RAPPORT

Zelfrijdende auto's

Verkenning van implicaties op het ontwerp van wegen

Klant: Kennisplatform CROW en Rijkswaterstaat, WVL

Referentie: T&PBE6132R001D03
Versie: 03/Finale versie
Datum: 08-11-2016

TNO innovation for life

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Transport & Planning
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Zelfrijdende auto's

Ondertitel: Ontwikkelagenda ZRA en wegontwerp
Referentie: T&PBE6132R001D03
Versie: 03/Finale versie
Datum: 8-11-2016
Projectnaam: Implicatie zelfrijdende auto's op wegontwerp
Projectnummer: BE6132
Auteur(s): Peter Morsink, Evert Klem, Isabel Wilmink en Martijn de Kievit

Classificatie
Project gerelateerd

Disclaimer
No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

016

CI

Inhoud

1 Inleiding 1
1.1 Zelfrijdende auto's en wegontwerp: meer inzicht en kennis nodig 1
1.2 Ontwikkelagenda om voor te sorteren op de toekomst 1
1.3 Aanpak en leeswijzer 2
2 Uitgangspunten 3
2.1 Automatiseringsniveaus volgens het SAE kader 3
2.2 Achtergrond penetratiegraden 5
2.3 De interactie mens, voertuig, weg 5
2.4 Overige uitgangspunten 6
2.5 Inventarisatie volgens de matrix wegonderdeel-rijtaakniveau 8
3 Relaties tussen de ZRA en ontwerpelementen 9
3.1 Stroomweg - autosnelweg 9
3.1.1 Rechtstand 9
3.1.2 Boog 11
3.1.3 In- en uitvoeger 12
3.1.4 Weefvak 12
3.2 Gebiedsontsluitingsweg en stroomweg-overig 13
3.2.1 Kruispunt 13
3.2.2 Rotonde 14
3.3 Gemengd verkeer 15
3.4 No-regret maatregelen 16
3.5 Samenvatting van de belangrijkste relaties 17
3.6 Onzekerheden bij deze ontwikkelingen 19
4 Ontwikkelagenda 21
4.1 Direct wegontwerp gerelateerde vragen 21
4.1.1 Wegontwerp: stroomwegen en gebiedsontsluitingswegen 21
4.1.2 Wegontwerp: erftoegangswegen 25
4.1.3 Impact ontwerp op verkeersafwikkeling: SW en GOW 26
4.1.4 Impact ontwerp op verkeersafwikkeling: ETW 27
4.2 Afgeleide vragen 27
4.2.1 Human factors 27
4.2.2 Voertuig 28
4.2.3 Digitale informatie over vormgeving weg en communicatie (V2V en V2I) 29
4.2.4 Overige vragen 30

5 Conclusies en doorkijk 31
5.1 Zinvolle exercitie: veel kernthema's gestructureerd boven tafel gekregen 31
5.2 Volledig SAE level 5: stevige implicaties op het wegontwerp 31
5.3 Mix van verschillende SAE levels: beperkte implicaties op het wegontwerp 33
5.4 Ontwikkelagenda: brede verzameling van kennisvragen 33
5.5 Wat kan er al in gang gezet worden 35

Bijlagen

A1 LEF-sessie
A1.1 Programma
A1.2 Deelnemers
A1.3 Beleving van de LEF sessie

1 Inleiding

1.1 Zelfrijdende auto's en wegontwerp: meer inzicht en kennis nodig

De ontwikkelingen rondom zelfrijdende auto's (ZRA's) gaan snel. Vanuit verschillende invalshoeken wordt onderzoek gedaan naar de ZRA en worden praktijkpilots georganiseerd, in Nederland en de ons omringende landen. Vrijwel alle autofabrikanten bieden auto's met vergaande vormen van rijtaakondersteuning aan, die ook als semi-zelfrijdende auto's worden aangeduid. Dit is een onomkeerbaar proces. Het aandeel auto's met bijvoorbeeld Adaptive Cruise Control (ACC) en Lane Keeping (LKS) systemen, en de combinatie daarvan, in de huidige voertuigvloot is weliswaar nog niet zo hoog, maar neemt wel geleidelijk toe en naar verwachting met een steeds hoger tempo.

De verwachting is dat met slimmere voertuigen een aantal huidige verkeersproblemen opgelost kan worden. Dat is voor Nederland mede aanleiding om koploper te willen zijn op het gebied van slimme mobiliteit. Daarvoor zijn wel stappen nodig op het gebied van wet- en regelgeving, samenwerking tussen betrokken stakeholders, en digitale en fysieke infrastructuur. Bij digitale infrastructuur gaat het om verkeers- en ICT systemen voor verkeersinformatie en verkeersmanagement. De fysieke infrastructuur, het centrale thema in dit rapport, betreft het ontwerp en de inrichting van wegen.

Er is meer inzicht en kennis nodig over de implicaties van de ZRA op het wegontwerp. De behoefte aan kennis kan samengevat worden in de onderstaande twee vragen, die inhoudelijk van aard zijn, maar ook ingaan op de rol van wegbeheerders in het reageren op of het stimuleren van de ontwikkeling van ZRA's:

- Welke keuzes in vormgeving en inrichting kunnen er al gemaakt worden, vooruitlopend op de komst van de ZRA (*anticiperend,* door in lopende aanlegprojecten, die 40-50 jaar meegaan, al rekening te houden met deze ontwikkelingen)
- Met welke aanpassingen kan de fysieke infrastructuur toekomstbestendig worden gemaakt om de opkomst van de ZRA zo goed mogelijk te ondersteunen (*faciliterend,* door bijvoorbeeld in aanbestedingen rekening te houden met nieuwe technologische ontwikkelingen))

1.2 Ontwikkelagenda om voor te sorteren op de toekomst

Om te starten met de beantwoording van de bovenstaande vragen hebben CROW en RWS-WVL aan Royal HaskoningDHV & TNO gevraagd een verkenning uit te voeren. Deze verkenning moet ten eerste inzicht geven in de wederkerige relaties tussen de ZRA en ontwerpelementen: hoe beïnvloedt wegontwerp het rijden met een ZRA, en wat heeft een ZRA nodig om optimaal over de weg te rijden? Vanuit het perspectief van verkeersveiligheid, doorstroming, rijcomfort, ruimtegebruik en kosten. En hoe verschilt dit voor verschillende automatiseringsniveaus van de ZRA. Door de verschillen tussen ZRA en niet-ZRA in beeld te brengen kunnen de effecten op de ontwerprichtlijnen worden bepaald. Vanuit die relaties volgen kennisvragen: vragen die dieper ingaan op de relaties tussen ZRA en ontwerpelementen. Samen vormen deze vragen een ontwikkelagenda. Het gefaseerd uitwerken van deze ontwikkelagenda levert antwoorden op de vragen, en daarmee kunnen dan uiteindelijk goede keuzes gemaakt worden in het ontwerp en inrichting van de weginfrastructuur.

De doelstelling van dit project is daarmee als volgt gedefinieerd: het opstellen van een ontwikkelagenda waarin wordt aangegeven in welke richting onderzoek zinvol is om de ontwikkeling van ZRA's en wegontwerp op elkaar af te stemmen. Daarbij wordt ook een eerste aanzet voor prioritering gedaan. Hoe de onderzoeksvragen precies moeten worden ingevuld is een uitwerkingsslag die geen onderdeel uitmaakt van dit project.

1.3 Aanpak en leeswijzer

Om tot de ontwikkelagenda te komen, is een aantal stappen doorlopen, die in chronologische volgorde in dit rapport worden beschreven:

- Eerst zijn de uitgangspunten voor het opstellen van de ontwikkelagenda beschreven (**hoofdstuk 2**). Er wordt een toelichting gegeven op verschillende automatiseringsniveaus van ZRA's (het SAE kader) en voertuig- en wegtypen die in deze verkenning worden betrokken. Ook wordt aangegeven welk kader is gebruikt voor het inventariseren van de relaties tussen wegontwerp en ZRA's en de daarvan afgeleide kennisvragen.
- Vervolgens worden de relaties beschreven tussen ontwerpelementen en ZRA's, als resultaat van de inventarisatie door experts uit het Royal HaskoningDHV/TNO projectteam, en de daarop volgende toetsing door een bredere groep experts in het LEF future center van Rijkswaterstaat (**hoofdstuk 3**).
- **Hoofdstuk 4** beschrijft de ontwikkelagenda met daarin de belangrijkste kennisvragen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in wegtypen en in de situatie van alleen maar 100% automatische voertuigen (SAE niveau 5) en de situatie van een mix van voertuigen met verschillende automatiseringsniveaus. De nadruk ligt op de ontwerp gerelateerde vragen, maar er worden ook afgeleide vragen benoemd die relevant zijn voor de bredere Kennisagenda ZRA die vanuit het Ministerie van I&M en Rijkswaterstaat wordt opgezet
- Het rapport wordt afgesloten met het overzicht van de belangrijkste conclusies en de doorkijk naar vervolgactiviteiten om de ontwikkelagenda tot uitvoering te laten komen (**hoofdstuk 5**). Hierin worden de ontwikkelvragen benoemd die geschikt zijn om op korte termijn op te pakken. Ook worden maatregelen benoemd die nu al uitgevoerd of voorbereid kunnen worden, omdat ze passen bij het beleids- en uitvoeringskader van wegbeheerders en in lijn liggen met de voordelen, mogelijkheden en voorziene ontwikkelingstappen van ZRA's (no-regret maatregelen).

2 Uitgangspunten

Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten die zijn gehanteerd in deze studie naar de consequenties van de ZRA voor het wegontwerp. Deze uitgangspunten vormen de basis voor het opstellen van de ontwikkelagenda zoals die in de volgende hoofdstukken uitgewerkt zal worden. Er wordt een toelichting gegeven op verschillende automatiseringsniveaus van ZRA's (het SAE kader). Daarbij wordt ook gekeken naar de verwachtingen met betrekking tot de ontwikkeling van penetratiegraden van voertuigen met verschillende automatiseringsniveaus. Ook wordt aangegeven welke voertuig- en wegtypen in deze verkenning worden betrokken. Tot slot wordt het kader beschreven dat is gebruikt voor het inventariseren van de relaties tussen wegontwerp en ZRA's en de daarvan afgeleide kennisvragen.

2.1 Automatiseringsniveaus volgens het SAE kader

Figuur 1 toont de niveaus van automatisering van de rijtaak zoals gedefinieerd door SAE (SAE, 2014)[1]. Bij **niveau 0** doet de bestuurder alles (sturen, remmen, gas geven), bij niveau 5 doet het voertuig alles. De niveaus 1-4 laten een toenemende mate van overname van de rijtaak door het voertuig zien. Bij **niveau 1** voertuigen gaat het bijvoorbeeld om (adaptive) cruise control, of een systeem dat onder bepaalde omstandigheden automatisch remt. Bij **niveau 2** zijn tenminste twee functies geautomatiseerd, zoals een combinatie van adaptive cruise control en een systeem om in de strook te blijven (lane keeping support). De bestuurder moet wel op ieder moment in staat zijn om in te grijpen en moet dus blijven opletten. Bij **niveau 3** kan het voertuig onder bepaalde omstandigheden helemaal zelf rijden, maar is de bestuurder nog wel nodig als back-up – klaar om het over te nemen als het voertuig daar om vraagt. Hierbij is de belangrijkste vraag hoe snel bestuurders in staat zijn de rijtaak weer over te nemen van het voertuig ('transition of control'). Bij **niveau 4** zijn voertuigen zodanig ontworpen dat ze (weer onder bepaalde omstandigheden) het helemaal zelf af kunnen. Mochten er toch omstandigheden zijn waaronder het voertuig niet veilig zijn weg kan vervolgen, dan kan aan de bestuurder gevraagd worden het weer over te nemen. Als deze niet reageert, brengt het voertuig zichzelf op een veilige locatie tot stilstand. Bij **niveau 5** kan het voertuig onder alle omstandigheden zelfstandig rijden en is de bestuurder helemaal niet meer nodig.

Parallel aan de ontwikkeling van de automatiseringsniveaus loopt de ontwikkeling van communicatietechnologie, die voertuigen in staat stelt om met elkaar en met wegkantsystemen berichten uit te wisselen (coöperatieve systemen). Een voorbeeld hiervan is de coöperatieve adaptive cruise control (C-ACC).

In deze studie kijken we naar:

1. De situatie waarin alle voertuigen automatiseringsniveau 5 hebben. In de vorm van een gedachtenexperiment krijgen we relaties tussen verkeer bestaande uit 100% L5 ZRA's en het wegontwerp in beeld. Dat maakt het mogelijk om vervolgens vanuit het (verre) toekomstbeeld terug te redeneren naar de stappen die daaraan vooraf zullen gaan.
2. De situatie waarin sprake is van een mix van voertuigen met allerlei automatiseringsniveaus. Een deel van de voertuigen heeft niveau 5, en de rest van de voertuigen niveau 0-4. In het huidige verkeer is er sprake van een mix van voertuigen van de niveaus 0-2.

[1] *In deze studie is de 2014 versie van de SAE matrix gebruikt. Per 30 september 2016 is een update beschikbaar via http://standards.sae.org/j3016_201609/*

Level	Name	Narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of *dynamic driving task*	System capability (*driving modes*)	BASt level	NHTSA level
***Human driver* monitors the driving environment**								
0	**No Automation**	the full-time performance by the *human driver* of all aspects of the *dynamic driving task*, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
1	**Driver Assistance**	the *driving mode*-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 *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	**Partial Automation**	the *driving mode*-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 *human driver* perform all remaining aspects of the *dynamic driving task*	**System**	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially automated	2
***Automated driving system* ("system") monitors the driving environment**								
3	**Conditional Automation**	the *driving mode*-specific performance by an *automated driving system* of all aspects of the *dynamic driving task* with the expectation that the *human driver* will respond appropriately to a *request to intervene*	System	**System**	Human driver	Some driving modes	Highly automated	3
4	**High Automation**	the *driving mode*-specific performance by an *automated driving system* of all aspects of the *dynamic driving task*, even if a *human driver* does not respond appropriately to a *request to intervene*	System	System	**System**	Some driving modes	Fully automated	3/4
5	**Full Automation**	the full-time performance by an *automated driving system* of all aspects of the *dynamic driving task* under all roadway and environmental conditions that can be managed by a *human driver*	System	System	System	**All driving modes**	-	

Figuur 1: SAE-niveaus van automatisering.

Figuur 2 geeft per automatiseringsniveau voorbeelden van systemen die daarbij toegepast worden. Verschillende fabrikanten kunnen overigens verschillende namen hanteren voor (vrijwel) dezelfde systemen.

Level	Example Systems	Driver Roles
1	Adaptive Cruise Control OR Lane Keeping Assistance	Must drive <u>other</u> function and monitor driving environment
2	Adaptive Cruise Control AND Lane Keeping Assistance Traffic Jam Assist (Mercedes)	Must monitor driving environment (system nags driver to try to ensure it)
3	Traffic Jam Pilot Automated parking	May read a book, text, or web surf, but be prepared to intervene when needed
4	Highway driving pilot Closed campus driverless shuttle Driverless valet parking in garage	May sleep, and system can revert to minimum risk condition if needed
5	Automated taxi (even for children) Car-share repositioning system	No driver needed

Figuur 2: Voorbeelden van systemen per SAE-niveau

Referenties:

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

2.2 Achtergrond penetratiegraden

Om meer inzicht in de te verwachten ontwikkelingen te krijgen, is gekeken naar de verwachting van de ontwikkeling van de penetratiegraad van automatische voertuigen volgens de SAE-levels.

In het DRAGON project (uitgevoerd in opdracht van CEDR door een internationaal consortium) is gekeken naar de verwachte penetratie van automatische voertuigen in de nabije toekomst. Op basis van inschattingen van experts en door de analogie met rijtaakondersteunende systemen te maken is een inschatting gemaakt. Voor de inschatting zijn de volgende aannames gemaakt:

- Uitrol van level 3 voertuigen start in 2020.
- Vanwege publieke belangstelling wordt de uitrol van automatische voertuigen versneld.
- Automatische voertuigen hebben (en houden) een sterke vertegenwoordiging in de media.
- De huidige mate van onderzoek naar automatisch rijden blijft minimaal gehandhaafd.
- De uitrolcurve van automatisch rijden verloopt gelijkwaardig met die van Advanced Driver Assistance Systems (ADAS).
- De techniek is beschikbaar om automatisch te kunnen rijden.

Daarnaast wordt de uitrol waarschijnlijk versneld vanwege nieuwe technieken zoals het 'Over The Air' uitvoeren van software updates en de verwachte veranderingen van het eigenaarschap van voertuigen en de toename van autodelen.

