de som der delen, en door de sensoren van de verschillende systemen te combineren kan de toestand nauwkeuriger, betrouwbaarder en (bij uitsparing van sensoren) ook nog goedkoper worden bepaald.



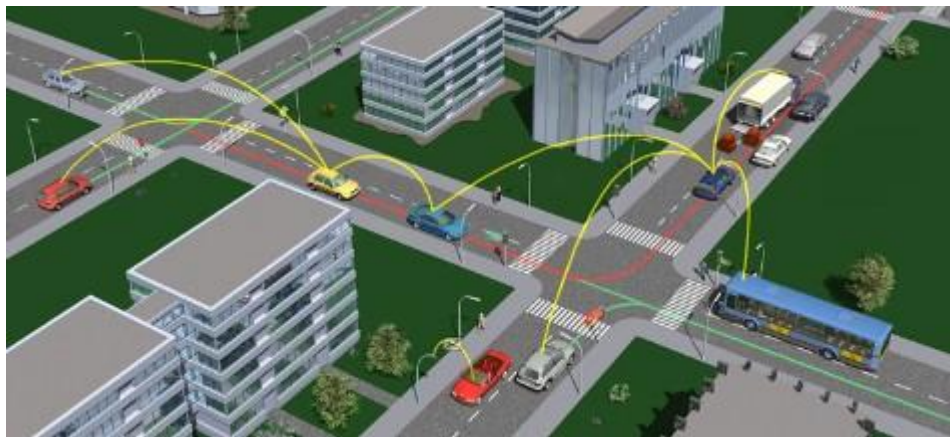
Figuur 14 Sensoren voor monitoren directe omgeving personenwagen

Het monitoren van *het verkeer* rond het eigen voertuig is een aanzienlijk moeilijkere opgave dan het monitoren van de beweging van het voertuig zelf. Hiervoor worden aan het voertuig verbonden omgevingsensoren als radar-, laser-, lidar-, video- en ultrasoon sensoren gebruikt, zie figuur 14. Iedere sensor zal daarbij een bepaald wereldbeeld waarnemen. Afhankelijk van de gebruikte techniek kunnen objecten voor de sensor onzichtbaar blijken of kan de sensor juist objecten detecteren die er in werkelijkheid niet zijn (zogenaamde ghost objects). Zo zal een laser of lidar (gebruikt laser in het infrarood spectrum) onder niet ideale weersomstandigheden moeite hebben objecten te vinden en volgen, en kunnen ook vieze niet reflecterende voertuigen onopgemerkt blijven. Radar voor kortere afstanden gebruikt nu 24 GHz- en voor de langere afstanden 77 GHz technologie. Video heeft een breed blikveld maar om met behulp van video de snelheid van een object te bepalen zijn twee camera's nodig (stereo vision). Uit alle gevonden metingen moeten objecten worden geïdentificeerd. Om onderscheid te maken tussen verkeersdeelnemers en het wegmeubilair, wordt de beweging van ieder van de objecten bepaald ten opzichte van het voertuig. Door deze relatieve beweging te corrigeren voor de eigen voertuigbeweging, kan bepaald worden dat een object niet beweegt en dus waarschijnlijk geen verkeersdeelnemer is. Van de overblijvende objecten zal, vaak op basis van snelheden en afstand, degene die het meest relevant is worden gekozen (Most Important Object).

Om bijvoorbeeld op een snelweg een juiste snelheid en afstand tot de voorganger te bepalen zal de regelaar, op basis van de relatieve snelheid en onderlinge afstand tussen het eigen voertuig en het MIO, de gewenste voertuigversnelling bepalen rekening houdend met veiligheid en comfort (bijvoorbeeld bij plotseling invoegend verkeer). Daarbij moet de sensor zijn voorganger niet uit het oog verliezen als deze een bocht in de weg volgt, waardoor het regelaar zou kunnen concluderen dat de weg vrij is en vervolgens maximaal wil versnellen.

Om op een kruispunt potentieel gevaarlijke situaties in te schatten is het, naast het identificeren van de verschillende verkeersdeelnemers, ook nodig een inschatting te maken van hun toekomstige bewegingen. Nadat eerst de objecten zijn gefilterd waarmee geen botsing mogelijk lijkt (bijvoorbeeld van het voertuig weg bewegende objecten), worden de relatieve bewegingen van de overblijvende objecten bepaald. Hiermee worden mogelijke ongevalsscenario's bepaald en onderling gewogen (bijvoorbeeld op kans van optreden en de gevolgen voor betrokkenen). Op basis daarvan wordt bepaald of, en zo ja, welke acties te nemen. Dit is een uiterst complex proces waarbij relatieve bewegingen nauwkeurig en betrouwbaar moeten worden bepaald.

De inherente beperkingen van de verschillende sensoren kan worden verminderd door een combinatie van verschillende typen sensoren te gebruiken (sensorfusie). Alle door de verschillende sensoren gevonden relevante objecten kunnen dan onderling vergeleken worden waaruit een eenduidige set met objecten en hun eigenschappen (bijvoorbeeld type, positie en beweging) kan worden opgesteld. Dit alles moet wel binnen een fractie van een seconde gebeuren wat zeer hoge eisen stelt aan de gebruikte hardware en software.



