

Whitepaper

Toekomstvaste inrichting van wegen

Een verkenning naar de impact
van geautomatiseerd verkeer en vervoer



CROW-KpVV

CROW-KpVV ontwikkelt, verspreidt en borgt collectieve kennis voor de decentrale overheden op het gebied van mobiliteit. Het gaat om kennis die fundamenteel ondersteunt bij de beleidsontwikkeling en -uitvoering.

Over CROW

CROW bedenkt slimme en praktische oplossingen voor vraagstukken over infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer in Nederland. Dat doen we samen met externe professionals die kennis met elkaar delen en toepasbaar maken voor de praktijk.

CROW is een onafhankelijke kennisorganisatie zonder winstoogmerk die investeert in kennis voor nu en in de toekomst. Wij streven naar de beste oplossingen voor vraagstukken van beleid tot en met beheer in infrastructuur, openbare ruimte, verkeer en vervoer en werk en veiligheid. Bovendien zijn wij experts op het gebied van aanbesteden en contracteren.

Over Krachtenbundeling Smart Mobility

Overheden werken samen binnen de Krachtenbundeling Smart Mobility om meer impact te maken en te voorkomen dat zaken dubbel gebeuren.

CROW

Postbus 37, 6710 BA Ede
Telefoon (0318) 69 53 00
E-mail klantenservice@crow.nl
Website www.crow.nl

September 2023

CROW en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de hierin opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Gebruikers aanvaarden het risico daarvan.

CROW sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die voortvloeit uit het gebruik van de gegevens.

De inhoud van deze publicatie valt onder bescherming van de auteurswet.

De auteursrechten berusten bij CROW.

Woord vooraf

Deze whitepaper is een blik op de toekomst, kijkend naar mogelijke beelden van waar we als overheden, wegbeheerders, marktpartijen en samenleving naar toe willen bewegen in de dynamische wereld van mobiliteit en technologie. Een relevante ontwikkeling daarin is de opkomst van geautomatiseerde voertuigen (AV), die we de komende jaren steeds meer in het verkeersbeeld zullen zien. Diverse onderzoeken hebben de afgelopen jaren getoond dat AV kunnen bijdragen aan duurzame, veilige en inclusieve mobiliteit en verbeterde kwaliteit van de leefomgeving, belangrijke maatschappelijke opgaven voor de komende decennia. Maar er zijn ook risico's dat de belofte niet ingelost wordt en er juist extra drukte of onveiligheid zou kunnen ontstaan. Verantwoorde introductie van automatisch vervoer in het huidige en toekomstige verkeerssysteem vraagt daarom om een stapsgewijze en weloverwogen aanpak. Verschillende partijen hebben daarin een rol, variërend van ontwikkelaars van voertuigen, ICT- en vervoersbedrijven, rijopleiders, wetgevers, toelatingsinstanties, kennisinstellingen, universiteiten én ook wegbeheerders. Vanuit hun eigen taakopvatting en vooral ook vanuit samenwerking en afstemming met elkaar.

Technologische ontwikkelingen bieden mogelijkheden om anders te kijken naar het gebruik van de openbare ruimte en om onze leef- en verkeersomgeving anders in te richten. Digitalisering biedt kansen om slimmer gebruik te maken van de ruimte en de fysieke ruimte te 'ontrommelen', waardoor de kwaliteit van de leefomgeving omhoog gaat. Een mooi vooruitzicht. Fysieke infrastructuur wordt aangevuld met digitale infrastructuur, via nauwkeurige kaarten in navigatiesystemen, geavanceerde communicatie- en plaatsbepalingstechnologie en steeds meer data om het verkeer beter te managen en te automatiseren. De fysieke en digitale infrastructuur zullen in een nieuw evenwicht met elkaar komen via 'essentiële fysieke weg-inrichtingskenmerken' en 'essentiële digitale kenmerken', beschikbare data en ondersteunende technologie. We mogen verwachten dat we met deze ontwikkelingen de vruchten kunnen plukken van geautomatiseerd verkeer en vervoer, daar waar de maatschappelijke en economische waarde het hoogst is. Maar wanneer dan...

Deze paper geeft geen alomvattend antwoord op deze vraag. Wel geven wij een aantal beelden en zicht op ontwikkelingsporen om de fysieke infrastructuur (weginrichting) toekomstbestendig te maken en daarbij de mogelijkheden van digitalisering zo goed mogelijk te benutten. Het is niet realistisch om te verwachten dat alles in een keer volledig anders moet, en gelukkig hoeft dat ook niet. Met de basisprincipes van duurzaam veilig wegontwerp, die we al sinds eind vorige eeuw gebruiken, ligt er al een robuust funda-

ment. De toevoeging die nodig is, is dat we niet alleen door de bril van de 'menselijke weggebruiker' naar het verkeer kijken, maar ook en steeds meer door de bril van het 'slimme voertuig' dat de mens ondersteunt en steeds meer rijtaken automatisch kan uitvoeren. Daar horen afwegingen bij met betrekking tot nut & noodzaak van fysieke ontwerp-elementen voor bijvoorbeeld snelheidsbeheersing als dat ook via technologie in het voertuig kan. De ontwerpers van de verkeersomgeving zullen zich deze zienswijze de komende decennia steeds meer eigen gaan maken.

Bij de beelden die de auteurs in deze paper schetsen, laten zij zich niet hinderen door de huidige beperkingen van techniek en regelgeving. Het is ook niet de bedoeling om de toekomst te voorspellen. We kijken waar we met de kennis van nu uit denken te komen, en redeneren vervolgens terug naar nu. De auteurs hebben daarbij niet de illusie dat iedereen de beelden deelt. Het doel is juist om discussie vanuit meerdere invalshoeken aan te wakkeren en te voeren.

Wij hopen dat de paper in deze doelstelling slaagt en u als lezer deze beelden kunt gebruiken ter inspiratie bij de verdere beleidsontwikkeling van geautomatiseerd vervoer met een accent op de inrichting van wegen.

Vanuit KpVV bezien is het een wat uitzonderlijk project, immers het programma is niet gewoon om onzekere vergezichten te projecteren op de momentane beleidsontwikkeling van de decentrale overheden. Toch is het soms nodig om verder in de toekomst te durven kijken ook al leidt het niet altijd direct tot handelingsperspectief voor morgen. Met deze whitepaper hebben we dat getracht te doen. Veel leesplezier.

John Pommer
Directeur CROW-KpVV

De auteurs

Gerard van Dijk

Met 24 jaar ervaring in het werkveld rondom verkeer en vervoer, als ondernemer, ambtenaar en momenteel als Kennismanager Smart Mobility bij CROW is Gerard een ervaren vakgenoot. Zijn kennis is gericht op strategisch/tactisch beleid rondom verkeersmanagement en Smart Mobility en heeft specialistische kennis van verkeersregelinstanties, gedrag, regelgeving, transport, rijvaardigheidsaspecten etc. Gerard is tevens actief bij NEN, LVMB, CEN en Europese projecten.



Peter Morsink

Peter Morsink is strategisch adviseur Smart Mobility en Verkeersveiligheid bij Royal HaskoningDHV. Als projectmanager en expert werkt hij aan diverse (inter)nationale projecten en initiatieven gericht op het veilig en efficiënt integreren van geautomatiseerde voertuigen en ADAS in het huidige en toekomstige verkeerssysteem. Sinds 1998 is hij actief in het werkveld, sinds 2008 in dienst van Royal HaskoningDHV, daarvoor werkte hij voor de SWOV en TNO Wegtransportmiddelen.



Geïnterviewde personen

Speciaal voor deze paper is een aantal vooraanstaande vakgenoten geïnterviewd aan de hand van een standaard vragenlijst. Afhankelijk van de kennis van de betreffende personen kenden de interviews tevens bepaalde accenten waarop is doorgevraagd. De interviews zijn in de basis anoniem gedaan en notulen zijn dan ook alleen gebruikt als input voor de paper. De literatuur en de interviews vormen de basis voor de inhoud van deze paper.

Geert van der Linden

Policy officer,
Europese Commissie, DG MOVE

Luuk Verheul

Senior adviseur innovatie, strategie en concept,
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Taede Tillema

Hoogleraar Transportgeografie (RuG) en strategisch adviseur bij het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat / Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM)

Serge van Dam

Topadviseur verkeersmanagement,
Rijkswaterstaat

Ronald Adams

Programmamanager Smart Mobility,
Rijkswaterstaat

Carlo van de Weijer

General Manager EAISI, Eindhoven AI Systems Institute,
Technische Universiteit Eindhoven TU/e

Peter-Paul Schackmann

Coördinator connected mobility,
TNO - transport and trafic

Ambro Smit

Beleidsadviseur techniek,
Transport en Logistiek Nederland (TLN)

Bram Hendrix

Programma Manager Smart Mobility & Internationalisation,
RAI Automotive Industry NL

Jeroen van der Werf

Project manager Innovation-hub Mobility on
Implementation Automated Transport,
Cag Gemini Engineering/Ace mobility

Inhoud

Samenvatting	4
Leeswijzer	8
Deel 1: Stip op de horizon 2026	
1 Inleiding	10
2 De stip op de horizon	13
2.1 Doelen	14
2.2 Nadere beschrijving van het verkeer- en vervoersysteem in 2060	15
2.3 Hoe ziet de infrastructuur er in 2060 uit ten opzichte van nu	16
2.4 CCAM als optimalisatie of transitie?	17
3 Future backcasting	21
4 Conclusies	38
Deel 2	
5 Van richten op de menselijke bestuurder naar richten op het Geautomatiseerde voertuig in Wegontwerp en -Inrichting	46
5.1 Technologische ontwikkelingen als bijdrage aan de mobiliteitstransitie en maatschappelijke doelen	46
5.2 De veranderende relatie mens-voertuig-weg	48
5.3 Verantwoorde introductie automatisch verkeer en vervoer	52
5.4 Huidige stand van zaken: toename ADAS en geleidelijke introductie ADS	53
5.5 Welke ontwikkelingen en dilemma's komen er op ons af?	54
5.6 Kunnen we een omslagpunt benoemen (van menselijke besturing naar voertuig)?	59
5.7 Kortom: geautomatiseerde voertuigen en weginrichting: basis op orde, reductie complexiteit en toename digitalisering	61
5.8 Tot slot: voorspellingen m.b.t. het tijdspad naar grootschalige implementatie van volledig automatisch rijden (SAE level 5)	64
Deel 3	
Bijlagen	
1: Schematische systeemschets mobiliteit 2060	70
2: Lijst van geraadpleegde literatuur	74
3: Lijst van afkortingen en begrippen	80

Samenvatting

Doel van de paper

Het doel van deze whitepaper is om:

- Het *bewustzijn te creëren* van hetgeen de transitie naar zelfrijdend met zich meebrengt.
- Het *aanjagen van de discussie en input geven voor de vorming van een centrale visie* die het eindbeeld stuurbaar moet maken (in plaats van reactief volgen van technologische ontwikkelingen).
- Het duiden van de gevolgen voor wegbeheer en wat dit betekent voor ontwerp, onderhoud en de organisatie van wegbeheer als concreet *handelingsperspectief*.

Werkwijze

Aan de hand van interviews met vooraanstaande experts en een literatuurscan is nagedacht over de impact die kan ontstaan als zelfrijdend een vlucht neemt. Daarbij is concreet gezocht naar het omslagpunt van een focus op weginrichting ter ondersteuning van de mens naar een focus op de behoeften van automatisch rijden. Belangrijk item is om vanuit de huidige inzichten een stip op de horizon te schetsen (waar willen we uitkomen) en met future backcasting na te gaan welke belangrijke momenten we tegen kunnen komen op de weg vanaf die stip terug naar het nu. Deze gedachte wordt ondersteund door enkele storytellings in stappen van 5 jaar die een fictief beeld weergeven van hoe een dag in dat jaar van een bepaald personage eruit zou kunnen zien (deel 1 van de paper). In deel 2 van deze paper zal hierover meer achtergrond gegeven worden en zal worden ingegaan wat de achterliggende gedachte is van die opgeroepen beelden.

Waar staan we nu?

De technische ontwikkeling naar zelfrijdend verkeer en vervoer voltrekt zich langzaam maar gestaag. Een aanzienlijk deel van de huidige voertuigvloot (personen- en vrachtwagens) is al uitgerust met rijtaakondersteunende systemen (zoals Lane Keeping Support, Intelligente Snelheidsassistentie, Adaptieve Cruise Control en automatische noodremsystemen), ook wel bekend onder de verzamelterm ADAS (Advanced Driver Assistance Systems).

De komende jaren zal de techniek niet stil staan. ADAS zullen zich stapsgewijs ontwikkelen naar steeds verdergaande vormen van ondersteuning in de rijtaak en automatisering van rijtaken. Er zal sprake zijn van een overgangperiode van de situatie waarin de bestuurder van een auto alle informatie zelf moet vergaren, interpreteren en de auto moet besturen, naar een periode waarbij voertuigen zich volledig automatisch voortbewegen in daarvoor geschikte omgevings- en situaties. Een belangrijke drijfveer voor dergelijke toepassingen is het maken van stappen naar meer verkeersveiligheid door automatisering van de rijtaak, en

daarmee ook bij te dragen aan een aangename en bereikbare leef- en werkomgeving.

Waarom naar zelfrijdend?