Op basis van bovenstaande is de verwachting dat in 2030 level 3 voertuigen een penetratiegraad van 5 tot 15% hebben (in een scenario met een passieve overheid). Met een actieve overheid zijn penetratiegraden van 15 tot zelfs 35% te halen.

Overigens is het niet de verwachting dat de uitrol van automatisch rijdende voertuigen geheel volgens de levels gaat verlopen, naar alle waarschijnlijkheid zullen verschillende spelers op de markt zich gaan richten op verschillende typen voertuigen waardoor een mix van voertuigen op de weg gaat ontstaan van de verschillende automatiseringslevels. De beschikbaarheid van alleen volledig automatische voertuigen wordt door veel experts verwacht in 2075 of misschien wel nooit [Shladover, 2015].

Voor de rest van het rapport zijn twee situaties gehanteerd:

1. 100% SAE level 5.
2. Gemengde situatie met auto's van verschillende SAE levels.

Referenties:

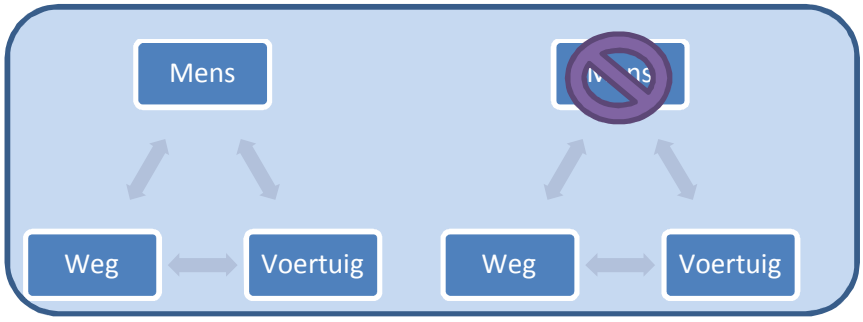
- *DRAGON-project (nog niet gepubliceerd).*
- *Shladover, S. E. (2015). Road Vehicle Automation History, Opportunities and Challenges. Presentation at Connekt/ITS Netherlands, Delft, The Netherlands. 9 November 2015.*

2.3 De interactie mens, voertuig, weg

De toenemende automatiseringsgraad van voertuigen kan worden bekeken vanuit de traditionele pijlers van het verkeerssysteem: mens, voertuig en weg.

- In de huidige situatie is er directe interactie tussen de menselijke bestuurder die de weg waarneemt en zijn voertuig bestuurt op basis van input uit de (weg)omgeving. Het voertuig heeft contact met de weg via banden en voertuigdynamica systemen (demping, ESC).
- In de 100% level 5 situatie is de mens slechts als passagier in het voertuig aanwezig. De ZRA heeft alle rijtaken van de bestuurder overgenomen. Dat betekent dat dan de mens niet meer in-the-loop is en alleen de interactie tussen de weg en het voertuig nog relevant is (zie figuur 3).

In de situatie waarbij er nog geen sprake is van SAE level 5, blijft de mens, voertuig, weg interactie gehandhaafd. Met toenemend SAE level neemt het voertuig wel steeds meer rijtaken over van de menselijke bestuurder of wordt de bestuurder steeds meer ondersteund in zijn rijtaak. De interactie tussen voertuig en weg wordt daarmee sterker. Het voertuig gaat de (weg) omgeving lezen en vertaalt dat naar uitvoeren van rijtaken of rijtaakondersteuning.



Figuur 3: De drie pijlers mens, voertuig en weg in de huidige (links) en de situatie met 100% zelfrijdende voertuigen (rechts).

Zowel in de situatie met 100% level 5 als in de gemengde situatie zijn de rijtaken te onderscheiden op drie niveaus:

- Strategisch: speelt met name op netwerkniveau en gaat vooral over routekeuze.
- Tactisch: manoeuvre niveau, rijstrook keuze, wisselen van rijstrook, afslaan, snelheidskeuze.
- Operationeel: voertuig besturing, gas geven, remmen, sturen.

In dit rapport richten we ons verder op het tactische en het operationele niveau. Het strategische niveau heeft geen directe relatie met wegontwerp en is daarom niet expliciet meegenomen.

2.4 Overige uitgangspunten

Voertuigtypen:

- In deze verkenning is uitgegaan van automatisering van alle gemotoriseerd verkeer met vier wielen (of meer). Dit kan ook een bestel- of vrachtwagen zijn.
- Voor de langzame weggebruikers (brommers, fietsers, voetgangers) is uitgegaan van een situatie zonder automatisering of ondersteuning van deze voertuigen.
- Voor motoren is in deze studie aangenomen dat ze niet geautomatiseerd gaan rondrijden. Dit zou wel betekenen dat er in een hypothetische situatie met 100% level 5 ZRA's geen motoren zijn. Gezien de onduidelijkheden hieromtrent, is ervoor gekozen motoren in deze studie buiten beschouwing te laten, maar over hun aanwezigheid op de weg en de mogelijkheden tot automatisering een kennisvraag op te nemen.

Functioneren van de voertuigen

- De zelfrijdende auto neemt afwijkende omstandigheden op de weg even goed of beter waar als een menselijke bestuurder (denk hierbij aan zand op de weg, gladheid, etc.).
- Ook is aangenomen dat de ZRA niet vaker dan conventionele voertuigen storingen heeft.
- Het voertuig houdt zich aan geldende verkeersregels zoals inhaalverboden, snelheidslimieten etc.
- De huidige snelheidsverschillen tussen voertuigklassen blijven bestaan. Binnen voertuigklassen worden de snelheidsverschillen geminimaliseerd.

- Het voertuig kiest voor het kruisingsvlak de juiste rijstrook en blijft daar gedurende het oversteken van de kruising rijden.[2]
- Op kruispunten is de aanname dat de stromen van automatische voertuigen en van langzaam verkeer gescheiden geregeld worden.
- In de situatie waarin het voertuig volledig zelfrijdend is (level 5 van SAE) zijn de inzittenden van het voertuig enkel passagier, geen bestuurder.
- In deze situatie is ook aangenomen dat tussen alle voertuigen en met de wegomgeving een vorm van communicatie mogelijk is. In deze communicatie zit dan ook gevat welke intenties de verschillende voertuigen hebben indien ze op de weg rijden.
- Daarnaast wordt uitgegaan van een zeer precieze plaatsbepaling (1 cm nauwkeurig). Het voertuig weet daarmee ook altijd in welke rijstrook het rijdt. De plaatsbepaling wordt ondersteund door een on-board local dynamic map (precieze kaart met weginformatie, locaties, snelheidslimieten). De precieze inrichting van de digitale infrastructuur om bovenstaande mogelijk te maken is geen onderdeel van deze verkenning.
- ZRA's zullen naar verwachting bij minder en/of andere typen ongevallen betrokken zijn dan huidige voertuigen. Botsveiligheidseisen zullen mee veranderen en dat zal consequenties hebben voor de constructie van de voertuigen (lagere massa en nieuwe materialen). Elektrificatie van de voertuigvloot zal dit proces waarschijnlijk ook beïnvloeden.

Wegtypen

Voor de indeling van verschillende wegtypen is de volgende indeling gebruikt:

- Stroomwegen (SW) – we onderscheiden de nationale SW (autosnelweg) en regionale SW (autoweg). De autosnelweg kenmerkt zich door gescheiden rijbanen, vluchtstroken en ongelijkvloerse kruisingen waarop de doorstroming zoveel mogelijk gegarandeerd is. Op de regionale stroomweg is dit niet altijd het geval en is de snelheidslimiet lager.
- Gebiedsontsluitingswegen (GOW-I en GOW-II) – kenmerken zich door het feit dat kruisingen van verschillende verkeersstromen en –deelnemers geregeld zijn (voorrangskruising, verkeerslichten of een rotonde). We gaan in deze studie er van uit dat op de reguliere rijstroken zich alleen ZRA's bevinden[3], gescheiden van langzaam verkeer.
- Erftoegangswegen (ETW) – kenmerken zich door ongecontroleerd kruisen van verschillende verkeersdeelnemers. De ZRA is op deze locatie te gast en past zich aan het verkeersgedrag van het andere, in ruime mate aanwezige langzame verkeer (fietsers, voetgangers) aan.

Voor deze studie gaan we er vanuit dat de ZRA met name implicaties heeft op het ontwerp van SW en GOW. We maken daarbij onderscheid in de nationale SW enerzijds en de regionale SW samen met de GOW anderzijds. Op ETW, en dan met name in situaties binnen de bebouwde kom, waar de ZRA te gast is, is vooral de interactie tussen langzaam verkeer en de ZRA bepalend voor het veilig en comfortabel integreren van ZRA's in het verkeer (zie onderzoek University of the West of England, 2016). Het belang daarvan wordt groter geacht dan van het ontwerp van ETW's. Onderzoek naar deze interactie wordt nog maar sinds kort gedaan. ETW's worden daarom niet meegenomen in deze studie.

Referenties:

- *Understanding interactions between autonomous vehicles and other road users: A literature review. University of the West of England, 2016.*

[2] *Tenzij een noodsituatie iets anders vraagt*

[3] *In de praktijk is deze scheiding er lang niet altijd, of zijn er wel vrijliggende fietspaden, maar rijden brommers tussen het overige verkeer. In hoofdstuk 4, de kennisvragen, komen we hier op terug.*

2.5 Inventarisatie volgens de matrix wegonderdeel-rijtaakniveau

Voor de inventarisatie van de relaties tussen de ZRA en wegontwerp gebruiken we een matrix waarin rijtaakniveaus, wegtypen en wegonderdelen worden onderscheiden. De keuzes voor de dimensies van de matrix volgen uit de uitgangspunten die in dit hoofdstuk zijn besproken. In deze paragraaf wordt de opzet van deze matrix toegelicht, in het volgende hoofdstuk volgt de uitwerking.

De matrix, zoals weergegeven in tabel 1, kent de volgende dimensies:

- Rijtaakniveau: tactisch en operationeel.
- Wegtype: SW (autosnelweg) en GOW.
- Wegonderdeel
    - rechtstand en boog: voor zowel de SW/autosnelweg als GOW;
    - invoeger, uitvoeger, weefvak: voor de SW/autosnelweg;
    - kruispunt, rotonde: voor de GOW.

Tabel 1: De matrix van cellen met onderscheid naar rijtaakniveau en relevante wegonderdelen

	Rijtaakniveau	Tactisch					Operationeel	
Wegonderdeel		inhalen	invoegen	uitvoegen	afslaan	oversteken	snelheid	koers
SW	Rechtstand							
	Boog							
	Invoeger							
	Uitvoeger							
	Weefvak							
GOW								
	Rechtstand							
	Boog							
	Kruispunt							
	Rotonde							

In **Error! Reference source not found.** staan in de eerste twee kolommen het wegtype (SW en GOW) en de verschillende wegonderdelen. In de eerste twee rijen staan de twee rijtaakniveaus (tactisch en operationeel) en daaronder een uitsplitsing van de verschillende acties die op dat niveau door de ZRA moeten worden uitgevoerd.

Tijdens de inventarisatie zijn de groene cellen in de matrix bestudeerd. De rode cellen zijn niet meegenomen, omdat deze niet relevant zijn (invoegen op een invoeger bijvoorbeeld. Alle thema's uit de groene cellen komen aan de orde, maar niet per se voor elk wegonderdeel vanwege dubbelingen.

Voor de groene cellen zijn de volgende drie vragen beantwoord:

1) Wat is de benodigde weginformatie (wat moet de ZRA vanuit het wegontwerp en -inrichting weten om de taak van die cel goed uit te kunnen voeren)?
2) Welke technische ontwikkelingen verwachten we?
3) Welke eisen of vragen stelt bovenstaande aan het gewenst wegontwerp of wegmeubilair?

3 Relaties tussen de ZRA en ontwerpelementen

In dit hoofdstuk worden de relaties beschreven tussen ontwerpelementen en ZRA's, volgens de structuur van de tabel die in paragraaf 2.5 is besproken. De hiertoe uitgevoerde inventarisatie heeft in twee stappen plaatsgevonden:

1. Werksessies door experts uit het Royal HaskoningDHV/TNO projectteam: eerste exercities om vast te stellen hoe de ZRA zich verhoudt tot verschillende wegonderdelen.
2. Toetsing en aanvulling door een bredere groep experts in het LEF future center van Rijkswaterstaat.

De *werksessies uit stap 1* hebben ertoe geleid dat er gestructureerde informatie is verzameld voor de groene cellen uit tabel 1. In de *LEF sessie van stap 2* is deze informatie groepsgewijs getoetst en aangevuld, aan de hand van in-depth besprekingen van een selectie van de groene cellen in tabel 1. Daarvoor zijn de drie vragen uit paragraaf 2.5 en een aantal aanvullende vragen gebruikt.

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit beide stappen samengevoegd, resulterend in een overzicht van de wederkerige relaties tussen de ZRA en relevante ontwerpelementen: hoe beïnvloedt wegontwerp het rijden met een ZRA, en wat heeft een ZRA nodig om optimaal over de weg te rijden? In bijlage 1 wordt een impressie gegeven van het programma en de beleving van de LEF-sessie.

3.1 Stroomweg - autosnelweg

In deze paragraaf worden de bevindingen van de inventarisatie in de twee genoemde stappen besproken. De beschrijving van de resultaten vindt plaats aan de hand van de cellen van de matrix, te beginnen met de SW-autosnelweg en vervolgens de GOW en SW-overig. De belangrijkste observaties uit de cellen worden besproken in een logische verhaallijn, volgens de onderstaande vragen. Er wordt eerst uitgegaan van de 100% level 5 situatie (de paragrafen 3.1.1 tot en met 3.1.4) en vervolgens wordt beschreven wat dat betekent voor de situatie van gemengd verkeer:

1) Wat is de benodigde weginformatie (wat moet de ZRA vanuit het wegontwerp en -inrichting weten om de taak van die cel goed uit te kunnen voeren)? In alle gevallen gaat het erom dat de betreffende taak ***veilig, vlot en comfortabel*** voor de inzittende van de ZRA en het overige verkeer uitgevoerd wordt.
2) Welke technische ontwikkelingen verwachten we?
3) Welke eisen of vragen stelt bovenstaande aan het gewenst wegontwerp of wegmeubilair?
4) Welke mogelijkheden en risico's zijn er voor het wegontwerp in het geval er 100% zelfrijdende voertuigen zijn?
5) Welke risico's zijn er indien er sprake is van gemengd verkeer?
6) Welke no-regret maatregelen kunnen we identificeren voor het wegontwerp?

3.1.1 Rechtstand

Voor de rechtstand zijn in tabel 1 de volgende rijtaken benoemd:

- Operationeel: koers houden, gepaste snelheid aanhouden
- Tactisch: inhalen, in- en uitvoegen (voor de laatste twee, zie paragraaf 3.1.3)

Voor **koers houden** moeten ZRA's om te beginnen weten op welke rijstrook ze moeten rijden. Op die rijstrook moeten ze altijd een veilige positie aanhouden (er niet onbedoeld vanaf raken) en al rijdend een gelijkmatige koers aanhouden.

Rijstrookbreedte
De ZRA zal zo veel mogelijk op de toegekende rijstrook blijven rijden. In deze rijstrook is het van belang dat de ZRA een veilige positie heeft bij een gelijkmatige koers. Omdat de ZRA zijn laterale positie zeer nauwkeurig weet, kan de **rijstrookbreedte** kleiner zijn dan nu gebruikelijk is (volgens de huidige richtlijnen). De nauwkeurige positiebepaling van de ZRA zorgt naar verwachting voor minder vetergang dan bij een voertuig met een menselijke bestuurder. Een continue, nauwelijks veranderende positie voor alle voertuigen zorgt wel voor extra eisen aan het wegdekoppervlak om overmatige spoorvorming te voorkomen. Dit zou ook voertuig-technisch opgelost kunnen worden door voertuigen kunstmatig hun laterale positie enigszins te laten variëren. Dit impliceert dan wel dat de versmalling van rijstroken minder zal zijn. Een ander aspect dat mogelijk een beperking stelt aan het versmallen van rijstroken is de 'vreesmarge'. Bij smalle rijstroken voelen inzittenden van de ZRA zich mogelijk minder veiliger of comfortabel.

