

Veilig naar het verkeer van de toekomst

R-2017-2



Veilig naar het verkeer van de toekomst

Nieuwe mogelijkheden, risico's en onderzoeksagenda voor de verkeersveiligheid bij automatisering van het verkeerssysteem

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	R-2017-2
Titel:	Veilig naar het verkeer van de toekomst
Ondertitel:	Nieuwe mogelijkheden, risico's en onderzoeksagenda voor de verkeersveiligheid bij automatisering van het verkeerssysteem
Auteur(s):	Dr. ir. C.N. van Nes & C.W.A.E. Duivendoorn, MSc
Projectleider:	Dr. ir. C.N. van Nes
Projectnummer SWOV:	S17.04
Trefwoord(en):	Automatic, control (mech), traffic, safety, digital computer, steering (process), driver assistance system, computer aided design, highway design, technology, driver, driving (veh), development, vehicle, behaviour, road traffic, road user, Netherlands, SWOV
Projectinhoud:	Stap voor stap neemt de automatisering van motorvoertuigen toe. Ons verkeerssysteem bevindt zich in een transitie richting zelfrijdende auto's en slimme infrastructuur. Dit rapport beschrijft welke ontwikkelingen er worden verwacht bij de automatisering van het verkeerssysteem. Tevens wordt ingegaan op de consequenties van deze ontwikkelingen op de verkeersveiligheid: de kansen en de risico's. Het rapport besluit met een agenda voor onderzoek om de risico's het hoofd te bieden en kansen te benutten.
Aantal pagina's:	37
Uitgave:	SWOV, Den Haag, 2017

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is echter alleen toegestaan met bronvermelding.

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV
Postbus 93113
2509 AC Den Haag
Telefoon 070 317 33 33
Telefax 070 320 12 61
E-mail info@swov.nl
Internet www.swov.nl

Samenvatting

Er komen steeds meer systemen op de markt om de automobilist te ondersteunen in de rijtaak. Stap voor stap neemt de automatisering van onze voertuigen toe, het verkeerssysteem bevindt zich in een transitie richting zelfrijdende auto's. De automatisering biedt kansen om het verkeer veiliger, schoner en efficiënter te maken. Er ontstaan echter ook nieuwe risico's, met name in de transitieperiode.

Dit rapport beschrijft welke ontwikkelingen er worden verwacht bij de automatisering van het verkeerssysteem. Tevens wordt ingegaan op de consequenties van deze ontwikkelingen op de verkeersveiligheid: de kansen en de risico's.

Het rapport besluit met de presentatie van een onderzoeksagenda waarbij de onderwerpen zich laten clusteren tot drie groepen:

1. *Interactie van de bestuurder met de nieuwe technologie in het voertuig.*
Dit betreft onder andere onderzoek naar (verandering in) taakbelasting, naar het schakelen tussen automatisch en handmatig rijden ('transition of control'), naar situatiebewustzijn en gevaarherkenning tijdens (de overgang naar) het automatisch rijden, en naar de interactie van oudere automobilisten met de nieuwe technologie.
2. *Interactie van (deels) geautomatiseerde voertuigen met ander verkeer.*
Dit betreft de interactie met andere verkeersdeelnemers en nadrukkelijk ook de interactie met kwetsbare verkeersdeelnemers.
3. *Slimme infrastructuur en veiligheidseffecten op het verkeerssysteem.*
Dit betreft onder andere het veiligheidseffect op netwerkniveau bij gemengd verkeer met verschillende niveaus van automatisering ('mixed traffic'), intelligente infrastructuur en voertuigcommunicatie (V2X) en 'leesbare' wegen ('roads that cars can read').

SWOV beoogt op deze onderwerpen, eventueel in samenwerking met andere organisaties, door middel van onderzoek substantieel en herkenbaar bij te dragen aan de verbetering van de verkeersveiligheid tijdens de transitie naar hogere niveaus van automatisering.

Andere belangrijke nieuwe risico's die niet binnen de specifieke expertise van SWOV vallen, maar zeker ook van belang zijn voor de veiligheid in de transitie naar hogere niveaus van automatisering, zijn: systeemfouten, cybersecurity, bescherming van data en privacy, ethische vraagstukken, wetgeving en juridische aansprakelijkheid.

Summary

Safely towards tomorrow's traffic

There are more and more systems on the market to support the driver in his vehicle. Step by step the automation of our vehicles increases, the traffic system is in a transition towards self-driving vehicles. The automation offers opportunities to make our traffic safer, cleaner and more efficient. However, new risks are emerging, particularly in the transition period.

This report describes which developments can be expected during the automation of the traffic system. The report also discusses the implications of these developments for road safety: the opportunities and the risks.

The report concludes with the presentation of a research agenda in which the topics are clustered into three groups:

1. *Interaction of the driver with the new technology in the vehicle.*
This concerns, among others (changes in) task load, switching between automated and manual driving ('transition of control'), situational awareness and hazard perception during (the transition to) automated driving, and the interaction of elderly drivers with the new technology.
2. *Interaction of (partly) automated vehicles with other traffic.*
This concerns, among others, mixed traffic, the interaction with other road users, and specifically also the interaction with vulnerable road users.
3. *Smart infrastructure and safety effects on the traffic system.*
This concerns, among others, the safety effects on the network level in the situation of traffic with various road users at different levels of automation ('mixed traffic'), intelligent infrastructure and vehicle communication (V2X), and 'roads that cars can read'.

SWOV aims to make a substantial and identifiable contribution to the improvement of road safety during the transition to higher levels of automation through research on these topics.

Other important new risks that are not within SWOV's specific expertise, but also of interest for the safety in the transition to higher levels of automation are: system errors, cyber security, protection of data and privacy, ethical issues, legislation and legal liability.

Inhoud

1. Inleiding	7
1.1. Borgen van verkeersveiligheid	7
1.2. De automatisering van het verkeerssysteem	7
1.3. Borgen van de verkeersveiligheid tijdens de automatisering van het verkeerssysteem	8
2. Welke ontwikkelingen worden er verwacht?	9
2.1. Toekomstscenario's	9
2.2. De transitie richting de zelfrijdende auto	12
2.3. Niveaus van automatisering	13
2.4. Technologische ontwikkelingen	14
2.4.1. 'Sensor based' versus 'connectivity based' technologie	14
2.4.2. Fusie van technologieën	14
2.5. Roadmaps voor automatisering	15
2.5.1. Automatisering van personenauto's	16
2.5.2. Automatisering van commerciële voertuigen	17
2.5.3. Automatisering van het openbaar vervoer	19
2.6. De ontwikkelcyclus van een nieuw systeem	20
2.7. Transitie: veiligheid van cruciaal belang	21
3. Wat betekent dit voor de verkeersveiligheid?	22
3.1. Gedragsadaptatie	22
3.2. Taakbelasting	23
3.3. Transition of control, situatiebewustzijn en gevaarherkenning	24
3.4. Interactie van ouderen met nieuwe technologie	24
3.5. Interactie met kwetsbare verkeersdeelnemers	25
3.6. Mixed traffic	25
3.7. Wetgeving en juridische aansprakelijkheid	26
3.8. Acceptatie	26
3.9. Ethische vraagstukken	26
3.10. Kwaliteitswaarborging: systeemfouten en cybersecurity	27
3.11. Bescherming van de data en privacy	27
4. Onderzoeksagenda	28
4.1. Interactie van de bestuurder met de nieuwe technologie	29
4.2. Interactie met andere verkeersdeelnemers	31
4.3. Slimme infrastructuur en effecten op het verkeerssysteem	32
4.4. Veiligheid bij praktijkproeven met (deels) zelfrijdende voertuigen	33
Literatuur	35

1. Inleiding

1.1. Borgen van verkeersveiligheid

Voor een veilig verkeerssysteem is het van belang te kijken naar het hele systeem van mens, voertuig en weg en een goede interactie hiertussen. Tevens is het van belang te kijken naar de hele 'ongevalsketen': van het voorkomen van ongevallen tot beperken van de ernst van het letsel in geval van een ongeval (zie *Afbeelding 1*).

Voor het ontwikkelen van nieuwe maatregelen is het belangrijk te leren van de huidige onveilige situaties en te kijken hoe deze in de toekomst voorkomen kunnen worden. Daarnaast is het ook van belang te kijken naar de toekomstige ontwikkelingen en hun mogelijke effecten op de verkeersveiligheid. Er zijn drie belangrijke maatschappelijke trends die de veiligheid van het verkeer de komende decennia zullen beïnvloeden. Dit zijn:

1. de toenemende **automatisering** en toepassing van steeds geavanceerdere, intelligentere informatietechnologieën in voertuigen, tussen voertuigen onderling en tussen voertuigen en infrastructuur;
2. de verdergaande **vergrijzing** van de maatschappij en tegelijkertijd de veranderende mobiliteitsbehoeften van fysiek kwetsbare ouderen; en
3. de doorzettende **verstedelijking** van Nederland met daarbij de behoefte aan schonere, stillere en gezondere vervoerswijzen, die vragen om een veilige inpassing in stedelijke bereikbaarheid.



Afbeelding 1. Ketenbenadering verkeersveiligheid.

1.2. De automatisering van het verkeerssysteem

De toenemende automatisering betreft zowel het voertuig alsook de weg en het verkeersmanagement. Het grijpt in op vele elementen van de ongevalseketen (*Afbeelding 1*). Automatisering kan een (bijna-)ongeval voorkomen en het letsel beperken. Ook kan het preventief worden ingezet doordat het risicogedrag kan beperken of ondersteuning kan bieden aan risicogroepen of bij risicosituaties. Automatisering hangt nauw samen met de andere twee trends; automatisering biedt mogelijkheden om ouderen langer mobiel te houden en om nieuwe concepten voor stedelijk vervoer te ontwikkelen. Het is de verwachting dat Intelligente Transportsystemen (ITS) in het toekomstige verkeer-en-vervoerssysteem een steeds prominentere rol zullen

gaan spelen. Dit heeft ook gevolgen voor het aantal slachtoffers van verkeersongevallen. De meest recente prognose is dat door ontwikkelingen op het gebied van voertuigautomatisering en rijtaakondersteuning het aantal verkeersdoden rond 2020 met 10 per jaar zou kunnen afnemen en het aantal ernstig verkeersgewonden met 300 per jaar (Weijermars et al., 2015). Voor 2030 is de prognose dat het aantal verkeersdoden mogelijk met 90 per jaar wordt gereduceerd en het aantal ernstig verkeersgewonden met 3300 per jaar. Deze schatting is exclusief het effect van elektronische stabiliteitscontrole, die naar verwachting het aantal verkeersdoden zal reduceren met ongeveer 10 per jaar en het aantal ernstig verkeersgewonden met 100 per jaar, zowel voor 2020 als voor 2030.

1.3. **Borgen van de verkeersveiligheid tijdens de automatisering van het verkeerssysteem**

Dit rapport behandelt de transitie van het huidige verkeerssysteem naar een systeem met zelfrijdende voertuigen in relatie tot nieuwe mogelijkheden en nieuwe risico's voor de verkeersveiligheid.

Hoofdstuk 2 bespreekt welke ontwikkelingen er worden verwacht op het gebied van automatisering van het verkeerssysteem en wanneer deze worden verwacht. Er wordt eerst gekeken naar langetermijnscenario's over hoe het verkeer-en-vervoerssysteem er in de toekomst uit kan komen te zien. Vervolgens wordt ingegaan op de overgangperiode, de zogenoemde 'transitie richting de zelfrijdende auto'. In de transitiefase zullen stap voor stap nieuwe systemen worden geïntroduceerd waardoor de mate van automatisering van het gehele verkeerssysteem geleidelijk toeneemt. Op basis van 'roadmaps' wordt besproken welke systemen wanneer verwacht worden.

De ontwikkelingen bieden kansen om het verkeer veiliger, efficiënter en schoner maken, maar brengen ook nieuwe risico's met zich mee. In *Hoofdstuk 3* wordt besproken wat deze ontwikkeling betekent voor de verkeersveiligheid. Om de verkeersveiligheid tijdens de transitie en daarna te borgen, is het van belang om de kansen voor meer veiligheid te benutten en om de veiligheidsrisico's te signaleren en deze vervolgens te beperken.

Op basis van de gesignaleerde risico's, wordt in *Hoofdstuk 4* een onderzoeksagenda gepresenteerd voor het borgen van de verkeersveiligheid tijdens de transitie richting de zelfrijdende auto. Speciaal wordt ingegaan op het onderzoek waarmee SWOV hieraan beoogt bij te dragen.