Naast het door ontwikkelen van functies van ADAS naar ADS, en het daarmee vergroten van de verkeersveiligheid, zien we de introductie van zelfrijdend als kansrijke implementatie binnen zowel personenvervoer als in transport en logistiek. Argumenten om hier directere stappen te ondernemen zijn het tekort aan chauffeurs in zowel het openbaar vervoer als in de logistieke sector, maar ook in de positie van Nederland en de kansen voor technologie.

Tot slot, is de ontwikkeling naar zelfrijdend vanuit duurzaamheid gewenst om minder brandstof te verbruiken door meer efficiëntie in het gebruik. Zelfrijdend kan ook belangrijk zijn in de stap naar meer deelmobiliteit en minder privé bezit, waardoor er minder voertuigen nodig zijn (materiaal en grondstoffengebruik) waardoor ook de parkeervraag kan afnemen wat weer nieuwe ruimte beschikbaar maakt voor andere functies. Belangrijk hiervoor is dat automatische voertuigen een integraal onderdeel worden van een multimodaal verkeer- en vervoersysteem, als onderdeel van de bredere mobiliteitstransitie.

Hoe lang de fase van een mixed fleet zal zijn qua motorvoertuigen, zal afhangen van de toepassing en de functies en diensten die ontstaan bij zelfrijdende techniek. Als er een toepassing ontstaat waardoor iedereen het wil hebben, kan het een ware vlucht nemen en kan de mixed fleet periode korter worden. Toch zal er ook menselijke besturing blijven in bijvoorbeeld motoren, uitzonderlijk vervoer en natuurlijk de actieve modaliteiten. Beleid zal daarom belangrijk zijn om de transitie te sturen.

Waar willen we uitkomen?

De focus van deze paper is de infrastructuur en de kansen en gevolgen in relatie tot zelfrijdend. Vanuit de stip op de horizon (vanuit de beleidskansen (collectief) en de gebruikerskansen (individueel)) redeneren we terug naar het nu om te overzien welke stappen nodig zijn in de fysieke en digitale infra om hier te komen.

We zien daarbij een verandering in de traditionele relatie tussen mens, voertuig en weg. Gewenst gedrag van een voertuig komt door automatisch rijden steeds meer binnen bereik. Die verandering biedt een grote kans om het aantal verstoringen en ongevallen in het verkeer door menselijk handelen substantieel te verlagen met positieve effecten op de verkeersafwikkeling. Als bijvoorbeeld het aandeel geautomatiseerde voertuigen hoog genoeg is, wordt sneller rijden dan toegestaan lastig. Ook zal het opvolgedrag

van maatschappelijk gewenste routes voor automatische voertuigen een stuk hoger zijn dan voor handmatig bestuurde. *Minder complexiteiten, efficiënt onderhoud en steeds meer digitaal vormt de rode draad voor de stip op de horizon en de tijdlijn daar naartoe.*

Als stip op de horizon zien we een situatie waarbij technologische mogelijkheden ervoor gezorgd hebben dat het verkeer- en vervoersysteem in 2060 zo is opgezet en georganiseerd dat zij een duidelijke bijdrage levert aan de kwaliteit van leven en de leefomgeving. Geautomatiseerde voertuigen, connectiviteit en digitalisering hebben daarin een belangrijke rol. Tegelijkertijd staat niet de technologie daarin centraal, maar de mens met zijn/haar behoeften en de omgeving. Sleutelbegrippen hiervoor zijn: verkeersveiligheid en sociale veiligheid, leefbaarheid, bereikbaarheid, gezondheid, comfort, sociale interactie tussen modaliteiten, met een vervoerssysteem dat fysiek toegankelijk is voor iedereen, maar ook betaalbaar is voor iedereen (brede inclusie), dat vlot, gebruikersvriendelijk, laagdrempelig werkt, voorzien van gemak en van deur tot deur.

Relevantie infrastructuur

De transitie naar zelfrijdend is gebaat bij een afname van complexiteiten en ontrommelen van de verkeersomgeving. Dat betekent dat in de ontwikkeling van de infrastructuur fysieke zaken (specials in wegontwerp en DVM-assets) geleidelijk kunnen worden afgebouwd. Afhankelijk van het wegtype en met oog voor uniformiteit en eenduidigheid. De conditie van de weg is ook een belangrijke factor voor het functioneren van geautomatiseerde voertuigen, net als voor menselijke bestuurders. Extra aandacht voor de zichtbaarheid van bijvoorbeeld markering en bebording bij variërende weer- en lichtcondities vraagt een herijking/actualisatie van kwaliteitsnormen voor onderhoud. Daarentegen bieden slimme voertuigen ook een continue stroom aan informatie over de toestand van assets, waarmee onderhoud meer proactief en vraag gestuurd kan plaatsvinden. Parallel daaraan is het van belang de digitale infrastructuur steeds verder te uit te bouwen (mede) ten gunste van geautomatiseerde voertuigen, ook als onderdeel/compensatie van de fysieke ontrommeling. Met een primaire focus op wegen die qua fysieke infrastructuur al in hoge mate geschikt zijn voor geautomatiseerd rijden (weinig complexiteiten en ODD-onderbrekingen). De digitale infrastructuur zal daarbij steeds meer als digital twin van de fysieke infrastructuur gaan functioneren, met HD maps (digitale navigatiekaarten) als interface richting het voertuig, en met connectiviteit als sleutelwoord. Alle informatie komt bij het voertuig in een mix van eigen waarneming, communicatie met de omgeving, data en sturing vanuit de centrale.

Wat betekent deze denklijn nu voor de keuzes die gemaakt moeten worden voor investeringen in de infrastructuur?

Belangrijk hierbij zijn enkele uitgangspunten:

- Infrastructuur wordt in de basis niet grootschalig aangepast aan slimme voertuigen en zelfrijdende techniek; het voertuig moet zich hierop kunnen aanpassen.
- Om verdere stappen te kunnen zetten in de uitrol en opschaling van zelfrijdende voertuigen moet de digitale basis op orde zijn; in principe real time.
- Komen we in die opschaling tot wegen waar zelfrijdend uiteindelijk maatgevend wordt, dan moet de inrichting zich niet langer focussen op menselijk gedrag maar op de eisen en specificaties voor machinale besturing.
- Bij machinale besturing is het belangrijk dat:
 - De omgeving machine leesbaar is.
 - De omgeving goed onderhouden is.
 - De omgeving zo veel mogelijk uniform en eenduidig is en minder complex.

Die reductie van complexiteit kent een aantal voordelen:

- Uitvoeren van rijtaken is makkelijker voor zowel mens als machine, hetgeen leidt tot veiliger en comfortabeler weggebruik.
- Wegbeheer wordt goedkoper en eenvoudiger.
- De snelheid kan wellicht lager maar meer constant (reductie brandstof, toename comfort).
- Meer uniformiteit binnen Europa kan de ontwikkeling versnellen.
- Digitaal verkeersmanagement geeft bij zelfrijdend meer grip op beleidsmatige sturing.
- Vereenvoudiging van regelgeving (met name de fijnmazigheid ervan) maakt digitalisering eenvoudiger en vergt dus een lagere inspanning.

Welke stappen lijken nodig om het eindbeeld binnen bereik te krijgen?

Natuurlijk zal er nog veel discussie zijn rondom governance en maatschappelijke acceptatie van zelfrijdend. Voor nu, met een focus op de doelen, zien we vanaf de stip op de horizon naar het nu, de volgende stappen voor ons op trajecten waar voornamelijk zelfrijdend is toegestaan:

9

Verdere reductie van complexiteit

Voor het slagen van verdere voertuigautomatisering is het zinvol om de complexiteit in de omgeving zo veel mogelijk te reduceren: slimme voertuigen vragen om een zo eenvoudig mogelijke inrichting. Dit helpt om zo veel mogelijk veiligheidswinst te kunnen maken, maar ook om de rit zo comfortabel mogelijk te laten verlopen.

8

Afbouw wegkant

Op termijn is het denkbaar dat steeds meer informatie en sturing direct in de voertuigen terecht komt, waardoor systemen langs de kant van de weg minder noodzakelijk zijn. Uiteindelijk komt het binnen bereik om op de wegen waar alleen automatisch rijden is toegestaan, wegkantssystemen en bewegwijzering steeds verder af te bouwen. Daarbij is het wel van belang om oog te houden voor situaties waarin alsnog 'met de hand' gereden moet worden, zoals bij storingen in de communicatie of uitzonderlijke weersomstandigheden.

7

Wegkenmerken en inrichting

De wegen zijn, vanuit Duurzaam Veilig, ingericht om het menselijk gedrag te beïnvloeden bij het besturen van een voertuig. Machinale besturing heeft echter geen baat bij zaken als optisch versmallen, waardoor structurele maatregelen, zoals drempels en asverspringingen niet nodig zijn om machinale besturing een veilige snelheid te laten volgen. Het ontbreken van deze 'toeters en bellen' in het wegontwerp geeft meer comfort, zodat de eerder genoemde tijdsbesteding van het reizen ook daadwerkelijk anders ingevuld kan worden (zoals werken, ontmoeten of ontspannen i.p.v. besturen). Hoge snelheid wordt dan minder relevant, omdat de tijd anders beleefd wordt.

6

Welke vorm van besturing bij welk wegtype?

Een versoberde inrichting maakt het mogelijk om te besparen op de kosten van wegaanleg en -onderhoud. Of dit ook verzilverd wordt, hangt af van keuzes: wat staan we waar toe? Op termijn zou het best kunnen dat we andersom gaan redeneren: nu wordt via wet- en regelgeving vooral gekeken naar de plekken waar automatisch rijden kan worden toegestaan. Het is best denkbaar dat we ooit moeten gaan bedenken waar wij het handmatig rijden door menselijke bestuurders nog toelaten.

5

Regelgeving gericht op automatische besturing

Voor een brede invoering van automatisch rijden zal regelgeving faciliterend moeten zijn. Door de regelgeving af te stemmen op de specificaties en het perspectief van geautomatiseerde voertuigen en door regels voor het gebruik van infrastructuur verder te ontwikkelen en verkeers- en toegangsregels digitaal beschikbaar te maken.

4

Slim onderhoud

Onderhoudscontracten kunnen meer en meer uitgaan van data uit voertuigen. Onderhoud moet met name daar plaatsvinden waar voertuigen aangeven de omgeving niet (meer) goed te kunnen lezen. Er liggen grote kansen in kostenreductie en voorkomen van hinder, als alleen daar wordt ingegrepen waar het nodig is. Daarbij moet gezocht worden naar een betere balans in preventief onderhoud (verwachte levensduur) en reactief (feitelijke levensduur).

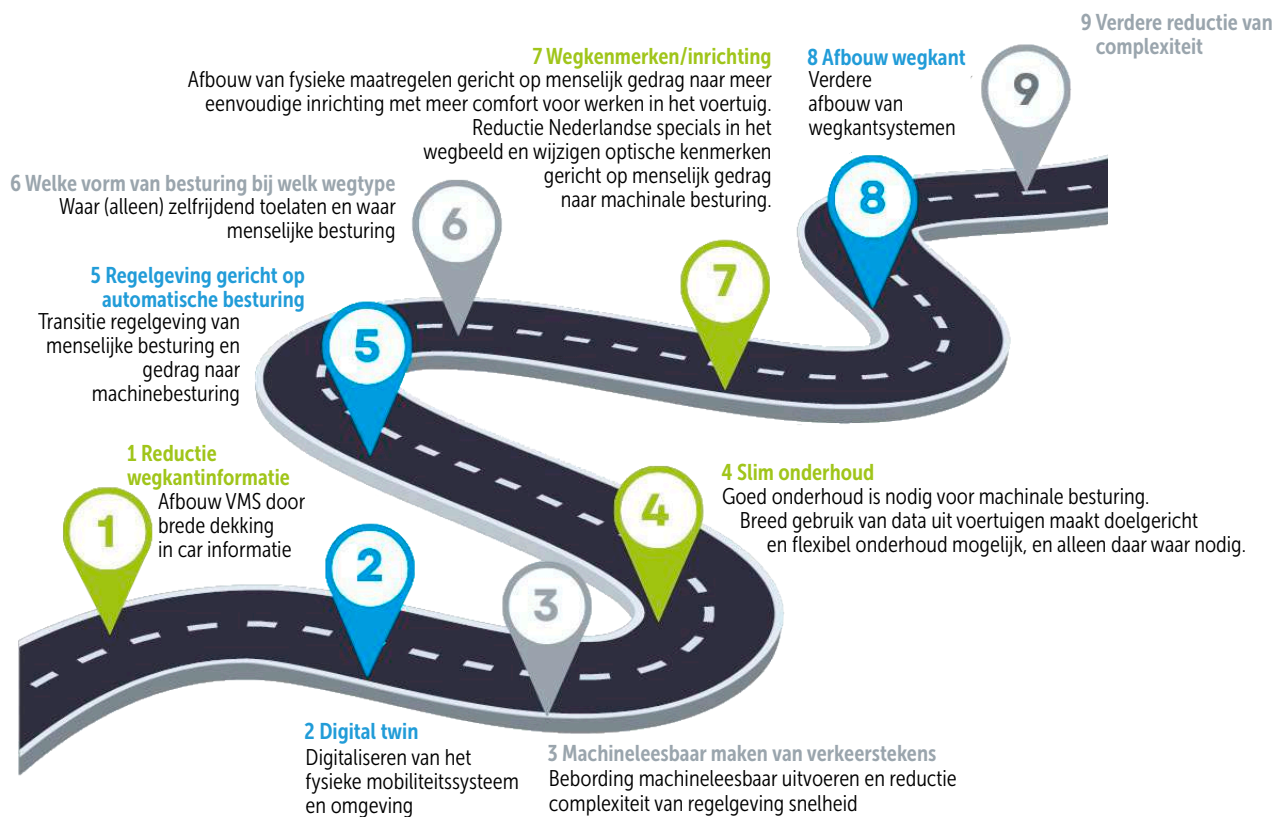
3

Machineleesbaar maken van verkeerstekens

Naast data moeten voertuigen (en mensen) ook zelf de omgeving goed kunnen begrijpen. Het is belangrijk dat borden en kenmerken goed machineleesbaar zijn. Bepaalde borden als komborden en bepaalde regels m.b.t. snelheid zijn dat nu niet. Enerzijds wordt dit probleem steeds kleiner doordat de voertuigsystemen steeds beter worden in het herkennen en interpreteren van de omgeving. Anderzijds is het, ook voor de menselijke bestuurder, wel zo prettig dat de bebording voldoet aan alle richtlijnen en normen.