Figuur 15 Ad-hoc communicatie netwerk (Bron WillWarn)

De bestuurder en de omgevingsensoren hebben een beperkt blikveld, onder de meest gunstige omstandigheden een paar honderd meter. Als voertuigen met elkaar kunnen communiceren, zou wat het ene voertuig ziet of ervaart over een veel grotere afstand, of voorbij een bocht of vanuit een kruisende weg, aan andere voertuigen kunnen worden doorgegeven (eHorizon). Idealiter is de positie ieder voertuig bekend via de Global Positioning Satellite (GPS) module van het navigatiesysteem. Een draadloos communicatie systeem WLAN (Wireless Local Area Networks), verzendt en ontvangt data van voertuigen die zich in de directe omgeving bevinden. Zo vormt zich een ad-hoc communicatie netwerk met snel wisselende samenstelling. Door data van andere voertuigen onderling door te geven, zie figuur 15, kan een veel groter gebied worden bestreken dan het bereik van WLAN (ruwweg 100 meter in- en 500 meter buiten de stad). Op basis van deze data kan een intelligent voertuigstelsel zich dan een beeld vormen van de weg- en verkeerscondities ver buiten diens visuele horizon. Om goed te werken moeten wel voldoende voertuigen zijn uitgerust met het communicatie systeem (de penetratie graad). Voor applicaties als tolheffing of infotainment kan de penetratie graad zeer laag zijn, het betreft namelijk communicatie tussen een voertuig en een wegstelsel. Voor de verbetering van de verkeersveiligheid moet de penetratie graad zeer hoog zijn, ieder gemist voertuig kan er een teveel zijn. Grote

uitdagingen voor de invoering van dergelijke communicatie systemen zijn onder andere standaardisatie (o.a. de 5.8 GHz radio frequentie), fraude gevoeligheid en bescherming van de privacy.

Voor diverse ADAS is het monitoren van *de bestuurder* van belang. Afhankelijk van het ADAS betreft dit het gewicht van de inzittenden, de positie van de inzittenden, de rijhandelingen en alertheid van de bestuurder te monitoren. Het gewicht kan bepaald worden met druksensoren in de stoelzitting en daarmee kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt tussen volwassenen en kinderen. Hierop kan de gasstroom naar de airbag verminderd worden zodat deze een kind niet onnodig verwondt. De positie van de inzittenden voorin de auto kan worden bepaald met (infrarood of video) camera's en is van belang bij het activeren van de inzittenden beveiligingsmiddelen. Als de bestuurder voorovergebogen zit, kan deze bij een ongeval minder naar voren bewegen voordat het voertuiginterieur wordt geraakt, waardoor de kans op letsel aanzienlijk zal toenemen. Als er door de botsing een airbag wordt geactiveerd kan deze tijdens het opblazen de voorovergebogen bestuurder ernstig verwonden. Door eerst de gordel aan te spannen wordt de bestuurder in de goede positie getrokken en kunnen de inzittenden beveiligingsmiddelen hun beschermende werk goed uitvoeren. Door het meten van de rijhandelingen van de bestuurder met behulp van bewegingsensoren in het stuurwiel en de rem- en gaspedaal, is het mogelijk de intenties van de bestuurder ten aanzien van het manoeuvreren van het voertuig in te schatten.

Het inschatten van de alertheid van de bestuurder op basis van de informatie van camera's die naar de bewegingen van het hoofd, de oogleden of zelfs de positie van de iris in het oog kijken (hoeveel wit is er aan iedere zijde) is een grote uitdaging. Enerzijds om een betrouwbare conclusie ten aanzien van de alertheid van de bestuurder uit deze bewegingen te destilleren. Anderzijds om dit te kunnen monitoren onder alle weersomstandigheden (dag, nacht, vel zonlicht) en ook voor bestuurders die een (reflecterende) bril of zelfs een zonnebril dragen. Het is vooralsnog eenvoudiger en minder indringend voor de bestuurder, om een afnemende rijvaardigheid te meten, bijvoorbeeld door het aantal stuurcorrecties te bepalen.

7. Intelligente voertuigsystemen ter verhoging van de verkeersveiligheid

Een mogelijke opdeling van actieve veiligheidssystemen, met enkele voorbeelden, is in figuur 16 weergegeven. De mate van ondersteuning neemt daarbij toe evenals de kans op een ongeval.

Actieve veiligheid			
Systemen ter voorkoming van een ongeval			
Informereren	Waarschuwen	Assisteren	Interveniëren
Waarschijnlijkheid ongeval			
Routepanner ALC/Night vision	LDW Collision Warning	LKA Brake assist	Pre-crash system ABS/ESP

Figuur 16 Schematische opdeling van systemen ter voorkoming van een ongeval

Gelukkig zal in het overgrote deel van de tijd de bestuurder op een normale manier aan het verkeer deelnemen. Deze heeft dan het meeste belang bij informatieve- en comfort verhogende systemen. Zeker als de bestuurder zich op onbekend terrein begeeft, zal een routeplanner het comfort van de bestuurder verhogen. Zo ook Cruise Control (CC), waarbij de bestuurder een gewenste voertuigsnelheid opgeeft die het voertuig zal blijven aanhouden totdat de bestuurder door het indrukken van een van de pedalen het systeem uitzet. Adaptive Cruise Control (ACC) gaat een stap verder. Met behulp van een sensor aan de voorzijde van de auto bepaalt ACC ook de afstand tot de voorligger, en vergelijkt deze met een minimaal gewenste volgafstand. Het ACC systeem waarschuwt de bestuurder als de volgafstand te klein wordt, of zal (de actieve variant) de voertuigsnelheid verminderen en als de weg weer vrij is het voertuig laten accelereren naar de ingestelde snelheid. Met de meer recente radar sensoren kan dit tot stilstand, waarmee het systeem ook in een file kan worden gebruikt (Stop & Go).

Het ACC kan ook uitgebreid worden met een scherm waarop continue de tijd wordt aangegeven die nodig is om de onderlinge afstand te overbruggen (de Time-To-Collision, TTC). Door bij verhoogt risico de kleur op het scherm te laten veranderen, en bij kritische situaties ook een geluidssignaal af te geven, wordt de bestuurder extra alert gemaakt.