Begrenzing van de rijstrook
De ZRA bepaalt zijn positie op basis van een combinatie van satellietnavigatie, in-voertuigsensoren (odometer, versnellingsmeter) en objecten in de omgeving (waarneming via camera, radar, lidar, dedicated short range communication (DSRC)). Om zijn laterale positie te kunnen ijken en corrigeren waar nodig, moet de ZRA de **begrenzing van de rijstrook** aan weerszijden goed kunnen waarnemen. **Goed waarneembare markering** is nodig vanwege het belang van een veilige positie, bij alle weers- en lichtomstandigheden. Het is waarschijnlijk dat hiervoor een combinatie van faciliteiten nodig is waarmee redundantie ingebouwd wordt, zoals met:

1. beeldtechnisch/visueel waarneembare markering;
2. digitaal waarneembare markering (via DSRC of RFID);
3. magnetische markering.

Dwarsprofiel en berminrichting
Uitgangspunt is dat de ZRA beter in staat is in de rijstrook te blijven dan een menselijke bestuurder in een conventioneel voertuig. De **redresseerstrook** in de huidige vorm is daarmee in principe niet meer nodig. In principe, omdat een ZRA last kan hebben van een storing waarbij een uitwijkmogelijkheid nodig is om een koerscorrectie door te voeren. De verwachting is overigens dat veiligheidskritieke situaties door storingen grotendeels door de ZRA-vloot zelf opgelost worden. Een ZRA kan gecontroleerd tot stilstand komen en via communicatie tussen ZRA's zullen andere ZRA's daarvan op de hoogte zijn en tijdig kunnen anticiperen. Naar verwachting kan de **obstakelvrije zone** aan de rechterzijde van de rijbaan daarmee aanzienlijk worden verkleind, eventueel in combinatie met specifiek voor ZRA ontwikkelde **afschermings- en geleidevoorzieningen**. De constructie van deze voorzieningen zal naar verwachting aangepast moeten worden, omdat ook de constructie van ZRA's zal veranderen door aangepaste botsveiligheidseisen. Daarbij zullen deze voorzieningen ook kunnen bijdragen aan koershouden/geleiden van ZRA's, doordat ze deze als landmarks detecteren in het voorbij rijden. Voor veilig, vlot en comfortabel vervoer is het wel van belang dat de ZRA vlot van de rijstrook weggehaald en geborgen kan worden. Dat betekent dat er een **vluchtstrook/bergingsruimte** nodig is of een **pechhaven** op regelmatige onderlinge afstanden. In het midden van de rijbaan is mogelijk een **rijrichtingscheiding** nodig om te voorkomen dat een uitvallende ZRA in conflict komt met tegemoet komende voertuigen op het andere deel van de rijbaan. In het geval van een middengeleider zal de benodigde ruimte smaller kunnen zijn dan de huidige richtlijnen aangeven. In het geval van een afschermingsvoorziening zal deze moeten worden aangepast aan specifieke ZRA eisen. Een eventuele wens om rijstroken per rijrichting flexibel in te kunnen delen afhankelijk van een variabel verkeersaanbod stelt aanvullende eisen aan de rijrichtingscheiding.

Om een **gepaste snelheid** aan te houden zal de ZRA op alle locaties de beschikking hebben over de heersende snelheidslimiet, via de on-board digitale kaart. Dat kunnen statische of dynamische snelheidslimieten zijn. In geval van dynamische limieten zal de ZRA deze via **bakens langs de weg,** via

de verkeerscentrale of via voertuig-voertuig communicatie doorkrijgen. De bestaande **snelheidsborden** worden daardoor overbodig. In het geval van verstoringen in de verkeersstroom zullen de ZRA's elkaar daarover via voertuig-voertuig communicatie informeren en waar nodig hun snelheid tijdig aanpassen aan de tijdelijke situatie. De **snelheidslimiet** op de rechte wegvakken kan hoger dan momenteel het geval is, afhankelijk van de kans op ongevallen, de impact van die ongevallen, het comfort dat een ZRA biedt bij hogere snelheden, energie-efficiëntie/emissies en geluidsproductie. Dit hangt samen met diverse ontwerpelementen in het dwars- en lengteprofiel van de weg. Ook de **eigenschappen van het wegdek** zijn hiervoor van belang (band-wegdek contact, frictie en demping).

Op een rechtstand zal **inhalen** naar verwachting blijven gebeuren omdat er voertuigklassen met verschillende snelheidslimieten zullen blijven (op basis van massa en omvang). Als verschillende voertuigklassen hun eigen rijstrook toegewezen krijgen, zal het aantal inhaalbeweging wel geminimaliseerd worden. Hierbij zou een 'keep your lane[4]'-achtig principe gehanteerd kunnen worden, wat zou betekenen dat rechts passeren ook toegestaan is. Via zijn on-board systeem weet de ZRA of inhalen is toegestaan of dat er sprake is van een **inhaalverbod**. Als back-up kan de ZRA dat ook uit **type markering/begrenzing van de rijstrook** halen, die goed waarneembaar moet zijn. Het wisselen van rijstrook (bepalen/creëren van geschikte invoegruimte) vindt plaats via het lokale ad-hoc netwerk van de ZRA's die bij deze manoeuvre betrokken zijn.

3.1.2 Boog

Voor de boog zijn in tabel 1 de volgende rijtaken benoemd:

- Operationeel: koers houden, gepaste snelheid aanhouden.
- Tactisch: invoegen, uitvoegen en inhalen (niet apart in deze paragraaf behandeld).

Met betrekking tot **koers houden** zijn de aandachtspunten die genoemd zijn bij de rechtstand ook hier van belang. Er is wel een aantal aanvullende punten. De ZRA's zijn via hun on-board kaartinformatie vroegtijdig op de hoogte van de boog die ze naderen. Daarmee anticiperen ze op de bocht en kunnen deze met een optimale snelheid passeren. Menselijke inschattingsfouten zijn uitgesloten. **Boogstralen** zullen daarmee kleiner kunnen worden dan volgens de huidige richtlijnen. Of, bij dezelfde boogstralen kan harder gereden worden in de bocht. De comforteisen van de passagiers zullen daarvoor bepalend zijn. De **rijstrookbreedte** zal ook kleiner kunnen zijn dan in de huidige situatie, maar rijstroken zullen wel breder zijn dan in de rechtstand, omdat de laterale positie van de ZRA in de bocht gevoeliger zal zijn voor voertuig-dynamische afwijkingen, ondanks de hoogwaardige besturing van de ZRA. De **stroefheid/frictie** eigenschappen van het wegdek spelen hierin ook een belangrijke rol. Dat geldt ook voor **verkanting van het wegdek**, die mogelijk aangepast kan worden afhankelijk van de voertuig-dynamische eigenschappen van de ZRA.

Ook voor het aanhouden van een **gepaste snelheid** gelden de beschouwingen bij de rechtstand. Een algemene **snelheidslimiet** wordt nog steeds wel als noodzakelijk gezien (vooral naar type voertuig, en ingegeven door brandstofefficiëntie- en verkeersveiligheidsoverwegingen), hoewel de voertuigen zelf voor hun situatie een optimale snelheid kunnen bepalen die in principe hoger kan liggen dan de huidige geldende snelheidslimiet. Waarschuwingsborden e.d. zijn niet nodig. Waarschuwingen over wegvakken met glad wegdek zullen van andere weggebruikers komen of via walbakens. Wel is bij het rijden door een boog het belangrijk het comfort in het oog te houden (te hard door de bocht voelt niet comfortabel). Boogstraal en snelheidslimiet kunnen op elkaar afgestemd worden – een afweging tussen ruimtebeslag, comfort en reistijd.

[4] *Dit principe gaat er vanuit dat mensen onafhankelijk van hun snelheid in hun rijstrook blijven rijden.*

3.1.3 In- en uitvoeger

Het in- en uitvoegen op de snelweg speelt met name op een rechtstand. In aanvulling op de eerder besproken rijtaken voor de rechtstand, gaat het hier om de in- en uitvoegmanoeuvres zelf.

Bij **in- en uitvoegen** op een rechtstand moeten ZRA's voldoende tijd hebben om de manoeuvre veilig, vlot en comfortabel uit te kunnen voeren. Hiervoor hebben de voertuigen in hun local dynamic map informatie over de locatie en de **lengte van de in- en uitvoegstroken** en het **aantal rijstroken van de in- en uitvoeger** en de hoofdrijbaan. Via de autonome in-car sensoren en voertuig-voertuig communicatie weet de ZRA met welke voertuigen hij rekening moet houden om de manoeuvre uit te voeren en wat de intenties van die voertuigen zijn. Deze voertuigen bevinden zich in een lokaal ad-hoc netwerk en bepalen onderling via een vastgesteld, voorgeprogrammeerd protocol hoe de manoeuvre wordt uitgevoerd (welke volgorde en prioriteit). Ook hier is het van belang dat de **begrenzing van de rijstrook** (fysiek en digitaal) goed waarneembaar is door de ZRA. De **lengte van de in- en uitvoegstrook** moet zodanig zijn dat het automatische afwikkelprotocol in het ad-hoc netwerk veilig, vlot en comfortabel kan plaatsvinden. De verwachting is dat het in- en uitvoegen door ZRA's vlotter verloopt dan bij menselijke bestuurders. Daarmee zouden de stroken minder lang kunnen worden dan volgens de huidige richtlijnen.

3.1.4 Weefvak

Voor het weefvak zijn in tabel 1 de volgende rijtaken benoemd:

- Operationeel: koers houden, gepaste snelheid aanhouden.
- Tactisch: inhalen.

Wat betreft het **koers houden** en **snelheid** zijn dezelfde aspecten van toepassing als benoemd bij de rechtstand. Bij het **inhalen** moet de ZRA weten hoe lang het weefvak is. Die informatie is beschikbaar in de local dynamic map. Er vindt vooraf communicatie tussen voertuigen plaats voor onderhandeling over de uit te voeren weefbewegingen (binnen de beschikbare ruimte).

In het huidige verkeer worden weefvakken aangelegd in twee situaties: 1. als in- en uitvoegstroken dicht bij elkaar liggen, of 2. als er sprake is van een samenvoeging/splitsing van twee gelijkwaardige wegen. De toepassing van weefvakken wringt omdat weefbewegingen relatief complex zijn, waardoor de vakken vaak een knelpunt vormen in de doorstroming en een aandachtspunt zijn voor verkeersveiligheid. Als alternatief wordt dan bijvoorbeeld het ontvlechten van de toe- en uitritten door verticale scheiding overwogen.

Voor de situatie met 100% level 5 bestaat het beeld dat het concept van weefvakken mogelijk geheel gaat veranderen. Vanuit de wens en de mogelijkheid om de beschikbare ruimte voor ZRA's flexibel toe te passen, is het dan waarschijnlijk mogelijk dat er een **vrije plaats in het dwarsprofiel** (wegoppervlak zonder afgebakende stroken) ontstaat waar de uitwisseling van voertuigen voor verschillende richtingen plaatsvindt. De discussie richtte zich daarbij met name op het **toeleidende wegvak naar de weefvakken** en het wel of niet **fysiek ontvlechten** van doorgaand en van rijstrook wisselend verkeer. Op basis van deze discussie ontstond het beeld dat rijstroken in algemene zin opgeheven kunnen worden en dat individueel uit onderhandeld kan worden wie waar rijdt en dus ook waar het beste uitwisseling tussen verschillende voertuigstromen kan plaatsvinden. De functie van de **vluchtstrook is** relevant omdat die als extra rijstrook gebruikt zou kunnen worden. Hierbij dient wel rekening gehouden te worden met de verschillende functies van de vluchtstrook (o.a. bij storingen van zelfrijdende auto's). Daarbij werd nadrukkelijk gekeken of het bijvoorbeeld mogelijk is om *tidal flow* te implementeren op de weg, waardoor uiteindelijk minder ruimtegebruik nodig zal zijn.

De **lengte van de weefvakken** hangt af van de hoeveelheid benodigde weefbewegingen, hoeveel voertuigen willen van weg veranderen. Dat zal variëren per knooppunt. Bij 100% L5 kunnen weefvakken mogelijk korter worden, uitgaande van de verwachting dat de interactie tussen voertuigen sneller is dan tussen menselijke bestuurders en dat de voertuiginteractie verder verbetert naarmate er minder individuele verschillen tussen voertuigtypen optreden. Een homogener beeld maakt ritsen en uitwisseling eenvoudiger.
Een onzekerheid daarbij is het verloop van de implementatie van de ZRA technologie. De verwachting is dat fabrikanten eerst extra veiligheidsmarges inbouwen in hun voertuigen, waarmee volgafstanden tussen voertuigen eerst groter zullen worden dan in het huidige verkeer gebruikelijk is (zie ook de volgafstanden van ACC). Mogelijk zijn de ZRA's in het begin ook nog niet slim genoeg om het complexe weefproces soepel en vlot te laten plaatsvinden. Een en ander kan dan betekenen dat er met ZRA's eerst meer ruimte en tijd nodig is om weven vlot en comfortabel mogelijk te maken, met als resultaat een mogelijk **langer weefvak**, of toch **fysiek ontvlechten**. Na verloop van tijd, en zodra voertuig-voertuig communicatie grootschalig wordt toegepast, en de interactie tussen ZRA's is geoptimaliseerd, zal de lengte van de weefvakken weer kunnen afnemen. Dezelfde overweging geldt ook voor in- en uitvoegstroken.

3.2 Gebiedsontsluitingsweg en stroomweg-overig

Deze paragraaf beschrijft de bevindingen van de inventarisatie voor de GOW en de SW-overig. We sluiten daarbij aan op de beschrijvingen uit de vorige paragraaf. De nadruk ligt op de wegonderdelen kruispunten en rotondes, omdat de beschouwingen voor rechtstanden en bochten functioneel gezien niet veel afwijken van de beschrijvingen voor de autosnelweg. Er wordt wederom eerst uitgegaan van de 100% level 5 situatie (de paragrafen 3.2.1 en 3.2.2) en vervolgens wordt beschreven wat dat betekent voor de situatie van gemengd verkeer.

3.2.1 Kruispunt

Voor het kruispunt zijn in tabel 1 de volgende rijtaken benoemd:
- Operationeel: koers houden, gepaste snelheid aanhouden.
- Tactisch: afslaan en oversteken.

Voor **koers houden** bij het naderen van het kruispunt zijn de aandachtspunten die genoemd zijn bij de rechtstand in de vorige paragraaf ook hier van belang. Zodra het voertuig dicht bij het kruispunt is aangekomen, kiest het voor het kruisingsvlak de juiste rijstrook en blijft daar gedurende het oversteken van de kruising rijden. Als er weinig verkeer is, zou het **kruispuntoppervlak krapper** uitgevoerd kunnen worden – zolang het grootste toegestane voertuig ('de grootste draaicirkel is maatgevend') nog maar elke mogelijke bocht kan maken. De snelheid waarmee een voertuig dit kan doen, hangt ook af van de comforteisen van de inzittenden (als die er zijn). Een kruispunt krapper uitvoeren kan alleen bij intensiteiten waarbij de voertuigen elkaar niet teveel in de weg zitten c.q. de wachttijden niet teveel oplopen door voertuigen die het hele kruispunt (plus een stukje weg ervoor en erna, mogelijk in beide rijrichtingen) blokkeren als ze afslaan.

Om een **gepaste snelheid** te kunnen aanhouden, zal de ZRA via de digitale kaart tijdig op de hoogte zijn van het naderende kruispunt, de afstand tot het kruispunt, kenmerken van het kruispunt en de bijbehorende snelheidslimiet. De ZRA zal gelijkmatig zijn snelheid laten afnemen en daarbij anticiperen op de snelheid van voorliggers, en rekening houden met lokale condities en weersomstandigheden. Bestaande **borden met snelheidslimieten** en **waarschuwingsborden voor kruispunt** zijn overbodig. De **hoogte van de snelheidslimiet** op het kruisingsoppervlak is afhankelijk van de kans op een ongeval door falen van de ZRA en de botsveiligheidseisen waar de ZRA's aan zullen voldoen. Dit geldt ook voor de andere wegonderdelen van de GOW en SW-overig, waar door de weglayout de kans op conflicten van voertuigen uit tegengestelde richtingen groter zal zijn dan op autosnelwegen. Er is extra aandacht nodig

voor **de conditie van het wegoppervlak** (vermijden van gladheid) in het toeleidende wegvak om het afremmen van de ZRA veilig te laten plaatsvinden (bijvoorbeeld verwarmd asfalt bij vrieskou of waterdoorlatend/afstotend bij regen).