Reductie complexiteit

Stappen naar vereenvoudiging infra



Figuur 1. De stappen vanuit de toekomst naar nu (stap 9 naar stap 1) laten een mogelijk backcastingpad zien voor de afbouw van complexiteit. Dit pad kan vanuit het nu vanaf stap 1 gevolgd worden, maar hoe verder weg de stap, hoe groter de onzekerheid.

2

Digital twin

Om daadwerkelijk stappen te kunnen zetten in automatisch rijden moet de digitale infrastructuur gelijk zijn aan de fysieke. Daarnaast moet deze ook in hoge mate accuraat en tijdig beschikbaar zijn. In deze fase is dat niet alleen belangrijk voor doorontwikkeling van zelfrijdend, maar ook voor menselijke interpretatie en ondersteuning (ADAS).

Dit pad is opgesteld met de kennis van nu en bedoeld om de brede discussie aan te gaan, ten einde verstandig en doelmatig op de juiste manier te investeren in fysieke en digitale infrastructuur. Daarbij zijn competenties en vaardigheden van werknemers bij wegbeheerders in de veranderende rol van deze overheden ook een belangrijk aandachtspunt om de toekomstbestendigheid van de organisatie te vergroten.

1

Reductie wegkant informatie

Doordat eigenlijk iedereen die dat wil goede informatie over de actuele wegomstandigheden kan krijgen in navigatiediensten, kunnen als eerste de Variable Message Signs e.d. worden afgebouwd. De inzet verplaatst zich naar digitale input van belangrijke informatie, maar ook routekeuze waarvan de beleidsaspecten nu ook in de navigatie kunnen doorwerken (RTTI, VM-IVRA).

Leeswijzer

Met deze paper zoeken we naar het vergezicht en de toekomstbeelden die daarbij horen, om te inspireren en discussie op de juiste thema's aan te jagen. Natuurlijk worden we daarin beïnvloed door de tijd waarin we nu leven en de kennis van nu. Maar daar proberen we ons zo min mogelijk door te laten hinderen, overigens zonder de ijdele hoop te hebben dat we de toekomst kunnen voorspellen.

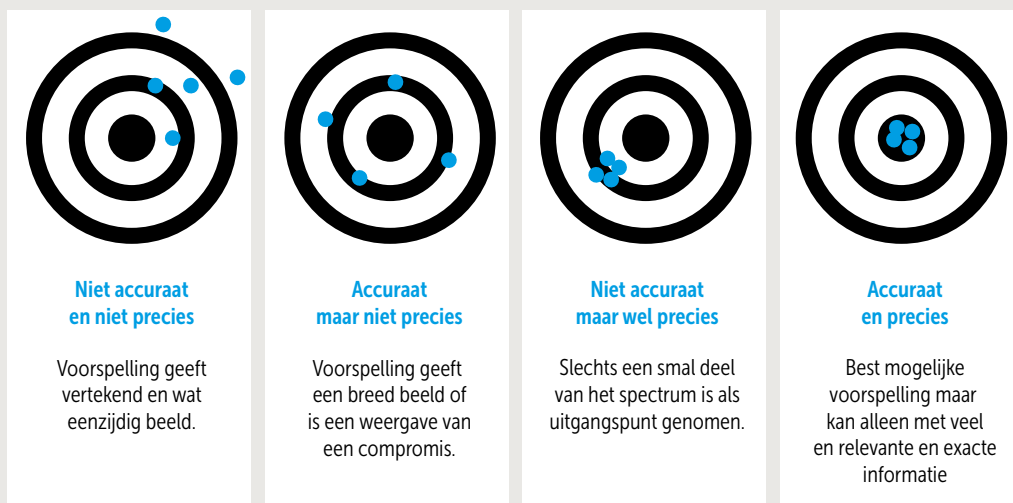
Zoals figuur 2 laat zien, zijn voorspellingen het best als deze overeenkomen met de werkelijkheid die men tracht te voorspellen of te achterhalen (accuraat) en ook gefocust kunnen zijn (precies). Er zijn te veel factoren om goed te scoren op 'accuraat' en 'precies'. Wat we wel doen, is relevante ontwikkelsporen aanreiken, als stimulans om stappen in goede richtingen te zetten, vanuit een proactieve in plaats van passieve of reactieve houding.

De beelden in deze paper zijn tot stand gekomen via het verzamelen van brede inzichten bij diverse stakeholders, literatuur, beleidsdocumenten en uit de parate kennis van de auteurs. Vanuit deze samengebrachte bronnen is gebleken dat er veel onzekere factoren zijn die het lastig maken om een goed beeld neer te zetten. Hoe snel gaat autonomie in ontwikkeling, acceptatie en kosten? Zetten we uiteindelijk in op zelfrijdende voertuigen of zelfrijdend vervoer en transport, en in welke mate overkomt ons deze transitie vanuit de markt of Europa? Een recessie kan de ontwikkeling ook zo maar een aantal jaar opschorten. Deze en andere dilemma's geven nog veel onzekerheden. Toch moeten we daardoor niet in het nu blijven zitten. Vooruit durven kijken en een beetje durven te dromen, komt nu

even in de plaats van reactief denken in techniek, regelgeving en systemen, met een focus op waar we uiteindelijk uit willen komen en waarom.

De paper is opgedeeld in drie delen:

- Deel 1 start met een korte inleiding op het thema geautomatiseerd verkeer en vervoer en de gehanteerde werkwijze voor de uitwerking van de paper (hoofdstuk 1). De *stip op de horizon* beschrijven we in hoofdstuk 2, geïnspireerd door de beelden die wij hebben van de bijdragen die geautomatiseerd verkeer en vervoer kan leveren aan de maatschappelijke opgaven en te bereiken doelen in het jaar 2060. Vervolgens redeneren we in hoofdstuk 3 terug vanuit de stip in 2060 naar het nu in tijdstappen van 5 jaren. Via deze vorm van 'future back casting' ontstaat inzicht in de keuzemomenten die onderweg optreden. Om dit alles meer tot de verbeelding te laten spreken beschrijven we in dit hoofdstuk ook de *belevissen van een aantal personas* in de opeenvolgende tijdvakken. Hoofdstuk 4 geeft een impressie van belangrijke observaties / hoofdpunten ter inspiratie voor de te voeren discussies en al ingezette of nog in te zetten ontwikkelpaden.
- Deel 2 geeft een nadere verklaring en uitleg bij de onderwerpen uit Deel 1. Het geeft verdere context en achtergronden bij de transitie van richten op de menselijke bestuurder naar richten op het voertuig, en de rol van geautomatiseerde voertuigen in de mobiliteitstransitie in hoofdstuk 5.
- Deel 3 (bijlage) bevat de lijst van geraadpleegde literatuur.

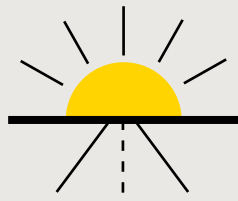


Figuur 2. Het is de vraag hoe accuraat en precies het toekomstbeeld van de weg nu bepaald kan worden. Belangrijkste onbekende is het ontbreken van informatie van toekomstige ontwikkelingen die nu nog niet bekend zijn.

STIP OP DE HORIZON

A long, straight road stretches from the foreground towards a bright sun on the horizon. The road is flanked by grassy fields. In the background, a line of bare trees stands against the sky. The sun is low on the horizon, creating a warm, golden glow across the entire scene. The road has some footprints and a small puddle on it.

Deel 1



1 Inleiding

De stapsgewijze ontwikkeling van geautomatiseerd verkeer en vervoer en de invloed van investeringen in infra
Deze whitepaper is tot stand gekomen in opdracht van het KpVV programma en de Landelijke Krachtenbundeling Smart Mobility, werkgroep Infra van de Toekomst.

We zien op verschillende plekken in de wereld stappen naar volledig automatisch verkeer en vervoer. Dit is nog weliswaar kleinschalig en in een geconditioneerde omgeving of scherp afgebakend toegangsgebied, maar deze ontwikkelingen zullen in toenemende mate ook Europa en Nederland aandoen, en via EU-regelgeving worden al stappen gezet in toelating van Automated Driving Systems (ADS).

Gewenst gedrag van een voertuig komt door automatisch rijden steeds meer binnen bereik. En daarmee kan geautomatiseerd verkeer en vervoer substantieel bijdragen aan de maatschappelijke en economische opgaven op het gebied van de kwaliteit van onze leefomgeving en duurzame, veilige, efficiënte en inclusieve mobiliteit. Dat speelt op het volle hoofdwegennet, in rurale gebieden, waar vervoersarmoede op de loer ligt, en in de steden, die steeds drukker worden in een beperkte ruimte.

In de transitie is er sprake van een verandering in de traditionele relatie tussen mens, voertuig en weg. Een verandering van de situatie waarin de bestuurder van een auto alle informatie zelf moet vergaren, interpreteren en de auto moet besturen, naar een periode waarin voertuigen zich volledig automatisch voortbewegen in daarvoor geschikte omgevingen en situaties. De veranderende relatie mens-voertuig-weg betekent dat we ons ook steeds meer op het voertuig moeten richten in het ontwerp en functioneren van het verkeer- en vervoersysteem. Er moet goed gekeken worden naar de interactie tussen slimme voertuigen en de verkeersomgeving, en wat dat betekent voor de ontwikkeling van de fysieke en digitale infrastructuur, als onderdeel van een verantwoorde introductie van geautomatiseerd vervoer.

De technische ontwikkeling naar zelfrijdend verkeer en vervoer voltrekt zich langzaam maar gestaag. Techniek wordt alsmaar beter, maar nog lange tijd zal er minimaal een mixed fleet zijn van voertuigen met verschillende niveaus van automatisering van rijtaken. De spin-off voor dit moment lijkt dan ook vooral gevonden te moeten worden in de meerwaarde van ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Vanuit de verwachting dat de rijtaak-ondersteunende functies die ADAS nu bieden, zullen

doorontwikkelen naar steeds verdergaande vormen van ondersteuning in de rijtaak en automatisering van rijtaken, waarbij het voertuig stapsgewijs de menselijke bestuurder steeds verder ondersteunt. Om die meerwaarde te verzilveren, is het van belang dat ADAS (in steeds meer situaties) goed functioneren en aansluiten op de behoeften van de eindgebruikers. Dit is een samenspel tussen, mens, voertuig en infra.

Maar er moet ook gekeken worden naar het vergezicht: welke toekomstperspectieven dienen zich aan, *waar willen we uitkomen en hoe komen we daar?*



Werkwijze

Op zoek naar het vergezicht

Met deze paper willen we kijken naar het vergezicht: welke toekomstperspectieven dienen zich aan, en wat komt er allemaal kijken bij een verantwoorde introductie van automatisch verkeer en vervoer. *Waar willen we uitkomen en hoe komen we daar?* Uitgangspunten kunnen divers zijn en uitkomsten kunnen zowel betrekking hebben op inrichting als op beleid. Om deze vergezichten en het pad er naartoe beter in beeld te krijgen, helpt het om een *stip op de horizon* te zetten en van daaruit terug te redeneren naar de keuzemomenten die onderweg optreden (*future back casting*). Dit om van daaruit te komen tot inzichten voor een algemene investeringslijn (op hoofdlijnen), gestaafd aan een koers die desinvesteringen voorkomt, en ontwikkelingen moet helpen.

Op de weg terug van de stip naar het nu komen we ergens het omslagpunt tegen van het primair richten op de bestuurder bij de inrichting van het verkeerssysteem naar het bewust steeds meer richten op het slimme voertuig. Uiteindelijk komen we uit bij het nu waar we ons vooral richten op de bestuurder (hoe interacteert de menselijke bestuurder met de omgeving).