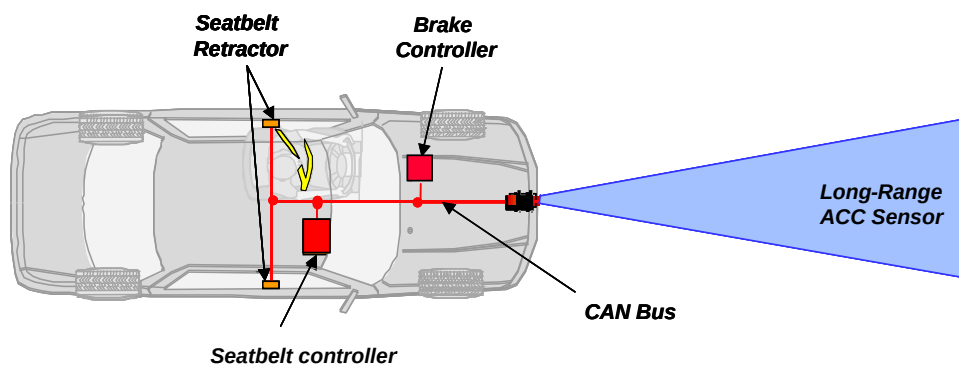
Systemen die de bestuurder helpen bij het rijden in het donker, zijn intelligente verlichting en nachtzicht systemen. Bij intelligente verlichting wordt de stralenbundel aangepast aan de snelheid van het voertuig en de aard van de weg (Adaptive Light Control, ALC). De nachtzicht systemen werken met infrarood sensoren waarmee bij slecht zicht onder andere vangrails en voetgangers extra kunnen worden geaccentueerd (Night Vision: near/far infrared, NIR/FIR). Een belangrijke uitdaging hierbij is om op het goede moment het juiste beeld op het scherm te tonen, zodat de bestuurder niet onnodig wordt afgeleid.

Als er een gevaarlijke situatie dreigt te ontstaan, waarbij er nog voldoende mogelijkheden zijn om deze te ontlopen, volstaat het de bestuurder hierop attent te maken. Ook hier is het van groot belang de bestuurder op de meest geschikte wijze (visueel, akoestisch of haptisch), tijdig, maar niet onnodig (vaak) te waarschuwen. De gealarmeerde bestuurder zal zelf actie moeten nemen om het gevaar af te wenden. Zo kan een Lane Departure Warning (LDW) systeem, dat een video camera gebruikt om vast te stellen of het voertuig teveel afwijkt van het midden van de rijbaan, een geluidssignaal afgeven dat klinkt alsof het voertuig over een oneffen witte lijn rijdt. Een Lane Change Assistant (LCA) waarschuwt de bestuurder visueel of zelfs via een trilling in het stuurwiel, als deze van baan wil veranderen terwijl er zich een voertuig naast bevindt, bijvoorbeeld in de dode hoek. Obstacle & Collision Warning (O&CW) waarschuwen de bestuurder als een potentiële botspartner wordt waargenomen. Naast visueel en akoestisch, kan dit ook door een korte remstoot (Warn breaking).

Als door communicatie tussen het voertuig en de infrastructuur of via een routeplanner bekend is wat de toegestane snelheid is, kan het Intelligent Speed Advice (ISA) systeem een waarschuwing geven als het voertuig deze overschrijdt. Op vergelijkbare wijze kan Curve Speed Warning (CSW) de bestuurder waarschuwen indien het voertuig een bocht met een te hoge snelheid nadert (bijvoorbeeld bij gevaar op roll-over). In diverse Europese projecten worden de mogelijkheden onderzocht tot vroegtijdige waarschuwing voor gevaarlijke situaties door middel van communicatie tussen voertuigen onderling [Prevent, 2004], [SAVESPOT, 2006], [COOPERS,

2006]. Een file, ongeval of wegwerkzaamheden verder op de geplande route (die bekend is vanuit de route planner), een glad wegdek of slechte weersomstandigheden kunnen door voertuigen die dit hebben waargenomen (de auto fungeert als mobiele sensor of snuffelpaal) aan achterliggers of tegemoetkomend verkeer worden doorgegeven. Of twee wagens die een onoverzichtelijk kruispunt naderen zouden elkaar kunnen waarschuwen, waarbij ook aangegeven wordt wie voorrang heeft.

Indien er zich een gevaarlijke situatie voordoet waarbij een waarschuwing onvoldoende wordt geacht, zijn er systemen nodig die de bestuurder assisteren om een ongeval te vermijden. Als de Brake Assist (BA) constateert, door het snel indrukken van het rempedaal door de bestuurder, dat er een noodstop wordt gemaakt zal de BA de maximale remdruk aanbrengen om daarmee een bestuurder die met te weinig kracht remt te ondersteunen. ABS en ESP zorgen er vervolgens voor dat het voertuig zo snel en stabiel mogelijk tot stilstand komt. In tegenstelling tot ABS en ESP wordt de BA vooralsnog alleen aangeboden als optie maar is desondanks al breder verspreid dan ESP, zie figuur 11. De Lane Keeping Assistant (LKA) zal de bestuurder actief ondersteunen bij het houden van de juiste koers door middel van een tegenwerkend koppel op het stuur wanneer de auto teveel uit het midden van de rijstrook raakt.



Figuur 17 Voorbeeld van een pre-crash systeem (koppeling ACC sensor aan rem- en gordelsysteem)

Al eerder is aangegeven dat het bepalen van mogelijke ongevalsscenario's met behulp van voertuiggebonden omgevingsensoren een uiterst complex proces is. Als het systeem tot de conclusie komt dat de bestuurder niet meer geacht mag worden het ongeval zelfstandig te kunnen vermijden zouden interveniërende systemen in actie kunnen komen. Zo kan een Obstacle & Collision Avoidance (O&CA) systeem de controle van het voertuig over nemen om het ongeval te vermijden of de gevolgen daarvan te minimaliseren. Het moge duidelijk zijn dat het systeem wel heel zeker van zijn zaak moet zijn, voordat het de bestuurder het heft uit handen neemt. Als het ongeval onvermijdelijk wordt geacht kunnen pre-crash systems (PCS) in actie komen, zie figuur 17. Deze kunnen de remmen of gordelaanspanners activeren, waardoor de gordels bij aanvang van de crash direct effectief zijn, en kostbare milliseconden worden gewonnen. De stap van de huidige assisterende naar de interveniërende systemen is niet alleen vanuit technisch- maar ook vanuit juridisch oogpunt zeer uitdagend [Kopf, 1999]. Foutieve handelingen door de interveniërende systemen kunnen dramatische gevolgen hebben en, aangezien de bestuurder niet meer de controle heeft over het voertuig, wie is daar dan voor aansprakelijk? Product aansprakelijkheid betekent dat de fabrikant aangesproken kan worden op schade aan

derden ten gevolge van gebreken in diens producten. Zolang onduidelijk waar deze ligt vormt dat een belangrijke barrière voor de opname van pre-crash systemen als standaard optie in productieauto's.