2. Welke ontwikkelingen worden er verwacht?

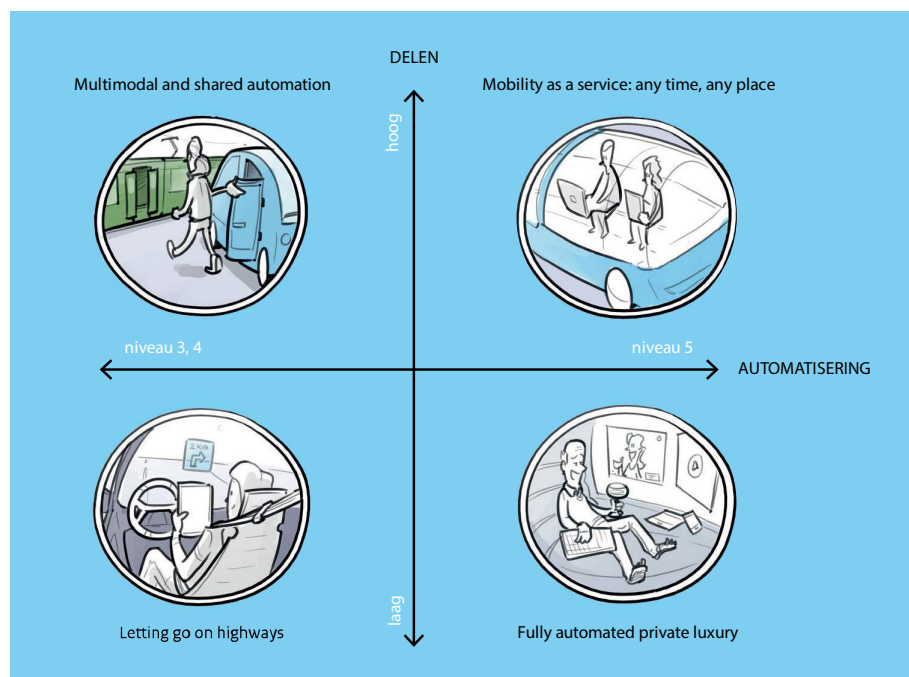
2.1. Toekomstscenario's

Om inzicht te krijgen in de langetermijnontwikkelingen in het vervoer is gekeken naar toekomstscenario's. Toekomstscenario's geven aan hoe het verkeer er in de toekomst mogelijk uit gaat zien op basis van de relevante ontwikkelingen die worden verwacht in onder andere de technologie en de maatschappij.

Een zeer recente studie van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) beschrijft vier toekomstscenario's voor het toekomstige verkeer-en-voersysteem (Tillema et al., 2015). Deze scenario's zijn bepaald door twee onzekerheden die maatgevend zijn voor de ontwikkeling van het verkeerssysteem:

- het niveau van automatisering, en
- de mate waarin autobezit en autoritten worden gedeeld.

Deze twee onzekerheden leiden tot vier scenario's die in *Afbeelding 2* zijn weergegeven, met op een horizontale as de mate van automatisering en op de verticale as de mate van delen.



Afbeelding 2. De toekomstige verkeer-en-voersscenario's van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (Tillema et al., 2015) ingedeeld naar de mate van delen (verticale as) en de mate van automatisering (horizontale as). De automatiseringsniveaus 3, 4 en 5 zijn die volgens de SAE (zie Afbeelding 4).

De eerste onzekerheid is de mate van automatisering – de horizontale as van *Afbeelding 2*. Het linker uiteinde van de as staat voor een ‘conditionele’ automatisering: er is een zekere mate van automatisering waarin de bestuurder fungeert als ‘achtervang’ tijdens de gehele rit of gedeeltes van de rit. Het rechter uiteinde staat voor volledige automatisering, waarin de auto altijd en overal volautomatisch rijdt. De horizontale as is gebaseerd op de automatiseringsniveaus zoals onderscheiden door SAE en beschreven in *Paragraaf 2.3* van dit rapport.

De mate waarin autobezit en autoritten worden gedeeld is de tweede onzekerheid – de verticale as van *Afbeelding 2*. Het ene uiteinde van de as representeert een hoge mate van autodelen en het andere uiteinde een lage. Delen kan op twee manieren, namelijk het delen van een auto en het delen van een rit. Bij het delen van een rit zitten er in een auto meer mensen tegelijk, met mogelijk een verschillende bestemming.

De vier scenario’s die het KiM onderscheidt (Tillema et al., 2015), zijn de volgende:

1. **Mobiliteit als een dienst: altijd en overal.** Er is een hoge mate van automatisering en van autodelen. Personen worden vervoerd met automatische ‘taxibots’, die buiten de stad parkeren. Er is geen traditioneel openbaar vervoer meer, maar er is een florierende deeleconomie. Ook zijn lopen en fietsen populair.
2. **Geheel geautomatiseerd, privé en luxe.** Er is een hoge mate van automatisering: ‘platoons’ op de snelweg waarbij vrachtwagens via het draadloze netwerk aan elkaar gekoppeld (‘connected’) in colonne rijden en geen chauffeur en mogelijk zelfs geen cabine meer hebben. Er is een lage mate van autodelen. Auto’s van particulieren zijn ook ‘fully connected’ en hebben bijvoorbeeld geen stuur meer. Voor mensen die geen auto hebben is er een speciaal vervoerssysteem in plaats van het traditionele openbaar vervoerssysteem.
3. **Handen los op de snelweg.** In dit scenario is er een beperkte mate van automatisering en een lage mate van autodelen. Het automatisch rijden gebeurt voornamelijk op de snelweg, omdat de technologie niet voldoende is ontwikkeld om automatisch rijden in de stedelijke omgeving mogelijk te maken. Op de snelweg rijden vrachtwagens in platoons en in de stedelijke omgeving worden automobilisten ondersteund door systemen, maar dienen zij nog wel het voertuig te besturen.
4. **Multimodaal en gedeelde automatisering.** Een hoge mate van autodelen waarbij niet alleen de auto wordt gedeeld maar ook de ritten. En een beperkte mate van automatisering: er wordt op de snelwegen automatisch gereden maar van volledig geautomatiseerd rijden is geen sprake. Enerzijds omdat er te weinig draagvlak is en anderzijds omdat de technologie niet voldoende is ontwikkeld.

In een verkeer-en-vervoerssysteem met een lage(re) mate van automatisering (scenario’s 3 en 4; Tillema et al., 2015) rijdt men automatisch op de snelweg maar moeten automobilisten in de stedelijke omgeving nog wel de auto besturen. Hierbij worden zij ondersteund. Zo worden bestuurders bijvoorbeeld gewaarschuwd als fietsers of andere auto’s te dichtbij komen, grijpt een systeem in als het fout dreigt te gaan (bijv. een noodstop) en parkeert de auto zichzelf.

In een verkeer-en-vervoerssysteem waarbij er een hoge mate is van autodelen (inclusief de ritten; scenario's 1 en 4), zullen reizigers gebruikmaken van een ICT-toepassing die hen helpt bij het kiezen van de meest efficiënte reis (Tillema et al., 2015; Van Voorst tot Voorst & Hoogerwerf, 2013). Deze digitale reis-assistent ondersteunt de reiziger van het begin tot het einde van de reis, met name in het scenario waarbij er veel multimodaal gereisd wordt, van openbaar vervoer (bijv. metro, trein) en fiets tot de deelauto. Er zal dus makkelijk worden gecombineerd tussen individueel en collectief vervoer.

Voor een beschrijving van het toekomstige verkeer-en-vervoerssysteem hebben – naast het KiM – ook Van Voorst tot Voorst & Hoogerwerf (2013) een aantal toekomstscenario's uitgewerkt:

- **Vervoer naar wens:** er zijn autonome vervoermiddelen zonder bestuurder, er is geen sprake meer van eigen voertuigbezit maar marktpartijen bieden vervoersdiensten aan. Bij het plannen van de reis wordt een 'smart agent' gebruikt die niet alleen de planning verzorgt maar bijvoorbeeld ook de verrekening van de kosten.
- **Niet-vervoer:** in dit concept is een fysieke aanwezigheid niet (altijd) meer nodig maar wordt er veel meer gebruikgemaakt van virtuele ontmoetingen. Ook hier adviseert een 'smart agent' de gebruiker bij het kiezen tussen een virtuele of fysieke ontmoeting.
- **Vervoer in schaarste:** mobiliteit wordt teruggedrongen wanneer die schadelijk is voor volksgezondheid of leefomgeving. Externe kosten worden naar gebruik doorberekend.

De toekomstige mobiliteit kan efficiënter, schoner en veiliger zijn dan nu het geval is, en een belangrijke rol is daarbij weggelegd voor ITS (AutomotiveNL, Connekt & DITCM, 2012). Er zijn allerlei ontwikkelingen gaande die de toekomstige mobiliteit schoner ofwel veiliger ofwel efficiënter moeten maken. Slimme mobiliteitsoplossingen zijn nodig voor de toenemende mobiliteit en bijbehorende uitdagingen in de toekomst. Er zijn hoge verwachtingen ten aanzien van de potentie om het klimaat en de verkeersveiligheid te verbeteren. Verkeersmanagement, informatiediensten en intelligente systemen in de auto worden gecombineerd om te komen tot een slimme, veilige en duurzame mobiliteit (AutomotiveNL, Connekt & DITCM, 2012).

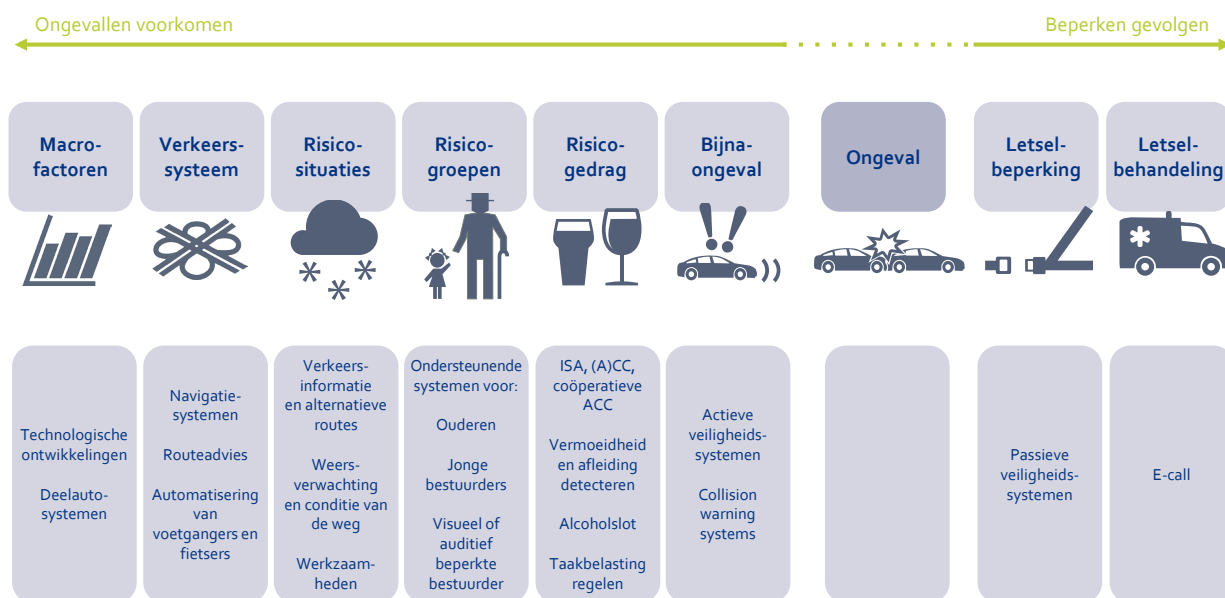
Die snellere en goedkopere communicatie tussen de verschillende systemen zal op termijn resulteren in een zelfrijdende auto. De auto, zo betoogt bijvoorbeeld Van Arem (2010), zou namelijk beter zelf kunnen rijden in plaats van te worden bestuurd door mensen. Zowel bij routinehandelingen als in kritische situaties legt de mens het af tegen de techniek, bijvoorbeeld op het gebied van reactietijd. Autonoom rijdende voertuigen kunnen ook de filedruk beperken (Wallace & Silberg, 2012). Reistijden kunnen vooraf nauwkeuriger bepaald worden. En als reistijden korter worden doordat er minder files zijn, wordt er efficiënter gebruikgemaakt van de beschikbare werk- en reistijd (Wallace & Silberg, 2012). Automatisering biedt tevens mogelijkheden om efficiënter met energie om te gaan. De energieconsumptie kan dalen doordat voertuigen lichter en energie-efficiënter worden, het rijden kan efficiënter en de routekeuze en het gebruik van het wegennet kan efficiënter. De grotere veiligheid en de lagere filedruk kunnen leiden tot flinke kostenbesparingen.

2.2. De transitie richting de zelfrijdende auto

De transitie richting het zelfrijdende voertuig is al volop aan de gang en zal zich geleidelijk aan steeds verder ontwikkelen. Stap voor stap worden nieuwe intelligente systemen en diensten geïntroduceerd, en een deel daarvan is al beschikbaar.

ADAS ofwel Advanced Driver Assistance Systems ondersteunen bestuurders tijdens het uitvoeren van de rijtaak, zoals bij het houden van een veilige afstand tot de voorligger of het voorkomen van ongevallen met kwetsbare verkeersdeelnemers (AutomotiveNL, Connekt & DITCM, 2012). Ook voor het verkeersmanagement worden of zijn al diverse systemen ontwikkeld, zoals dynamische snelheidslimieten, reistijdinformatie, incidentmanagement en strategisch verkeersmanagement.

Van de diverse intelligente systemen is in *Afbeelding 3* aangegeven welke de verkeersveiligheid kunnen vergroten in de verschillende fasen van de ongevalsketen: van ongevallen voorkomen tot letsel beperken.



Afbeelding 3. Systemen die de veiligheid vergroten door de risico's te beperken in verschillende fasen van de ongevalsketen.