De zoektocht die we met deze paper opstarten, is veel omvattend. Het voert te ver om hier alle aspecten uitgebreid te behandelen, maar we schetsen wel ontwikkelsporen en zullen ons vandaaruit met name richten op consequenties voor het ontwerp en de inrichting van wegen. Vragen die dan bijvoorbeeld opkomen zijn: hoe kunnen we in lijn met de Duurzaam Veilig basisprincipes infrastructuur minder complex, uniform en eenduidig maken. En wat betekent dat voor ontwerprichtlijnen, normen voor beheer en onderhoud. Welke rol speelt de digitalisering, de toename in digitale informatie over de weg- en verkeersomgeving. In hoeverre moeten we bijvoorbeeld de omgeving aan een snelheidslimiet aanpassen als slimme voertuigen zelf een passende snelheid kiezen en snelheidsovertredingen niet meer optreden. We zien ook dat Nederland een relatief goed ontwikkeld (hoofd)wegennet heeft met een hoge staat van onderhoud, waardoor er een goede basis is voor slimme voertuigen om goed te functioneren. Maar het complexe landschap van snelheidslimieten en de vele specials in de inrichting, die zo ontworpen zijn dat de menselijke bestuurder er mee om

moet kunnen gaan, werken belemmerend omdat de internationaal opererende markt niet zal inspelen op situaties die slechts in één of een beperkt aantal landen spelen.

Kortom, met de focus op mogelijke consequenties op de infrastructuur verwachten wij inspiratie en richting mee te geven voor de discussie die we met de paper willen aanjagen.

State-of-the-art kennis en ervaring bijeengebracht

Om de toekomstbeelden te schetsen, is gebruik gemaakt van state-of-the-art kennis en ervaring via diverse Nederlandse en internationale sleutelpublicaties en via interviews met een selectie van sleutelpersonen die vanuit verschillende perspectieven werkzaam zijn in het brede werkveld slimme mobiliteit. Er is een literatuurscan uitgevoerd gericht op de ontwikkelpaden in bestaande roadmaps zoals opgenomen in recente en gezaghebbende (inter)nationale artikelen¹. De interviews hebben plaatsgevonden aan de hand van een vooraf vastgestelde vragenlijst, en hebben bijgedragen aan het in beeld brengen van de juiste vragen en dilemma's, aan het scherper krijgen van keuzemomenten en mogelijke acties voor wegbeheerders en de benodigde afstemming tussen stakeholders². Inzichten uit de literatuur en interviews hebben gezamenlijk met de kennis van de auteurs geleid tot de uitgangspunten en rode draad voor de paper.

¹ Zie de literatuurlijst in de bijlage.

² Zie de lijst met geïnterviewde personen/organisaties op pagina 2.



Centrale vraag voor de paper

Hoe ziet, met de kennis van nu, het perspectief van zelfrijdend vervoer er voor de toekomst uit, welke inrichting van de fysieke ruimte/weginrichting past daar het beste bij en welke ontwikkelpaden kunnen we onderscheiden?

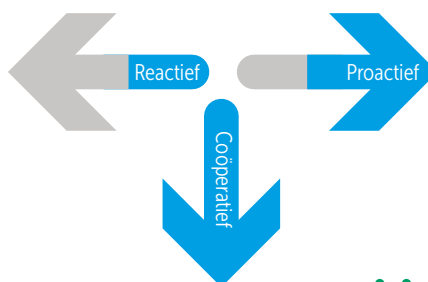
Doel van de paper

- 1 *Bewustzijn creëren* omtrent de koers en uitgangspunten naar een wereld met zelfrijdende voertuigen (bij verschillende typen wegbeheerders: rijk, provincies en gemeenten).
- 2 *Het aanjagen van de discussie/visie* op dit vlak; de paper zal hier de juiste aandachtspunten voor in beeld brengen en dilemma's schetsen.
- 3 *Het geven van een handelingsperspectief* om investeringen in een toekomst-vaste infrastructuur te rechtvaardigen. Daarbij inzichtelijk maken welke keuzemomenten zich zullen voordoen op de ontwikkelpaden en tot welke acties deze wel of niet voor wegbeheerders kunnen leiden, en welke afstemming daarvoor nodig is met andere stakeholders (zoals automotieve partijen) m.b.t. een heldere verdeling van verantwoordelijkheden, rollen en taken.

Van een reactieve benadering naar een proactieve maatschappelijke doelstelling



- Volgt de ontwikkelingen van de techniek
- Eindbeeld zeer beperkt stuurbaar
- Markt overheerst
- Diversiteit aan oplossingen
- Blijft vaak in pilot hangen



- Volgt een langetermijnvisie
- Eindbeeld beter stuurbaar
- Voorkomt desinvesteringen
- Uniforme oplossingen
- Kans voor opschaling

- Aansluiten bij feitelijk gebruik
- Betere leefomgeving en inclusief
- Kansrijke economie
- Beschikbaar voor iedereen



Figuur 3. Deze paper volgt qua lijn nadrukkelijk niet de technologische ontwikkelingen maar focust juist op maatschappelijke doelen waardoor de transitie overheden niet louter overkomt maar er juist meer sturing op het eindbeeld is, kansen voor opschaling groter zijn en desinvesteringen worden voorkomen.

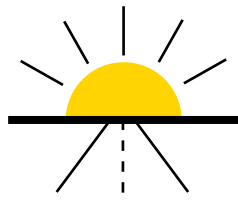


2 De stip op de horizon

2060

Technologische mogelijkheden hebben ervoor gezorgd dat het verkeer- en vervoersysteem in 2060 zo is opgezet en georganiseerd dat zij een duidelijke bijdrage levert aan de kwaliteit van leven en de leefomgeving. Niet de technologie staat daarin centraal, maar de mens met zijn/haar behoeften. Sleutelbegrippen hiervoor zijn: verkeersveiligheid en sociale veiligheid, leefbaarheid, bereikbaarheid, gezondheid, comfort, sociale interactie tussen modaliteiten, met een vervoerssysteem dat fysiek toegankelijk is voor iedereen, maar ook betaalbaar is voor iedereen (brede inclusie), dat vlot, gebruikersvriendelijk, laagdrempelig werkt, voorzien van gemak en van deur tot deur.





2.1 Doelen

Verkeersveiligheid

Drastische verbetering van de verkeersveiligheid door automatische besturing. Vooral in de gebieden/wegen met een hoog aandeel automatische voertuigen. Het neutraliseren van menselijke fouten en ongewenst gedrag en het voorkomen dat mensen bij onvoldoende rijgeschiktheid toch als bestuurder aan het verkeer gaan deelnemen, maakt het systeem duidelijk veiliger. Een veilige snelheid kan met snelheidsvensters actief worden beïnvloed, afhankelijk van de situatie.

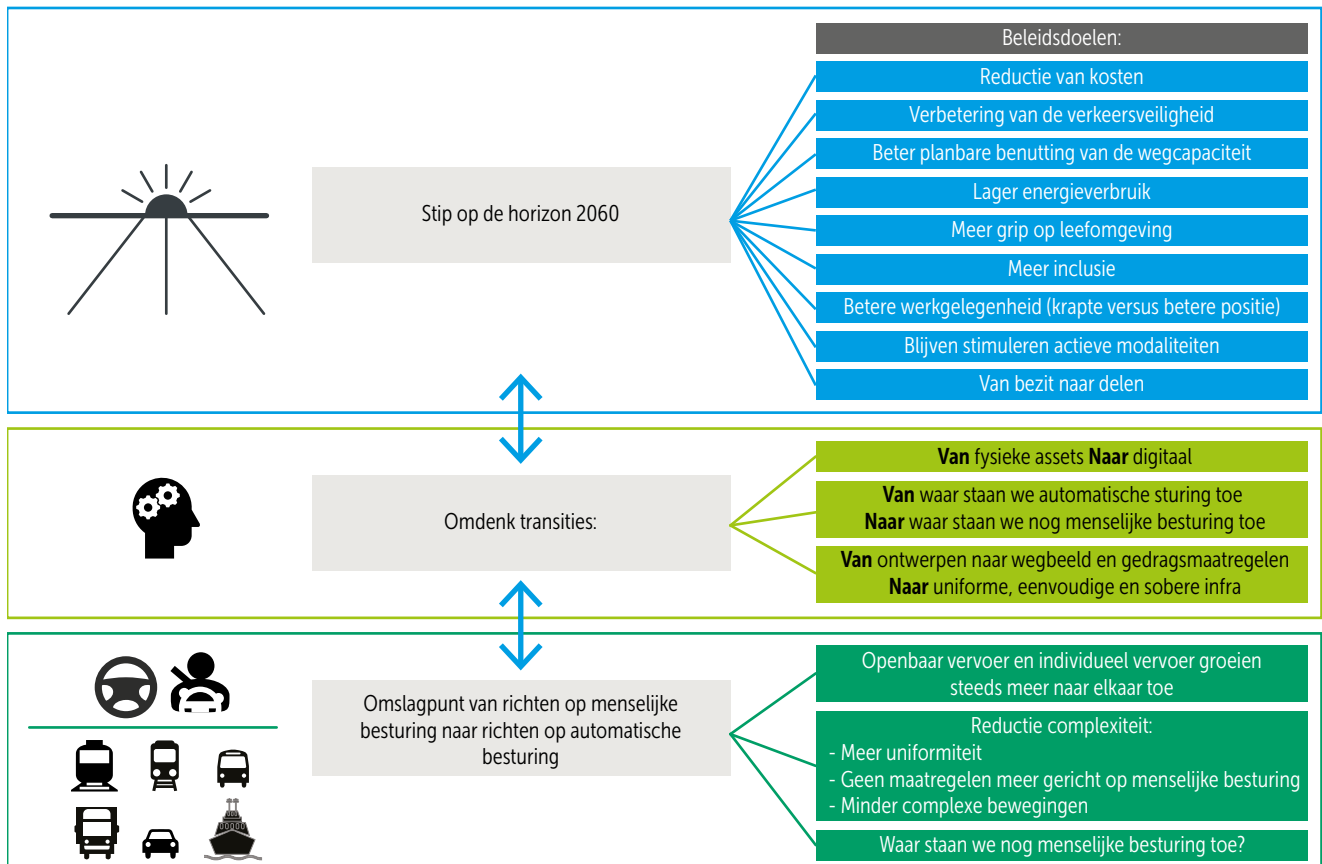
Bereikbaarheid

Optimale benutting van de wegcapaciteit door de inzet van technologie. Meer grip op planbare mobiliteit (door slimme beprijzing) en op capaciteit op basis van een vorm van reservering. Door prijs te koppelen aan capaciteit en bepaalde vormen daarbij te ontzien of te prioriteren, komt

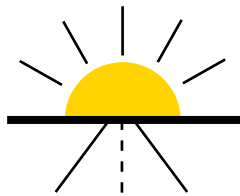
er grip op de verwachte toename van voertuigkilometers door automatische voertuigen, en op de toename van voertuigverliesuren in metropolitane centrumstedelijke gebieden door de veranderende value of time van rijden in automatische voertuigen.

Klimaat

Automatisch vervoer verbruikt over het algemeen minder energie dan voertuigen met menselijke besturing. Connected, coöperatieve en geautomatiseerde voertuigen kunnen in afstemming met elkaar en de verkeersinfrastructuur zorgen voor beter verkeersbeheer en minder congestie. Deze optimalisatie kan het energieverbruik en de emissies die gepaard gaan met verkeersopstoppingen verminderen. De toename van duurzame energiebronnen draagt verder bij aan de reductie van de uitstoot van schadelijke stoffen. Verdere doorontwikkeling en procesvereenvoudiging (op basis van AI) moet de bijkomende uitstoot die computers genereren m.b.t. de grote hoeveelheid berekeningen die



Figuur 4. Met de doelen aan de horizon (boven) en op weg naar het omslagpunt van het richten op de bestuurder naar het richten op autonoom rijden (onder), moeten we op een aantal vlakken anders gaan denken (midden)



deze maken verder reduceren. Daarnaast lijkt automatisch rijden de sleutel tot opschaling van deelmobiliteit. Een sterke reductie van privé bezit van voertuigen ligt meer voor de hand als er diensten en toepassingen ontstaan die dermate aanspreken dat iedereen ze wil hebben. Dit geeft een reductie van de omvang van de vloot waardoor minder materiaal nodig is.

Leefbaarheid

Overheden krijgen meer grip op routekeuze en vervoerskeuze waardoor capaciteit beter georganiseerd kan worden en hinder meer voorkomen kan worden. Geautomatiseerde voertuigen rijden niet door gebieden waar zij niet noodzakelijkerwijs hoeven te zijn, door maatschappelijk gewenste routing en selectieve toegang.

Ruimtelijke ontwikkeling

Door de grote hoeveelheid automatische voertuigen die positief werken op de verdere introductie van deelconcepten en de verdere vermenging van collectief en individueel vervoer zal de parkeerbehoefte in woongebieden afnemen. Parkeren zal vooral aan de randen van woonwijken en stedelijke gebieden plaatsvinden als het gaat om privebezit, en deelvoertuigen worden vooral ingezet i.p.v. stil te staan en worden op verkeersluwe dagen of perioden op specifieke locaties (hubs) verzameld. Hierdoor kan de beschikbare ruimte anders worden gebruikt en dat zal zorgen voor een hogere kwaliteit van de leefomgeving. Er is ook minder druk op de ruimte in de stad omdat meer mensen in de periferie of regio gaan wonen (reistijd wordt onderdeel van werktijd en wordt daardoor effectiever besteed).

Inclusiviteit

Automatisch vervoer is beschikbaar voor iedereen, zowel met fysieke beperkingen als financiële beperkingen. Het biedt ook kansen voor vervoer op maat voor kwetsbare doelgroepen.