Ook als het ongeval al heeft plaatsgevonden kunnen de intelligente voertuigsystemen nog levens redden door hulpdiensten snel en juist te informeren. De slachtoffers zijn vaak fysisch of mentaal niet meer in staat om hulp te vragen, of hebben moeite de juiste locatie te bepalen. Van de sensoren die de crash registreren weet het voertuig dat er een ongeval is geweest, en de GPS module van het navigatiesysteem weet de exacte positie. Nu gaan hulpdiensten vaak naar de plaats van het ongeval met weinig of geen informatie over het ongeval dat heeft plaatsgevonden. Als zij geïnformeerd zouden zijn over het voertuigtype, type ongeval (bijvoorbeeld frontaal, zijdelings of roll-over) en de ernst (bijvoorbeeld snelheden of maximale vertraging tijdens botsing) zouden ze sneller en adequater kunnen reageren. Als hierdoor tijdens het eerste half uur na de crash, de hulpdiensten 5 minuten sneller reageren, kan het aantal dodelijke slachtoffers met 10% dalen! Een Pan-Europees en geharmoniseerd E-call systeem zal waarschijnlijk nog wel even op zich laten wachten omdat eerst zowel "112" als EU standaard moet worden ingevoerd en de nodige E-call centers moeten worden opgericht.

8. Beoordeling van de passieve- en actieve veiligheid

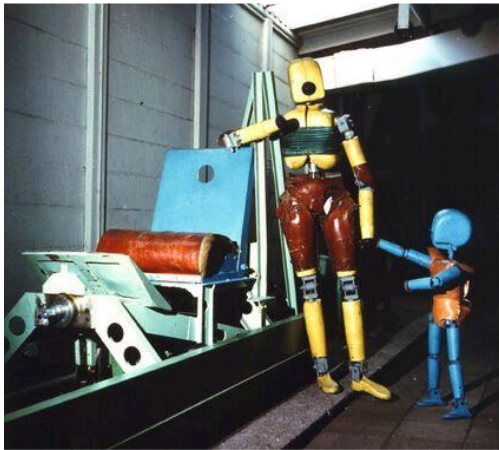
Passieve veiligheid:

In de afgelopen halve eeuw zijn vanuit overheden vele reglementen en richtlijnen opgesteld, die tot in detail beschrijven aan welke botstesten en component proeven moet worden voldaan om een wegvoertuig gecertificeerd te krijgen. Voor Nederland zijn de eisen waaraan een wegvoertuig moet voldoen opgenomen in de Wegenverkeerswet 1994: voertuigreglement, waarin vaak wordt verwezen naar Europese reglementen en richtlijnen. De certificatie testen voor onder andere de EG en de VS zijn niet identiek. Dit impliceert extra kosten voor voertuigfabrikanten die een model in beide regio's op de markt wil brengen. Om zich van andere voertuigfabrikanten te kunnen onderscheiden leggen de individuele fabrikanten zichzelf vaak extra normen op door middel van intern opgestelde zelfcertificatie testen. Dergelijke zwaardere testen worden soms opgenomen in evaluatie programma's gericht op de consument. Betere testresultaten leidt daarbij tot meer sterren, waarmee de consumentenorganisaties de voertuigen onderling rangschikken op hun mate van botsveiligheid. Het eind 70er jaren opgerichte Amerikaanse NCAP (New Car Assessment Programme) of de midden 90er jaren opgerichte Europese navolger Euro-NCAP zijn hier voorbeelden van [Euro NCAP, 1997]. Euro-NCAP richt zich vooralsnog op frontale- en zijdelingse botsingen en voetgangersveiligheid. Uitbreiding richting actieve veiligheid is gewenst maar blijkt niet eenvoudig.

Typische componenten die worden beproefd op hun botsbestendigheid en energie absorberend vermogen zijn onder andere gordels, airbags, stoelen, interieur delen en kinderzitjes. Maar bijvoorbeeld ook de motorkap wordt beoordeeld op de mate van letselvermindering bij ongevallen met voetgangers en fietsers. Typische botstesten voor personenwagens zijn frontale botstesten waarbij een voertuig geheel of gedeeltelijke overlappend tegen een star of vervormbaar stootblok wordt gereden; zijwaartse botsingen waarbij een auto of een speciaal hiervoor ontworpen slede tegen

de zijkant van het voertuig wordt gereden; statische en dynamische rollover testen en testen waarbij het voertuig in botsing wordt gebracht met wegmeubilair als vangrails en lichtmasten.

De inzittenden veiligheid wordt in hoofdzaak beoordeeld door de mate waarin de bestuurder of passagiers aan mechanische belastingen wordt blootgesteld. Door letselbiomechanica onderzoek is, op basis van proeven met vrijwilligers, verdoofde dieren en lijken, het dynamische gedrag van het menselijke lichaam onder extreme belastingsituaties zo goed mogelijk gekarakteriseerd en zijn letselcriteria opgesteld voor de verschillende lichaamsdelen. Deze kennis wordt gebruikt om mechanische modellen of proefpoppen te maken, die bij botstesten worden ingezet om daarmee een zo goed mogelijke indruk te krijgen van de belasting op de voertuiginzittenden. De eerste TNO proefpoppen Oliver (volwassene) en Pinocchio (kind) stammen uit de 60er jaren, zie figuur 18. Inmiddels is een hele familie van deze proefpoppen ontwikkeld voor verschillende botsproeven (bijvoorbeeld frontaal en zijdelings) en inzittenden (volwassenen van verschillende grootte en kinderen van verschillende leeftijd, zie figuur 19).