Bij een toenemende mate van automatisering van het voertuig, verandert de rol van de mens als 'bestuurder' van het voertuig. Geleidelijk verandert deze rol van bestuurder naar die van 'supervisor', en uiteindelijk naar die van 'operator' of zelfs passagier. Tijdens de transitiefase is het belangrijk dat nieuwe systemen aansluiten bij de mogelijkheden en beperkingen van de mens als bestuurder.

Een ander belangrijk aandachtspunt is de rol van voetgangers en fietsers in het toekomstige verkeerssysteem. In de toekomstbeelden wordt hier nog weinig aandacht aan besteed, terwijl juist het aantal verkeersdoden en verkeersgewonden onder fietsers toeneemt (Duivenvoorden et al., 2015).

Is er behoefte aan (gedeeltelijk) zelfrijdende auto's?

Ook de wensen van de automobilist lijken te veranderen. Met de opkomst van de smartphone, tablets en sociale media heeft men steeds vaker aandacht voor deze activiteiten. Dit is lastig te combineren met een (langdurige) rijtaak waarbij men voortdurend moet opletten. Hieruit ontstaat een behoefte om niet zelf langdurig en continu een voertuig te hoeven besturen. Uit een vragenlijstonderzoek blijkt dat mensen volledig automatisch rijden makkelijker vinden dan handmatig of gedeeltelijk automatisch rijden, maar zij lijken zich (nog) niet comfortabel te voelen bij het idee dat een volledig automatisch voertuig geen stuur meer zal hebben (Kyriakidis, Happee & De Winter, 2014). Men blijkt het positief te vinden neventaken te kunnen uitvoeren (Kyriakidis, Happee & De Winter, 2014; Kauer et al., 2015). Behalve in een 'behoefte' aan nevenactiviteiten, zouden verdere automatisering van de rijtaak of (deels) zelfrijdende voertuigen ook in een behoefte aan ondersteuning kunnen voorzien. Mensen met een beperking (zoals ouderen) zouden hierdoor hun mobiliteit kunnen vergroten. Een goede mobiliteit draagt substantieel bij aan de kwaliteit van leven.

2.3. Niveaus van automatisering

De meeste toekomstscenario's gaan ervan uit dat de transitie richting zelfrijdende voertuigen geleidelijk zal gaan: een evolutie. Er zijn ook scenario's die uitgaan van een revolutie, waar er grote sprongen worden gemaakt in de ontwikkelingen, bijvoorbeeld als de volledig zelfrijdende auto binnen enkele jaren op de openbare weg zou komen te rijden. Hoe dan ook, zullen tijdens de transitiefase verschillende niveaus van automatisering bestaan. Om eenduidigheid te creëren over de verschillende niveaus van automatisering heeft SAE International (SAE, 2014) definities opgesteld zoals weergegeven in *Afbeelding 4*; dit is een gangbare en veelgebruikte indeling in zes niveaus:

- *Niveau 0*: geen automatisering. De bestuurder kan worden geassisteerd door middel van waarschuwingssystemen.
- *Niveau 1*: bestuurdersondersteuning. De bestuurder wordt ondersteund bij het sturen, gas geven of remmen.
- *Niveau 2*: gedeeltelijke automatisering. Onder specifieke rijomstandigheden is het sturen en/of het versnellen/remmen geautomatiseerd. De bestuurder voert alle overige dynamische taken zelf uit en kan het systeem 'overrulen'.
- *Niveau 3*: conditionele automatisering. In bepaalde rijomstandigheden wordt het voertuig volledig bestuurd door het systeem, waarbij het systeem op de bestuurder terugvalt bij bepaalde interventies.
- *Niveau 4*: hoge mate van automatisering. Hetzelfde als bij niveau 3 met als verschil dat het systeem niet meer terug hoeft te vallen op de bestuurder.
- *Niveau 5*: volledige automatisering, in alle rijomstandigheden.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Copyright © 2014 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed provided SAE International and J3016 are acknowledged as the source and must be reproduced AS-IS.

Afbeelding 4. Niveaus van automatisering (SAE, 2014).

2.4. Technologische ontwikkelingen

2.4.1. 'Sensor based' versus 'connectivity based' technologie

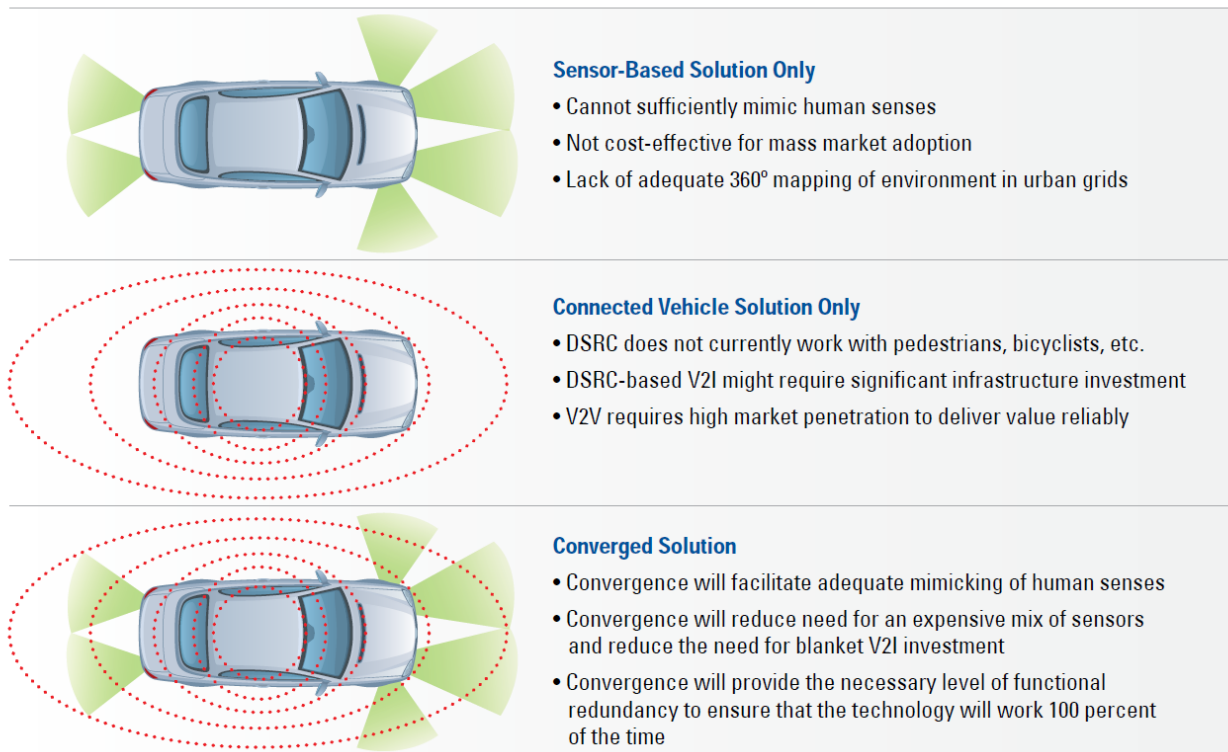
Er zijn twee belangrijke technologische ontwikkelingen die de automatisering mogelijk maken: 'sensor-based' en 'connectivity-based' technologie (Timmer & Kool, 2014). Sensor-based technologie is in feite wat de huidige Google-auto gebruikt: met behulp van sensoren die de omgeving waarnemen wordt de taak van de bestuurder overgenomen en kan het voertuig zich zelfstandig verplaatsen in het (huidige) verkeer. Connectivity-based technologie maakt gebruik van het draadloze netwerk om realtime te communiceren met andere voertuigen en met de infrastructuur. In *Afbeelding 5* is het verschil in werking tussen beide technologieën schematisch weergegeven.

Beide technologieën zijn volop in ontwikkeling. Sensoren zijn steeds beter in staat om de omgeving waar te nemen en te begrijpen. Om connectivity-based systemen mogelijk te maken is er overleg tussen autofabrikanten en overheden om tot een gezamenlijk protocol te komen.

2.4.2. Fusie van technologieën

Door sensor- en connectivity-based systemen te bundelen, kunnen de voordelen van beide technologieën worden benut en de beperkingen worden opgeheven (Wallace & Silberg, 2012). Deze zogeheten 'converged solution'

(Afbeelding 5) kan in voldoende mate de menselijke zintuigen 'nadoen', zal minder dure sensoren en voertuig-wegkant-investeringen met zich meebrengen en kent daarbij voldoende overlap zodat het systeem in principe altijd werkt.



Afbeelding 5. Schematische weergave van de werking van sensor-based en connectivity-based technologie en de bundeling van deze twee technologische ontwikkelingen (overgenomen uit Wallace & Silberg, 2012, Figure 5, p. 14). DSRC: Dedicated Short-Range Communication; V2V: 'vehicle to vehicle': communicatie tussen voertuigen onderling; V2I: 'vehicle to infrastructure': voertuig-wegkantcommunicatie.

2.5. Roadmaps voor automatisering

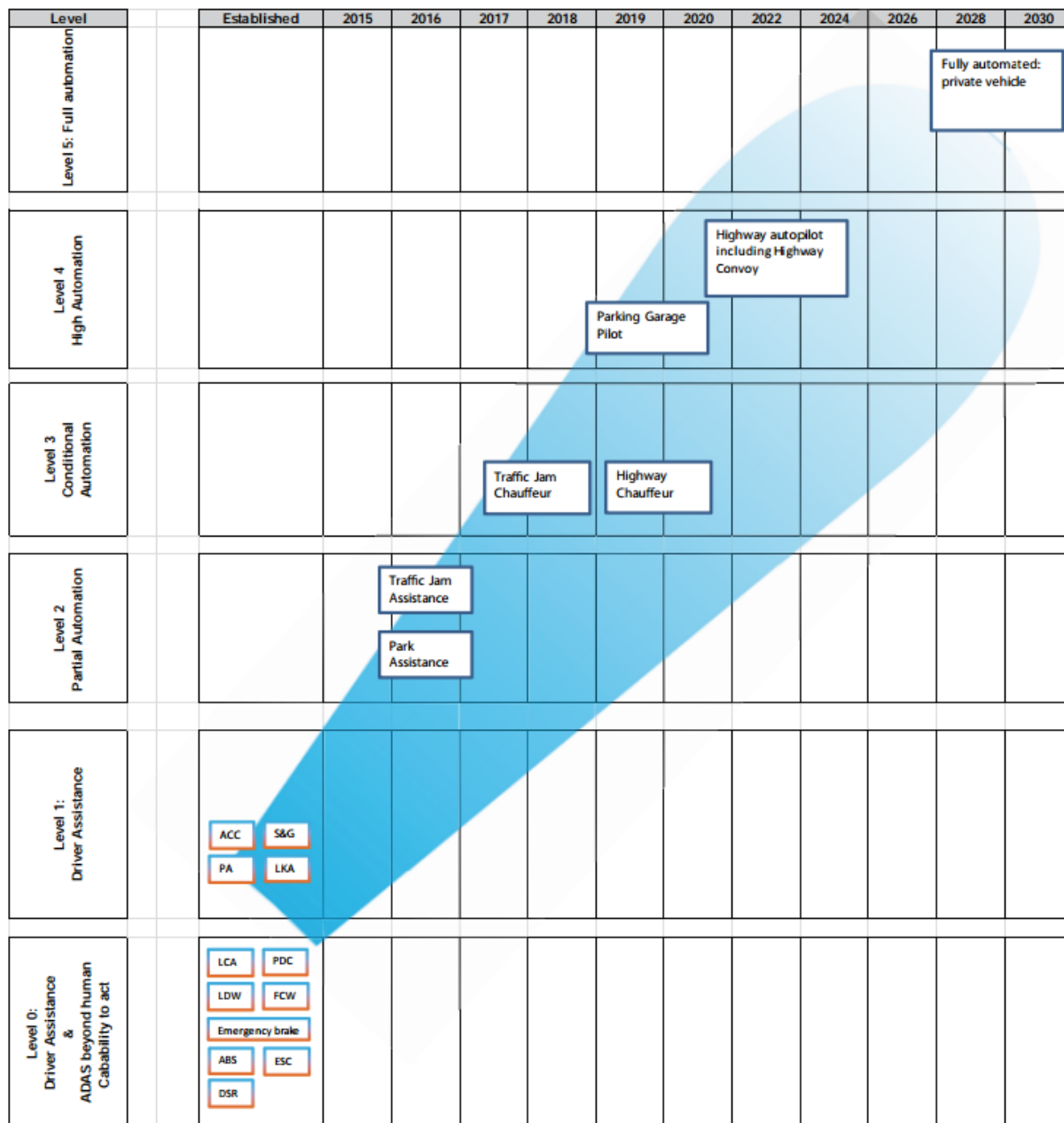
De verschillende stappen in de automatisering van het verkeerssysteem en de verwachte ontwikkelingen in de technologie worden vastgelegd in zogeheten roadmaps. Een breed gedragen roadmap is opgesteld door de European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC) in samenwerking met de industrie (EUCAR), twee gerenommeerde koepelorganisaties. Deze roadmaps zijn waardevol omdat ze schematisch een gemeenschappelijk beeld geven van toekomstige ontwikkelingen. Het geeft de transitie richting automatisch rijden een tijdlijn en geeft een verwachting ten aanzien van de volgorde van de introductie van de verschillende systemen.