De mens centraal

De mens als eindgebruiker/reiziger en bewoner staat centraal in het mobiliteitssysteem. Op die manier wordt ook de samenleving geholpen met automatisch vervoer.

Kostenreductie

De weginrichting is deels aangepast aan slimme voertuigen door minder complexiteit en meer uniformiteit en eenduidigheid, zowel nationaal als internationaal. Reductie van complexiteit gaat samen met ontrommelen en versoberen van de fysieke infrastructuur waardoor kosten bespaard worden. Wel is er meer inzet nodig op data en digitaal verkeersmanagement.

Werkgelegenheid

Automatisering van voertuigen wordt ingezet ter compensatie van schaarste aan chauffeurs van voertuigen voor collectief vervoer (OV) en transport, en biedt nieuwe technologische kansen en bijbehorende werkgelegenheid voor het bedrijfsleven.

2.2 Nadere beschrijving van het verkeer- en vervoersysteem in 2060

Connectiviteit en automatisering

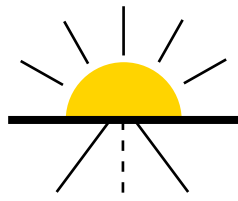
In 2060 hebben voertuigen 100% real-time connectiviteit op het relevante wegennet en heeft het transport- en verkeersmanagementsysteem de juiste kwaliteit van dienstverlening, ook voor bediening op afstand. Alle nieuw geregistreerde voertuigen hebben automatisering, maar op verschillende niveaus. De meeste functies in relatie tot veiligheid en efficiëntie zijn door het voertuig overgenomen van de mens. Afleiding van bestuurders, het niet goed kunnen verdelen van de aandacht en het overtreden van verkeersregels zijn daarmee verleden tijd.

Voertuigen communiceren met hun omgeving op 3 manieren:

- 1 Centraal: met een verkeersmanager (voor generieke kaders of netwerk sturing).
- 2 Decentraal – lokaal: wegkant – voertuig (voor locatie-specifieke info of omstandigheden).
- 3 Decentraal – lokaal, onderling tussen voertuigen: voor interactie tussen voertuigen.

Het ODD voor geautomatiseerde voertuigen is vergroot en het ODD voor niet geautomatiseerd gemotoriseerd is verkleind.

Er is een optimale balans ontstaan tussen de mogelijkheden van automatisering op het hoofdwegenet en de sociaal menselijke maat, die zich vooral voordoet in woonwijken. De hoge mate graad van voertuigautomatisering op hoofd-routes maakt dat daar de reistijd kan worden benut voor andere activiteiten dan het besturen van een voertuig. Daarbij is congestie en langere reistijd in de beleving dan minder van belang dan nu. De stabiele basissnelheid maakt dat er weinig variatie zit in snelheid waardoor een stabiele rit is ontstaan die werken tot op een bijna vergelijkbaar niveau van de trein heeft gebracht.



Multimodaal en inclusief verkeer- en vervoersysteem

Er is een volledig integratie tussen de vervoersmodaliteiten. De transitie van 'modal shift' naar 'modal connection' heeft ervoor gezorgd dat de verkeersstromen waar mogelijk zijn ontvlochten. Dit ten behoeve van uni-modale doorstroming, verkeersveiligheid en multimodale verbinding door de stromen weer bij elkaar brengen daar waar multimodale uitwisseling voor de hand ligt. Dit maakt dat de ketenreis laagdrempelig geïntegreerd is in het systeem en vervoersarmoede verledentijd is.

Modaliteiten worden real-time gesynchroniseerd, mogelijk gemaakt doordat ze digitaal gekoppeld zijn en ook fysiek aan elkaar gelinkt op uitwisselpunten/hubs. Het is zo mogelijk om op maat een goede oplossing te bieden voor alle reis- en transportbehoeften waarbij overstapverlies sterk gereduceerd is.

De transitie van bezit naar gebruik heeft collectief vervoer en individueel vervoer meer naar elkaar doen toegroeien, en betaling naar gebruik geeft een betere verdeling van de capaciteit.

Modal split/shift: collectief en individueel

Relatief korte verplaatsingen gebeuren door vitale mensen bij voorkeur via een actieve modaliteit. Collectief en individueel vervoer groeien meer naar elkaar toe en vullen elkaar aan (bijvoorbeeld: on-demand bestellen van een plek in een deelvoertuig). Individueel gemotoriseerd vervoer blijft belangrijk. Op het platteland / in de regio is dat belangrijker dan in de stad, en daar waar de transitie wenselijk is, wordt veel aandacht besteed aan gebruiksvriendelijkheid (hubs). Hierdoor kennen we meer autoluwe of autovrije stadscentra die toch goed bereikbaar zijn geworden vanuit de regio!

Wegcapaciteit

De toename van voertuigkilometers doordat jongeren zonder rijbewijs eerder mobiel worden, ouderen langer mobiel kunnen blijven en toch al afstand doen van het rijbewijs, en mensen met een beperking door automatisch vervoer een vergelijkbare reistijd hebben gekregen als andere weggebruikers, zal een hogere vraag geven. Daar staat tegenover dat de capaciteit beter stuurbaar is geworden door planbare mobiliteit via slimme beprijzing op basis van een vorm van reservering. Een optimale benutting van de wegcapaciteit door de inzet van technologie maakt dit mogelijk.

Parkeervraag en ruimtelijke ontwikkeling

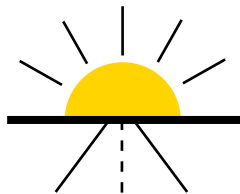
Er is meer verplaatsingsvraag maar minder parkeervraag. Dergelijke verschuivingen van de parkeervraag van de wijk naar centrale punten maakt dat parkeren in direct woongebied steeds minder voorkomt. Hubs spelen daarbij tevens een belangrijke rol. Minder ruimtegebruik door gemotoriseerde voertuigen vergroot de kwaliteit van de publieke ruimte.

2.3 Hoe ziet de infrastructuur er in 2060 uit ten opzichte van nu

Wegontwerp en -inrichting

Bij het ontwerp en de inrichting van wegen wordt standaard rekening gehouden met geautomatiseerde voertuigen door minder complexiteit en meer uniformiteit en eenduidigheid, zowel nationaal als internationaal. De fysieke infrastructuur hoeft daarvoor niet grootschalig aangepast te worden. De digitale infrastructuur is sterk ontwikkeld.

- Ontwerp en inrichting van de infrastructuur geschiedt compleet via de basisprincipes: reductie complexiteit, vergroten uniformiteit en eenduidigheid.
- Er zijn geen concessies gedaan aan het veiligheidsniveau van wegen, er is geen sprake van rigoureuze herdimensionering van wegprofielen. Ongevallen blijven in zekere mate voorkomen en ook dan is bijvoorbeeld een obstakelvrije zone waarbinnen het voertuig zichzelf in veiligheid kan stellen nodig. Ook enige redressering door sterke wind zal nodig blijven voor het opvangen van zijdelingse bewegingen door grotere voertuigen.
- De ontrommeling van de verkeersomgeving is voltooid. Beeldkwaliteit van de infra is sterk verbeterd omdat verreweg de meeste complexiteit is verwijderd. Met de ontwikkeling van connectiviteit als sterke enabler.
- Openbare verlichting langs wegen is afgenomen en er zijn op het hoofdwegennet minder verkeerslichten door conflictreductie op kruispunten en aansluitingen, en door in-car verkeersregeling en signalering mogelijk gemaakt door V2X communicatie van weggebruikers onderling.
- Er is een netwerk voor L4 voertuigen om binnen een kleine afstand van eindbestemmingen te komen.



Integratie van fysieke en digitale infrastructuur

De fysieke infrastructuur is aangevuld met een volledige digitale weergave (twin) als basis voor ODD management (toegang voor geautomatiseerde voertuigen conform het beschikbare service level vanuit de fysieke en digitale infrastructuur ISAD) verkeersmanagement en asset management (optimale inzet van de beschikbare wegcapaciteit). HD-maps zijn de interface hiervoor in het voertuig, en connectiviteit maakt het mogelijk dat de juiste informatie op het juiste moment in het voertuig en voor alle weggebruikers beschikbaar is.

Toegang tot wegtypen/gebieden

Hoofdwegennet (Regionaal Verkeersmanagement (RVM))

- Het hoofdnetwerk (RVM) is primair ingericht voor automatische voertuigen, en weggebruikers kunnen daar ook zelf rijden mits ondersteund door een minimale set aan ADAS, connectiviteit en intelligentie die de bestuurder helpt. Voertuigen die vallen onder de categorie oldtimers worden beperkt toegelaten.
- Op het hoofdwegennet (RVM) zijn actieve en gemotoriseerde modaliteiten ontvlochten.

Onderliggend wegennet

- Het onderliggend wegennet is een mix van wegen waar voertuigen automatisch kunnen rijden en wegen waar bestuurders zelf rijden.
- Op het onderliggend wegennet blijven op veel locaties conflicten tussen gemotoriseerde en actieve modaliteiten aanwezig.
- Kruispunten zijn vooral uitgevoerd als rotonde (argumenten: reductie van complexiteit en 'ontrommeling van infra').
- Snelheidsremmers en andere maatregelen zoals as-verspringing etc. worden niet meer toegepast.

Woonwijken en leefgebieden

- In woonwijken/leefgebieden zijn wegen primair ingericht vanuit de menselijke weggebruiker. Vanwege complexiteit voor AVs en uit sociaal oogpunt. Parkeerruimte voor privé auto's in woonstraten is niet meer nodig. Een overstap van actieve modaliteit (lopen, fietsen) naar een gemotoriseerde modaliteit is binnen 5-10 minuten bereikbaar. Ook parkeren automatische voertuigen buiten het woongebied, na de passagier/eigenaar afgezet hebben (bijvoorbeeld voor mensen met een handicap). Afname van parkeren speelt met name in de stad waar ruimte schaars is, en andere drukke leef- of eventengebieden. Straten zijn zo ingericht dat incidentele toegang voor bijvoorbeeld hulpdiensten, verhuwagens of levering van goederen mogelijk is.

Capaciteit

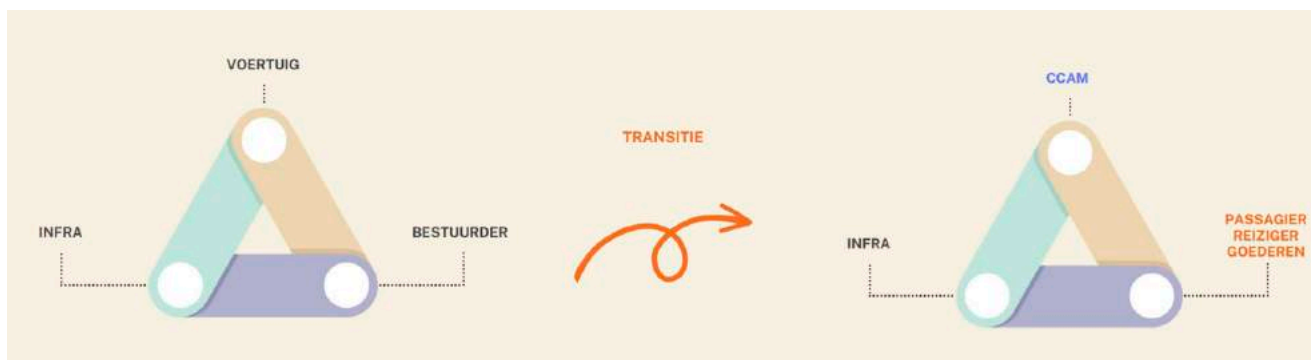
Snelwegen zijn flexibel ingericht om de beschikbare capaciteit optimaal af te stemmen op de variërende vraag gedurende de dag (tidal flow).

Ruimtelijke ontwikkeling

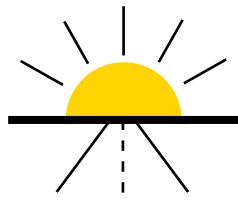
Bij uitwisselpunten van modaliteiten/hubs is meer ruimte nodig voor parkeren en services ter vergroting van de aantrekkelijkheid van de hubs. Verstedelijking rondom dergelijke punten is beperkt.

2.4 CCAM als optimalisatie of transitie?

In de bestaande driehoek mens, omgeving en voertuig, zien we op weg naar Connected, Cooperative, Automated Mobility (CCAM) met name de positie van de mens binnen die driehoek sterk veranderen: van bestuurder naar reiziger of passagier. Grote vraag is hoe die mens het nieuwe systeem gaat gebruiken.



Figuur 5. In de driehoek infra-voertuig-mens zien we met name de positie van de mens sterk veranderen door de automatisering van het voertuig.



Figuur 6. De innovatie van de vaste telefoon naar de mobiele, heeft uiteindelijk geleid tot tal van diensten die vooraf niet te bedenken waren. De innovatie van menselijke besturing naar machinale besturing zou best eens tot een heel ander mobiliteitssysteem kunnen leiden, mits er diensten ontstaan die iedereen wil hebben.

Bij een ingrijpende verandering als deze is het niet voor de hand liggend om vanuit het bestaande systeem te denken. Een heuse transitie kenmerkt zich door opnieuw te kijken naar waar werkelijk behoefte aan is en wat de gebruiker er uiteindelijk mee gaat doen.

Infrastructuur

Daar waar we op termijn alleen nog machinale besturing toe zouden staan, zal de focus verschuiven van menselijke besturing naar machinale besturing. Deels kan deze doorwerking al plaatsvinden bij een zekere dichtheid van machinesturing in het verkeer (zie s-curve, figuur 15).