Figuur 18 Oliver en Pinocchio



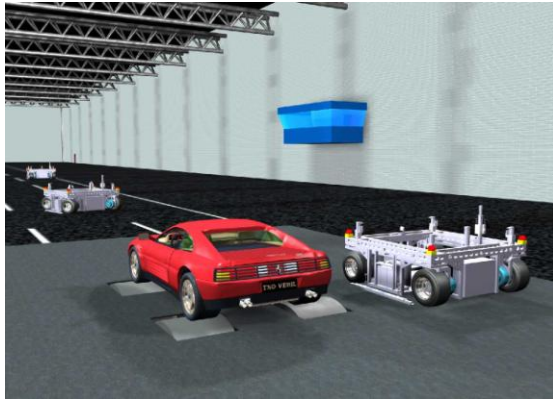
Figuur 19 Enkele proefpoppen voor botstesten

Computer programma's, als het door TNO ontwikkelde MADYMO, zijn de laatste decennia een belangrijk gereedschap voor het ontwerp van beveiligingsmiddelen (als gordels, airbags en kinderzitjes), interieurdelen (als stoelen en panelen) en de botsbestendigheid van het voertuig (als kreukelzones en kooiconstructie). Voor de eerste twee zijn wiskundige modellen van de proefpoppen essentieel. De proefpoppen kunnen worden gemodelleerd als multibody systemen waaraan contactoppervlakken zijn toegevoegd om de belasting door stoel, airbag en gordel door te geleiden. Meer recent worden de proefpoppen, evenals beveiligingsmiddelen en interieur, ook met eindige elementen gemodelleerd. Daarbij worden dezelfde speciale (expliciete) eindige elementen methoden gebruikt als voor het modelleren van kreukelzones om de rekentijd binnen de perken te houden. De eindige elementen geven de mogelijkheid tot een veel grotere mate van detail en inbreng van materiaalgedrag van de vervormbare delen van de proefpoppen, ten koste van hogere rekentijden. Een ontwikkeling die momenteel nog in volle gang is, is de stap naar daadwerkelijke mensmodellen waarbij bepaling van modelgegevens en model validatie stevige uitdagingen vormen.

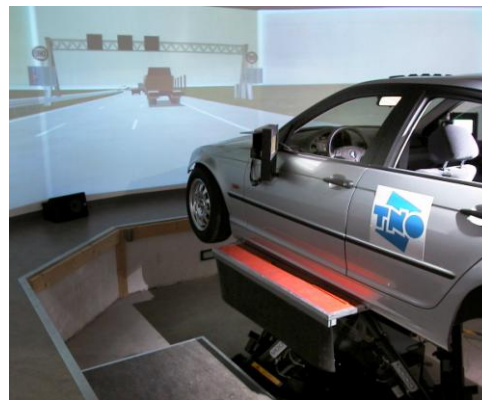
Actieve veiligheid:

Uit de vorige paragraaf blijkt dat het valideren van de botsveiligheid van een personenwagen geen eenvoudige opgave is, die van de actieve veiligheid is echter nog aanzienlijk complexer. Reglementen en richtlijnen voor de passieve veiligheid zijn volwassen, die voor actieve veiligheid staan nog in de kinderschoenen. Bij passieve veiligheid is de mens slechts het leidend voorwerp, bij de actieve veiligheid staat de bestuurder centraal (de intelligente voertuigsystemen informeren en assisteren de bestuurder). De uiteindelijke (subjectieve) evaluatie omvat dan ook altijd rijtesten op proefbanen, en op de openbare weg onder realistische verkeerscondities en weersomstandigheden. De risico's van deze testen bij puur waarschuwende systemen zijn beperkt. Bij assisterende en interveniërende systemen kunnen echter gevaarlijke situaties ontstaan. Het is dan noodzakelijk het voertuig en de verschillende systeemcomponenten eerst uitgebreid te testen in een gecontroleerde omgeving voordat men de openbare weg opgaat. Dit is helemaal evident voor veiligheidskritische systemen als pre-crash systems (PCS) waarvan een verkeerd ingrijpen dramatische gevolgen kan hebben.

Een PCS gebruikt omgevingsensoren om de nabije omgeving van het voertuig te monitoren en via voertuigensensoren wordt de beweging van het voertuig en de intentie van de bestuurder geschat. Op basis van al deze informatie moet het PCS een betrouwbare inschatting maken of er een potentieel gevaarlijke verkeerssituatie ontstaat. De complexiteit van het hedendaagse verkeer leidt echter tot een zodanig groot aantal potentiële ongevalsscenario's dat het is onmogelijk een PCS systeem voor iedere denkbare ongevalssituatie te testen. Een selectie van relevante ongevalstypen met bijbehorende parameters als voertuigsnelheden en gevolgde baan, kan worden gemaakt op basis van ongevalstatistieken. Met behulp van computer simulaties zouden hieruit de meest kritische scenario's moeten worden geselecteerd voor beproevingen. Het door TNO deze zomer op de markt gebrachte simulatie pakket PRESCAN, in combinatie met MADYMO, is momenteel het enige commercieel beschikbare pakket dat alle componenten (onder andere modellen van omgevingsensoren, voertuigen en infrastructuur) in zich heeft om dergelijke simulaties uit te kunnen voeren. Het uitvoeren van crash testen voor alle door middel van computersimulaties geselecteerde scenario's is een te kostbare aangelegenheid. Daarom worden vaak botsproeven uitgevoerd met het prototype voertuig en een uit schuim nagemaakt nepvoertuig. Omdat dit nepvoertuig echter stil staat is de realiteitswaarde van dergelijke proeven beperkt. Het door TNO ontwikkelde VEHIL (Vehicle Hardware in the Loop) concept maakt echter realistische en niet destructieve laboratorium experimenten mogelijk, waarbij de verschillende scenario's efficiënt doorlopen kunnen worden. Het concept bestaat uit een combinatie van werkelijke- en gesimuleerde voertuigen die via hun omgevingsensoren op elkaar reageren alsof ze in een gezamenlijke verkeerssituatie verkeren. Door het prototype voertuig op een rollenbank te plaatsen en speciale robotvoertuigen te gebruiken, kunnen relatieve snelheden worden gebruikt, waardoor het mogelijk is de proeven in de beperkte ruimte van een laboratorium uit te voeren, zie figuur 20. Het goed functioneren van de bestuurdersinterface kan voorafgaand aan de rijtesten in een rijsimulator worden getest, zie figuur 21.