ERTRAC heeft verschillende roadmaps ontwikkeld voor personenauto's, commerciële voertuigen en openbaar vervoer. In deze roadmaps zijn de verschillende systemen die nu op de markt zijn en die nog worden ontwikkeld ingedeeld naar het SAE-niveau van automatisering (eerste dimensie). De tweede dimensie wordt gevormd door de tijdlijn waarop staat

aangegeven wanneer de systemen naar verwachting op de markt beschikbaar komen.

2.5.1. Automatisering van personenauto's

De roadmap voor personenauto's is weergegeven in *Afbeelding 6*.



Afbeelding 6. Roadmap voor automatisering van personenauto's (ERTRAC, 2015).

Op niveau 0 gaat het vooral om systemen die de bestuurder assisteren door een waarschuwing af te geven, bijvoorbeeld als er zich een potentieel gevaar vlakbij bevindt (Lane Change Assist), als de bestuurder met zijn voertuig objecten nadert (Park Distance Control), als de bestuurder met zijn voertuig onbewust zijn rijstrook verlaat (Lane Departure Warning) of als de bestuurder met zijn voertuig zijn voorligger nadert (Front Collision Warning).

De systemen die zich in niveau 1 bevinden gaan een stapje verder dan alleen waarschuwen. Bij Adaptive Cruise Control (ACC) stelt de bestuurder de gewenste snelheid en afstand tot de voorligger in; ACC houdt de afstand tot de voorligger vervolgens op die ingegeven waarde. Een tweede voorbeeld is Park Assist, waarbij de auto zichzelf in- en uitparkeert door het sturen van de bestuurder over te nemen. De bestuurder bedient het rem- en gaspedaal. De Lane Keeping Assist corrigeert de positie van het voertuig als deze de rijstrook dreigt te verlaten. Omdat dit systeem alleen bij hogere snelheden werkt, krijgt de bestuurder bij lagere snelheden een waarschuwing om zelf actie te ondernemen.

Bij niveau 2 gaat het om systemen die een onderdeel van de rijtaak automatiseren. Twee voorbeelden zijn Park Assistance en Traffic Jam Assistance. Wanneer de bestuurder gebruikmaakt van Park Assistance rijdt de auto automatisch in en uit het parkeervak. Het is hierbij niet nodig dat de bestuurder in de auto zit, maar hij moet het proces wel constant monitoren en ingrijpen als dat nodig is. De Traffic Jam Assist is een functie waarbij de longitudinale en laterale positie van het voertuig controleert bij lage snelheden.

Het derde niveau betreft conditionele automatisering. De 'Traffic Jam Chauffeur' kan op hoofdwegen worden ingeschakeld in files waarbij de snelheden lager dan 60 km/uur zijn. Het systeem detecteert de voorligger en bestuurt het voertuig longitudinaal en lateraal. Als het systeem eenmaal is geactiveerd, hoeft de bestuurder dit niet te monitoren, maar hij kan het systeem wel overrulen of uitschakelen. De Highway Chauffeur lijkt hier op maar kan worden gebruikt bij snelheden tot 130 km/uur op hoofdwegen en zelfs tijdens het inhalen, het invoegen of het uitvoegen. Het systeem kan de bestuurder vragen om de besturing van het voertuig over te nemen.

Bij niveau 4 is er een hoge mate van automatisering. Met de Highway Pilot rijden voertuigen automatisch en kunnen ze in platoons rijden, afhankelijk van coöperatieve systemen die kunnen communiceren met andere voertuigen, de infrastructuur en/of de verkeerscentrale. De Parking Garage Pilot bestuurt het voertuig van en naar een parkeerplaats waarbij de bestuurder niet in het voertuig aanwezig hoeft te zijn ('valet' parkeren zonder bestuurder). Nadat het systeem is geactiveerd hoeft de bestuurder het systeem niet te monitoren.

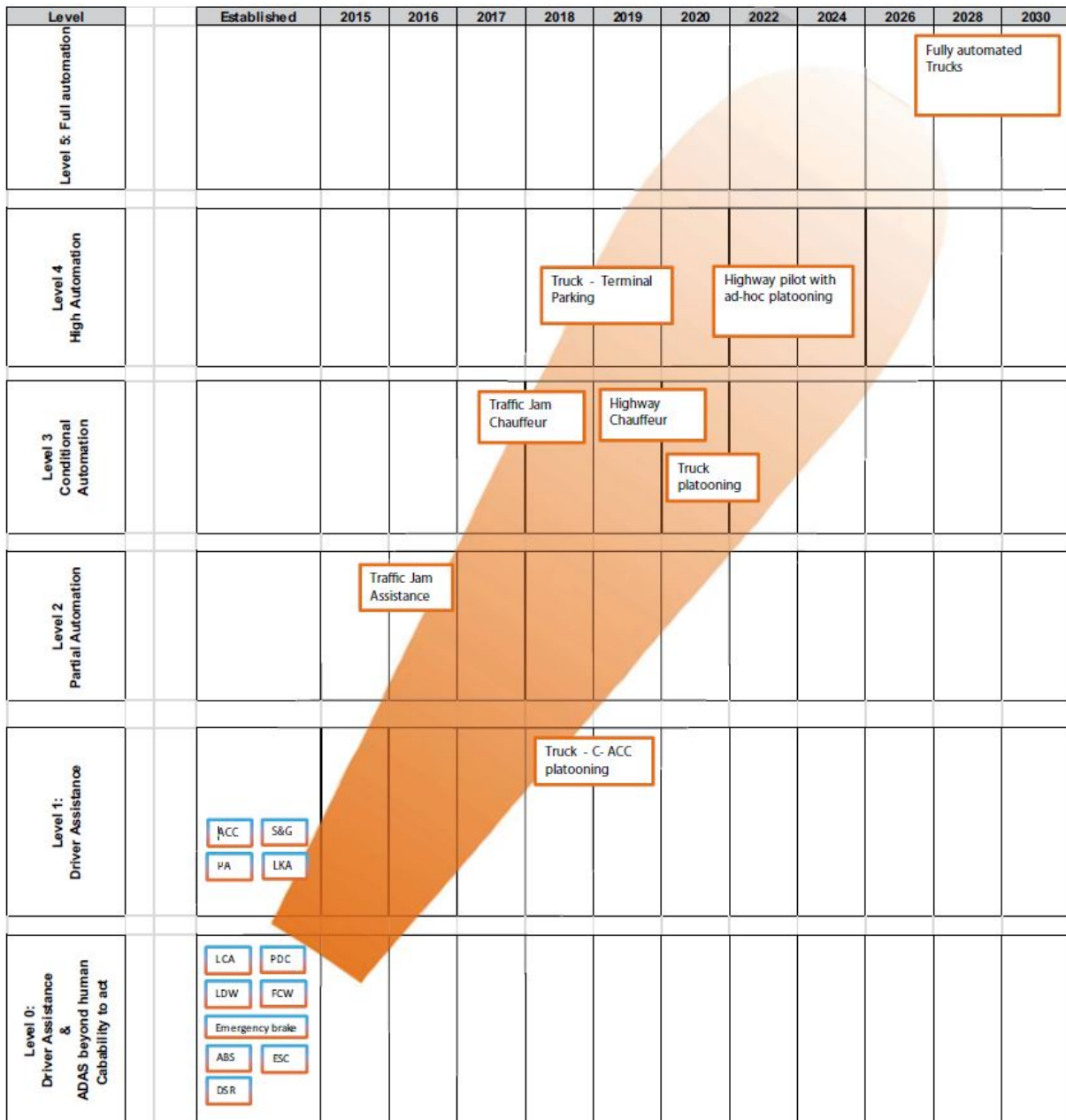
Het hoogste niveau betreft het volautomatisch rijden waarbij de bestuurder niets meer hoeft doen. Daarentegen kan de bestuurder het systeem te allen tijde wel uitzetten of overrulen. Hoewel het systeem in de roadmap is ingetekend rond 2030, wordt een slag om de arm gehouden. Er kan geen realistische schatting worden gemaakt wanneer het systeem daadwerkelijk beschikbaar is (ERTRAC, 2015).

2.5.2. *Automatisering van commerciële voertuigen*

De automatiseringsontwikkelingen zullen niet beperkt blijven tot het personenvervoer. Ook voor het professionele vervoer zijn en worden ITS-toepassingen ontwikkeld zoals intelligente dodehoekdetectie- en –signaleringsystemen. Er zullen ook meer toepassingen komen op het gebied van dynamisch verkeersmanagement, zoals parkeerverwijssystemen of systemen gericht op

bevordering van de doorstroming. Hieronder wordt een aantal voorbeelden genoemd van systemen voor commerciële voertuigen.

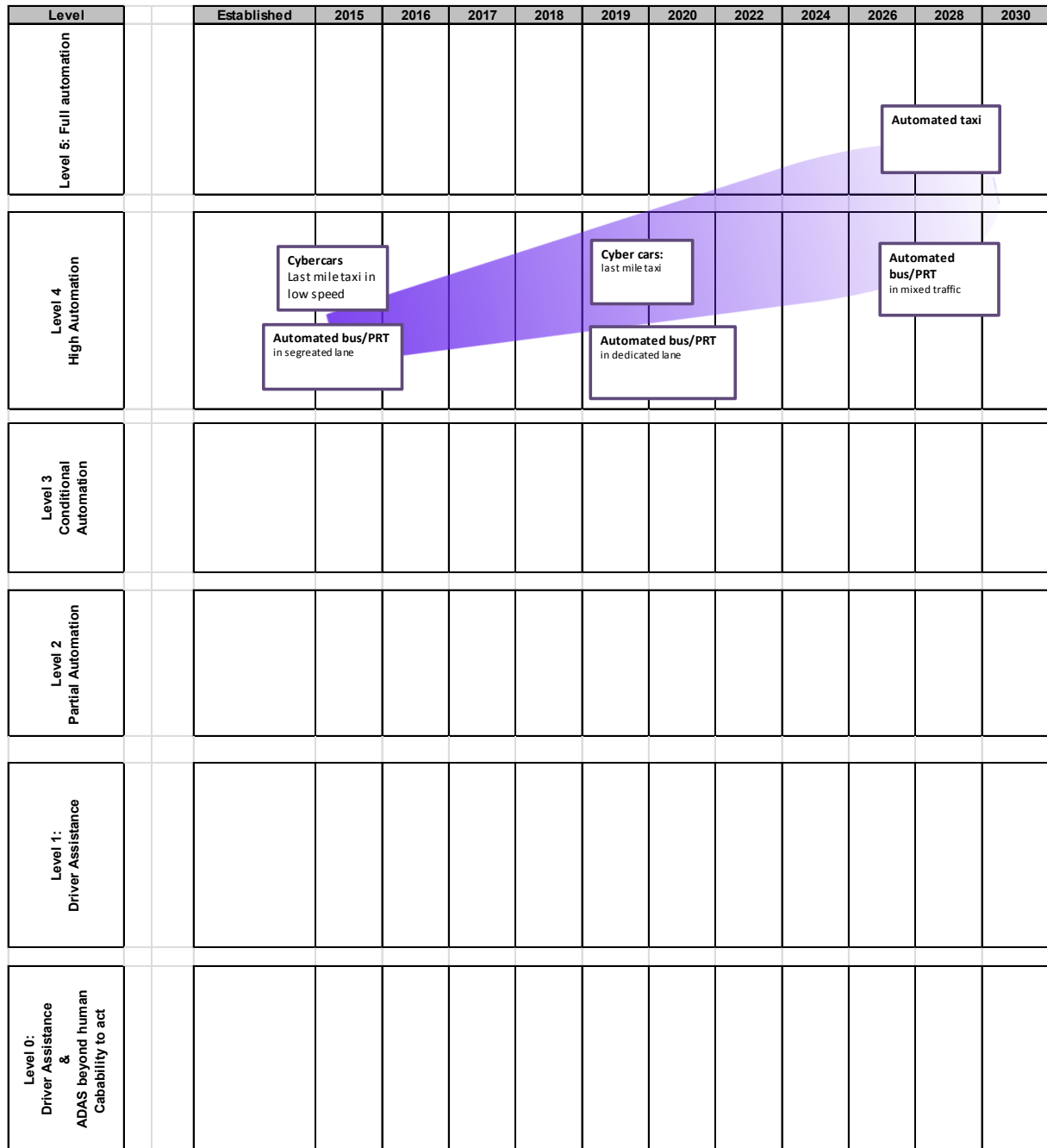
Veel systemen die hierboven bij de personenauto's genoemd zijn, worden ook voorzien voor commerciële voertuigen, eventueel aangepast op het commerciële vervoer (zie *Afbeelding 7*). Een systeem specifiek voor commerciële voertuigen is bijvoorbeeld C-ACC Platooning (niveau 1). Dit houdt in dat de voertuigen in een 'treintje' of platoons rijden, waarbij zij via coöperatieve ACC zijn gekoppeld. Het systeem zorgt voor voldoende afstand tot de voorligger; de bestuurder is verantwoordelijke voor de andere onderdelen van de rijtaak. 'Truck platooning' is een ander voorbeeld van een systeem specifiek voor commercieel vervoer. Hierbij rijden de voertuigen in colonne en kunnen ze daardoor brandstof besparen (niveau 3).



Afbeelding 7. Roadmap voor automatisering van commerciële voertuigen (ERTRAC, 2015).