Op wegen waar alleen zelfrijdend zal worden toegestaan, wat is daar dan nodig? Veel elementen in het wegontwerp zijn gebaseerd op het beïnvloeden van het menselijk rijgedrag. Zaken als optisch versmallen, wegbeeld in samenhang met functie en regimesnelheid etc. zijn allemaal voor CCAM niet of minder nodig. Een aantal assets wordt ook overbodig (zoals bewegwijzering en filebeveiliging). Afhankelijk van de doorontwikkeling van CCAM kunnen wellicht andere elementen ook niet meer nodig zijn op de lange termijn. Wel is er meer inspanning nodig op het gebied van uitwisseling van data tussen de verkeersinfrastructuur en voertuigen. Die inspanning kan op termijn ook weer minder worden door de toepassing van AI en V2V communicatie. Toch zal een zekere overheidssturing zeker nodig blijven.

Een afbouw van elementen uit het wegbeeld komt ook ten bate van openbaar vervoer en hulpdiensten. Wellicht gaan we op termijn wel inzien dat indien mensen zelf nog willen besturen dit qua weginrichting kostbaar is en dat kan de transitie wel eens gaan versnellen. Ook verzekeringsmaatschappijen kunnen een versnellend effect hebben door reductie van schadelast van geautomatiseerde voertuigen in premies door te laten werken.

De auto en vrachtauto heeft paard en wagen nog steeds niet 100% vervangen, maar we houden al tijden geen rekening meer in het wegontwerp voor deze recreante vorm van mobiliteit.

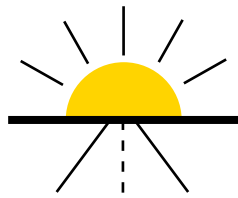
Nu: "We gaan niet de weg aanpassen voor slimme voertuigen, maar slimme voertuigen moeten zich maar aan de weg aanpassen"

Straks: "we investeren niet meer in kostbare middelen t.b.v. menselijke besturing..." (op trajecten/gebieden waar geautomatiseerd voertuigen de dominante vorm van verkeersdeelname vormen)

Tabel 1 geeft een beeld van zaken die, afhankelijk van de vorm die de transitie uiteindelijk aanneemt, nodig zijn. Kijkend naar de kolom CCAM: stel je zou een nieuwe weg aanleggen, dan is een verharde comfortabele ondergrond (asfalt) als basis nodig. Daarnaast is goede data van belang maar is er vanuit de harde infra wellicht veel minder ondersteuning nodig dan we nu gewend zijn. De onderstaande tabel geeft hiervan een impressie.

Gedrag van mens en voertuig

Menselijke besturing lijkt zowel voordelen te hebben als nadelen. Bij sterk gemiddeld verkeer wordt sociaal en defensief rijgedrag steeds belangrijker. Een zelfrijdend voertuig zal niet snel iemand voor laten die nog snel de bus wil halen aan de overkant van de weg. Maar ook andersom, als een zelfrijdend voertuig door een ander voertuig wordt voorgehouden op een druk kruispunt, zal deze daar mogelijk niet mee om kunnen gaan. Maar menselijk gedrag kent ook nadelen. Mensen hebben de neiging tot het overschrijden van de snelheidslimiet, het gebruik van middelen die de rijvaardigheid kunnen beïnvloeden en kunnen soms asociaal gedrag vertonen. Zelfrijdende voertuigen hebben die eigenschappen niet en volgen bijvoorbeeld routeadviezen voor beleidsmatige routing netjes op. Mits de data op orde is want die opvolging kent in het slechtste geval ook weer een zeker risico, namelijk het ontbreken van inzicht en logisch nadenken. Wellicht zal AI dit deels op kunnen lossen.



Reiservaring

Naast rijgedrag is er ook nog de reisbeleving. Indien zelfrijdend een ware vlucht neemt, bijvoorbeeld omdat er diensten ontstaan die we nu nog niet kunnen bedenken, en die het comfort en gemak dusdanig verhogen dat opeens iedereen ze wil hebben, dan kan een transitie versnellen. De mobiele telefoon nam een ware vlucht, niet doordat deze draadloos was, maar doordat we tekst kunnen sturen. Later zijn daar nog allerlei toepassingen bij gekomen die de telefoon een heel andere functie gegeven hebben waarbij de maatschappij er eigenlijk vanuit gaat dat iedereen er over beschikt (eerste duidelijke kenmerk daarvan was het verdwijnen van de praatpaal). Zie tabel 3.

Voertuigprestatie

Tot slot zijn er nog de eigenschappen van menselijke besturing versus machinale besturing die invloed hebben op de omgeving. Zie tabel 4.

Momenteel is er nog wel discussie over energieverbruik vanwege de hoge rekenkracht die zelfrijdend nodig heeft, maar men is het er wel over eens dat dit een tijdelijk issue zal zijn.

Voertuigdelen is een lastige. We leveren niet graag comfort in en dat is bij delen al snel het geval, tenzij het veel slimmer kan dan het delen zoals we dat nu kennen. Autonome voertuigen delen lijkt mede vanwege de kosten voor de hand te liggen, maar bij voldoende massaproductie nemen de kosten ook weer snel af, waardoor privébezit wellicht betaalbaar kan blijven. Toch kan een heel ander dienstensysteem ontstaan dat privébezit wel degelijk deels kan doen verdwijnen, namelijk dat er diensten ontstaan rondom CCAM die uiteindelijk iedereen wil hebben. Hier lijkt een kans voor publiek-private samenwerking te liggen (beleid en dienstverlening). Overschakelen naar een kleinere vloot is mogelijk een lastige schakel voor de automotive industrie, waarvoor wellicht overheidssturing nodig is.

Tabel 3. De reiziger zal als passagier de reis en de tijd die reizen vergt, anders gaan beleven.

Item	Reiservaring	
	Menselijke besturing	CCAM
Reistijdbeleving	Tijd is belangrijk	Andere tijdsbeleving mogelijk doordat tijd anders besteed kan worden dan met besturen van een voertuig
Comfort	Beperkt belangrijk	Belangrijk zodat men inderdaad andere dingen te kunnen doen tijdens rit zonder wagenziek te worden.
Bereidheid tot delen	Beperkt bereid	Vaker bereid indien het als dienst wordt aangeboden
Reistijd per persoon	Stabiel	Kan zonder beleid langer worden vanwege een toenemende vraag door jongeren die eerder mobiel worden, en ouderen die dat langer kunnen blijven. Tevens kan zelfrijdend een alternatief vormen voor actieve modaliteiten, tenzij hier goed beleid op komt die dat stuurt vanuit een inclusieve gedachte.

Tabel 4. Mogelijke effecten op klimaat, omgeving en veiligheid van CCAM.

Item	Voertuigprestatie	
	Menselijke besturing	CCAM
Energieverbruik/uitstoot	Mogelijk hoger verbruik door hogere en minder stabiele snelheid	Mogelijk lager door efficiëntie en stabiele snelheid
Geluid	Mogelijk hoger door meer optrek- en afrembeweging, mogelijk hogere snelheid	Mogelijk lager door stabiel rijgedrag
Verkeersveiligheid	Mogelijk slechter (maar mensen voorkomen ook fouten)	Mogelijk beter
Materiaal gebruik	Veelal voertuig in eigen bezit dus grote vloot	Mocht CCAM dusdanig als dienst gezien worden dat delen voor de hand ligt, kan de vloot veel kleiner zijn en is er dus minder materiaal nodig om die vloot te maken.



3 Future backcasting

In dit hoofdstuk gaan we terug vanaf de stip op de horizon, naar het heden. We staan telkens even stil bij een bepaald jaartal. Hoe zou een dag eruit kunnen zien van een reiziger, een werknemer van de verkeerscentrale, een gepensioneerde en andere fictieve personages. In deze backcasting nemen we de lezer mee op een reis terug naar nu met als doel om jezelf even in die tijd te plaatsen en met de kennis van nu daarop te reflecteren.

Zelfrijdend is een algemeen bekend en toegepast fenomeen. In 2060 zijn de meeste functies in relatie tot veiligheid en efficiëntie door het voertuig overgenomen van de mens. Afleiding van bestuurders, het niet goed kunnen verdelen van de aandacht en het overtreden van verkeersregels zijn daarmee verleden tijd. Er is sprake van een drastische verbetering van verkeersveiligheid en gebruik van de beschikbare wegcapaciteit ten opzichte van 2020.

De veiligheidskwaliteit van de weginrichting voldoet aan de hoogste standaarden, waarin de specificaties van geautomatiseerde voertuigen volledig zijn geïntegreerd. Bermen van snelwegen zijn obstakelvrij (er zijn bijna geen afschermingsvoorzieningen meer nodig). Complexe situaties in het wegontwerp waar een automatisch voertuig niet mee om kan gaan, zijn een zeldzaamheid. Incidenten of onvoorziene situaties kunnen door de automatische voertuigen zelf, in contact met de verkeersmanager, worden afgehandeld. DVM assets (zoals DRIP's en TDI's) zijn vrijwel geheel afgebouwd. Ze bevinden zich hooguit nog op enkele strategische locaties/knooppunten.

Volledig automatisch rijden voor vrijwel alle voertuigen vindt alleen plaats op het hoofdwegennet (RVM netwerk). Op het onderliggend wegennet (zeker op de ETW's) is er vooral sprake van gemengd verkeer, waarbij een beperkt aantal typen voertuigen volledig automatisch rijdt onder specifieke condities (busjes voor collectief vervoer, en taxidiensten).

Zo is er een bepaalde gelaagdheid ontstaan in het netwerk, waarbij collectief vervoer en individueel deels naar elkaar toegegroeid zijn.



De dikke lijnen in het netwerk zijn vooral collectief georganiseerd met inzet van grotere voertuigen, of elektronisch gekoppelde clusters (ad-hoc of vooraf geregisseerd) van kleinere voertuigen. Vanwege de lage kosten is de frequentie overdag hoog en voert een

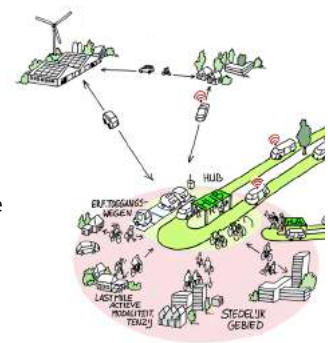
deel van deze voertuigen in daluren en nacht transporttaken uit. Point to point goederen vervoer en hub to hub personenvervoer zijn hierbij deels in elkaar verflochten zodat er meer wegcapaciteit ontstaat met minder voertuigen. Deze vorm vindt naast rail (buiten beschouwing van deze paper) vooral plaats over stroomwegen en de stedelijke as.



De dunnere lijnen worden meer opgevuld door vervoer on-demand. Een breed deelconcept met kleinere voertuigen (individueel of in clusters van een beperkt aantal elektronisch gekoppelde voertuigen) tussen hubs om bijvoorbeeld van ruraal naar ruraal te reizen, zonder de stad te belasten, of als schakel tussen de herkomst/bestemming en de dikkere lijnen. Deze vorm is vooral te vinden op de gebiedsontsluitingswegen maar ook op regionale stroomwegen.



De schakel tussen buurthubs, stadrandhubs etc en herkomst/bestemming wordt vooral afgewikkeld middels actieve modaliteiten door personen die binnen 10 minuten van een dergelijke hub wonen. Voor personen die verder van een hub wonen of niet goed in staat zijn een actieve modaliteit te gebruiken, of als de sociale veiligheid het op dat moment niet toestaat (bij duisternis bijvoorbeeld), kan de afwikkeling op deze korte afstand door kleine voertuigen plaatvinden. Dit betreft vooral de erf-toegangswegen in stedelijke omgeving die autoluw zijn, tenzij. Parkeren is door de reductie van privébezit op staat sterk afgenomen en is vooral te vinden op eigen terrein.



Zie voor overzicht pagina 70.

Een dag in 2060

Thomas (75) kreeg laatst een oproep van het CBR voor de keuring voor de rijvaardigheid conform artikel 183, lid 2 van het Regelement Rijbewijzen. Hij besloot dat het beter was voor zijn veiligheid en die van anderen om zijn rijbewijs te laten omzetten zodat deze alleen nog geldig is voor de categorie i (backup zelfrijdend). Deze categorie betekent dat Thomas alleen nog maar een stukje zou rijden als de techniek het laat afweten en dan "uitsluitend bedoeld voor het in veiligheid brengen van het voertuig en diens inzittenden". Voor Thomas is het fijn dat hij voorlopig nog volop mobiel kan blijven door het gebruik van de zelfrijdende auto. Deze voertuigen zijn eenvoudig te reserveren en voor Thomas al helemaal omdat hij juist kiest voor de lagere tarieven buiten de spits.