De ZRA maakt zich bij nadering van het kruispunt gereed voor **oversteken** of **afslaan**. De ZRA is al op de hoogte van de **layout van het kruispunt**, de verkeersregeling die er van kracht is en de positie van de voertuigen die hij op het kruispunt gaat tegen komen. Daarbij is de aanname gedaan dat de stromen van ZRA's en van langzaam verkeer gescheiden geregeld worden. Er kan ook overwogen worden om (stedelijke) netwerken zo in te richten dat **er minder gelijkvloerse kruispunten** zijn zodat geautomatiseerd en niet-geautomatiseerd verkeer elkaar überhaupt niet tegenkomen. Op het kruisingsvlak zal sprake zijn van basis verlichting, waarbij het **verlichtingsniveau** mogelijker lager is dan nu, omdat de huidige lichtintensiteit is afgestemd op het menselijke waarnemingsvermogen. De aanwezigheid van langzaam verkeer zal de bepalende factor zijn.

In plaats van een layout met vaste opstelstroken en rijstroken zou het kruispunt bij 100% level 5 mogelijk ook compleet anders ingericht kunnen worden. Met voertuig-voertuig en voertuig-infra communicatie zou geregeld kunnen worden welk voertuig wanneer op het kruisingsvlak aanwezig is (en wie voorrang heeft op wie). Dan zijn er **in principe geen opstelstroken en rijstroken** meer nodig. Alleen voor niet-geautomatiseerd verkeer (fietsers, voetgangers, …), als dat aanwezig is, dient er nog apart geregeld te worden. In deze situatie kan overwogen worden **fysieke barrières à la spoorbomen** te plaatsen zodat kwetsbare verkeersdeelnemers niet het kruispunt op kunnen als daar ZRA's rijden. Als zulke barrières er niet zijn, kan het gebeuren dat fietser of voetgangers misbruik maken van de eigenschap dat ZRA's stoppen als ze een obstakel detecteren. Omgekeerd kan het ook zijn dat fietsers en voetgangers angst hebben om over te steken als er ZRA's in de buurt zijn (ook al zijn die geprogrammeerd om niet op de kruising te rijden als het langzaam verkeer groen heeft).

Voor de afwikkeling van de ZRA's op het kruispunt zijn **zichtlijnen** minder belangrijk, vanwege de communicatie die ze met elkaar hebben in het lokale ad-hoc netwerk bij het kruispunt. Voor de interactie met langzaam verkeer blijven zichtlijnen wel aandacht vragen (geen gebouwen en andere obstakels te dicht op de weg). Ook in de situatie waarin ZRA's autonoom rijden, zonder met elkaar te communiceren, zullen zichtlijnen moeten worden afgestemd op de mogelijkheden van voertuigsensoren om de omgeving waar te nemen. In deze situatie overigens zou de capaciteit van het kruispunt ook lager kunnen zijn dan bij manuele besturing. Menselijke bestuurders zijn waarschijnlijk beter in staat conflictsituaties op te lossen en flexibel om te gaan met voorrangsregels (met hoffelijkheid en lichaamstaal) dan niet communicerende ZRA's.

3.2.2 Rotonde

Voor de rotonde zijn in tabel 1 de volgende rijtaken benoemd:

- Operationeel: koers houden, gepaste snelheid aanhouden.
- Tactisch: inhalen, afslaan en oversteken.

In het huidige verkeer wordt voor een rotonde als kruispunttype gekozen om snelheidsreductie van doorgaand verkeer op het uitwisselpunt af te dwingen. Op het gebied van de verkeersveiligheid heeft de rotonde zich bewezen. Wel hebben VRI geregelde kruispunten doorgaans een hogere capaciteit. Met de turborotonde is een variant met een verhoogde capaciteit ontwikkeld, maar wel bij een relatief groot ruimtebeslag.

Voor rotondes is de basisvraag gesteld: zijn **rotondes überhaupt zinvol** als kruispunttype bij 100% level 5. ZRA's passen immers automatisch hun snelheid aan en het verkeerssysteem is gebaat bij kruispunttypen met een hoge capaciteit. Het antwoord is niet zo makkelijk als het lijkt. Een ander voordeel

van de rotonde is dat er minder conflictpunten zijn bij het op- en afrijden dan bij een 'regulier' kruispunt. De afwikkeling van ZRA verkeer wordt bepaald door de snelheid waarmee de ZRA's onderling onderhandelen over de beschikbare ruimte en voorrang. Meer conflictpunten betekent meer onderhandelingstijd en daardoor een minder snelle afwikkeling. In de situatie waarin ZRA's niet met elkaar communiceren zal dit nog kritieker zijn en dreigen er dead-lock situaties. Vanuit dit perspectief zou de rotonde wel een geschikte kruispuntvorm kunnen zijn en blijven.

Voor het **koers houden** bij naderen en passeren van de rotonde gelden dezelfde overwegingen als bij het kruispunt. Er kan mogelijk sprake zijn van **smallere rijstroken**, maar wel onder de voorwaarde dat de grootste draaicirkel van toegestane voertuigen maatgevend is. En bij een meerstrooksrotonde moet er ook voldoende ruimte zijn voor ZRA's om elkaar zonder problemen te kunnen **inhalen of passeren**.

Om een **gepaste snelheid** aan te houden, gelden bij het naderen van de rotonde dezelfde overwegingen als bij het kruispunt. Een aanvullend aandachtspunt is de **inrichting van het middeneiland**. Bij menselijke bestuurders is het van belang dat er niet te veel doorzicht is op de rotonde, zodat ze de rotonde duidelijk waarnemen en met aanpassing van de snelheid anticiperen op de rotonde. ZRA's zonder onderlinge communicatie zijn gebaat bij een zo goed mogelijk doorzicht op de rotonde om met de on-board sensoren de volledige omgeving te kunnen overzien en andere, mogelijk conflicterende voertuigen tijdig te kunnen detecteren. Wanneer de ZRA's wel met elkaar kunnen communiceren vanuit een lokaal bij de rotonde opgezet ad-hoc netwerk, dan speelt dit niet.

Het **afslaan** en **oversteken** op een rotonde zijn in feite dezelfde manoeuvre. De overwegingen met betrekking tot inrichting van rijstroken en verlichting zijn gelijk aan die bij kruispunten. Ook hier stelt de aanwezigheid van langzaam verkeer eisen aan de layout van de rotonde (de oversteek van de takken).

3.3 Gemengd verkeer

Bij de bovenstaande beschouwingen voor wegonderdelen, ontwerpelementen en rijtaken is uitgegaan van de situatie van 100% level 5 verkeer. Wanneer we hierop reflecteren vanuit de situatie van gemengd verkeer, in de huidige situatie is al sprake van gemengd verkeer tot en met SAE level 2, dan zijn daarop de volgende observaties van toepassing:

- Als begrenzing van rijstroken is **fysieke markering** belangrijk, naast de eventueel al toe te passen digitale markering. Dat geldt voor alle wegonderdelen. De markering moet goed waarneembaar zijn, door in-car sensoren (camera's) en door de menselijke bestuurder, bij verschillende weers- en lichtcondities.
- Naarmate de automatiseringsgraad toeneemt, zijn er steeds meer voertuigen die op **smallere rijstroken** kunnen rijden. Echter bestuurders van voertuigen die nog niet geautomatiseerd koers houden, zijn gebaat bij de huidige rijstrookbreedte (vreesmarge en vetergang). Rijstroken kunnen dus nog niet overal smaller gemaakt worden. Als tussenoplossing kunnen **smallere doelgroepstroken voor de hogere SAE level voertuigen** worden geïntroduceerd.
- Aanpassingen van het **dwarsprofiel** en de **berminrichting** (redresseerstrook, obstakelvrije zone, vluchtstroken) kunnen nog niet plaats vinden.
- **Boogstralen** kunnen ook nog niet aangepast worden. Wel zou overwogen kunnen worden om in bogen met meer stroken de manueel bestuurde voertuigen alleen in de buitenste strook/stroken toe te staan en de binnenste strook/stroken te reserveren voor automatische voertuigen die hun snelheid kunnen optimaliseren op de infrastructuurkenmerken en de voorkeuren van de inzittenden. Een risico is dat manueel bestuurde voertuigen het gedrag van automatische voertuigen gaan imiteren, wat ertoe zou kunnen leiden dat ze met een te hoge snelheid de bocht in gaan. Ook de korte volgtijden van automatische voertuigen zouden overigens door menselijke bestuurders geïmiteerd kunnen worden. Dat geldt ook op andere wegonderdelen.

- Over het algemeen geldt dat de mix van verschillende voertuigtypen een aanvankelijk wat onvoorspelbaar verkeersbeeld kan geven. Dat heeft met name invloed op de **dimensionering van uitwisselpunten**. (in- en uitvoeger, weefvak, kruispunt, rotonde). De mix van voertuigen van verschillende SAE levels kan zorgen voor interactie tussen de verschillende voertuigtypen die tegen de intuïtie van menselijke bestuurders ingaat. ZRA's gedragen zich anders dan de bestuurders van niet-ZRA's, of bestuurders van voertuigen met een lager SAE level, op basis van hun intuïtie verwachten. De uitwisseling op sommige plaatsen is mogelijk te complex voor ZRA's, die nog niet met elkaar communiceren en meer tijd nodig hebben, door de grotere veiligheidsmarges dan die die menselijke bestuurders aanhouden en vroegtijdig remmen. Dit zal ertoe kunnen leiden dat uitwisselpunten (in- en uitvoegstroken, weefvakken) eerst ruimer gedimensioneerd moeten worden. Dat sluit aan bij de praktijkobservatie dat ACC in zijn huidige vorm leidt tot grotere volgafstanden.
- Voor onderliggende wegen geldt dat met name de interactie met langzaam verkeer (fietsers en voetgangers) veel dilemma's oplevert. Daardoor wordt de situatie veel complexer en daarvoor zijn op dit moment nog geen (veilige) oplossingen beschikbaar. Op gebiedsontsluitingswegen met gescheiden verkeersstromen gelden dit ook (op kruispunten en rotondes).
- Bij gemengd verkeer dient nog vastgehouden te worden aan het **originele kruispuntontwerp** en voorrangsregels. De ZRA moet zich zoveel aan de menselijke bestuurders aanpassen, zodat verwarring voorkomen wordt bij bestuurders van niet-automatische voertuigen. Mogelijk heeft het automatische voertuig meer tijd nodig om de situatie op een kruispunt in te schatten, als er niet met alle voertuigen in de buurt gecommuniceerd kan worden.
- **Doorzicht op een rotonde** is voor een ZRA, die communiceert met het overige verkeer, geen probleem, voor menselijke bestuurders wel.
- (truck) platooning brengt nog de nodige vragen met zich mee, als het streven is om vrijwel continu te kunnen platoonen (dus niet moeten opsplitsen bij ieder knooppunt) om de voordelen van platooning te kunnen behalen.

Uit het bovenstaande ontstaat het beeld dat de mogelijke consequenties voor het wegontwerp in de situatie met gemengd verkeer waarschijnlijk nogal beperkt zullen zijn (ofwel dat je niet veel kunt veranderen aan het wegontwerp zolang er gemengd verkeer is). Bij gemengd verkeer kan er in eerste instantie niets veranderd worden aan het ontwerp, dat gebaseerd is op wat menselijke bestuurders nodig hebben om veilig, vlot en comfortabel te rijden. Alleen op wegen met veel capaciteit/rijstroken kan overwogen worden een deel hiervan voor ZRA's te reserveren en dit deel ook een nieuw wegontwerp te geven (**scheiding in het dwarsprofiel** van ZRA en niet-ZRA).

3.4 No-regret maatregelen

Volledig zelfrijdend level 5 verkeer zal er op korte en middellange termijn nog niet zijn. Maar de situatie van gemengd verkeer ontwikkelt zich gestaag door. Op dit moment is er al sprake van gemengd verkeer van voertuigen tot en met level 2 (auto's met ACC en Lane Keeping). Ook worden er verkenning gedaan met level 3 voertuigen (autopilot van Tesla), al is daar nog de nodige controverse omheen. Ook zijn er concrete ontwikkelingen met level 4 voertuigen, die geconditioneerd (lage snelheid) gebruik maken van delen van de openbare infrastructuur (WEpod). Wegbeheerders kunnen nu al maatregelen nemen of voorbereiden, die passen bij hun beleids- en uitvoeringskader en in lijn liggen met de voordelen, mogelijkheden en voorziene ontwikkelingstappen van ZRA's, in de vorm van de volgende no-regret maatregelen:

Wegontwerp algemeen:

- Vasthouden aan de huidige ontwerprichtlijnen, maar goed kijken naar specifieke keuzes waar wel mogelijkheden zijn. Ontwerp bijvoorbeeld nieuwe snelwegen als *tidal flow* ingerichte snelwegen, op basis van een dynamische rijbaanindeling, rijbanen in één vlak aanleggen (de ruimte tussen

twee rijbanen opvullen, in feite spreken we dan niet meer van rijbanen, maar rijvlakken), en redeneer dan terug naar de huidige veiligheidsmarges.
- In het wegontwerp ruimte creëren voor meer flexibiliteit omdat de aanname is dat de ZRA een betere bestuurder is dan de huidige automobilisten. Vermijd inflexibiliteit van infrastructuur, geen flexibiliteit beperkende investeringen en aanleg van infrastructuur doen. Bijvoorbeeld: niet hard fysiek ontvlechten.

Dwarsprofiel:
- In- en uitvoegstroken en weefvakken: (nog) niet korter maken.
- In het ontwerp van weefvakken ruimte houden voor de toekomst om deze uit te kunnen breiden mocht dat noodzakelijk blijken uit onderzoek.
- Spitsstroken omzetten in reguliere wegverbreding zodat de extra capaciteit die nodig is voor de ZRA gebruikt kan worden.

Weginrichting:
- Wegdekkwaliteit aanpassen aan comforteisen van ZRA's.
- Kwaliteit van de markering verbeteren, aanpassen aan de specificaties van SAE level 1 t/m 5. Met name op routes waar veel hogere orde automatische voertuigen verwacht worden. Toepassen van uniforme markering verbetert de detectie door ZRA's ook.
- Waarneembaarheid van verkeersborden door in-voertuig camerasystemen verbeteren.

Kruispunten:
- Investeren in communicatie en coöperatie.
- Meer/vaker scheiden van langzaam en snel verkeer (en OV).

3.5 Samenvatting van de belangrijkste relaties

Op basis van de inzichten uit de voorgaande paragrafen is een samenvattend overzicht gemaakt van de elementen in wegontwerp en welke verschillen daarbij tussen de 100% level 5 situatie en de situatie met gemengd verkeer bestaan. Opvallend is daarbij dat voor de meeste ontwerpelementen in gemend verkeer de situatie met nu gelijk blijft, slechts op een paar specifieke punten zijn aanpassingen mogelijk. Daarnaast volgt uit de 100% level 5 situatie ook een aantal vragen waarop we antwoord moeten hebben voordat er beslissingen genomen kunnen worden over eventuele te maken aanpassingen.

Wegontwerp onderdelen	Aanpassingen bij 100% level 5	Aanpassingen bij gemengd verkeer
Lengteprofiel		
- Snelheidslimiet	Uit oogpunt van veiligheid zou de snelheidslimiet mogelijk verhoogd kunnen worden. Vanuit energie efficiëntie en rijcomfort overwegingen is dit wellicht minder gewenst. Wel kan de snelheid op GOW's verhoogd worden.	Geen aanpassingen
- Zichtlengtes	Indien communicatie beschikbaar is (voertuig-voertuig en voertuig-wal) kunnen deze naar beneden bijgesteld worden.	Geen aanpassingen

- Reactietijd	Bij communicatie wordt de reactietijd heel klein (bijna verwaarloosbaar).	Geen aanpassingen
- Comfort (acceleratie en deceleratie, boogstralen)	De mens is maatgevend in deze. O.a. het uitvoeren van andere activiteiten in het voertuig, maar ook de technische mogelijkheden van het voertuig spelen hier bijv. een rol.	Geen aanpassingen
- Wegmeubilair	Als communicatie beschikbaar is kunnen alle fysieke onderdelen in principe weggehaald worden omdat voertuigen onderling bepalen wat de beste oplossing is.	Geen aanpassingen
- In- uitvoegstroken	'Acceleration lane', ontwerp afhankelijk van comfortabel accelereren voor de passagier.	Opnieuw bekijken bij probleem locaties of dit opgelost moet worden.
- Weefvakken	Lengte afhankelijk van hoeveelheid voertuigen die moeten wisselen (lengte dimensioneren op maximum).	Opnieuw bekijken bij probleem locaties of dit opgelost moet worden.
Dwarsprofiel		
- Rijstrookbreedte	Kan smaller worden, waarbij rekening gehouden moet worden met wat passagiers comfortabel vinden.	Bij de huidige level 1 & 2 voertuigen ontwikkelt Lane Keeping Assistent zich relatief snel. Onderzoek is gewenst of daardoor de meest linker rijstro(o)k(en) mogelijk smaller kan/kunnen (bijvoorbeeld middels doelgroepstro(o)k(en).
- Vluchtstrook (incl. wel/geen pechhaven)	Dit is sterk afhankelijk van het aantal storingen en maar ook van de overige functies die de vluchtstrook heeft in de 100% level 5 situatie.	Het vraagt nader onderzoek hoe hierop voor te sorteren is.
- Obstakelvrije zone	Deze kan geminimaliseerd worden afhankelijk van de technische specificaties van de voertuigen.	Geen aanpassingen
- Middengeleider	Voor comfort van passagiers wel aanhouden, maar de fysieke scheiding verdwijnt	Plaats geen wegkantsystemen in de middenberm.
- Rijstrookscheiding (markering)	De aanname is dat dit technologisch mogelijk is waardoor fysieke markering mogelijk verdwijnt of een back-up functie heeft.	Markering op orde, uniform en afwatering optimaliseren (om markering zichtbaar te houden).