Figuur 20 VEHIL laboratorium



Figuur 21 Rijsimulator

Vanwege hun veiligheidskritische karakter moeten actieve veiligheidssystemen voldoen aan hoge eisen ten aanzien van prestatie (hoge nauwkeurigheid), robuustheid (weersomstandigheden en wegcondities) en betrouwbaarheid. Betrouwbaarheid is daarbij een breed begrip dat onder andere ook beschikbaarheid en fraude bestendigheid inhoudt [Sommerville, 2001]. Ook als een component uitvalt, mag dat niet tot gevaarlijke situaties leiden. Daarbij kunnen veiligheidskritische systemen zo worden gebouwd dat ze immuun zijn voor een enkelvoudig defect (single fault tolerant). Dit wordt bijna altijd gerealiseerd door redundantie in het ontwerp te brengen. Kosten minimalisatie is echter een zeer belangrijk aandachtspunt binnen de voertuigindustrie. Een van de belangrijke technische uitdagingen voor intelligente systemen is daarmee het betrouwbaar monitoren van het systeem-, voertuig- of verkeersgedrag met een minimum aantal (zo goedkoop mogelijke) sensoren en de interpretatie van incomplete en onnauwkeurige en niet altijd betrouwbare sensor signalen. Niet in de laatste plaats is een personenwagen een consumenten artikel, waarvoor zowel productdifferentiatie als gebruikersacceptatie cruciaal zijn. De systemen moeten voldoende toegevoerde waarde voor de koper vertegenwoordigen, en de bestuurder mag niet het gevoel krijgen dat deze (onnodig) de controle over het voertuig verliest of dat de privacy in het geding is. Terwijl de betrouwbaarheid grotendeels met objectieve testscenario's geëvalueerd kan worden, zal de beoordeling van de gebruikersacceptatie vooral subjectieve testen omvatten. Uit het voorgaande kan worden opgemaakt dat het opzetten van certificatie- en consumententesten voor actieve veiligheidssystemen nog een stevige uitdaging is.

9. Vraaggestuurd Onderwijs en Praktijkgericht Onderzoek

De automotive sector is in Zuidoost-Nederland een onmiskenbare economische factor. De Nederlandse automotive industrie wil zich positief blijven onderscheiden, vooral op de specifieke gebieden waar al een sterke positie wordt ingenomen. De internationale automotive industrie is echter zeer competitief waardoor het nodig is continue te verbeteren en vernieuwen. Zoals in de inleiding al naar voren kwam is, om aan de behoefte van de Nederlandse industrie te kunnen voldoen, minimaal een verdubbeling van het aantal jaarlijks in Nederland afgestudeerde automotive ingenieurs vereist [HTAS, 2007]. Naast een goede inhoudelijke aansluiting bij de industriële behoefte, vereist dit opleidingsprogramma's die de student aanspreken. Om geschikte werknemers op te leiden moet Fontys Hogescholen de lat hoog leggen, om daarmee te voorzien in de behoefte aan excellent personeel. Daarbij is de

gewenste automotive ingenieur niet meer de werktuigbouwer van weleer, maar steeds meer een multidisciplinaire ingenieur met een duidelijke automotive focus, en opgeleid in meerdere disciplines.

Fontys Hogescholen streeft naar een structurele samenwerking met bedrijven in de regio. Studenten werken in de laatste twee jaar van hun studie aan projecten die samen met deze bedrijven zijn gedefinieerd. De projecten worden ondergebracht in knowledge groups, onder supervisie van een docent. Als expert op het betreffende aandachtsgebied bewaakt deze docent de kwaliteit van de resultaten binnen een project en de continuïteit over de projecten heen die door verschillende studenten voor hetzelfde bedrijf achtereenvolgens worden uitgevoerd. Daarnaast draagt deze docent actief bij aan de evolutie van het kennisniveau binnen de knowledge group zodat deze actueel en beschikbaar blijft voor derden. Binnen de knowledge group doorloopt de student drie fasen. Nadat de student zich de materie heeft eigen gemaakt (kennis verwerven), zal onder supervisie van de docent en de kenniskring van het lectoraat praktijkgericht onderzoek worden verricht (onderzoeken). Met de verworven kennis en vaardigheden kan de student in de laatste fase voor een bedrijf werken (project uitvoeren). De binnen de knowledge groups en kenniskring ontwikkelde kennis blijft beschikbaar voor initieel en postinitieel onderwijs.

Het lectoraat zal, naast deze continue vernieuwing via de knowledge groups, ook belangrijke initiële impulsen geven aan curriculum aanpassingen. De huidige specialisatie “automotive engineering” bevat een stevige component werktuigbouw maar behoeft meer aandacht voor elektrotechniek en informatica. De door de industrie gewenste automotive expert met een goede integrale kennisbasis en toepassingservaring rond intelligente voertuigsystemen zal worden opgeleid door een goed gekozen verstrengeling van deze drie disciplines gericht op automotive toepassingen in de eerste twee studiejaren aan te bieden, en dit in de laatste twee jaar op specifieke onderwerpen te verdiepen in de knowledge groups. De gewenste vernieuwing in het onderwijsprogramma is geen geringe stap, maar er zijn de nodige raakvlakken met de opleidingen Mechatronica, Software Engineering, Industrieel Product Ontwerpen, Elektrotechniek en Werktuigbouwkunde. Daaruit moeten synergie voordelen gehaald worden om deze stap voldoende snel te kunnen maken, en aan te sluiten bij de snel groeiende behoefte aan goed opgeleide werknemers bij bedrijven.