2.5.3. Automatisering van het openbaar vervoer

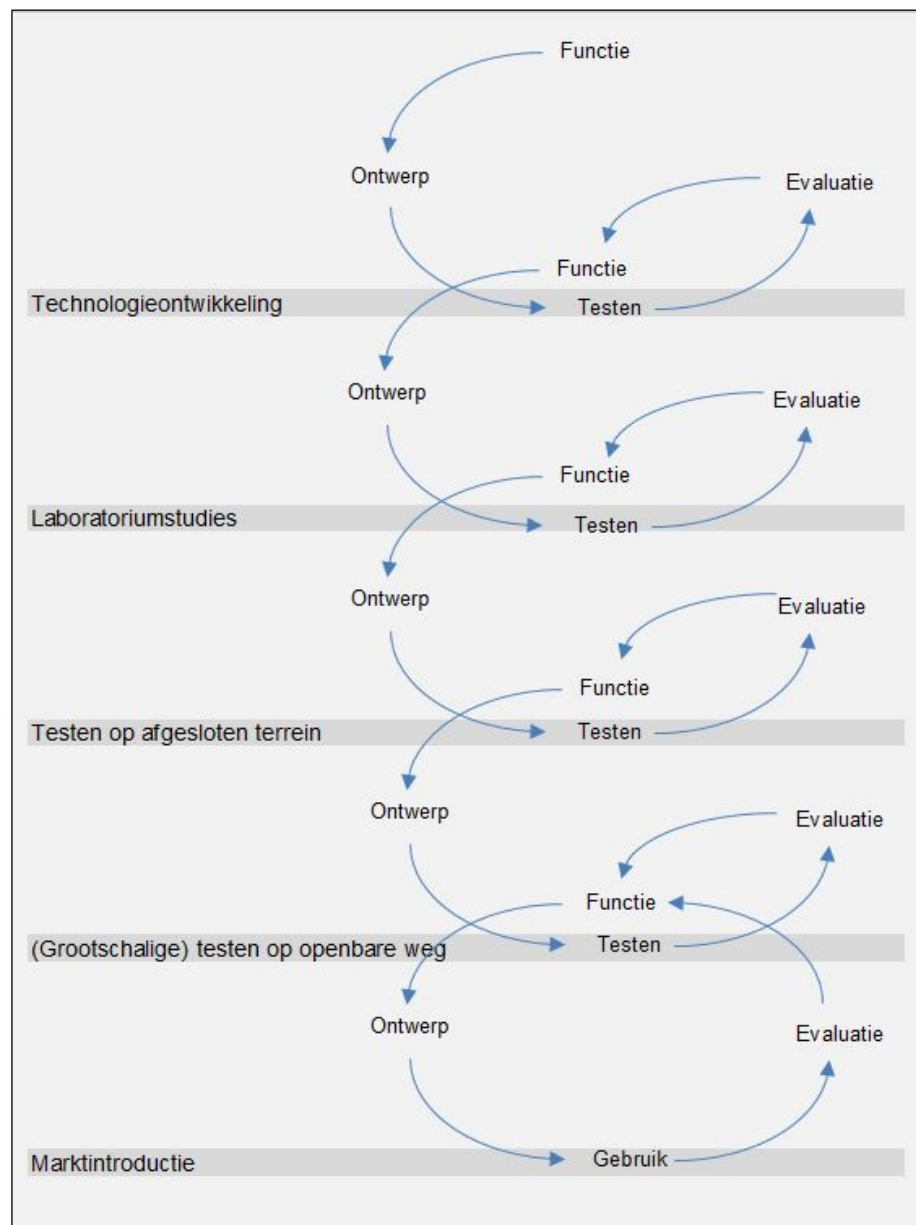
Ook voor het openbaar vervoer zijn er ontwikkelingen. In *Afbeelding 8* is te zien dat deze systemen zich vooral bevinden in de hogere niveaus van automatisering. Het gaat hier om twee soorten vervoersconcepten, namelijk 'cybercars' voor individueel transport, en geautomatiseerde bussen of Personal Rapid Transit (PRT) voor het vervoer van kleine en grote groepen.



Afbeelding 8. Roadmap voor automatisering van openbaar vervoer (ERTRAC, 2015).

2.6. De ontwikkelcyclus van een nieuw systeem

Elk systeem dat in de roadmaps staat genoemd doorloopt een ontwikkelingsproces voordat het op de markt wordt gebracht. Doorgaans begint dit bij de ontwikkeling van een technologie, gevolgd door productontwikkeling via het testen in een laboratoriumomgeving, naar testen op een afgesloten weg en vervolgens op de openbare weg. Wanneer het systeem voldoende uitontwikkeld is wordt het op de markt gebracht. Dit ontwikkelproces is schematisch weergegeven in *Afbeelding 9*.



Afbeelding 9. Schematische weergave van productontwikkeling en testen van nieuwe systemen.

Veel systemen worden eerst bij de duurdere voertuigmodellen geïntroduceerd en later ook bij de andere modellen. Zo komen de nieuwe technologieën gaandeweg de vervanging van het wagenpark op de weg.

Aftermarket-systemen die kunnen worden ingebouwd buiten de fabriek, kunnen de penetratie van systemen aanzienlijk versnellen.

2.7. Transitie: veiligheid van cruciaal belang

De transitie richting een geautomatiseerd verkeerssysteem en het tempo daarvan, zullen niet alleen worden bepaald door de technologische ontwikkelingen zoals gepresenteerd in de roadmaps (*Paragraaf 2.5*). Aangezien de automatisering niet alleen nieuwe mogelijkheden biedt, maar ook nieuwe risico's met zich meebrengt, is ook veiligheid bepalend voor (het tempo van) de transitie. Elke stap zal op een verantwoorde en zo veilig mogelijke manier moeten worden genomen, zodat (ernstige) ongevallen zo veel mogelijk worden voorkomen. Het is belangrijk dat nieuwe systemen voldoende veilig zijn en dat de voorziene en onvoorziene effecten ervan worden geobserveerd.

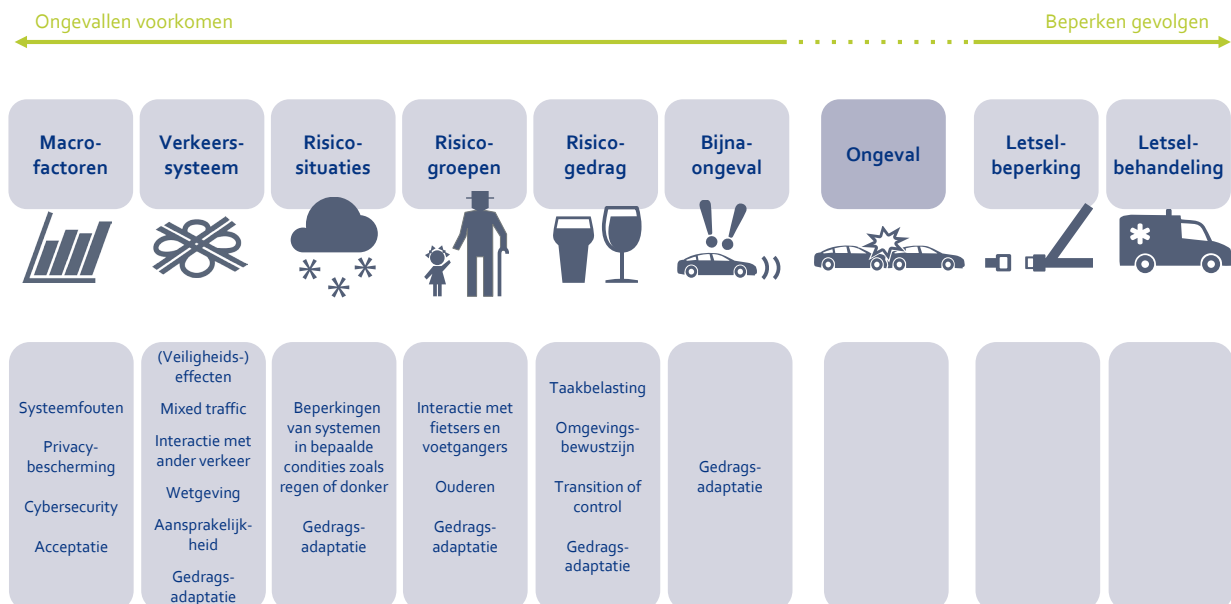
Veiligheid is dus cruciaal voor het tempo van de transitie. Ook de maatschappelijke acceptatie is een belangrijke, tempo bepalende factor en deze wordt weer mede bepaald door de veiligheid. Indien er ernstige ongevallen plaatsvinden met geautomatiseerde voertuigen, zal dit de acceptatie verlagen en de introductie vertragen. Zeker wanneer dergelijke ongevallen veel media-aandacht krijgen zal dit niet alleen grote invloed hebben op de maatschappelijke acceptatie van de automatisering, maar ook op de benodigde ontwikkeling van de wetgeving en de aansprakelijkheid.

Het volgende hoofdstuk gaat verder in op mogelijke gevolgen voor de verkeersveiligheid en andere maatschappelijke consequenties.

3. Wat betekent dit voor de verkeersveiligheid?

De diverse systemen die in voertuigen beschikbaar komen bieden niet alleen kansen om de verkeersveiligheid te verbeteren maar brengen ook nieuwe risico's met zich mee. De nieuwe technologie kan falen en het is bijvoorbeeld de vraag of de bestuurder de technologie altijd wel goed begrijpt en gebruikt zoals het bedoeld is. Het is daarom belangrijk om tijdens de transitie naar hogere niveaus van automatisering de veiligheid van het gehele verkeerssysteem te borgen.

Waar in het vorige hoofdstuk met name de nieuwe mogelijkheden zijn geschetst, geeft dit hoofdstuk inzicht in de nieuwe risico's die (kunnen) ontstaan bij de introductie van nieuwe systemen in de transitie naar hoge niveaus van automatisering. *Afbeelding 10* geeft een overzicht van de diverse factoren in het licht van de ketenbenadering. Vervolgens worden de verschillende factoren toegelicht, van bijna-ongeval tot macrofactoren.



Afbeelding 10. Overzicht van nieuwe risico's die kunnen ontstaan bij de introductie van nieuwe systemen.

3.1. Gedragsadaptatie

Bij nieuwe systemen treedt er vaak een vorm van gedragsverandering op. Gedragsadaptatie betekent dat de bestuurder zijn gedrag aanpast aan de nieuwe (bestuurdersondersteunende) technologie. Hierdoor kan het beoogde veiligheidseffect worden verminderd, of soms zelfs tenietgedaan worden of resulteren in het tegengestelde effect. Indien het tegengesteld effect wordt bereikt, bijvoorbeeld doordat men vertrouwt op een systeem en daardoor zelf te weinig meer oplet, wordt dit ook wel rebound-effect genoemd.

Een voorbeeld van gedragsadaptatie is bijvoorbeeld dat bestuurders hun rijgedrag aanpassen wanneer ze een Lane Departure Warning-systeem (LDW) hebben. De bestuurder vertrouwt erop een waarschuwing te krijgen wanneer dat nodig is en neemt daarom meer vrijheid om neventaken uit te voeren. Een andere vorm van gedragsadaptatie lijkt op te treden na platoonrijden. Het blijkt bijvoorbeeld uit rijsimulatorstudies dat bestuurders die – met korte volgafstanden – in een platoon hebben gereden, nog steeds korte volgafstanden aanhouden als ze de platoon hebben verlaten (Skottke et al., 2014).

Gedragsadaptatie kan op alle interactieniveaus een rol spelen: interactie van de bestuurder met de nieuwe technologie, interactie van de (deels) geautomatiseerde voertuigen met ander verkeer en bij interactie met slimme infrastructuur. Bij het ontwerpen van nieuwe systemen dient men te anticiperen op gedragsadaptatie om negatieve veiligheidseffecten zo veel mogelijk te voorkomen. Ook bij de evaluatie van het effect van nieuwe systemen dient met mogelijke gedragsadaptatie rekening gehouden te worden.

3.2. Taakbelasting

In de transitie naar gedeeltelijk of geheel autonome voertuigen komen er stap voor stap steeds meer bestuurdersondersteunende systemen. In eerste instantie zal het gaan om systemen die de bestuurder waarschuwen bij bepaalde gebeurtenissen. In deze fase is het belangrijk dat informatie geprioriteerd wordt, zodat men zo weinig mogelijk wordt afgeleid. Op deze manier kan worden voorkomen dat de taakbelasting te hoog wordt en daardoor de kans op fouten groter wordt (Cantin et al., 2009). Het is ook belangrijk dat de waarschuwing op de juiste manier wordt gegeven. Afhankelijk van de situatie kan de bestuurder worden gewaarschuwd door middel van een auditief signaal, een visueel signaal, een haptisch signaal zoals een trilling van stuur of stoel, of een combinatie van signalen.

Tijdens de transitie zal de rijtaak stap voor stap worden overgenomen, totdat (een gedeelte van) de rit volledig wordt overgenomen. We weten dat het besturen van een auto hoofdzakelijk een mentale taak is (Gabaude et al., 2012), waardoor het deels overnemen van de rijtaak leidt tot een verlaging van de taakbelasting voor de mens achter het stuur (Timmer et al., 2013). Bij een te lage taakbelasting gaat de prestatie omlaag en daarmee het risico omhoog (De Waard, 1996). Omdat de rijtaak zal veranderen van bestuurder naar 'supervisor', zal ook de taakbelasting veranderen. Het is daarom van groot belang om te onderzoeken welke effecten dit heeft op de taakbelasting van de bestuurder, de uitvoering van de rijtaak en de verkeersveiligheid.