Kruispunten		
- Rotonde	Functioneren en meerwaarde van rotondes heronderzoeken voor de 100% level 5 situatie. Bij gebleken nut de inrichting van het middeneiland aanpassen.	Geen aanpassingen
- Geregeld kruispunt	Kruispunten met enkel motorvoertuigen kan ongeregeld worden uitgevoerd. Bij kruispunten met ZRA en langzaam verkeer kunnen twee fasen worden geïmplementeerd: één fase voor ZRA en één fase voor langzaam verkeer.	Geen aanpassingen
- Voorrangskruising	Blijft bestaan (komt met name voor in situatie met langzaam verkeer).	Geen aanpassingen
- Gelijkwaardige kruising	Alleen op ETW, dus geen invloed van ZRA.	Geen aanpassingen

3.6 Onzekerheden bij deze ontwikkelingen

Tijdens de LEF-sessie ontstonden discussies over de kans op storingen bij zelfrijdende voertuigen en mogelijke technische oplossingen daarvoor. Met name de uit storingen voortvloeiende gevaarlijke verkeerssituaties hebben direct impact op keuzes voor het wegontwerp. Daarom is een aantal onderzoeksvragen omtrent dit onderwerp opgenomen in het volgende hoofdstuk.

Op de weg (met name ETW) bevinden zich naast auto's ook diverse andere modaliteiten waardoor de situatie een stuk complexer wordt. Met name de interactie met modaliteiten zoals motoren, tractoren, quads, en nieuwe typen voertuigen zoals Twizy's roepen vragen op.

Ook de menselijke kant van de zelfrijdende auto kwam op een aantal punten ter sprake. Met name op het gebied van comfort en de mogelijkheden en onmogelijkheden die de zelfrijdende auto op dat vlak met zich meebrengt roepen vragen op. Het gaat hierbij niet alleen om situaties waarbij de zelfrijdende auto sneller kan rijden dan de meeste menselijke bestuurders aankunnen (bijvoorbeeld in bochten), maar ook de vraag welke snelheden en acceleraties nog comfortabel gevonden worden in de situatie waarin de bestuurder als passagier in het voertuig zit en andere dingen aan het doen is (lezen). Ook kwam de veiligheidsmarge in dit geval ter sprake, met name over wat passagiers comfortabel vinden als auto's in tegengestelde richting elkaar rakelings passeren.

Op het vlak van techniek was met name communicatie en de nauwkeurige plaatsbepaling onderwerp van gesprek. De aanname dat beiden goed zullen functioneren, stelt hoge eisen aan de technologische vooruitgang. Maar het roept ook vragen op rondom terugvalopties indien onverwacht een deel van de techniek niet beschikbaar is.

De aannames omvatten nogal wat technologische ontwikkelingen, waar nog veel onzekerheden over zijn. Hierover moet eerst meer duidelijkheid zijn voordat keuzes ten aanzien van het wegontwerp gemaakt kunnen worden.

Aannames zijn dat:

- Nauwkeurige positiebepaling voertuigen beschikbaar is (technisch nu nog een uitdaging).
- Digitale kaarten met snelheden op orde zijn en het liefst dynamisch aan te sturen.
- Voertuigen in staat zijn om met elkaar te communiceren in lokale ad-hoc netwerken en kunnen communiceren met wegkant stations.
- Wegmarkering in optimale staat is (goed waarneembaar bij verschillende licht- en weerscondities).

Op alle bovenstaande gebieden zijn ook kennisvragen geformuleerd in hoofdstuk 4.

4 Ontwikkelagenda

Uit de relaties die in hoofdstuk 3 zijn benoemd, volgen diverse vragen die beantwoord moeten worden om goede keuzes te kunnen maken in de vormgeving en inrichting van de weginfrastructuur. Samen vormen deze vragen de ontwikkelagenda. De opzet en invulling van deze ontwikkelagenda met een overzicht van de belangrijkste kennisvragen worden in dit hoofdstuk besproken. Er is niet gestreefd naar het opstellen van een complete lijst; het wordt een levend document waaraan kennisvragen die later naar boven komen toegevoegd kunnen worden (en beantwoorde vragen afgevoerd kunnen worden).

De ontwikkelagenda is opgebouwd rondom de verschillende wegtypen en rondom het onderscheid tussen de situatie van 100% automatische voertuigen (SAE niveau 5) en de situatie van een mix van voertuigen met verschillende automatiseringsniveaus. We beginnen met de 100% level 5 vragen.

De **vetgedrukte vragen** zijn vragen met een hogere prioriteit dan de vragen die niet vetgedrukt zijn – vragen die als eerste opgepakt zouden moeten worden. Daarbij is prioriteit gegeven aan vragen die te maken hebben met de veiligheid of het kunnen functioneren van ZRA's, wettelijke aspecten en (twijfels over) de baten van automatisch rijden.

De nadruk ligt op de direct wegontwerp gerelateerde vragen. Deze worden besproken in paragraaf 4.1. Daarnaast zijn er afgeleide vragen benoemd rondom de thema's; human factors, voertuigtechniek, digitale omgeving (paragraaf 4.2). Deze hebben in veel gevallen een directe relatie met de ontwerp gerelateerde vragen, en zijn vaak ook gerelateerd aan de uitgangspunten van hoofdstuk 2. Ze zijn 'bijvangst' van de oorspronkelijke vraag, en worden gezien als aanvullingen op de bredere kennisagenda ZRA die vanuit het Ministerie van I&M en Rijkswaterstaat wordt opgezet.

4.1 Direct wegontwerp gerelateerde vragen

4.1.1 Wegontwerp: stroomwegen en gebiedsontsluitingswegen

Tabel 2 geeft de kennisvragen op het gebied van wegontwerp, voor stroomwegen en gebiedsontsluitingswegen. In de tabel wordt ook aangegeven op welk element(en) van het wegontwerp de vraag betrekking heeft, en op welk automatiseringsniveau de vraag primair betrekking heeft.

Tabel 2: Kennisvragen wegontwerp (SW, GOW).

Kennisvraag	SAE-niveau	Elementen wegontwerp
		Lengte profiel
Bij ZRA's zullen de snelheidsverschillen tussen voertuigen minder worden. Maar er zullen wel verschillende voertuigklassen blijven, met verschillende massa's en andere kenmerken. Verschillen in snelheidslimieten tussen deze klassen zullen er ook zijn. Welke voertuigklassen zijn er? Welke snelheidslimieten hebben die? Gaan alle ZRA voertuigen met dezelfde snelheid rijden? Er blijft waarschijnlijk een onderscheid in snelheid tussen personenauto en vrachtauto.	**L5**	**Snelheidslimiet, snelheidsborden**
Als je in een ZRA passagier bent, wat is dan het	L5	Snelheidslimiet

belang van sneller rijden? Is reistijd dan nog verloren tijd? Optimaliseren naar verkeersveiligheid, brandstofverbruik, uitstoot CO2?		
De vluchtstrook heeft veel verschillende functies: naast veiligheid ook onderhoud en incidentmanagement. De vraag is welke functies bij de zelfrijdende auto nog steeds van toepassing zijn en of deze op een andere manier ook ingevuld kunnen worden.	L5	Vluchtstrook, pechhaven
Hoe zit het met vergevingsgezindheid in het wegontwerp bij 100% ZRA's? Voorbeeld: de constructie/lengte van een invoeger op de snelweg kan anders bij ZRA's omdat het invoegen een voorgeprogrammeerde manoeuvre is. Daarmee zou je dus voorbij het einde van de invoeger geen voorziening (extra doorrijdruimte) hoeven in te bouwen.	L5	Diverse elementen (o.a. lengte en aantal in- en uitvoegstroken en weefvakken, aanwezigheid redresseerstrook en vluchtstrook, stroefheid/frictie)
Welke opties ontstaan er om links uit te voegen (en in te voegen) en welke consequenties heeft dit voor het wegontwerp?	L5	Positie in- en uitvoegstroken
Zijn er wegvakken met een specifieke vormgeving waarvan niet duidelijk is of (autonome) ZRA's er mee om kunnen gaan? Tapers zouden een voorbeeld kunnen zijn.	**Gemengd**	**In- en uitvoegstroken, wellicht nog andere elementen?**
Hoe dient omgegaan te worden met taperinvoeger bij de aanwezigheid van ZRA's? Is toepassing ervan afhankelijk van de ter plaatse voorkomende I/C verhoudingen? Of regelt de communicatie tussen voertuigen dit waardoor er geen implicaties zijn voor het ontwerp?	L5/Gemengd	In- en uitvoegstroken
Zal de lengte van in- en uitvoegstroken en weefvakken toenemen in de gemengd verkeer situatie om complexe overgangen te faciliteren?	Gemengd	In- en uitvoegstroken, weefvakken
Hoe lang duurt automatisch afwikkelen van in- en uitvoegen. Bij welke snelheden gaat dat optimaal. Wat betekent dit voor de lengte van de in- en uitvoegstroken. Wat is het effect van voertuig-voertuig communicatie hierop.	L5/gemengd	In- en uitvoegstroken, weefvakken
Wat zijn goede comforteisen voor de ZRA? Boven welke (laterale en longitudinale) accelerates geven passagiers aan het (mee)rijden niet meer comfortabel te vinden, of voelen ze zich niet goed? Dit speelt bijvoorbeeld m.b.t. verkanting en boogstralen, maar ook de snelheid waarmee voertuig optrekken op invoegstroken en afremmen op uitvoegstroken.	**L5**	**Boogstralen, verkanting**

In hoeverre is het mogelijk eisen aan verkanting aan te passen aan voertuigkenmerken	L5	Verkanting
		Dwarsprofiel
Wat is de veiligheidsmarge van ZRA in relatie tot rijstrookbreedte?	**L5**	**Rijstrookbreedte**
Stelling: bij ZRA's is er een minder brede verharding nodig. Vraag: Hoe groot moet de verhardingsbreedte dan toch nog zijn om ook positieafwijkingen/vetergang van ZRA's ten gevolge van bijvoorbeeld wind of onnauwkeurige positiebepaling op te kunnen opvangen?	**L5**	**Verhardingsbreedte, redresseerstrook (i.r.t. rijstrookbreedte)**
Kunnen bij rijbanen met meer dan 2 rijstroken, de linkerrijstroken op SW's versmald worden? (De twee rechterrijstroken blijven op de huidige breedte i.v.m. aanwezigheid vrachtverkeer.)	L5/gemengd	Rijstrookbreedte, doelgroepstroken
Bij het onderscheid tussen personen- en vrachtauto's: blijven die door elkaar rijden, of rijden die bij voorkeur op eigen rijstroken? Hoe onderscheiden die rijstroken zich dan van elkaar?	L5	Rijstrookbreedte, markering, doelgroepstroken?
Rijrichtingscheiding, hoe vormgeven, ook vanuit de wens tot flexibele indeling rijstroken.	L5/gemengd	Rijrichtingscheiding
Kunnen, als we 100% L5 rijden, de veiligheidsbarrières op de stroomwegen verdwijnen of hebben deze nog andere functies (bijvoorbeeld in het geval van een klapband of totaal falen van alle sensoren en actuatoren)?	L5	Vluchtstrook, obstakelvrije zone, afschermingsvoorzieningen
Afschermingsvoorzieningen voor ZRA's. Aan welke eisen voldoen? Dit is mede afhankelijk van veranderende constructieve botsveiligheidseisen voor ZRA's.	L5/gemengd	Afschermingsvoorzieningen
Hoe kan de markering zodanig geüniformeerd worden dat ZRA's er (bijna) overal mee uit de voeten kunnen? Of ís digitale informatie gewenst over afwijkende markeringen die aan nabije voertuigen wordt aangeboden? Hoe zou dat in zijn werk gaan?	**L5/Gemengd**	**Markering, begrenzing van de rijstrook**
Wat zou er aan de markeringen verbeterd kunnen worden om de lane keeping systemen te verbeteren? Hoe kunnen we het contrast tussen asfalt en markering vergroten? Is een andere kleur dan wit bijvoorbeeld handig? Welke kleur van markering is het beste voor detectie?	**L5/Gemengd**	**Markering**

Naast deze aan elementen van het wegontwerp te relateren vragen waren er nog twee vragen die meer op het niveau van netwerkontwerp dan op het niveau van wegontwerp liggen:

- Waar en hoe kunnen buffercapaciteiten voor overgangszones het beste vormgegeven worden in de gemengde verkeerssituatie en als op het onderliggend wegennet nog niet automatisch gereden wordt?
- Op welk deel van de gebiedsontsluitingswegen (klein deel / de helft / groot deel) delen langzaam en gemotoriseerd verkeer de rijbaan? Welk aandeel hebben wegen met gedeelde rijbanen in de afgelegde kilometers (van de GOWs / het totaal)?

Tabel 3 geeft de specifiek op kruisingen betrekking hebbende kennisvragen.

Tabel 3: Kennisvragen kruisingen (SW, GOW).

Kennisvraag	SAE-niveau	Elementen wegontwerp
Wat is toelaatbaar voor zichtbaarheid/overzicht van rotonde?	L5/gemengd	Rotonde, middeneiland
Wat is niet onlogisch voor de passagier van 100% ZRA, bijvoorbeeld links uitvoegen?	L5	Rotonde, rijstrook configuratie
Onder welke condities is een kruispunt met ZRA's efficiënter dan bij manuele besturing. Dit in verband met de eigenschap van menselijke bestuurders om conflictsituaties op te lossen met flexibel toepassen van verkeersregels, lichaamstaal en hoffelijkheid.	L5/gemengd	Kruispunt, rotonde
Is bij 100% ZRA het kruispunt of de rotonde efficiënter (capaciteit, conflictpunten, enkelstrooks of meerstrooks)?	L5	Rotonde, voorrangskruispunt, geregeld kruispunt
Hoe ziet een optimale rotonde er uit? Hoe kan deze ontworpen worden voor een mix van ZRA's en niet-ZRA's, met aandacht voor voetgangers en fietsers?	**Gemengd**	**Rotonde**
Wat is een geschikte snelheidslimiet op het kruisingvlak? Dit is afhankelijk van de kans op ongevallen door falen van de ZRA en botsveiligheidseisen voor de ZRA.	L5	Kruispunt, snelheidslimiet
Hoeveel verlichting is er nodig op kruispunten en rotondes?	L5	Kruispunt, rotonde

4.1.2 Wegontwerp: erftoegangswegen

Erftoegangswegen (ETW's) zijn in deze studie niet specifiek onderzocht. In het proces zijn ze wel een aantal keren voorbij komen, hetgeen heeft geresulteerd in de kennisvragen die zijn weergegeven in Tabel 4. Deze vragen gaan vooral over hoe ZRA's zich tussen het andere verkeer op ETW's kunnen bewegen.