Binnen het zeer brede en complexe aandachtsgebied van Automotive Control richt het zelfgeïnitieerde onderzoek van lectoraat zich vooralsnog voornamelijk op systemen die het inzittendencomfort en de voertuigveiligheid verhogen. De nadruk ligt daarbij op de evaluatie en verbetering van bestaande mechatronische componenten en intelligente voertuigsystemen, en het effect daarvan op het gedrag van het voertuig als geheel. In dit kader zal binnen Fontys Hogescholen samengewerkt worden met andere lectoraten, in het bijzonder ‘Mechatronica’ en ‘Architectuur van Embedded Systemen’. De knowledge groups worden geplaatst in het kantoorgebouw waarin ook PDE Automotive B.V. en de TNO Business Unit Automotive zijn gehuisvest. Daardoor is het goed mogelijk studenten, vanuit de knowledge groups, te betrekken bij de activiteiten in de zeer uitgebreide testfaciliteiten van beide strategische partners. Daarnaast is het de ambitie om vanuit Fontys Hogescholen zowel een aanvullend applicatie laboratorium in te richten alsmede testauto's met ADAS te ontwikkelen voor het zelfgeïnitieerde onderzoek en vraaggestuurd onderwijs.

10. Nawoord

In deze verhandeling is naar voren gekomen dat de technologische evolutie van de auto nog steeds in volle vaart doorgaat. Daarmee wordt een belangrijke bijdrage geleverd aan de maatschappelijke knelpunten ten gevolge van het wegverkeer. Met name de huidige ontwikkelingen rond ADAS leveren een grote bijdrage aan de verdere verbetering van de verkeersveiligheid. Naast technologische ondersteuning is ook gedragsbeïnvloeding van verkeersdeelnemers van belang. Zo is een rijbewijs in Nederland al verplicht vanaf 1951 terwijl dit in België pas vanaf 1977 zo is, en mag daar iedereen met een rijbewijs rijles geven. Sinds de invoering van de radarcontrole in 1962 heeft het elektronisch controleren van de maximum snelheid met behulp van flitspalen en mobiele snelheidscontroles ertoe bijgedragen dat de snelheid op veel locaties lijkt te dalen. Ook het uiterlijk van de weg en de wegomgeving dragen bij aan een juist snelheidsgedrag. Als een bestuurder op een provinciale weg het gevoel krijgt zich op een snelweg te bevinden, is de verleiding groot het snelheidsgedrag daar bij aan te laten sluiten. Ook goede voorlichting is van belang zoals bijvoorbeeld voor het gebruik van beveiligingsmiddelen. In Nederland vallen per jaar 100 doden en 10.000 gewonden minder door het gebruik van de autogordel. Toch komt uit een recent onderzoek van de ANWB naar voren dat zo'n 200.000 automobilisten hun autogordel nooit gebruiken. Nog eens 600.000 automobilisten zeggen dat ze de autogordel zelden omdoen. Met dit in het achterhoofd valt een recent advies van Veilig Verkeer Nederland (VVN) op. VVN adviseert de eigenaren van honden en katten, om de dieren een speciale gordel om te doen als ze meegaan in de auto zodat ze bij een ongeluk of hard remmen niet worden gelanceerd. Vooral honden moeten volgens VVN worden vastgezet. Een deskundige noemt de honden al een levensbedreigend projectiel bij een botsing met 50 km per uur. VVN wijst het gebruik van kooien af. Bij een ongeluk snijden de tralies door het dier en als een auto te water raakt, is het dier moeilijk te redden. Dit laatste argument wordt door veel niet gordel dragers juist weer gebruikt als reden voor hun weigering de gordel te gebruiken.

Bij het overgrote deel van de verkeersongevallen ligt de oorzaak, minstens ten dele, bij een menselijke fout. De diverse ADAS ondersteunen de bestuurder waarmee de kans op ongevallen wordt gereduceerd. De verschillende systemen vullen elkaar aan (bijvoorbeeld ACC voor de longitudinale en LKA voor de laterale voertuigbeweging) waardoor de ondersteuning door de rijassistent steeds verder toeneemt. In het ultieme geval zou een rijassistent het rijden op de snelweg (Highway assistant) of in de nog veel complexere stedelijke omgeving (City assistant) volledig kunnen overnemen. Zogenaamde Peoplemovers doen dit al op beperkte schaal en met lage snelheden. Zo wordt de automobilist op Schiphol met een peoplemover van het parkeerterrein naar een busstation gebracht, waar de speciale luchthavenbus de reiziger naar de luchthaven terminal brengt. Dit is tevens een mooi voorbeeld van ketenmobiliteit waarbij de reiziger diverse aansluitende transportmodi gebruikt om de bestemming te bereiken. Er liggen in deze toekomstvisie, de komende decennia meer dan voldoende uitdagingen voor onder andere de gedreven ontwikkelaars binnen de automotive industrie.

Lijst met afkortingen

ABS	Anti-lock Braking System
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
AIDE	Adaptive Integrated Driver-vehicle interfacE
ALC	Adaptive Light Control
BA	Brake Assist
BOVAG	Bond van garagehouders
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CC	Cruisecontrole
CSW	Curve Speed Warning
ECMD	European Centre for Mobility Documentation
ES	Embedded Systems
ESC	Electronic Stability Control
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm
ETSC	European Transport Safety Council
FIR	Far infrared
GPS	Global Positioning Satellite
HIL	Hardware in the Loop
IP	Integrated (EC) project
ISA	Speed Advice
IVIS	In-Vehicle Information Systems
KP6	Zesde kader (EC) project
LCA	Lane Change Assistant
LDW	Departure Warning
LKA	Lane Keeping Assistant
MIO	Most Important Object
NCAP	New Car Assessment Programme
NIR	Near infrared
O&CW	Obstacle & Collision Warning
PCS	Pre-crash systems
Prevent	Preventive safety (IP)
Saspense	Safe Speed Safe Distance (KP6 project)
SBR	Seat Belt Reminder
SWOV	Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
TTC	Time-To-Collision, TTC
WillWarn	(KP6 project)
WLAN	Wireless Local Area Networks