Hoewel het doel van automatisering is om de rijtaak te vergemakkelijken, stelt deze paradoxaal genoeg ook eisen waaraan mensen doorgaans niet goed kunnen voldoen. Bainbridge (1983) schreef enkele decennia geleden al het artikel '*De ironie van de automatisering*'. Hierin stelt hij dat door automatisering mensen juist meer fouten gaan maken. Door automatisering verliezen mensen immers hun vaardigheden en gaan ze minder opletten als ze alleen nog maar apparaten in het oog hoeven te houden die het vrijwel altijd goed doen.

3.3. Transition of control, situatiebewustzijn en gevaarherkenning

Als de bestuurder (een deel van de rit) niet meer zelf rijdt, dan zal hij andere dingen kunnen doen in de tijd dat hij vervoerd wordt (Wallace & Silberg, 2012). Voorbeelden zijn werken, slapen, lezen of telefoneren. Totdat de voertuigen volledig autonoom rijden, zal de bestuurder op enig moment tijdens de rit de rijtaak moeten overgeven aan en overnemen van het voertuig. Dit wordt ook wel 'transition of control' genoemd. Als de rijtaak wordt overgegeven aan het voertuig, kan de bestuurder tijdelijk 'uit the loop' raken; als de bestuurder de rijtaak weer overneemt moet hij weer 'in the loop' komen. Dit zijn lastige processen. Nadat men uit 'the loop' is geweest moet het situatiebewustzijn (het bewustzijn van wat er om je heen gaande is) opnieuw worden opgebouwd. Dit heeft tijd nodig. Het tijdelijk beperkte situatiebewustzijn leidt onder andere tot minder goede herkenning van gevaren en anticipatie daarop. Endsley & Kaber (1999) toonden aan dat mensen door hoog geautomatiseerde systemen hun situatiebewustzijn deels verliezen.

Vlakveld et al. (2015) en Wright et al. (2016) onderzochten de tijd die bestuurders nodig hadden om hun situatiebewustzijn weer op te bouwen en latente gevaren te herkennen. De conclusie was dat de gevaarherkenning van bestuurders veel beter was 6 seconden na rijtaakovername dan 4 seconden na rijtaakovername.

Bij gedeeltelijke automatisering is het voor mensen vaak moeilijk de systeemgrenzen te begrijpen, waardoor het ook lastig is om tijdig in te grijpen indien nodig.

Een recente literatuurstudie (Vlakveld, 2015) laat zien dat er nog weinig bekend is over hoe goed en snel de bestuurder de operationele rijtaak weer kan overnemen en over de tijd die nodig is om de 'situation awareness', ofwel het situatiebewustzijn, op te bouwen en (latente) gevaren te herkennen. Ook is het de vraag hoe de bestuurder hier het beste in kan worden begeleid.

3.4. Interactie van ouderen met nieuwe technologie

Nieuwe systemen kunnen de mogelijkheid bieden om ouderen en mensen met een beperking langer mobiel te houden. Dit is een grote bijdrage aan de onafhankelijkheid en mobiliteit van deze groepen mensen. Daarentegen brengt de nieuwe technologie ook op dit punt uitdagingen met zich mee.

Juist ouderen zouden wel eens extra moeite kunnen hebben met het begrijpen en gebruiken van de nieuwe systemen. Bij de ontwikkeling ervan is het van belang rekening te houden met de begrijpelijkheid voor iedereen.

Interpersoonlijke verschillen

Het is mogelijk om systemen adaptief te maken, zodat ze zich automatisch aanpassen aan de bestuurder, bijvoorbeeld op grond van het continu monitoren van de alertheid van de bestuurder. Ook zou het systeem kunnen worden ingericht op basis van de voorkeur van een bestuurder, bijvoorbeeld een vlotte of juist een rustige rijstijl. Hoe meer een systeem is toegespitst op de persoon, des te groter de acceptatie is, en ook het effect kan hierdoor groter worden. Ondersteuning dient zo goed mogelijk op maat te zijn.

3.5. **Interactie met kwetsbare verkeersdeelnemers**

Verschillende toekomstbeelden gaan uit van een grote mate van verstedelijking, waardoor er veel verschillende soorten verkeer zullen mengen. Het is van belang bij de ontwikkeling van nieuwe systemen rekening te houden met de interactie tussen (deels) geautomatiseerde auto's en de kwetsbaardere verkeersdeelnemers zoals voetgangers, fietsers en motorrijders. In de eerste plaats zullen (deels) geautomatiseerde voertuigen de kwetsbare verkeersdeelnemers moeten herkennen en hun intenties en gedrag moeten kunnen voorspellen om erop te kunnen anticiperen (Vissers et al., 2016). Ook de infrastructurele inrichting is belangrijk. Duidelijkheid over de aangewezen plaats op de weg van alle vervoermiddelen en over de locaties waar je elkaar kunt ontmoeten is van groot belang.

De intelligente fiets

Na de ITS-toepassingen in voertuigen en aan de infrastructuur komt er nu ook aandacht voor ITS op de fiets. De fiets is een veelgebruikt vervoermiddel in Nederland en ook het (stedelijk) gebruik in het buitenland neemt steeds meer toe. De afgelopen jaren is het aantal elektrische fietsen en speedpedelecs op de weg toegenomen, en naar verwachting zullen die aantallen de komende jaren nog verder toenemen. Elektrische fietsen bieden – door hun elektrische aandrijving – meer mogelijkheden voor ITS-toepassingen op de fiets dan conventionele fietsen. ITS op de fiets biedt vele mogelijkheden, zoals 'connectivity' (communicatie tussen voertuigen). Hiermee kan de virtuele zichtbaarheid van fietsers voor de bestuurders worden vergroot, en daarmee ook de veiligheid – vooral in slechtzichtsituaties.

Gemotoriseerde tweewielers

De vraag is welke ontwikkelingen er te verwachten zijn ten aanzien van ITS op gemotoriseerde tweewielers. Ook motoren en scooters zouden met andere voertuigen en met de infrastructuur kunnen gaan communiceren. Dit biedt mogelijkheden om de (virtuele) zichtbaarheid voor andere weggebruikers te vergroten.

3.6. **Mixed traffic**

In de transitie richting de zelfrijdende auto hebben we te maken met gemengd verkeer (mixed traffic), waarbij voertuigen met verschillende niveaus van automatisering zich tegelijkertijd in het dagelijks verkeer bevinden. Dit kan verwarrend zijn als verkeersdeelnemers niet weten in welke mate een voertuig is geautomatiseerd, welk gedrag daarom te verwachten is, en hoe ze daarop moeten anticiperen.

Voor het effect van sommige systemen is de penetratiegraad – het percentage voertuigen of wegen dat met een systeem is uitgerust – van belang. Met name daar waar het gaat om coöperatieve systemen, is de kwaliteit van het systeem afhankelijk van het aantal auto's en/of wegen dat 'meedoet'. Bij veel coöperatieve systemen wordt er pas effect bereikt als er voldoende auto's (of infrastructuur) met dat systeem zijn uitgerust en onderling kunnen 'communiceren'. Er moet een 'kritieke massa' worden bereikt. Het wagenpark wordt geleidelijk vervangen en zal dan ook geleidelijk bestaan uit meer intelligente(re) voertuigen (Sivak & Schoettle, 2015). Dit maakt de introductie van nieuwe systemen lastig, omdat de gebruiker de functionaliteit pas kan

benutten als voldoende andere weggebruikers deze ook hebben. Ook het veiligheidseffect van dergelijke systemen hangt af van hun penetratiegraad.

Interactie met niet-gebruikers

Wanneer een deel van de weggebruikers een bepaald systeem heeft, en een ander deel niet, kan dit invloed hebben op de veiligheid van weggebruikers. Een systeem zoals ACC of LDW heeft invloed op het gedrag van het voertuig. Tijdens de transitie weten mensen niet van andere voertuigen welke systemen ze hebben en dus ook niet welk gedrag ze kunnen verwachten.

3.7. Wetgeving en juridische aansprakelijkheid

De huidige Wegenverkeerswet 1994 definieert een bestuurder als 'degene die vervoer over de weg verricht met een voertuig ...' (artikel 151b lid b). Een nieuw vraagstuk is dus wie de bestuurder is als het voertuig (een gedeelte van) de rijtaak op zich genomen heeft. En ook de aansprakelijkheid in geval van schade of letsel wordt bij de automatisering van het verkeerssysteem een kwestie. Bovendien zal de wet – om te beginnen – de toekomstige voertuigen inclusief technologie ook moeten toestaan op de openbare weg. We zijn dan niet alleen afhankelijk van de Nederlandse wetgeving maar ook van de Europese wetgeving (Van Voorst tot Voorst & Hoogerwerf, 2013). Ook wat het tempo van de transitie betreft, zijn we afhankelijk van Europa en de rest van de wereld. Grensoverschrijdend verkeer zou in de problemen kunnen komen als landen hierin niet synchroon lopen of verschillende technologieën gebruiken die niet met elkaar overweg kunnen. Het is daarom van belang om op Europees niveau samen te werken.

3.8. Acceptatie

Acceptatie is cruciaal voor het tempo van de transitie naar hogere niveaus van automatisering. Dit betreft niet alleen acceptatie door de gebruikers – het maatschappelijke draagvlak – maar ook het politieke draagvlak: onder bewindslieden die te maken hebben met het wijzigen van de wetgeving en het toelaten van (deels) automatische voertuigen op de openbare weg.

Subjectieve veiligheid speelt een rol bij deze acceptatie: een systeem kan veilig zijn, maar kan als onveilig worden ervaren. Daarnaast kunnen ernstige (maar ook minder ernstige) incidenten met de nieuwe, prille technologie de acceptatie nadelig beïnvloeden en het acceptatieproces vertragen of zelfs tot stilstand brengen. Dit geldt voor de testfasen maar ook voor de daadwerkelijke invoering.

3.9. Ethische vraagstukken

In de transitie naar hogere niveaus van automatisering spelen ook ethische vraagstukken een rol. Volgens Timmer et al. (2013) zullen er ethisch gezien lastige afwegingen gemaakt moeten worden, bijvoorbeeld in de programmering van de software.

Een voorbeeld is het programmeren van een uitwijkmanoeuvre en de prioriteiten die daarbij eventueel gesteld moeten worden. Misschien zal dan gekozen moeten worden tussen de eigen veiligheid of die van een ander, of

tussen de ene of de andere medeweggebruiker. Technologie biedt echter ook de mogelijkheid om dergelijke ethische dilemma's te vermijden. De gebruikte technologie zou elk letsel moeten voorkomen door de snelheid aan te passen aan de situatie en zo voldoende tijd te geven om te remmen.

Het politieke en maatschappelijke draagvlak, maar ook de acceptatie van nieuwe systemen zullen bij dit soort ethische vraagstukken een rol spelen. Vice versa, zal de ethische discussie het politieke en maatschappelijke draagvlak beïnvloeden.

3.10. **Kwaliteitswaarborging: systeemfouten en cybersecurity**

Van een (deels) geautomatiseerd verkeerssysteem zal ook de beveiliging een uitdaging zijn. Er moet worden voorkomen dat niet-geautoriseerde partijen toegang tot het systeem hebben en het eventueel misbruiken met mogelijk gevaar voor de veiligheid van de gebruikers ervan als gevolg. De systemen kunnen zo ontworpen zijn, dat er informatie verzameld wordt door de fabrikanten, bijvoorbeeld waar de auto rijdt, hoe hard hij rijdt en dergelijke. Op die manier zijn er meer bronnen voor verkeersinformatie dan alleen de wegbeheerder. De wet zal moeten worden aangepast om de verzameling van verkeersdata en het gebruik ervan mogelijk te maken. Er zouden standaarden moeten komen voor een toegankelijke en betrouwbare voorziening van verkeersinformatie (Timmer et al., 2013).

Met de toenemende automatisering zullen er veel meer data komen om de verkeersstromen te monitoren en te sturen. Voor de veiligheid van het systeem is het zeer belangrijk om systeemfouten te voorkomen. Er zal goed moeten worden gelet op de kwaliteit van beschikbare software en producten (Timmer et al., 2013). Die kwaliteit, bijvoorbeeld een goede beveiliging van de besturing van het voertuig, moet gegarandeerd worden. Er zal moeten worden nagedacht over de voorwaarden waaronder systemen en diensten op de markt mogen komen en welke partijen de juridische verantwoordelijkheid hebben indien de technologie steeds meer beslissingen zal nemen.

3.11. **Bescherming van de data en privacy**

De grote hoeveelheid data om de verkeersstromen te monitoren en te sturen bevatten privacygevoelige informatie; ze geven aan wie op welk moment ergens is of is geweest. Het is belangrijk dat de privacy van het individu hierbij wordt beschermd en dat deze gegevens goed worden beveiligd en niet voor andere doeleinden worden gebruikt. Onvoldoende bescherming van de privacy kan zijn weerslag hebben op de acceptatie, maar het zou er ook voor kunnen zorgen dat deze technologieën vertraagd op de markt komen omdat ze niet aan de wet of andere voorschriften voldoen (Timmer et al., 2013).