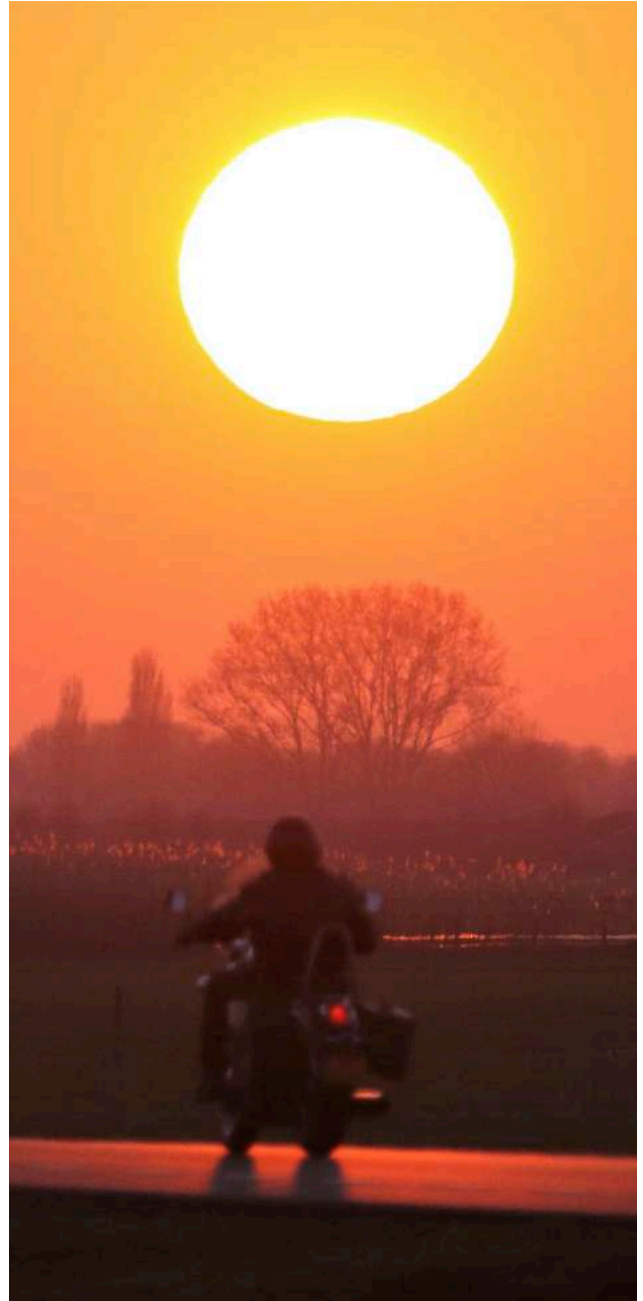
Diezelfde middag was Thomas druk met een online bestelling voor zijn oudste dochter die volgende week jarig is. Thomas kiest voor de optie 'ophalen bij de mobiliteitshub'. Dat scheelt aardig in de verzendkosten. Als je je pakket ophaalt bij een winkel op een mobiliteitshub, betaal je geen verzendkosten, en bij thuisbezorging juist wel. Daarmee is het aantal pakketbezorgkarretjes in woongebieden behoorlijk afgenomen de laatste jaren. Thomas weet al dat hij donderdag bij die hub komt, en kan het pakket dan gelijk even ophalen. Het ziet er heel anders uit bij die hubs tegenwoordig denkt Thomas. Vroeger was het een grote par-

keerplaats, nu zijn er alleen een aantal in- en uitstapstroken en gaat de zelfrijdende auto weer verder met andere klanten. Wat voorheen parkeerplaats was, is nu herontwikkeld met allerlei diensten, waarmee de mobiliteitshub steeds aantrekkelijker geworden is om ook de overstap naar collectief vervoer aantrekkelijker te maken. Eenmaal op die hub ver buiten de stad, is het aantrekkelijker om daar al over te stappen op de trein naar de randstad, dan bij die stedelijke hubs. De stedelijke hubs worden ook steeds meer gebruikt voor het stallen van de voertuigen die bewoners nog bezitten. Goed om te zien dat integraal beleid nu echt tastbaar is: meer veiligheid door autonomie, minder bewegingen door pakketdiensten, minder parkeerruimte in steden en steeds beter functionerende hubs, zowel stedelijk als landelijk, zodat ook voor verkeer in/vanuit ruraal gebied een steeds betere connectie is tussen individueel vervoer en collectieve vervoerswijzen. Met die multimodale ketenreis zien we dat modaliteiten nu echt goed met elkaar verbonden zijn, zodanig dat gebruikersgemak aansluit bij gewenst gedrag!



In 2055 zijn er op het RVM netwerk alleen nog voertuigen die automatisch en coöperatief kunnen rijden. Snelwegen zijn flexibel ingericht om de beschikbare capaciteit optimaal af te stemmen op de variërende vraag gedurende de dag (tidal flow). Bij tidal flow wordt een dynamische vorm van rijrichtingscheiding toegepast.

De kwaliteit van de weginrichting voldoet aan zeer hoge veiligheidseisen. Een onderdeel is de heroverweging van de dimensionering van ontwerpelementen uit het lengte- en dwarsprofiel, zoals de obstakelvrije zone en boogstralen. Middenbermen met afschermingsvoorzieningen zijn volledig afgestemd op de karakteristieken van de geautomatiseerde voertuigen. Ook objecten in de berm waar de voertuigen bij zeldzaam falen mee in botsing kunnen komen zijn volledig botsvriendelijk ontworpen.



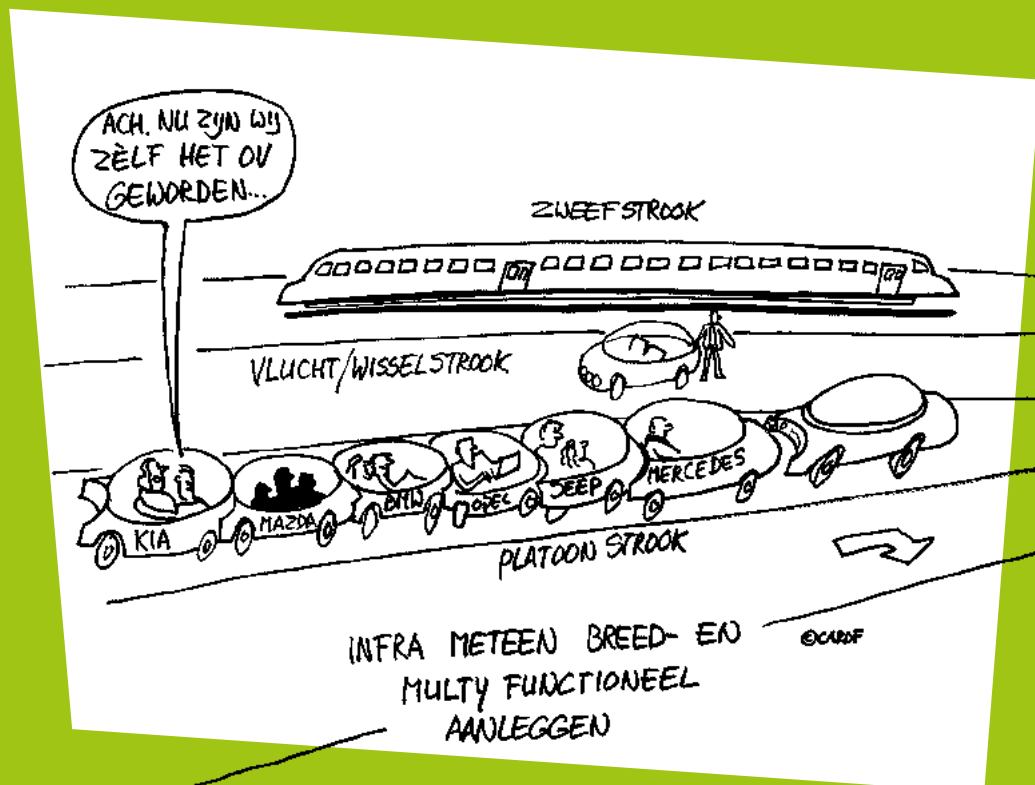
Een dag in 2055

Zeynep is 27 jaar en werkt in een laboratorium. Ze gaat graag op de motor want motorrijden is haar hobby. Ze merkt op dat steeds meer wegvakken alleen nog voor automatisch vervoer zijn bedoeld en soms mag je er met de motor al niet meer rijden. Nabij het ziekenhuis zie je ook dat daar eigenlijk vooral autonoom openbaar vervoer rijdt, maar ja de motor op een hub stallen gaat toch wat ver.

Op een dag tijdens de pauze heeft ze het er met collega's over. Jan rijdt ook graag motor maar maakt toertochten. Niet meer zo leuk als vroeger natuurlijk toen een motor nog geluid maakte, maar je rijdt wel lekker zelf en da's toch leuk, hoewel die automatische snelheidsvensters vervelend zijn hoor.

Een andere collega vertelt dat ze juist zo te spreken is over haar deellauto gebruik. Met al die automatische functies doe ik alle administratie op de terugweg en ben ik een uur eerder thuis. Dat kunnen we vaak nog samen eten thuis, wel zo leuk en gezellig.

Dat doe ik ook, maar dan in de trein, vertelt weer een ander die ook aan tafel zit. Tja zegt Zeynep, met een lach, bij mij is geen spoor in de buurt dus kan ik lang wachten op een trein.



Verdere uitbouw digitale infrastructuur:

- In 2050 is er een dermate dichtheid aan connectiviteit van voertuigen dat snelheidsremmers en borden nauwelijks meer nodig zijn op de wat meer doorgaande wegen. Snelheden worden als digitaal venster ingezet aan de hand van de omstandigheden (weer), capaciteit en dichtheid van verkeer waardoor er altijd een passende snelheidslimiet is die ook wordt opgevolgd. Alle voertuigen hebben V2X communicatie om in ad-hoc pelotons te kunnen rijden. Alle voertuigen beschikken over een HD map gevoed door een digital twin met informatie over de weg, bewegwijzering/route en omstandigheden.

Aanpassing ontwerp en inrichting – verdere afbouw fysieke elementen:

- VRI's met fysieke verkeerslichten zijn grotendeels vervangen door signalering via in-car informatie. Verkeersborden staan alleen nog op strategische plekken en hebben dan een back-up functie. Openbare verlichting langs de hoofdwegen is grotendeels weg (wel op verzorgingsplaatsen). Afschermingsvoorzieningen/geleiderails blijven nodig op locaties waar sprake is van een verhoogd risico bij falende techniek.

Scheiding van weggebruikers naar massa, snelheid, omvang en richting is ver doorgevoerd in de inrichting van de weginfrastructuur. In lijn hiermee is ook het ontwerp en de inrichting van kruispunten steeds verder aangepast.

Aparte rijstroken voor zelfrijdende voertuigen zijn gerealiseerd omdat het marktaandeel van geautomatiseerde voertuigen groot genoeg is om deze rijstroken goed te kunnen benutten.

Op alle grote goederencorridors rijden automatische trucks. De Automated Transport corridors zijn operationeel point-to-point op vastgestelde tijdsvensters). Plan infrastructuur op point-to-point transport met geschikt ODD van afrit naar point en van point naar toerit.