Referenties

- [1] ADL (2004): How Electrics/Electronics and Software will Change the Automotive Landscape
- [2] AIDE (2004): FP6-IP, Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface: Op www.aide-eu.org
- [3] APROSYS (2004): FP6-IP, Advanced Protection Systems: Op www.aprosys.com
- [4] ATC (2004): Te land, ter zee en in de lucht.
- [5] CBS (2007): Statistisch jaarboek 2007, Op www.cbs.nl onder Publicaties, Boeken
- [6] COOPERS (2006): FP6-IP, Cooperative systems for intelligent road safety: Op www.coopers-ip.eu
- [7] EARPA (2003): R&D Technology Roadmap, the European Thematic Networks
- [8] ERTRAC (2004): Vision 2020 and Challenges
- [9] EUCAR (2004): Key Research Issues to meet the Challenges of the Future Mobility and Road Transport System"
- [10] Euro NCAP (1997): The European New Car Assessment Programme, Op www.euroncap.com
- [11] FIER (2003): De Nederlandse automotive industrie – Een inventarisatie van de sector
- [12] FUIRORE (2003): Future Road Vehicle Research, R&D Technology Roadmap.
- [13] Hoedemaeker, M. (1999): "Driving with intelligent vehicles – driving behaviour with Adaptive Cruise Control and the acceptance by individual drivers (PhD thesis), Delft, The Netherlands: Delft University Press.
- [14] HTAS (2007): High Tech Automotive Systems, Op www.ppsautomotive.nl
- [15] Kopf, M. et al, (1999): "Advanced Driver Assistance Systems: System Safety and Driver Performance", Project TR4022 of FP4 RESPONSE (Vehicle Automation Driver Responsibility – Provider Liability, Legal and Institutional Consequences).
- [16] Michon, J.A. (1985): "A critical view of driver behaviour models: What do we know, what should we do?", in L.A. Evans & R.C. Schwing (Eds.), *Human behaviour and traffic safety* (pp. 487-525). New York: Plenum Press.
- [17] Prevent (2004): FP6-IP, Preventive safety, op www.prevent-ip.org (ook voor SASPENCE, WillWarn en Profusion)
- [18] Rasmussen, J. (1983): "Skills, Rules and Knowledge: signals signs and other distinctions in human performance models", *IEEE transactions on systems, man & cybernetics*, 13, 257-266.
- [19] Roland Berger (2005): "How to master the electronics challenge?", A Roland Berger trend study on in-vehicle electronics, Munich, July 2005.
- [20] SAFESPOT (2006): FP6-IP, Cooperative vehicles and road infrastructure for road safety: Op www.safespot-eu.org
- [21] Sommerville, I. (2001): Software Engineering, Addison-Wesley, ISBN 0-201-39815-X, Chapter 16 – Dependability.
- [22] Stichting BOVAG-RAI (2006): Mobiliteit in cijfers, Auto's 2006. Op www.nnmedia/bovag-rai.nl
- [23] SWOV (2007): *De top bedwongen: Balans van de verkeersonveiligheid in Nederland 1950-2005*. Op www.swov.nl onder Onderzoek, Publicaties
- [24] V&W/VROM (2004): Nota mobiliteit, Op <http://213.156.8.79/>

Achterzijde omslag (Curriculum Vitae)

Ir. Henk Lupker
Fontys Hogeschool PTH
Postbus 347
5600 AH Eindhoven
h.lupker@fontys.nl

Henk Lupker studeerde werktuigbouw aan de Technische Universiteit Delft, waar hij in 1984 afstudeerde bij de vakgroep Technische Mechanica. Na zijn studie trad hij in dienst bij TNO waar hij eerst als projectleider en vanaf 1988 als groepshoofd verantwoordelijk was onderzoek en consultancies rond bezwijkgedrag van schepen, onderzeeboten, offshore constructies en tankwagens. In 1990 werd hij product manager MADYMO, een computer programma dat wereldwijd door de automobieliindustrie ingezet wordt bij de analyse en het ontwerp van de passieve veiligheid van wegvoertuigen. In de periode van 1998 tot 2005 is hij als groepshoofd verantwoordelijk voor diverse aspecten van de actieve veiligheid als voertuigdynamica en intelligente voertuigsystemen. Vervolgens wordt hij betrokken bij business development automotive. Vanaf begin dit jaar is hij deeltijd lector Automotive Control bij Fontys Hogescholen.

Veilig op Weg met een Rijassistent (Samenvatting)

De auto is niet meer weg te denken in onze huidige westerse maatschappij en bezet een belangrijke plaats in zowel ons economische als sociale leven. Hoewel Nederland al een van de meest verkeersveilige landen ter wereld is, waren er toch nog 811 verkeersdoden in 2006. Als we ons echter realiseren dat dit slechts $\frac{1}{4}$ is van de ruim 3000 jaarlijkse verkeersdoden in 1972, is sindsdien al veel bereikt. De Nederlandse overheid streeft naar een verdere reductie tot minder dan 580 verkeersdoden in 2020. De daarvoor noodzakelijke verbeterde verkeersveiligheid zal voor een groot deel moeten komen uit nieuwe voertuigtechnologie die ongevallen helpt voorkomen (actieve veiligheid) en de gevolgen ervan beperkt (passieve veiligheid).

Een auto veilig door het hedendaagse verkeer loodsen is geen eenvoudige taak, zeker niet onder slechte weersomstandigheden en bij complexe of onoverzichtelijke verkeerssituaties. Het is dan ook niet verwonderlijk dat bij het overgrote deel van de verkeersongevallen de oorzaak, minstens ten dele, bij een menselijke fout ligt. Intelligente voertuigsystemen, die met behulp van aan het voertuig verbonden omgevingsensoren het verkeer rond het voertuig monitoren, kunnen de bestuurder assisteren. Als er zich geen bijzonderheden voordoen is de bestuurder het meest gebaat bij informatieve- en comfort verhogende systemen. Als er een gevaarlijke situatie dreigt te ontstaan, komen de veiligheidssystemen in beeld. Naarmate de kans op een ongeval toeneemt lijkt een grotere mate van ondersteuning (van waarschuwen, via assisteren tot interveniëren) gewenst.

Vanwege hun veiligheidskritische karakter moeten actieve veiligheidssystemen voldoen aan hoge eisen ten aanzien van prestatie (hoge nauwkeurigheid), robuustheid (weersomstandigheden en wegcondities) en betrouwbaarheid. Hier liggen enorme uitdagingen in zowel het ontwerp als de evaluatie van dergelijke systemen waaraan

het lectoraat Automotive Control van Fontys Hogescholen door praktijkgericht onderzoek en vraaggestuurd onderwijs wil bijdragen.