4. Onderzoeksagenda

Het vorige hoofdstuk geeft een overzicht van de belangrijkste nieuwe risico's die zijn geïdentificeerd voor de transitie in de richting van een geautomatiseerd verkeerssysteem. Dat overzicht is niet uitputtend en ook zal voortschrijdend inzicht additionele risico's aan het licht kunnen brengen. Om de verkeersveiligheid in de toekomst te borgen, is het van belang met wetenschappelijk correct en praktisch toepasbaar onderzoek nieuwe risico's te blijven identificeren en nieuwe kennis te ontwikkelen om deze met passende ontwerpen en maatregelen te beperken of te voorkomen.

Een aantal risicogebieden valt niet binnen de specifieke expertise van SWOV. Dit betreft: systeemfouten, cybersecurity, bescherming van data en privacy, ethische vraagstukken, wetgeving en juridische aansprakelijkheid. Andere (onderzoeks)organisaties dan SWOV hebben expertise op deze terreinen en blijven deze ook ontwikkelen. Het is voor SWOV van belang de ontwikkelingen en het onderzoek op deze gebieden nauwlettend te volgen en eventueel samenwerking te zoeken. Het is voor SWOV geen prioriteit om op deze terreinen zelf onderzoek te doen.

De andere geïdentificeerde risicofactoren sluiten aan bij de kennis en expertise van SWOV op het gebied van infrastructuur en gedrag, en de interactie tussen mens, voertuig en weg. Dit betreft de volgende risicofactoren: taakbelasting, 'transition of control', situatiewaarschuwing en gevaarherkenning, ouderen, interactie met andere verkeersdeelnemers, interactie met kwetsbare verkeersdeelnemers, acceptatie, mixed traffic, slimme infrastructuur en gedragsadaptatie. Op deze onderwerpen kan SWOV, eventueel in samenwerking met andere organisaties, door middel van onderzoek substantieel en herkenbaar bijdragen aan de verbetering van de verkeersveiligheid tijdens de transitie naar hogere niveaus van automatisering.

De genoemde onderwerpen voor onderzoek laten zich clusteren in drie groepen:

1. interactie van de bestuurder met de nieuwe technologie in het voertuig;
2. interactie van (deels) geautomatiseerde voertuigen met ander verkeer;
3. slimme infrastructuur en veiligheidseffecten op het verkeerssysteem.

Om de drie clusters van onderwerpen goed te onderzoeken is het aan te raden verschillende methoden te gebruiken die elkaar aanvullen. SWOV zal hierbij gebruik kunnen maken van haar ervaring en een aantal specifieke middelen voor onderzoek die ze op dit moment beschikbaar heeft: een rijnsimulator, een geïnstrumenteerde auto, gegevens uit Naturalistic Driving-onderzoek, een team voor diepteonderzoek, een geïnstrumenteerde fiets en microsimulatiemodellen. Daarnaast adviseert SWOV aan de RDW over de veiligheid van praktijkproeven met (deels) zelfrijdende voertuigen op de openbare weg.

De drie groepen onderzoeksobjecten worden in de komende paragrafen besproken.

4.1. **Interactie van de bestuurder met de nieuwe technologie**

Het is van belang kennis te ontwikkelen over de impact van systemen op de taak van automobilisten en de gevolgen daarvan voor de veiligheid. De introductie van nieuwe systemen en de hogere niveaus van automatisering hebben invloed op de taakbelasting van de bestuurder, het situatiewaarschijnlijkheidsbewustzijn en de mate van gevaarherkenning. Met de toenemende automatisering is het van belang om ervoor te zorgen dat automobilisten geen te lage en ook geen te hoge taakbelasting hebben, zodat hun prestatie, en daarmee de veiligheid, optimaal is. Ook 'transition of control' tussen het voertuig en de bestuurder moet zorgvuldig plaatsvinden.

Momenteel besteden ook andere organisaties dan SWOV aandacht aan onderzoek op deze onderwerpen. Gezien de ruime expertise van SWOV op het gebied van gedrag en verkeersveiligheid ligt hier zeker een mogelijkheid om betekenisvol bij te dragen aan de kennisontwikkeling op dit gebied. Hiervoor kunnen de verschillende onderzoeksmiddelen van SWOV worden gebruikt: de simulator, de geïnstrumenteerde auto en Naturalistic Driving-gegevens.

Hieronder wordt een aantal concrete ideeën voor relevant en haalbaar onderzoek op dit gebied gepresenteerd. Dit is zeker geen uitputtende lijst. Op basis van voortschrijdend inzicht en in samenwerking met andere partijen kunnen deze ideeën verder worden ontwikkeld.

Taakbelasting

In simulatoronderzoek is al aangetoond dat bestuurders meer risico nemen wanneer de rijtaak in hoge mate is geautomatiseerd (Skottke et al., 2014). In een literatuuronderzoek naar het gedrag van bestuurders in hoog, maar nog niet volledig geautomatiseerde voertuigen, concluderen De Winter et al. (2014) dat hoewel door de automatisering mentale capaciteit wordt vrijgemaakt hun aandacht voor de rijtaak verslapt en dat ze minder op het verkeer gaan letten.

Nog niet goed is onderzocht hoe de taakbelasting kan worden gemeten in het echte verkeer. Ook is er nog beperkt inzicht in het 'venster' van optimale taakbelasting, of en hoe bestuurders dit zelf reguleren en hoe de auto dat zou kunnen reguleren. Het is van belang hier meer inzicht in te verkrijgen om de verkeersveiligheid tijdens de transitie naar verdere automatisering te borgen. Het is van belang onderzoek te doen naar de veranderende taak en taakbelasting van bestuurders door introductie van nieuwe systemen en naar manieren om deze taakbelasting te managen in de transitie.

Momenteel loopt er SWOV-onderzoek naar de fysiologische meting van taakbelasting tijdens het rijden. Dit onderzoek biedt inzicht in de variatie van taakbelasting tijdens het rijden in verschillende situaties. Op basis van fysiologische metingen van taakbelasting in de geïnstrumenteerde auto tijdens het rijden, wordt een proxy voor taakbelasting ontwikkeld die kan worden toegepast op de Naturalistic Driving-data. Verdere relevante kennis kan worden opgebouwd door analyse van Naturalistic Driving-data. Op basis van het natuurlijke gedrag dat hier wordt vertoond, kan worden onderzocht of en hoe de taakbelasting varieert, of het wordt genivelleerd binnen bepaalde grenzen (zelfregulatie), hoe de bestuurder dat dan doet en waar die grenzen liggen.

Vervolg vragen zijn:

1. Welke onderdelen van de rijtaak dragen meer en minder bij aan de totale taakbelasting?
2. Wanneer een deel van de rijtaak wordt overgenomen, hoe zorg je dat de taakbelasting van de bestuurder zodanig is dat er een optimale prestatie wordt geleverd? (dus niet te hoog of te laag)
3. Hoe zorg je dat de bestuurder bij een te lage belasting, waarbij de bestuurder wel alert moet blijven, geen andere dan rijtaak-gerelateerde taken gaat uitvoeren?

Transition of control, situatiewustzijn en gevaarherkenning

De verwachting is dat eerst delen van de rit automatisch uitgevoerd worden voordat de gehele rit automatisch gereden kan worden. Het is de vraag hoe het overschakelen van automatisch naar handmatig rijden ('transition of control') het beste kan verlopen uit het oogpunt van verkeersveiligheid. Het is nog niet bekend hoe goed bestuurders zijn in gevaarherkenning direct nadat ze de controle en de handelingen weer van het voertuig moeten overnemen. Horswill & McKenna (2004) definiëren gevaarherkenning als situatiewustzijn voor potentieel gevaarlijke situaties in de weg- en verkeersomgeving. Endsley (1995) definieert situatiewustzijn als het kunnen waarnemen en begrijpen van de bestaande situatie en het kunnen voorspellen hoe potentieel gevaarlijke situaties zich kunnen ontwikkelen tot echte gevaren. Gevaarherkenning is dan het kunnen detecteren en herkennen van potentieel gevaarlijke situaties, en kunnen voorspellen hoe die potentiële gevaren kunnen uitgroeien tot situaties waarin een ongeval niet meer vermeden kan worden.

SWOV heeft expertise op het gebied van gevaarherkenningsonderzoek. Recent is onderzoek gedaan naar hoe goed bestuurders gevaren herkennen direct nadat ze de rijtaak van een zelfstandig rijdende auto hebben overgenomen. Uit de analyses blijkt dat na onderbreking significant minder potentiële gevaren herkend worden (Vlakveld et al., 2015). Tevens blijkt dat het vermogen gevaren te herkennen na onderbreking het sterkst afneemt bij de moeilijker te herkennen gevaren. In de vervolg wordt nu een simulatorstudie uitgevoerd waarbij de bestuurder de rijtaak weer moet overnemen na een periode van automatisch rijden. Hier wordt onderzocht of bestuurders de latente gevaren in de verkeersomgeving waarnemen en tevens hoe goed ze presteren op de rijtaak.

Om verdere inzichten te krijgen in de vraag hoe de overgang van automatisch naar handmatig rijden veilig kan verlopen, willen we met toekomstig onderzoek de volgende vragen beantwoorden:

1. Hoe lang heeft de bestuurder nodig om weer terug 'in the loop' te komen?
2. Wat bepaalt de tijdsduur die de bestuurder nodig heeft om weer terug in de loop te komen?
3. Wat bepaalt de mate waarin iemand in staat is om potentiële gevaren te herkennen nadat men uit de loop is geweest?
4. Zijn er condities (weg- en verkeersomgeving) waarbij het overschakelen van automatisch naar handmatig sneller of beter gaat? Hoe kan dit soepel en snel verlopen?
5. Hoe kan een bestuurder het best begeleid worden door het systeem om zo snel mogelijke de rijtaak weer volledig te kunnen overnemen?

Ouderen

Voor ouderen biedt de automatisering mogelijkheden om langer mobiel te blijven. Tevens brengt de automatisering nieuwe risico's met zich mee. Het is de vraag of ouderen de nieuwe technologie begrijpen. Dit resulteert in twee onderzoeksvragen:

1. Hoe kunnen ouderen ondersteund worden in de rijtaak en zo langer mobiel blijven?

Gezien de toenemende vergrijzing krijgen we in de maatschappij te maken met een grotere groep ouderen. Het is in het individuele en maatschappelijk belang om deze ouderen zo lang mogelijk (auto)mobiel te houden. Tevens weten we dat er met het ouder worden beperkingen optreden, zoals bijvoorbeeld een langere reactietijd en stijfheid van het lichaam. Het is van belang om vanuit de specifieke behoefte en beperkingen van de ouderen te kijken hoe ITS-systemen hen zouden kunnen ondersteunen om langer mobiel te blijven. In welke taken hebben zij vooral ondersteuning nodig en hoe zouden systemen hen hierbij kunnen helpen? Dit onderzoek moet leiden tot het formuleren van specifieke wensen voor ondersteuning van ouderen.

2. Zijn de nieuwe systemen die ontwikkeld worden voldoende geschikt voor ouderen? In hoeverre sluiten de systemen aan bij de oudere verkeersdeelnemer? Zijn ze te begrijpen voor ouderen?

Het lijkt erop dat systemen veelal worden ontwikkeld voor en getest door de gemiddelde bestuurder. Het is van belang dat de systemen ook worden getest op ouderen en zo worden ontwikkeld dat ook deze bestuurdersgroep er baat bij heeft en in elk geval geen last van heeft. Door verschillende systemen specifiek voor ouderen te evalueren (in simulator of met een geïnstrumenteerde auto) kunnen richtlijnen worden ontwikkeld voor systeemontwerpen voor ouderen.

4.2. Interactie met andere verkeersdeelnemers

Nieuwe systemen in de auto veranderen het rijgedrag. De (gedeeltelijk) zelfrijdende auto zal zich soms anders gedragen dan we gewend zijn. Dit kan effect hebben op het gedrag van andere verkeersdeelnemers. Er zijn aanwijzingen dat mensen het gedrag van het geautomatiseerde voertuigen overnemen. Een recente simulatorstudie van Gouy et al. (2014) laat zien dat weggebruikers de volgafstand aanpassen door aanwezigheid van platoons. Ook is het mogelijk dat het gedrag van het geautomatiseerde voertuig niet goed wordt begrepen door de medeweggebruikers of – andersom – het geautomatiseerde voertuig het gedrag van de (kwetsbare) medeweggebruiker niet goed kan inschatten (Vissers et al., 2016).

Kwetsbare verkeersdeelnemers

Het is in het bijzonder van belang om onderzoek te doen naar de verkeersveiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers in een verkeerssysteem met geheel of gedeeltelijk autonome voertuigen en in de transitie daarnaartoe. Vraagstukken die spelen in de interactie met kwetsbare verkeersdeelnemers betreffen voor een belangrijk deel de implementatie van het (deels) geautomatiseerde voertuig, zoals de snelheid en de plek op de weg, en de interactie en communicatie met de kwetsbare verkeersdeelnemer, zoals de herkenbaarheid van het feit dat het voertuig (deels) zelfrijdend is. Wat de herkenbaarheid van (deels) zelfrijdende voertuigen betreft, is het belangrijk te beseffen dat dit anders kan zijn in de beginfase, wanneer het fenomeen

nieuw is, dan in een latere fase wanneer mensen meer gewend zijn aan de aanwezigheid van (deels) zelfrijdende auto's. Ook de (deels) zelfrijdende auto zal in latere fasen meer gewend moeten zijn aan het gedrag van kwetsbare verkeersdeelnemers (Vissers et al., 2016).