Tabel 4: Kennisvragen erftoegangswegen

Kennisvraag	SAE niveau	Elementen wegontwerp
Hoe gaan oversteekplaatsen op kruispunten met ZRA's voor voetgangers en fietsers vormgegeven worden? Zijn fysieke barrières nodig/acceptabel?	L5	Voorrangskruising
Hoe kan een kruispunt anders vormgegeven worden als er 'centraal' geregeld wordt welk voertuig wanneer het kruispunt mag betreden? Is hierin onderscheid naar de grootte van kruispunten noodzakelijk?	L5	Voorrangskruising, geregelde kruising, rotonde
Wat is de optimale afwikkeling van ZRA's op kruispunten? Wat betekent dit voor het aantal opstelstroken en de vormgeving van deze stroken?	L5	Voorrangskruising, geregelde kruising (bij overgang naar GOW)
Klopt de veronderstelling dat ZRA-aspecten geen directe invloed hebben op de dimensionering van erftoegangswegen (vanwege aanwezigheid niet ZRA-voertuigen, landbouwvoertuigen, etc.) en wegen in specifieke gebieden (wonen, winkelen, etc.), waar een sterke interactie is met voetgangers en niet ZRA vervoermiddelen (fiets)?	**Gemengd**	**Rijstrookbreedte**
Onder welke voorwaarden zouden ETW's smaller uitgevoerd kunnen worden? Bijvoorbeeld qua intensiteiten, regeling van het verkeer.	L5/Gemengd	Rijstrookbreedte
Moet de snelheid van ZRA's sterk omlaag in gemengde gebieden van ZRA's en overig verkeer?	Gemengd	Ontwerpsnelheid

Naast vragen over hoe ZRA's het wegontwerp zouden kunnen beïnvloeden, kunnen ook 'omgekeerde' vragen gesteld worden:

- Hoe zullen, gegeven de huidige ontwerpen van ETW's (en de mix van vervoermiddelen), ZRA's zich gedragen op deze wegen?
- Hoe is de interactie met de andere verkeersdeelnemers? Hoe kan bewerkstelligd worden dat mensen wennen aan de aanwezigheid van ZRA's en dat ZRA's de ruimte geboden wordt om effectief/efficiënt gebruik te maken van ETW's?

4.1.3 Impact ontwerp op verkeersafwikkeling: SW en GOW

Een aantal kennisvragen heeft indirect te maken met het wegontwerp, in de zin dat veranderingen in het wegontwerp onbekende consequenties kunnen hebben voor de verkeersafwikkeling.

Tabel 5: Kennisvragen impact ontwerp op verkeersafwikkeling (SW, GOW).

Kennisvraag	SAE niveau	Elementen wegontwerp
Is het zinvol om bij complexe situaties (bijvoorbeeld weefvakken) de snelheidslimiet naar 100 km/h te brengen zodat de snelheidsverschillen minimaal zijn? Heeft deze maatregel nog andere, eventueel nadelige gevolgen of kan deze als no-regret maatregel gezien worden?	L5, gemengd	Ontwerpsnelheid, weefvakken (in- en uitvoegstroken)
Als ZRA's zelf hun optimale snelheid kiezen in een boog (of elders), en dit mede afhangt van of er passagiers in het voertuig zitten of niet, hoe groot wordt dan de variatie in snelheden in de bocht (bij free flow / verkeersintensiteiten met enige interactie / druk tot zeer druk verkeer)? Is de verdeling heel anders dan die van manueel bestuurde voertuigen?	L5	Boogstralen, verkanting
Bepaalt een ZRA zelf met welke snelheid hij door een bocht kan rijden? Welke informatie heeft de ZRA vanuit het wegontwerp nodig om dat goed te kunnen doen, naast de informatie die de ZRA zelf heeft over bijvoorbeeld belading etc.? Staat dit op gespannen voet met de juridische geldigheid van snelheidslimieten en adviessnelheden in bochten?	L5	Boogstralen, verkanting, stroefheid/frictie
Weefvakken vergen een aantal complexe handelingen tussen voertuigen. Voor zelfrijdende auto's zijn deze handelingen net zo complex. Zijn er voor wegontwerp mogelijkheden de zelfrijdende auto beter te faciliteren op het weefvak (bijvoorbeeld d.m.v. het toepassen van een doelgroepstrook systematiek, of het toepassen van een vorm van ontvlechten)?	**Gemengd**	**Weefvakken**
Hoe kunnen we het capaciteitsverlies bij weefvakken bij gemengd verkeer voorkomen (bijvoorbeeld door dynamisch te ontvlechten)	Gemengd	Weefvakken
Moeten er specifieke eisen aan platooning gesteld worden, rondom complexe situaties (bijvoorbeeld het verbieden ervan of het vergroten van de tussenafstand, of het maximaliseren van de grootte van het peloton) en op welke plek in het dwarsprofiel moeten deze rijden?	**Gemengd**	**In- en uitvoegstroken, weefvakken, rijstrookbreedte**

4.1.4 Impact ontwerp op verkeersafwikkeling: ETW

Ook voor erftoegangswegen is een aantal kennisvragen geformuleerd met betrekking tot de impact van het wegontwerp op de verkeersafwikkeling (zie Tabel 6).

Tabel 6: Kennisvragen impact ontwerp op verkeersafwikkeling (ETW)

Kennisvraag	SAE niveau	Elementen wegontwerp
Is een snelheid van 30 km/u laag genoeg op erftoegangswegen? Wat is de optimale snelheid op ETW's? Met hoeveel % of hoeveel minuten worden ritten verlengd als de snelheid naar 10/15/20(?) km/u gaat?	L5, gemengd	Ontwerpsnelheid

Een vraag die in de categorie 'impact op verkeersafwikkeling' past, maar niet aan specifieke elementen van het wegontwerp te koppelen heeft te maken met hoe de indeling in Duurzaam Veilig wegcategorieën in de praktijk leidt tot wegen die niet eenduidig gecategoriseerd kunnen worden: hoe gaat een ZRA om met 'grijze wegen'? Is dat met ZRA's minder problematisch dan in de huidige situatie met menselijke bestuurders? Hier hoort de vraag bij om hoeveel kilometers weg het gaat – welk deel van het wegennet (en/of de voertuigkilometers) betreft dit?

4.2 Afgeleide vragen

Een deel van de kennisvragen die geformuleerd zijn naar aanleiding van de LEF-sessie en de uitgangspunten heeft niet direct iets met wegontwerp te maken, maar is wel relevant om te rapporteren.

4.2.1 Human factors

In deze paragraaf komen kennisvragen met betrekking tot human factors aan bod (zie Tabel 7).

Tabel 7: Kennisvragen m.b.t. human factors

Kennisvraag	SAE niveau
In hoeverre hebben langzame verkeersdeelnemers angst voor automatische voertuigen die ze tegenkomen op kruisingen? Hoe wordt dat beïnvloed door de vormgeving van de weg? Of worden daarvoor voorzieningen getroffen in de voertuigen?	**L5**
Zijn er nog situaties te bedenken waarin de bestuurder het tóch nog moet overnemen? Moet minstens 1 passagier dan een rijbewijs hebben? Kunnen voertuigen ook op afstand bestuurd worden in dat soort situaties? Is dat beter?	L5
Wat zijn ontwerpbeperkingen dankzij het verwachte comfort van de gebruiker? Kunnen deze (deels) door het voertuig gecompenseerd worden?	L5
In hoeverre imiteren menselijke bestuurders het gedrag van automatische voertuigen?	**Gemengd**
In hoeverre zullen LV-deelnemers en niet-automatische voertuigen misbruik maken van de eigenschap van automatische voertuigen om te stoppen voor obstakels? Hoe wordt dat beïnvloed door de vormgeving van de weg?	Gemengd
Bij truck platooning zou het overige verkeer eerder voor kunnen sorteren in de juiste rijstrook, of het verkeer duidelijk maken dat trucks in een platoon rijden. De vraag is hoe dit het beste kan worden vormgegeven vanuit een Human Factors perspectief?	Gemengd

4.2.2 Voertuig

Ten aanzien van de automatisch rijdende voertuigen zelf leven ook nog veel vragen. Onduidelijkheden met betrekking tot hoe voertuigen functioneren, kunnen hun weerslag op het wegontwerp hebben. Tabel 8 geeft de kennisvragen m.b.t. voertuigen weer.

Tabel 8: Kennisvragen m.b.t. voertuigen.

Kennisvraag	SAE niveau
Wat zijn de verwachtingen over hoe vaak systemen zodanig falen dat het voertuig niet meer bestuurd wordt tenzij de besturing door de mens wordt overgenomen? Wat voor soort ongevallen zullen dan optreden? Is er een relatie met de vormgeving van de infrastructuur en/of de samenstelling van het verkeer?	**L5**
Welke (afwijkende) omstandigheden vinden ZRA's moeilijk om waar te nemen / te interpreteren? Welke van deze situaties kan een ZRA minder goed waarnemen dan een menselijke bestuurder? Kan dit opgelost worden met (nieuwe) sensoren en interpreterende software?	**L5, gemengd**
Hoe ontwikkelt de voertuigdynamica van een ZRA zich (bijv. slimme dempingsystemen op de wielen)? Wat betekent dit voor wegontwerp, verharding, boogstralen?	L5
Worden tweewielers (gemotoriseerd en niet-gemotoriseerd) ook op termijn uitgevoerd met functies voor automatisch rijden? Of in ieder geval met functies voor coöperatief rijden?	L5
Is het mogelijk om naast infrastructurele verkanting, ook verkanting in het voertuig toe te passen (in de voertuigdynamica) zodat de verkanting van de weg minder essentieel is?	L5
Wat zijn de gevolgen als ZRA's de omstandigheden niet goed inschatten?	**L5, gemengd**
Welke kenmerken gebruiken de systemen die voor automatisch rijden nodig zijn (zoals lane keeping systemen), en onder welke omstandigheden werkt het gebruik van deze kenmerken niet goed?	**L5, gemengd**
Hoe vaak hebben huidige voertuigen storingen die zo ernstig zijn dat het voertuig niet naar een veilige plek gereden kan worden? Is het reëel te veronderstellen dat automatische voertuigen niet vaker storingen hebben (gezien het feit dat ze meer delicate hardware en ingewikkelde software aan boord hebben)? Zijn er verwachtingen hieromtrent, of worden automatische voertuigen onderworpen aan 'duurproeven' of een alternatief hiervoor?	**L5, gemengd**
Hoe kan een voertuig compenseren voor onprettige bewegingen (laterale en longitudinale acceleraties)? Dit als je 'actief meerijdt', of als je iets heel anders doet (lezen).	L5, gemengd
Hoe zullen de constructieve botsveiligheidseisen voor ZRA's veranderen ten opzichte van de eisen aan huidige voertuigen? Wat betekent dit in de gemengde situatie voor voertuig-voertuig botscompatibiliteit?	**L5, gemengd**

4.2.3 Digitale informatie over vormgeving weg en communicatie (V2V en V2I)

Diverse vragen werden geformuleerd met betrekking tot de digitale informatie die automatische voertuigen zullen gebruiken over de vormgeving van de weg, en over de voertuig-voertuig en voertuig-infrastructuur communicatie die een rol zou kunnen spelen (zie Tabel 9).

Tabel 9: Kennisvragen m.b.t. digitale informatie.

Kennisvraag	SAE niveau
Is bij L5 een certificeringscheck nodig voordat voertuigen op de weg toegelaten worden?	L5
Welke wegkenmerken zouden zeker in de digitale infra terecht moeten komen?	**L5, gemengd**
Hoe gaat mogelijk systeemfalen van de zelfrijdende auto ondervangen worden? Denk hierbij aan het uitvallen van communicatie, storing in elektrische systemen, maar ook in mechaniek van de zelfrijdende auto. Welke fall-back opties zijn te creëren zodat dit opgevangen kan worden? Hoe wordt dit gedaan in andere infrastructuurnetwerken?	**L5, gemengd**
Wat moet er geregeld worden (bijvoorbeeld aan digitale infrastructuur of bebording, programmering van ZRA's, handhaving) om het verwijderen van snelheidsremmende voorzieningen mogelijk te maken zonder verslechtering van de verkeersveiligheid? Is dit ook al een mogelijkheid (gezien de mogelijkheden van C-ITS) als er nog sprake is van gemengd (automatisch/niet-automatisch) verkeer? Is er (Europese) regulering voor nodig?	L5, gemengd
Wat zijn de problemen als niet iedereen met iedereen communiceert?	**Gemengd**
Welke elementen uit het wegontwerp / de weginrichting heeft een ZRA nodig, of kan een ZRA goed gebruiken, voor een hele nauwkeurige plaatsbepaling? (Deze vraag komt voort uit het gekozen uitgangspunt dat ZRA's hun positie heel nauwkeurig kunnen bepalen.)	**Gemengd**
Op welke termijn kunnen alle voertuigen (en andere verkeersdeelnemers) met elkaar communiceren?	Gemengd

4.2.4 Overige vragen

De overige vragen zijn gebundeld in Tabel 10.

Tabel 10: Overige kennisvragen.

Kennisvraag	SAE niveau
Wat draagt automatisering op strategisch niveau (met inachtneming van systeemoptimum) bij aan de verkeersafwikkeling in drukke netwerken? Wat vinden passagiers acceptabel bij 'opgelegde' routekeuze?	**L5**
Welke juridische barrières kom je tegen als een tracébesluit met een voor ZRA geschikt wegontwerp doorlopen wordt voor het aanleggen van de weg?	L5
Als het (stedelijke) netwerk anders vormgegeven wordt (meer scheiding van routes van snel en langzaam verkeer), welke voordelen zijn dat te verwachten voor 100% L5 en voor gemengd verkeer? Zijn er hierbij verschillen tussen connected/coöperatief verkeer en verkeer dat niet met elkaar communiceert? Bijvoorbeeld op kruisingen, waar automatische voertuigen misschien langer wachten dan menselijke bestuurders tot ze een geschikt hiaat waarnemen?	**L5, gemengd**
Hoe is een weg zo te construeren dat er nooit zoveel water (of sneeuw, of bladeren of wat dan ook) op ligt dat de markering niet meer waargenomen kan worden? Wat betekent het als dat niet mogelijk is voor het rijden in automatische modus? Zijn er geschikte alternatieven op de middellange termijn die ingezet kunnen worden?	**L5, gemengd**
Welke voor- en nadelen kleven aan het herkenbaar maken van een zelfrijdend voertuig (bijv. oneigenlijk gebruik)?	Gemengd
Zijn alle rijstroken geschikt om alle typen voertuigen te herbergen, zijn ze constructief berekend hierop (bijvoorbeeld bij toepassing Keep your lane principe)?	L5, gemengd
Welke aanpassingen aan de verkeersreglementen zijn noodzakelijk om zelfrijdende auto's mogelijk te maken?	**L5, gemengd**
Is de zelfrijdende auto inderdaad een betere bestuurder dan de huidige automobilist? Deze aanname is de grondslag voor alle positieve impacts van de ZRA, maar kan deze aanname onderbouwd worden?	**L5, gemengd**
De onzekerheidsmarges die door de introductie van de ZRA geïntroduceerd worden, moeten waarschijnlijk opgevangen worden met extra infrastructuur. De vraag is of de kosten tegen de baten opwegen?	L5, gemengd
Welke mogelijkheden / wensen bestaan er tot het invoeren van doelgroepenbeleid bij de introductie van ZRA's (bijvoorbeeld alleen ZRA's in de spits)? Hoe zou dit gecombineerd kunnen worden met het invoeren van beprijzen naar plaats en tijd?	Gemengd
Wat kan trajectcontrole bijdragen aan een homogener snelheidsbeeld door reduceren van snelheidsverschillen en resulteert dit in een toename van de voorspelbaarheid? Bij welke snelheidslimiet functioneert dat goed? Hebben ZRA's daar baat bij?	Gemengd
Wat kan het 'keep your lane' principe bijdragen aan een homogener snelheidsbeeld? Hebben ZRA's daar baat bij? Wat betekent dit uiteindelijk voor de gemengde verkeersstroom?	Gemengd

5 Conclusies en doorkijk

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de belangrijkste conclusies en een doorkijk naar vervolgactiviteiten om de ontwikkelagenda tot uitvoering te laten komen. Ontwikkelvragen die geschikt zijn om op korte termijn op te pakken, worden benoemd. Ook worden no-regret maatregelen benoemd die nu al uitgevoerd of voorbereid kunnen worden, omdat ze passen bij het beleids- en uitvoeringskader van wegbeheerders en in lijn liggen met de voordelen, mogelijkheden en voorziene ontwikkelingen in de automatiseringsniveaus van ZRA's.

5.1 Zinvolle exercitie: veel kernthema's gestructureerd boven tafel gekregen

Deze studie heeft inzicht gegeven in wat de verschillen tussen ZRA's en niet-ZRA's kunnen betekenen voor wegontwerp en de bijbehorende richtlijnen. Er is op een gestructureerde manier veel informatie verzameld en vastgelegd. Daarbij is de ZRA typering volgens de SAE matrix aangehouden, is onderscheid gemaakt in een aantal standaard wegsituaties en is vanuit verschillende rijtaakniveaus vastgesteld wat een ZRA en zijn bestuurder nodig hebben om veilig en vlot van de weg gebruik te kunnen maken.