Hieronder wordt een aantal concrete ideeën voor relevant en haalbaar onderzoek voor SWOV op dit gebied gepresenteerd. Dit is zeker geen uitputtende lijst; op basis van voortschrijdend inzicht en in samenwerking met andere partijen kunnen deze ideeën verder worden ontwikkeld.

1. Analyse van ongevallen en bijna-ongevallen met fietsers en voetgangers op basis van Naturalistic Driving-data en/of op basis van dieptestudies. Dit geeft inzicht hoe de bestuurder ondersteund zou kunnen worden, bijvoorbeeld door middel van ITS-systemen, om dergelijke ongevallen te voorkomen.
2. Analyse van de 'normale' interactie tussen de (vracht)auto en fietser/voetganger in Naturalistic Driving-data. Er kan worden gekeken naar de meest kritieke manoeuvres, zoals bijvoorbeeld rechts afslaan binnen de bebouwde kom, en dan in het bijzonder naar het kijkgedrag van de bestuurder, gebruik van de spiegels, taakbelasting van deze manoeuvre, opstelling van fietsers ten opzichte van de vrachtwagen, afleiding en of de bestuurder bij het wachten voor een verkeerslicht 'uit de loop' raakt. Op basis van deze inzichten wordt gekeken of en hoe de bestuurder beter kan worden ondersteund.
3. Experimenteel onderzoek naar kenmerken waarop fietsers en voetgangers hun verwachtingen over het gemotoriseerde verkeer baseren: aanwezigheid, locatie, snelheid en voorgenomen manoeuvres. In experimenten met gemanipuleerde condities (in simulator, op gesloten oefenterreinen of op openbare weg) kan worden onderzocht welke factoren de verwachtingen beïnvloeden. Deze inzichten kunnen worden gebruikt voor ontwikkeling van automatische systemen.
4. Onderzoek naar de ontwikkelingen op ITS-gebied voor kwetsbare verkeersdeelnemers (voetgangers, fietsers, gemotoriseerde tweewielers) om deze vormen van vervoer veiliger te maken door middel van actieve veiligheidssystemen.

4.3. Slimme infrastructuur en effecten op het verkeerssysteem

De infrastructuur wordt slimmer en de auto's zullen gaan communiceren met elkaar en met de infrastructuur. De levensduur van infrastructuur is echter langer dan die van auto's. Daarom is het van belang om na te gaan hoe de infrastructuur kan worden voorbereid op de zelfrijdende auto en de transitie.

1. In Duurzaam Veilig worden infrastructurale maatregelen aanbevolen. Sommige ITS-systemen maken infrastructurale maatregelen minder belangrijk of overbodig. Gegeven de ontwikkelingen op het gebied van automatisering, welke maatregelen blijven dan belangrijk op de lange termijn en welke maatregelen worden mogelijk minder belangrijk omdat het door ITS-systemen wordt opgelost? En op welke termijn?
2. 'Roads that cars can read'. Aan de andere kant kunnen de nieuwe ITS-systemen nieuwe eisen stellen aan de infrastructuur. Goed automatisch leesbare markering en bebording worden bijvoorbeeld belangrijker. De infrastructuur moet worden klaargemaakt zodat de automatische auto erop kan gaan rijden. Welke infrastructurale maatregelen zijn hiervoor nodig?

Het is van belang om een inschatting te kunnen maken van de veiligheids-effecten van nieuwe systemen. Met behulp van microsimulaties kan worden gekeken naar de veiligheidseffecten op het verkeerssysteem. Voor bepaalde systemen is het nodig dat er een kritieke massa is die het systeem gebruikt om het beoogde (veiligheids)effect te bereiken. Voor dergelijke systemen is het van belang inzicht te krijgen in het (veiligheids)effect bij verschillende penetratiegraden van het systeem. Dit kan door middel van microsimulaties. Voor het runnen van betekenisvolle microsimulaties is het van belang goede variabelen in te voeren voor het gedrag van de auto's in de simulatie.

1. Ontwikkeling van goede veiligheidsindicatoren voor microsimulaties.
2. Microsimulaties uitvoeren om inzicht te krijgen in de veiligheidseffecten van bepaalde systemen bij verschillende penetratiegraden. Dit zou goed kunnen in samenwerking met andere partijen als onderdeel van een groter project naar een specifiek systeem.
3. Ondersteunend gedragsonderzoek om betrouwbare parameters te kunnen invoeren in de microsimulaties. Afhankelijk van het gevraagde gedrag, kan dit door middel van een experiment of door analyse van Naturalistic Driving-data.
4. Welke informatiefaciliteiten aan de wegkant kunnen worden uitgefaseerd wanneer voertuigen steeds slimmer worden? Hoe kan deze overgang van wegkant informatie naar in-voertuiginformatie veilig gerealiseerd worden? En bij welke penetratiegraad kan dit voor alle weggebruikers op een veilige en soepele wijze verlopen?

4.4. Veiligheid bij praktijkproeven met (deels) zelfrijdende voertuigen

Onderdeel van de ontwikkeling van systemen is de testprocedure (zie *Afbeelding 9*). Voordat nieuwe systemen op de markt worden gebracht, zullen zij moeten worden getest. Vaak eerst in een laboratoriumomgeving, dan op een besloten terrein en vervolgens in een praktijkproef op de openbare weg.

Om in het kader van een praktijkproef met een (deels) zelfrijdend voertuig op (een bepaald deel van) de openbare weg te mogen rijden, is een ontheffing nodig. Deze ontheffing kan bij de RDW worden aangevraagd. Na het doorlopen van de ontheffingsprocedure besluit de RDW om een al dan niet een ontheffing te verlenen. Omdat verkeersveiligheid een belangrijke randvoorwaarde is van de ontheffingsprocedure, heeft SWOV een adviserende rol ten aanzien van de veiligheid van testen op de openbare weg en het borgen van kennis hierover. SWOV levert een bijdrage door een advies te geven voor specifieke aanvragen ten aanzien van de veiligheidsrisico's (Boele et al., 2015).

De kennis die al doende wordt opgedaan bij alle praktijkproeven wordt gebundeld in een overzichtsrapport zodat SWOV aanvullende kennis opbouwt over verkeersveiligheid van geautomatiseerde voertuigen. Hierbij richt SWOV zich vooral op de mens ('human factors') in interactie met het voertuig en de weg. Denk aan de interactie tussen de bestuurder (of bij volledig automatische voertuigen de operator) en de nieuwe technologie. En denk aan de interactie met andere verkeersdeelnemers, waarbij er groot belang wordt gehecht aan de verkeersveiligheid van kwetsbare verkeersdeelnemers. Snelheid, massa en plaats op de weg zijn bij advies over dit soort praktijkproeven belangrijke aandachtspunten (zie Boele et al., 2015).

Er is een waardevolle interactie van dit onderzoeksgebied met de drie andere onderzoeksgebieden. Dat wat er in de praktijk wordt aangetroffen kan leiden tot nieuwe onderzoeksvragen. Omgekeerd kan kennis uit onderzoek worden gebruikt bij het inschatten van veiligheidsrisico's van de praktijkproeven.

Literatuur

Arem, B. van (2010). *7 Mythes over mobiliteit*. Tekst Intreerede 8 september 2010. Technische Universiteit Delft, Delft.

AutomotiveNL, Connekt, & DITCM. (2012). *Towards a smart mobility roadmap; 2014-2020*. AutomotiveNL, Connekt, DITCM.

Bainbridge, L. (1983). *Ironies of automation*. In: *Automatica*, vol. 19, nr. 6, p. 775-779.

Boele, M.J., Duivenvoorden, C.W.A.E., Hoekstra, A.T.G. & Craen, S. de (2015). *Procedure en criteria voor de veiligheid van praktijkproeven op de openbare weg met (deels) zelfrijdende voertuigen*. R-2015-15A. SWOV, Den Haag.

Cantin, V., Lavallière, M., Simoneau, M. & Teasdale, N. (2009). *Mental workload when driving in a simulator: Effects of age and driving complexity*. In: *Accident Analysis & Prevention*, vol. 41, nr. 4, p. 763-771.

Duivenvoorden, C.W.A.E., Goldenbeld, Ch., Weijermars, W.A.M., Bos, N.M., et al. (2015). *Monitor Beleidsimpuls Verkeersveiligheid 2015 – Onderzoeksverantwoording*. R-2015-20A. SWOV, Den Haag.

ERTRAC (2015). *Automated Driving Roadmap*. ERTRAC Task Force “Connectivity and Automated Driving” Final Version July 2015. European Road Transport Research Advisory Council ERTRAC, Brussels.

Endsley, M.R. (1995). *Toward a theory of situation awareness in dynamic systems*. In: *Human Factors*, vol. 37, nr. 1, p. 32-33.

Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (1999). *Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task*. In: *Ergonomics*, vol. 42, nr. 3, p. 462-492.

Horswill, M.S. & McKenna, F.P. (2004). *Drivers' hazard perception ability: situation awareness on the road*. In: Banbury, S. & Tremblay, S. (red.), *A cognitive approach to situation awareness*. Ashgate, Aldershot, UK, p. 155-175.

Gabaude, C., Baracat, B., Jallais, C., Bonniaud, M. & Fort, A. (2012). *Cognitive load measurement while driving*. In: *Human Factors: a view from an integrative perspective. Cognitive load measurement while driving*. In: *Human Factors: a view from an integrative perspective*, pp. 67-80.

Gouy, M., Wiedemann, K., Stevens, A., Brunett, G., & Reed, N. (2014). *Driving next to automated vehicle platoons: How do short time headways influence non-platoon drivers' longitudinal control?* In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 27, Part B, p 264-273.

Kauer, M., Franz, B., Maier, A. & Bruder, R. (2015). *The influence of highly automated driving on the self-perception of drivers in the context of Conduct-by-Wire*. In: Ergonomics, vol. 58, nr. 2, p. 321-334.

Kyriakidis, M., Happee, R. & Winter, J. de (2014). *Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5,000 Respondents*. Artikel gevonden via http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2506579

SAE (2014). *Automated Driving. New SAE international standard Levels of Driving Automation J3016*. SAE International.

Sivak, M. & Schoettle, B. (2015). *Road safety with self-driving vehicles: general limitations and road sharing with conventional vehicles*. The University of Michigan, Transportation Research Institute UMTRI, Ann Arbor.

Skottke, E.-M., Debus, G., Wang, L. & Huestegge, L.I. (2014). *Carryover effects of highly automated convoy driving on subsequent manual driving performance*. In: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol. 56, nr. 7, p. 1272-1283.

Tillema, T., Baveling, J., Gelauff, G., Waard, J. van der, et al. (2015). *Chauffeur aan het stuur? Zelfrijdende voertuigen en het verkeer- en vervoersysteem van de toekomst*. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid KiM, Den Haag.

Timmer, J. & Kool, L. (red.) (2014). *Tem de robotauto - De zelfsturende auto voor publieke doelen*. Rathenau Instituut, Den Haag.

Timmer, J., Smids, J., Kool, L., Spahn, A. & Est, R. van (2013). *Op advies van de auto; Persuasieve technologie en de toekomst van het verkeerssysteem*. Rathenau Instituut, Den Haag.

Vissers, L., Kint, S. van der, Schagen, I. van & Hagenzieker, M. (2016). *Safe interaction between cyclists, pedestrians and automated vehicles; What do we know and what do we need to know?* R-2016-16. SWOV, The Hague.

Vlakveld, W. (2015). *Transition of control in highly automated vehicles; A literature review*. R-2015-22. SWOV, The Hague.

Vlakveld, W., Vissers, L., Hulleman, K. & Nes, N. van (2015). *An empirical exploration of the impact of transition of control on situation awareness for potential hazards; An experiment about the hazard perception capabilities of drivers after interruption in a video-based scanning task*. R-2015-23. SWOV, The Hague.

Voorst tot Voorst, M.-P. van & Hoogerwerf, R. (2013). *Het vervoer van morgen begint vandaag; (ver)voer tot nadenken en doen*. STT 78. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag.

Waard, D. de (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. Groningen University, Traffic Research Center.

Wallace, R. & Silberg, G. (2012). *Self-driving cars: The next revolution*. CAR Center for Automotive Research, KPMG LLP, KPMG International, USA.

Weijermars, W. & Stipdonk, H. (2015). *De verkeersveiligheid in 2020 en 2030; Prognoses voor de aantallen verkeersdoden en ernstig verkeersgewonden*. R-2015-17. SWOV, Den Haag.

Wilmink, I., Malone, K., Soekroella, A., & Schuurman, H. (2014). *Coöperatieve systemen & Automatisch rijden. State-of-the-Art achtergronddocument*. TrafficQuest, Delft.

Winter, J.C.F. de, Happee, R., Martens, M.H. & Stanton, N.A. (2014). *Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence*. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 27, Part B, p. 196-217.

Wright, T.J., Samuel, S., Borowsky, A., Zilberstein, S. & Fisher, D.L. (2016). *Experienced drivers are quicker to achieve situation awareness than inexperienced drivers in situations of transfer of control within Level 3 autonomous environment*. In: *Proceedings of the Human Factor and Ergonomics Society 2016 Annual Meeting*, vol. 60, nr. 1, p. 270-273.