Uit de verzamelde informatie blijkt dat veel aanpassingen aan het wegontwerp mogelijk nodig en zinvol zijn op de langere termijn, als er sprake is van alleen maar ZRA level 5 voertuigen. Daarnaast is een belangrijke constatering dat er niet veel veranderd kan worden aan het wegontwerp zolang er sprake is van gemengd verkeer, met een mix van voertuigen van verschillende SAE levels. De menselijke bestuurder is dan nog steeds het uitgangspunt voor het ontwerp.

Het blijkt nog niet mogelijk om scherp te krijgen binnen welke termijn er sprake is van een voldoende aandeel level 5 ZRA waarbij het wegontwerp kan 'kantelen' – dat wil zeggen dat de ZRA, en niet het manueel bestuurde voertuig, het uitgangspunt is voor het ontwerp van (een deel van) de infrastructuur, omdat manueel bestuurde voertuigen niet meer zijn toegelaten tot die (delen van de) infrastructuur. Daarmee blijft het kijken vanuit de situatie van 100% SAE level 5 voertuigen een theoretische exercitie. Voor de korte en middellange termijn zal de focus daarom meer liggen op de situatie van gemengd verkeer, waarin voertuigen wel steeds meer met elkaar en de omgeving gaan communiceren (connected & coöperatieve systemen).

Toch is het een zinvolle exercitie gebleken om vanuit de 100% level 5 situatie te kijken omdat hiermee kernthema's boven tafel gekregen zijn. Vanuit de toekomstbeelden kan terug geredeneerd worden naar het verkeer van nu en de komende jaren. Voor de kernthema's kan zo een stapsgewijze aanpak voor het wegontwerp uitgewerkt en toegepast gaan worden.

5.2 Volledig SAE level 5: stevige implicaties op het wegontwerp

Er is eerst gekeken naar wat ZRA's level 5 nodig hebben om veilig en vlot van de weg gebruik te kunnen maken. Dat is gedaan voor stroomwegen (SW) en gebiedsontsluitingswegen (GOW). Erftoegangswegen (ETW) zijn buiten beschouwing gelaten, omdat is geconstateerd dat op dit type weg de interactie tussen ZRA's en langzaam verkeer bepalender is voor wegontwerp en –inrichting dan de kenmerken van de ZRA zelf. Voor SW en GOW is vervolgens gekeken naar rechtstanden, bogen, in- en uitvoegers, weefvakken, kruispunten en rotondes, vanuit de tactische en operationele rijtaken.

Voor de situatie van verkeer dat volledig bestaat uit level 5 ZRA's blijkt dat er op alle vlakken aanpassingen mogelijk zijn, veelal zeer ingrijpend, met name als alle voertuigen ook onderling en met de

wegkant kunnen communiceren. Hieronder staat een impressie van de belangrijkste bevindingen met betrekking tot de relaties tussen de ZRA en ontwerpelementen (zie hoofdstuk 3 voor een volledige beschrijving):

Lengteprofiel (SW en GOW)

- Uit oogpunt van veiligheid kan de **snelheidslimiet** mogelijk verhoogd worden. Vanuit energie efficiëntie en rijcomfort overwegingen is dit wellicht minder gewenst. Fysieke snelheidsborden zijn niet meer nodig. Met hun on-board map kennen voertuigen de geldende limiet en met communicatie kunnen de voertuigen onderling de optimale snelheid bepalen. Een zelfde redenering geldt ook voor andere **verkeersborden** en **wegmeubilair**.
- Indien communicatie beschikbaar is (voertuig-voertuig en voertuig-wal) kunnen **zichtlengtes** naar beneden bijgesteld worden.
- **Boogstralen** kunnen minder ruim uitgevoerd worden, maar dat is wel afhankelijk van wat de inzittenden nog comfortabel vinden. **Eigenschappen van het wegdek** (verhardingskwaliteit, frictie, verkanting) zijn hierbij ook van belang. Een belangrijke aanname hierbij is dat de ZRA's deze informatie via hun on-board map beschikbaar hebben.
- **De lengte van in- en uitvoegers** zal mogelijk aangepast moeten worden, afhankelijk van de snelheid en het gemak waarmee de ZRA de benodigde manoeuvres kunnen uitvoeren. Met voertuig-voertuig communicatie kunnen in- en uitvoegers mogelijk korter gemaakt worden, zonder communicatie moeten ze misschien langer worden. Hetzelfde geldt ook voor de **lengte van weefvakken**, waarbij het ook de vraag is of fysiek ontvlechten (van de opsplits- en samenvoeglocatie) een betere optie is als de ZRA's moeite hebben weefmanoeuvres vlot uit te voeren.

Dwarsprofiel (SW en GOW)

- De **rijstrookbreedte** zal mogelijk kleiner worden, omdat de ZRA beter dan een menselijke bestuurder in staat is om koers te houden. Een voorwaarde daarvoor is wel dat de **begrenzing van de rijstrook** goed bepaalbaar/waarneembaar is in alle condities. Ook de beleving van de inzittenden is een belangrijke factor bij de versmalling van rijstroken. Die begrenzing zal waarschijnlijk een combinatie van een digitale (via de on-board map) en een fysieke component betreffen. Markering en belijning dient dan mogelijk als back-up van de digitale begrenzing.
- De **redresseerstrook** zal smaller kunnen worden, maar blijft waarschijnlijk wel nodig om verstoringen in de laterale positie van ZRA's te kunnen compenseren. Nut en noodzaak van een **vluchtstrook (of pechhavens en bergingsruimte)** is afhankelijk van het aantal storingen en van de overige functies die de vluchtstrook heeft in de 100% level 5 situatie.
- De **obstakelvrije zone** naast de rijbaan kan verkleind worden afhankelijk van de technische specificaties van de voertuigen. Ook het ontwerp van afschermings- en geleidevoorzieningen zal herzien moeten worden op basis van de (bots)veiligheidsspecificaties van ZRA's.

Kruispunt en rotonde (GOW en SW niet ASW)

- Bovenstaande observaties met betrekking tot het dwarsprofiel gelden ook voor kruispunten en rotondes. Daarnaast is het de verwachting dat **kruispunt oppervlakken compacter** kunnen worden (minder ruimtebeslag) door een flexibele indeling van het kruisingsvlak. Voor rotondes geldt een herziening van de inrichting van het **middeneiland** (doorzicht), waarbij het de vraag is of deze kruispuntvorm überhaupt nog zinvol is in termen van afwikkelcapaciteit.
- De aanwezigheid en intensiteit van **verlichting** op kruispunt en rotonde zal afgestemd moeten worden op wat de ZRA nodig heeft om veilig en vlot te passeren, wat nodig is voor een veilige interactie met eventueel aanwezig langzaam verkeer (er vanuit gaand dat niet alle kruispunten ongelijkvloers zijn) en wat aangenaam is voor inzittenden.

- Bij aanwezigheid van langzaam verkeer op gelijkvloerse kruispunten wordt aangeraden een fysieke scheiding (bijvoorbeeld een slagboom) toe te passen.

5.3 Mix van verschillende SAE levels: beperkte implicaties op het wegontwerp

Zoals hierboven al aangegeven, kan er niet veel aan het wegontwerp veranderen zolang er een mix van voertuigen van verschillende SAE levels is. Bij gemengd verkeer kan er in eerste instantie niets veranderd worden aan het ontwerp, dat gebaseerd is op wat menselijke bestuurders nodig hebben om veilig, vlot en comfortabel te rijden. Toch is er wel een aantal aanknopingspunten voor wegbeheerders om het wegontwerp toekomstbestendig te maken en de verdere ontwikkeling van ZRA te faciliteren. Hieronder staat een impressie van de belangrijkste bevindingen (zie hoofdstuk 3 voor een volledige beschrijving):

- Er zijn naar verwachting geen aanpassingen mogelijk aan het lengteprofiel: de aanpassingen die interessant zijn voor ZRA's conflicteren met de capaciteiten van menselijke bestuurders. Generieke aanpassingen van het **dwarsprofiel** en de **berminrichting** (redresseerstrook, obstakelvrije zone, vluchtstroken) kunnen nog niet plaats vinden. Dat geldt ook voor **boogstralen**. Ook dient bij gemengd verkeer nog vastgehouden te worden aan het **originele kruispuntontwerp** en voorrangsregels.
- Er zijn wel enkele specifieke aanpassingen mogelijk aan het dwarsprofiel. Dat heeft betrekking op wegen waar veel rijstroken beschikbaar zijn. Er kan overwogen worden een deel hiervan voor ZRA's te reserveren en ook het wegontwerp hierop te optimaliseren. Dit impliceert een **scheiding in het dwarsprofiel van ZRA's en niet-ZRA's** (of voertuigen met hogere SAE levels en voertuigen met lagere SAE levels). De **breedte van de rijstrook** voor de ZRA's (ZRA doelgroepstrook) kan verkleind worden.
- De kwaliteit van **fysieke markering en rijstrookbegrenzing** is erg belangrijk. De markering moet goed waarneembaar zijn, door in-car sensoren (camera's, die naar verwachting een belangrijke component van ZRA's op alle SAE niveaus zullen blijven) en door de menselijke bestuurder, bij verschillende weers- en lichtcondities. De ZRA moet ook weten welke verkeersgedragsregels er bij het betreffende type markering horen (in aanvulling op de gegevens die al via de on-board map beschikbaar zijn).
- Lengte van in- en **uitvoegstroken en weefvakken**: hierbij dient bekeken te worden hoe de mix van voertuigen uitwisselmanoeuvres uitvoert. De uitwisselpunten moeten mogelijk eerst (als voertuigen van SAE-levels 2-4 op de weg aanwezig zijn) ruimer gedimensioneerd worden. Er is mogelijk meer lengte nodig vanwege onwennige interactie tussen voertuigen van verschillende automatiseringsniveaus (hierbij optredende problemen kunnen mogelijk wel opgelost worden met voertuig-voertuig communicatie).

5.4 Ontwikkelagenda: brede verzameling van kennisvragen

Het in beeld brengen van de relaties tussen de ZRA en wegontwerp heeft een brede verzameling van kennisvragen opgeleverd, die samen de ontwikkelagenda vormen. De nadruk ligt in dit rapport op de vragen die direct aan wegontwerp gerelateerd zijn. Daarnaast zijn er ook vragen benoemd met betrekking tot human factors, voertuigtechniek en uitwisseling van digitale informatie. Deze vormen ook input voor de bredere kennisagenda ZRA die vanuit het Ministerie van I&M en Rijkswaterstaat wordt opgezet. De volledige ontwikkelagenda is uitgewerkt in hoofdstuk 4, hier wordt een impressie gegeven van de belangrijkste thema's waarvoor vragen zijn geformuleerd. Hierbij ligt de focus op de aan het wegontwerp van SW en GOW gerelateerde vragen, en op vragen die betrekking hebben op de gemengde situatie, omdat volledig level 5 pas wordt voorzien na 2075.

Lengte profiel:

- Zijn er ontwerpelementen op wegvakken waar ZRA's niet goed mee om kunnen gaan? Zoals tapers, markering bij in- en uitvoegers op spitsstroken?
- Zullen er verschillende snelheidslimieten nodig zijn voor verschillende ZRA's? Hoe dient in het wegontwerp omgegaan te worden met een eventuele differentiatie in snelheidslimieten tussen verschillende ZRA typen?
- Zijn er veranderingen nodig in de lengte van in- en uitvoegstroken en weefvakken? In welke richting en binnen welke marges?
- Hoe kunnen boogstralen en verkanting aangepast worden? Binnen welke marges?

Dwarsprofiel:

- Voor welke onderdelen in het dwarsprofiel is een aanpassing van de afmetingen en specificaties nodig en mogelijk (breedte van totale verharding, rijstrook, redresseerstrook)?
- Welke eisen moeten er worden gesteld aan de begrenzing van rijstroken en markering?
- Welke eisen moeten er worden gesteld aan de obstakelvrije zone en afschermings- en geleidingsvoorzieningen?

Kruispunten en rotondes:

- Hoe kan de inrichting van het kruisingsvlak worden aangepast?
- Hoe ziet een optimale rotonde eruit?

ETW:

- Klopt de veronderstelling dat ZRA-aspecten geen directe invloed hebben op de dimensionering van erftoegangswegen (vanwege aanwezigheid niet ZRA-voertuigen, landbouwvoertuigen, etc.) en wegen in specifieke gebieden (wonen, winkelen, etc.), waar een sterke interactie is met voetgangers en niet ZRA vervoermiddelen (fiets)?

Een vraag waar we het project mee gestart zijn, en waarvan we kunnen constateren dat deze als kennisvraag blijft bestaan is: Op welke termijn wordt level 5 verwacht en hoe monitoren we de ontwikkeling en implementatie? Op het moment van schrijven worden de verwachtingen omtrent de ontwikkelingen in automatiseringsniveaus nog regelmatig bijgesteld voor de lagere automatiseringsniveaus, en wordt over level 5 alleen gezegd dat het nog ver weg is – een voorzichtige maar wel realistisch geachte, redelijk recente schatting, gaat uit van L5 in 2075 [Shladover, 2015]. Het blijft dus zaak om de ontwikkelingen te monitoren en verwachtingen periodiek (bijvoorbeeld elke 5 jaar) te inventariseren.

Referentie:

- *Shladover, S. E. (2015). Road Vehicle Automation History, Opportunities and Challenges. Presentation at Connekt/ITS Netherlands, Delft, The Netherlands. 9 November 2015.*

Prioritering aanbrengen in de kennisvragen.

Er zijn veel kennisvragen gedefinieerd en gestructureerd. Het is wenselijk hier een prioritering in aan te brengen en deze in een onderzoeksprogramma vast te leggen. Het bovenstaande overzicht kan hiervoor als eerste aanzet dienen. Op die manier kan gestructureerd worden gewerkt aan onderzoeken en experimenten en kan op een gecontroleerde wijze de implementatie van ZRA's ter hand worden genomen.

Daarbij ligt het voor de hand om eerst met stroomwegen te beginnen en ervaring op te doen. Daar is (in principe) geen langzaam verkeer waarmee interactie is. Veel wegen die gecategoriseerd zijn als GOW bubeko hebben soortgelijke kenmerken. De overige wegen komen pas veel later in aanmerking voor aanpassing.

5.5 Wat kan er al in gang gezet worden

Welke stappen kunnen wegbeheerders nu al nemen om het wegontwerp toekomstbestendig te maken en de verdere ontwikkeling van de ZRA te faciliteren. Deze paragraaf geeft een aanzet hiertoe via de beschrijving van een aantal no-regret maatregelen en het benoemen van een aantal thema's dat verder uitgewerkt kunnen worden op korte termijn. Voor de meeste van deze maatregelen en thema's liggen er directe links met eerder genoemde kennisvragen.

No-regret maatregelen
Wegbeheerders kunnen maatregelen nemen of voorbereiden, die passen bij hun beleids- en uitvoeringskader en in lijn liggen met de voordelen, mogelijkheden en voorziene ontwikkelingstappen van ZRA's. In lijn met de bevindingen uit paragraaf 3.4 staat hieronder een overzicht van mogelijke maatregelen.

Wegontwerp algemeen:

- Voorlopig dient vastgehouden te worden aan de huidige ontwerprichtlijnen. Bij specifieke ontwerpkeuzes die gemaakt dienen te worden, kan wel gekeken worden naar mogelijkheden om het ontwerp nu al aan te passen. Een ontwerpexercitie kan bijvoorbeeld zijn: het inrichten van nieuwe snelwegen als *tidal flow* snelwegen, op basis van een dynamische rijbaanindeling, met de rijbanen in één vlak aangelegd (met inachtneming van de huidige veiligheidsmarges). Dit biedt de mogelijkheid de ruimte tussen twee rijbanen op te vullen, in feite spreken we dan niet meer van rijbanen, maar rijvlakken.
- Vermijd inflexibiliteit in het wegontwerp. De aanname is dat de ZRA op termijn een betere bestuurder is dan de huidige automobilist (van operationeel tot strategisch niveau, dus inclusief het kiezen van de optimale rijstrook nabij weefvakken en in- en uitvoegers). Fysieke beperkingen (zoals gescheiden rijbanen) zijn dan overbodig. Dit dient meegenomen te worden in afwegingen rondom bijvoorbeeld fysiek ontvlechten[5].

Dwarsprofiel:

- In het ontwerp van weefvakken ruimte houden voor de toekomst om deze uit te kunnen breiden, mocht blijken uit onderzoek dat er anders gevaarlijke situaties ontstaan omdat voertuigen niet op tijd van strook kunnen wisselen.

Weginrichting:

- Vaststellen in hoeverre de kenmerken van ZRA's leiden tot andere eisen aan de wegdekkwaliteit. In lijn daarmee kan de wegdekkwaliteit aangepast worden aan de comforteisen van ZRA's.
- De kwaliteit van de markering verbeteren, door deze aan te passen aan de eisen of verwachtingen van SAE level 1 t/m 5 (die nog onderzocht moeten worden), bij verschillende weers- en lichtcondities. Een kwaliteitsverbetering ten behoeve van ZRA's levert naar verwachting ook voordelen op voor menselijke bestuurders. Verbeteren van de markering verbetert daarmee het koershouden voor ZRA's van alle levels en koershouden door menselijke bestuurders.
- ZRA's hebben baat bij uniforme belijning en markering. Hoe meer wegen een uniforme en kwalitatief goede markering hebben, hoe meer ZRA's hun rijtaakondersteunende functies kunnen uitoefenen en in automatische modus kunnen rijden. Verdergaande uniformering betekent ook dat software-ingenieurs die de ZRA's programmeren een minder grote inspanning hoeven te plegen,

[5] *Het is daarbij belangrijk na te denken over het waarom van de structuur met hoofdrijbaan en parallelbaan. Het oorspronkelijk doel was faciliteren van langeafstandsverkeer, dat geen last moest hebben van plaatselijk verkeer. Een ander doel was een verstoring op een deel van de stroken geen effect te laten hebben op alle stroken.*

omdat met minder verschillende situaties en uitzonderingen rekening gehouden hoeft te worden. Voor de (nabije) toekomst is het aan te bevelen dat wegbeheerders en automotive partijen samen kijken naar een optimale mix van kwaliteit en uniformiteit van de belijning en nieuwe (software) mogelijkheden van ZRA's.
- ZRA's kunnen borden beter lezen als deze goed schoon gehouden worden, en er geen takken e.d. voor hangen. De kwaliteit van de borden (kwaliteit van het oppervlak en reflectieklasse) dient afgestemd te worden op de detectie-mogelijkheden van voertuig camera's, aangevuld met voertuig-infrastructuur communicatie.

Kruispunten:
- Investeren in communicatie en coöperatie (modules in de wegkantapparatuur voor voertuig-infrastructuur communicatie).
- Meer en/of vaker scheiden van langzaam en snel verkeer (en OV).

Verder uit te werken thema's

Doelgroepstroken:
- Voer nader onderzoek uit naar de mogelijkheid tot het invoeren van doelgroepenbeleid bij de introductie van ZRA's (bijvoorbeeld alleen ZRA's in de spits, op een speciale strook), eventueel in combinatie met het invoeren van beprijzen naar plaats en tijd. Op wegen met veel capaciteit/rijstroken kan overwogen worden een deel hiervan voor ZRA's te reserveren en dit deel ook een nieuw wegontwerp te geven (dit betekent een scheiding in het dwarsprofiel van ZRA en niet-ZRA).
- Een smallere linkerrijstrook lijkt een optie. Bekeken kan worden of bij de rijbanen met 3 of meer rijstroken, de linkerrijstrook/rijstroken versmald zouden kunnen worden uitgevoerd. Nader onderzoek is gewenst om vast te stellen in hoeverre dit van invloed is op de verkeersveiligheid. Wanneer er geen negatieve invloed op de verkeersveiligheid wordt gevonden zou het versmald uitvoeren van de linkerstrook, met de verwachte toename in gebruik van lane keeping systemen, op kortere termijn al een geschikte maatregel kunnen zijn. Zo is bijvoorbeeld bij knelpunten extra capaciteit te genereren (met een extra, maar smalle linkerrijstrook). Op langere termijn zouden alle stroken smaller kunnen worden: meer rijstroken bij dezelfde wegbreedte, en daarmee extra capaciteit.

Tracébesluit doorlopen als voorbeeld
- Naast het beantwoorden van kennisvragen, kan ook veel geleerd worden van het doorlopen van processen die gerelateerd zijn aan wegontwerp. Doorloop bijvoorbeeld een tracébesluit met een voor ZRA geschikt wegontwerp (zoals in dit rapport verkend) om te zien welke juridische barrières ontstaan voor het daadwerkelijk aanleggen van de weg. De verwachting is dat problemen ontstaan in het hoofdstuk zienswijzen in het tracébesluit.

Peloton rijden:
- De mogelijkheden van peloton rijden kunnen nader onderzocht worden:
  - Wat is de beste plek is voor truck platooning in het dwarsprofiel?
  - Wat gebeurt er als er platooning plaatsvindt op weefvakken? Wat is er voor de verschillende weggebruikers (ZRA, conventionele weggebruiker, truck platoon) nodig om dit efficiënt te laten verlopen?
- Complexe situaties (zoals knooppunten en aansluitingen, of wegen met veel filegolven)
  - Bij complexe situaties kan het wenselijk zijn om een lokaal regelsysteem te implementeren om de complexe situatie van 'hogerhand' te managen (in combinatie met

een bovenlokaal systeem om op netwerkniveau goede condities te scheppen voor ZRA's). De algoritmiek en consequenties hiervan moeten nader worden onderzocht.

Posities van voertuigcategorieën op de weg

- Wat gebeurt er als alle typen voertuigen op alle rijstroken mogen rijden (bijvoorbeeld pelotons helemaal links op de rijbaan in plaats van rechts om uitwisseling mogelijk te maken)? Moeten alle rijstroken dan ook voor deze doeleinden geschikt worden gemaakt?
- Wat gebeurt er als het huidige principe 'zoveel mogelijk rechts rijden' op gegeven wordt? Is dit zinnig bij hogere penetratiegraden van ZRA's?
- Is het zinnig om links uitvoegen mogelijk te maken?

A1 De LEF-sessie

A1.1 Programma

Tijd*	Activiteit	Opmerkingen
9.00	Aankomst en registratie van deelnemers Ontvangst met koffie/thee in Serre.	Bij de koffie staat een whiteboard met daarop 1 dilemma waar deelnemers bij binnenkomst met een magneet hun stem kunnen uitbrengen, voorstel: *ZRA past zich aan, aan de weg <> de weg moet zich aanpassen aan ZRA.* Hiermee ontstaan al gelijk gesprekken bij binnenkomst.
9.30	Start programma (in Serre) **Welkom door Alex/John**: aanleiding voor deze bijeenkomst **Welkom in LEF door Jet:** wat kunnen deelnemers verwachten, voorstellen LEF-team.	
9.40	**Brief Encounters**: (in Serre) Alle deelnemers schrijven individueel een vraag op waarmee ze naar deze bijeenkomst zijn gekomen, dan lopen ze met de vraag naar een andere deelnemer, stellen hun vraag, krijgen een beknopt antwoord (diegene mag ook doorverwijzen naar deskundigheid in zijn/haar netwerk), dan stelt de ander de vraag en krijgt een beknopt antwoord. Dit herhalen we nog 1 (of 2) keer.	Een interactieve start waarin deelnemers gelijk hun deskundigheid kunnen tonen, interessante info ophalen en zich realiseren hoeveel expertise er aanwezig is.
10.00	**Toelichting ontwikkelagenda** (in theater) **Vertegenwoordiger XX van de projectgroep** vertelt over de opdracht om een **ontwikkelagenda** op te stellen, waar ze nu in het proces zijn en op welke manier de projectgroep de deelnemers vandaag wil inschakelen (toelichting op de structuur met de cellen).	Bij dit onderdeel laten we een filmpje zien waarin diverse partijen iets zeggen over hoe zij de toekomst van de ZRA zien (dit is een bijproduct van de film die voor de bijeenkomst van 16 juni is gemaakt, de jaarlijkse ontmoeting bij RWS met wegontwerpers uit de markt). *Voorstel: 1e 2,5 minuut van het filmpje (Holleman, Wegman).*
10.15	**Treasure Hunt 1** In de serre zijn 4 stations gemaakt met een selectie uit de matrixcellen van de ontwikkelagenda. Per station is een opdracht geformuleerd (Vraag om meer informatie bij deze cel, check, een specifieke vraag enz). Deelnemers verspreiden zich over de stations die hen interesseren, en waar zij een bijdrage denken te hebben. Elk station heeft één hoofdcel waar de deelnemers aan werken en één of twee aanvullende cellen; - **Opdracht 1**: deelnemers bekijken de cel eerst vanuit de aanname '100% ZRA level 5':	Stations en opdrachten voorbereiden i.s.m. projectgroep; bij elk station is iemand van de projectgroep aanwezig om discussie mee te maken en waar nodig toelichting te geven; LEF facilitatoren zorgen ervoor dat proces soepel verloopt. In serre zal ook weer koffie/thee enz. klaar staan.

	Wat zijn de risico's t.a.v. kenmerken van het wegontwerp? (inventariseren) Stel alles gaat mis, hoe hadden we dat kunnen voorkomen? - **Opdracht 2**: Vervolgens kijken de deelnemers naar de situatie met gemengd verkeer bij lagere niveaus ZRA levels: Wat zijn de risico's/onzekerheden t.a.v. kenmerken van het wegontwerp? Stel alles gaat mis, hoe hadden we dat kunnen voorkomen? -**Opdracht 3:** Wat kan niet doorgevoerd bij gemengd verkeer?	
11.05	**Overview** van de resultaten, impressie, 1e reactie vanuit projectgroep op wat ze gekregen hebben. Aftrap door de 4 projectgroepleden die bij de stations aanwezig waren, aanvulling vanuit deelnemers.	
11.25	**Treasure Hunt 2**: Deelnemers verspreiden zich over drie nieuwe stations in zones 4-3-2. Aan de hand van de resultaten van de discussie in het vorige blok gaan de groepjes nu de volgende punten bespreken: 1. Wat zijn 'no-regret maatregelen – maatregelen/acties die de wegbeheerder sowieso kan/moet gaan doen (op het gehele wegennet of delen daarvan)? 2. Welke aandachtspunten en vragen voor verder onderzoek komen op (en kunnen mogelijk onderdeel uitmaken van de ontwikkelagenda)? 3. Wat zijn belangrijke succesfactoren om de ontwikkelingen van ZRA en de doorontwikkeling van wegontwerp goed op elkaar af te stemmen?	
12.10	**Overview** van de resultaten, impressie, 1e reactie vanuit projectgroep op wat ze gekregen hebben.	
12.30	**Uitnodiging lunch** voor alle deelnemers.	
13.15**	**Basic Conversation ZRA en Wegontwerp**: Plenair met alle deelnemers (in Serre of Theater) m.b.v. 4 vragen (concept): 1)Wat zijn in de discussie over ZRA en wegontwerp de belangrijke elementen? 2)Waar zijn we als projectgroep op de goede weg in dit proces om tot een ontwikkelagenda	

	te komen? Wat vraagt aandacht? 3)Wat zijn succesfactoren in ons proces als projectgroep in de verdere ontwikkeling van de ZRA en wegontwerp? 4)Welk advies willen we meegeven aan de projectgroep?	
14.00	**Afsluiting**	

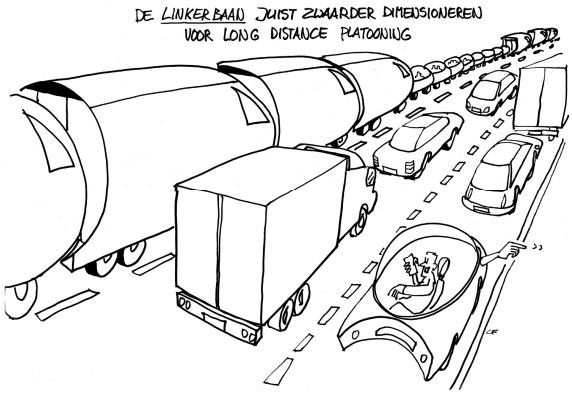
A1.2 Deelnemers

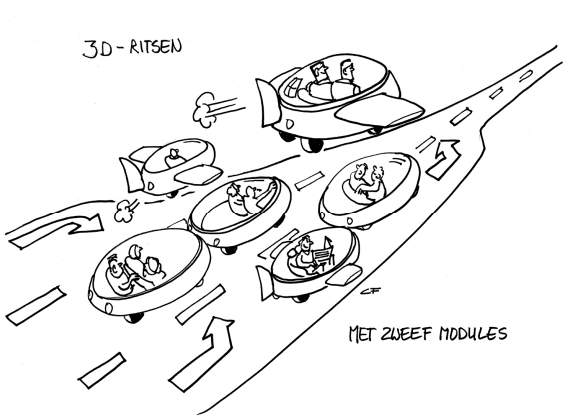
A1.3 Beleving van de LEF sessie

De LEF-sessie is met veel enthousiasme ontvangen door de deelnemers. Verschillende deelnemers hebben aangegeven dat het goed is om over dit onderwerp na te denken en te zien hoe verder op ontwikkelingen met zelfrijdende auto's geanticipeerd kan worden.

De LEF-sessie begon met een korte introductie van de deelnemers die breed vertegenwoordigd waren. Vervolgens presenteerde de projectgroep de uitgangspunten. Deze presentatie leverde in eerste instantie weerstand op omdat meerdere uitgangspunten verstrekkende gevolgen hebben. Maar door een nadere toelichting over de te volgen aanpak (eerst de situatie met 100% level 5 voertuigen en daarna de situatie met gemengd verkeer bekijken) had iedereen het vertrouwen om de discussie aan te gaan. De deelnemers gingen daarmee met de juiste mindset de verschillende workshoprondes in.

Bij de verschillende stations werd creatief meegedacht over de aangedragen aannames en risico's. Zie ter illustratie daarvan de onderstaande selectie van tekeningen die tijdens de sessie zijn gemaakt.





Het uitgaan van een situatie met 100% level 5 voertuigen maakt veel zaken eenvoudiger, maar we moeten hiervoor nog wel veel organiseren en regelen (de fysieke infrastructuur verandert, maar de digitale nog veel meer – er zijn bijvoorbeeld meer verkeersmanagementstrategieën nodig). Een dergelijke situatie maakt veel zaken die nu standaard onderdeel zijn van het wegontwerp overbodig. Nu wordt vormgegeven vanuit de gedachte dat een weg 'self-explaining' en 'vergevingsgezind' dient te zijn en dat de 'mens' zijn beperkingen kent. Dit leidt tot ontwerpen met meer ruimte (bijvoorbeeld bredere stroken).

In een situatie met gemengd verkeer moet de weg nog steeds 'self-explaining' en 'vergevingsgezind' zijn voor de niet-automatische voertuigen, en zijn aanpassingen aan het wegontwerp vanwege de zelfrijdende auto dus nog niet zo evident. Daarom leverde de sessie uiteindelijk weinig echte no regret maatregelen op die nu al genomen kunnen worden.

Aan het begin van de sessie werd middels een poll uitgevraagd wie zich aan zou passen: de zelfrijdende auto of de weg. Een aantal deelnemers koos positie in het midden en een enkeling beweerde dat de weg zich aan de zelfrijdende auto zal aanpassen, maar de meesten gaven aan dat de zelfrijdende auto zich aan de weg zal aanpassen. Gedurende de sessie zijn er toch door veel deelnemers duidelijke signalen afgegeven dat de weg zich wel degelijk moet aanpassen aan de zelfrijdende auto. Maar om dit mogelijk te maken is wel een dialoog (en samenwerking) met de automotive industrie nodig, om dit op een efficiënte manier voor elkaar te krijgen. De verwachting is dat de automotive wereld een uitgestoken hand van de

overheid/wegbeheerder graag zou aanpakken, om zo te kunnen zorgen voor optimale afstemming van de zelfrijdende auto op de fysieke infrastructuur (het wegontwerp) en ook op de digitale infrastructuur, zodat doelen van overheid en bedrijfsleven beide gehaald kunnen worden.

Een aanbeveling, volgend uit de sessie, is dan ook dat het nu eigenlijk nog te vroeg is om na te denken over de 100% level 5 situatie en dat we deze exercitie over 5-10 jaar nog eens moeten herhalen om te kijken hoe snel de ontwikkelingen eigenlijk gaan. Specifiek daarbij zou dan aandacht besteed moeten worden aan het kantelpunt (het punt waarop er zoveel ZRA's zijn dat het zinvol wordt de weg speciaal voor deze voertuigen in te richten) en hoe we daarop gaan voorsorteren. Daarvoor moet het kantelpunt dan wel eerst gedefinieerd worden (welk deel van de voertuigen moet het betreffen, per wegtype? welke eigenschappen/automatiseringsniveau moeten deze voertuigen hebben?) om vervolgens de volgorde van mogelijke wegaanpassingen te prioriteren.