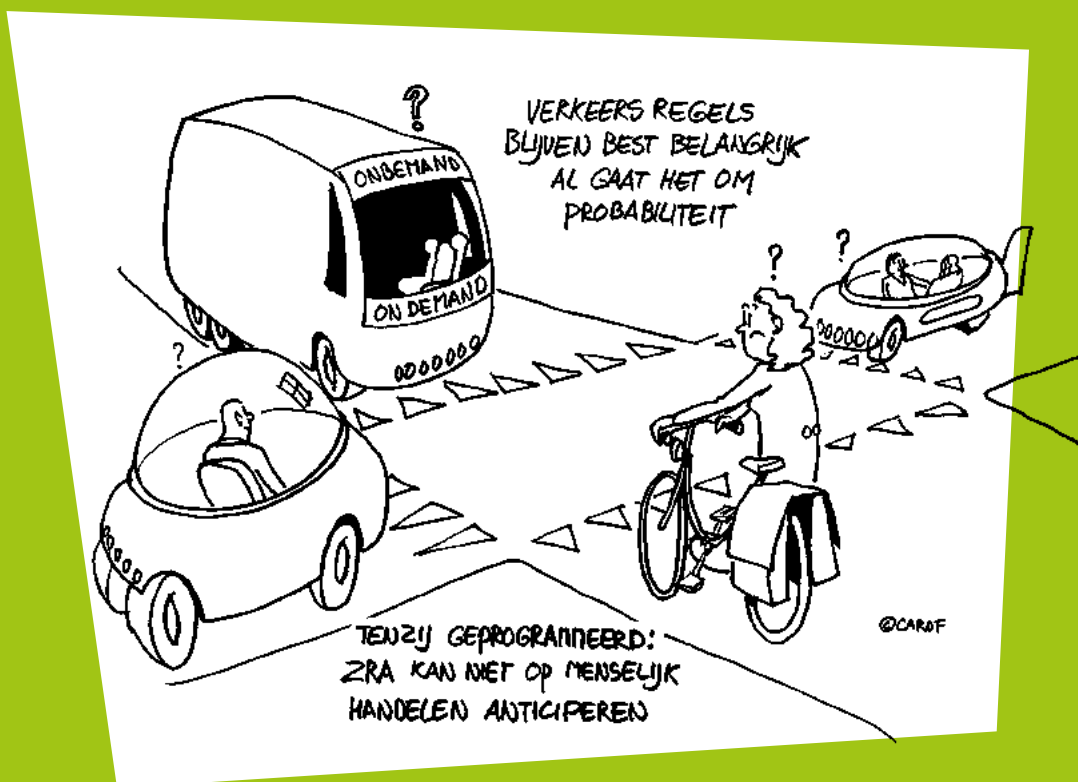


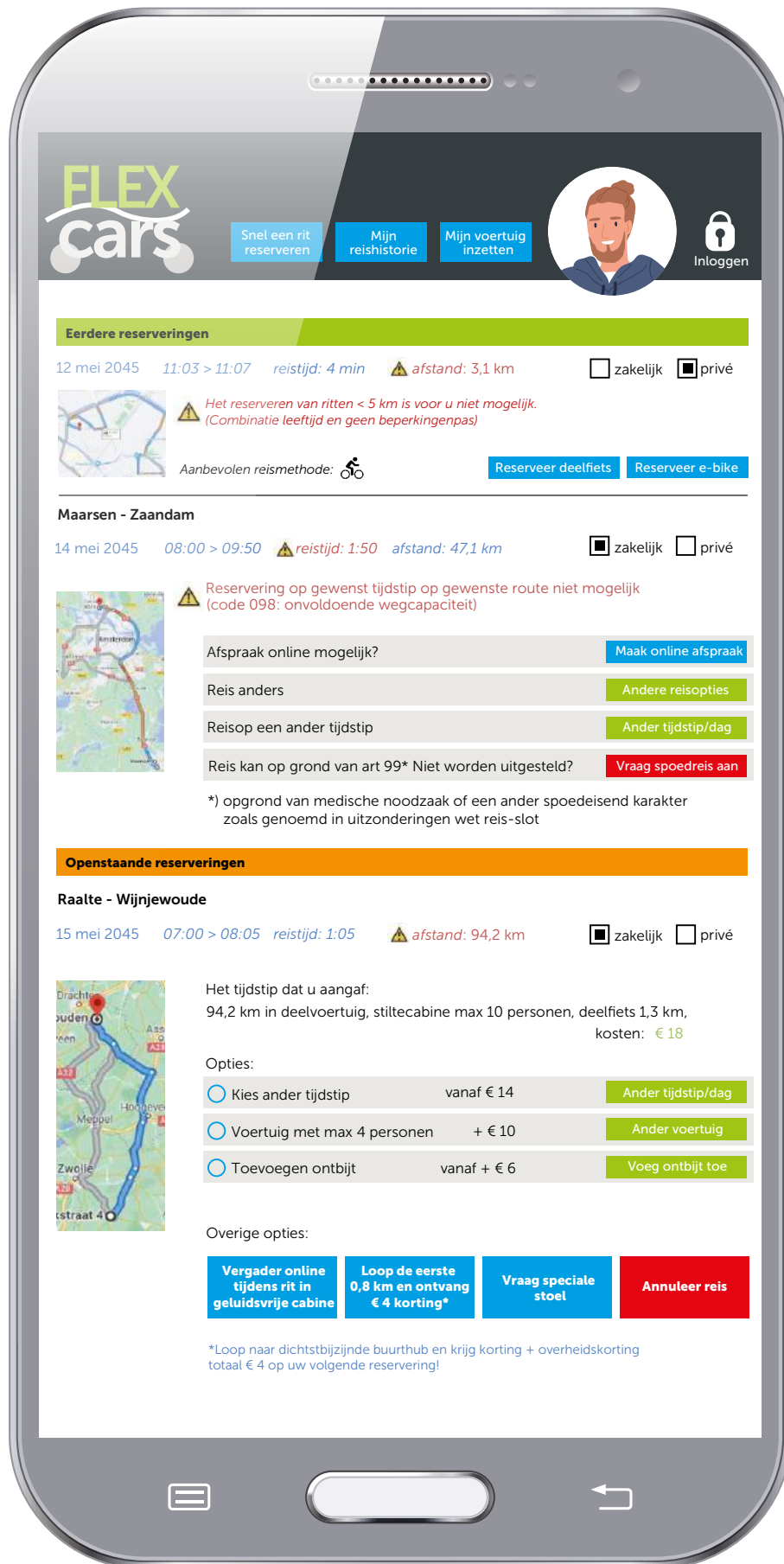
Een dag in 2050



Johan wordt vandaag 17 jaar. "Omdat wij vroeger op die leeftijd ons rijbewijs cadeau kregen, krijg jij een Multimodal Travel Pass Europe waarmee je de eerste jaren wel vooruit moet kunnen" lacht zijn vader. Johan's vader vertelt over zijn ervaringen als fietser met zelfrijdende voertuigen. "Je kon altijd voor, want ze stoppen toch wel". Was zijn lijfspreuk.

Toch lijkt er wat veranderd, denkt Johan. In steeds meer gebieden zie je eigenlijk helemaal geen auto's meer en in gebieden waar je ze wel ziet, mag je niet fietsen. Best slim eigenlijk. "Maar hoe kan het dan dat er toch af en toe auto's rijden op wegen bedoeld voor fietsers?" vraagt Johan aan zijn vader. Pa had laatst in de krant gelezen dat dit voornamelijk voertuigen zijn met bijvoorbeeld mensen met een beperking die niet met de fiets of te voet kunnen en op locaties waar het OV niet komt of te weinig komt. Johan kijkt wat vertwijfeld en denkt bij zichzelf ...'nou dan is de lol er zo af. Zo'n voertuig, daar ga je niet expres voor lopen? Dat doe je gewoon niet.





Figuur 7. Een fictief voorbeeld van een digitaal systeem voor het reserveren van mobiliteitsmiddelen met interactie van beleidsdoelen.

Verdere uitbouw digitale infrastructuur:

- Communicatie- en plaatsbepalingssystemen zijn voldoende uitgerold (nauwkeurig, snel, betrouwbaar en redundant) om 99% level of service te kunnen bieden op het RVM netwerk.

Aanpassing ontwerp en inrichting / afbouw fysieke elementen:

- Er komen steeds meer slimme rotondes in gebruik. Bewegwijzering langs de weg bevindt zich alleen nog op strategische punten.
- Het RVM netwerk wordt uitgerust met voorzieningen (zoals pechhavens) die automatische voertuigen nodig hebben voor het uitvoeren van een Minimum Risk Manoeuvre.

Multimodaliteit

- Automatische voertuigen vullen gaten op van OV in ruraal gebied.
- Vanuit de in 2025 in werking getreden Multimodal Digital Mobility Services (EU) komen er steeds meer goed werkende reserveringssystemen die zowel de klant (eindgebruiker) als het beleid bedienen.

Onderhoudsregimes per wegtype zijn volledig afgestemd op de voertuigen die zijn toegelaten.

Plan infrastructuur op inclusiviteit en betaalbaarheid, met name daar waar geen business-case lijkt te liggen voor de markt.

Een dag in 2045



Bart is student, is 19 jaar en woont in een kleine vestingstad. De wijk waar hij met zijn ouders woont, heeft beperkt ruimte voor auto's. Soms is dat nog best lastig omdat ze de auto gebruiken voor opslag van energie uit de zonnepanelen overdag. Bart denkt daar wat anders over. In het centrum kun je niet eens komen met de auto, en daar wonen ook mensen. "Die hebben alleen de accu's staan, niet de auto" lacht Bart.

Vandaag moet Bart op pad naar zijn nieuwe stage-adres. Hij mag met de L4 auto van zijn vader die eerste dag, maar pa bedenkt zich nu hij plots toch zelf naar een storting toe moet vanuit zijn werk. Bart bestelt dan maar gelijk een budget robotaxi. Als hij het voertuig deelt met andere reizigers is het heel betaalbaar en kan iedereen die moet er in ieder geval gebruik van maken. De hub waar Bart heen moet, is te ver om te fietsen en openbaar vervoer is er te weinig nog naar de nieuwe megahub nabij knooppunt Deil. Vanaf Deil kan hij met intercity's echt alle kanten op dus het is echt de place to be en vanwege de vraag is de robotaxi op deze rit erg goedkoop. Aangekomen in Amsterdam, legt hij het laatste stuk af met een deel-fiets.

De heenreis verliep soepel en zijn eerste stagedag was snel voorbij. De autonome intercity vanuit Amsterdam rijdt hoogfrequent en hij is zo weer op de hub bij knooppunt Deil. Hij heeft nog tijd om zijn vriend even te bezoeken waar hij mee op school zit. De robotaxi zet Bart af bij de autonome watertaxi die het laatste stuk over de Waal aflegt. Met deze dienst kan hij later ook naar huis en loopt dan het laatste stukje.

Bart heeft eerder al ervaring opgedaan met het systeem om een reis te boeken, en kent nu het systeem goed genoeg om het snel te kunnen gebruiken

Voortgang CAV use cases:

- Alle voertuigen hebben een begrenzendende vorm van ISA.
- 90% van de verkochte voertuigen is in hoge mate geautomatiseerd, dan wel in staat volledig automatisch te rijden (binnen ODD, dat nog stapsgewijs uitgebreid wordt). Ongeveer een kwart (25%) tot de helft (50%) van de voertuigen op de weg is in hoge mate geautomatiseerd. Toegang voor deze voertuigen is vanuit de GSR beperkt tot bepaalde gebieden die onderdeel zijn van de typegoedkeuring.
- De meeste voertuigen hebben een vergevorderde vorm van een L4-ALKS ingebouwd. In combinatie met (C)ACC zijn de ALKS-systemen doorontwikkeld tot L4 zelfrijdende systemen in zowel personenauto's, personenvervoer (OV) als goederenvervoer die op het grootste deel van de Nederlandse wegen inzetbaar zijn.
- Automatische voertuigen zetten passagier/eigenaar af en parkeren buiten de wijk/leefgebied.
- Autonoom / teleoperated hub tot hub vervoer: een netwerk van meerdere trajecten voor Automated Transport is uitgerold. In 2040 pendelen autonome vrachtwagens van een aantal grote vlooteigenaren als onderdeel van standaard processen op de corridors van de Dutch Tulip' tussen de voornaamste goederenterminals. Daarmee vormt het één van de oplossingen voor het personeelstekort in het goederenvervoer en het opvangen van de groei van het goederenvervoer door de wegcapaciteit optimaal te benutten door autonoom vervoer in de nacht in te zetten. Geautomatiseerd goederenvervoer rijdt eveneens op terminals, yards en industriële gebieden en heeft daar voor efficiëntie slagen geleid die zorgen voor een sterke en competitieve logistieke sector in Nederland. De schakels hiertussen worden door menselijke chauffeurs ingevuld, die vaak ook nog een rol hebben in de overdracht van ladingen.
- Eerste trajecten op het hoofdwegennet (HWN) voor ad-hoc platooning van automatische personenwagens zijn operationeel (point-to-point).
- Autonoom OV op vrijliggende (bus)banen: personenvervoer op vrijliggende busbanen is geautomatiseerd. Dat geldt op vrijliggende busbanen buiten en aan de rand van steden (hoofdwegennet en tangentiële routes) én op vrijliggende busbanen in de stadscentra (radialen). Daarmee is een belangrijke stap gezet in het reduceren van de exploitatiekosten van het openbaar vervoer.
- Automatische bussen verbinden de belangrijkste hubs. Vanuit deze hubs is aanvullend, vraaggestuurd dan wel (hoog)frequent (kleinschalig) automatisch vervoer een integraal onderdeel van de vervoersoplossing voor dunbevolkte, rurale gebieden en de bereikbaarheid van economische toplocaties.
- Last mile personenvervoer van/naar economisch belangrijke locaties: het grootste deel van het vervoer van/naar economische toplocaties op de last/first mile wordt uitgevoerd met autonoom vervoer. Bijvoorbeeld van OV-knooppunten of hubs naar woongebieden, bedrijventerreinen en campussen met een goede vervoerswaarde. De automatische voertuigen rijden mee in gemengd verkeer zonder negatieve effecten op de doorstroming, duurzaamheid en verkeersveiligheid. Het betreft vooral trajecten waar openbaar vervoer niet (langer) aanwezig is. Of wanneer in een gebied autoverkeer ontmoedigd wordt om toch de bereikbaarheid te garanderen.
- Vraag gestuurd autonoom personenvervoer in dunbevolkte/buiten gebieden: er is op grote schaal automatisch vervoer beschikbaar als onderdeel van concessies om het openbaar vervoer in dunbevolkte gebieden betaalbaar en inclusief te houden. Autonome shuttles rijden mee in gemengd verkeer zonder negatieve effecten op de doorstroming, duurzaamheid en verkeersveiligheid.

Grote stappen gezet in uitbouw digitale infrastructuur:

- Digitale wet- en regelgeving, inclusief snelheidslimieten is beschikbaar voor het hele wegennet.
- Er zijn digital twins beschikbaar voor alle wegen, waarop voertuigen geautomatiseerd kunnen rijden, met informatie over de verkeersomgeving en de weg. Waarbij gepersonaliseerd (op voertuigkenmerkenniveau) het rijgedrag van het voertuig wordt aangepast. Zo neemt een voertuig bijvoorbeeld een passende snelheid aan om door een bocht te rijden.

- Op kruispunten hebben steeds minder voertuigen de traditionele VRI nodig doordat de regel informatie ook in-car beschikbaar is.
- Er zijn grote stappen gemaakt in het operationaliseren van connectiviteit (voertuig-voertuig en voertuig-wal), met prioriteit (hoog service level) voor corridors met een centrale/kritieke verkeers- en transportfunctie.

Aanpassing ontwerp en inrichting / reductie complexiteit / afbouw fysieke elementen:

- Naar slimme rotondes en afbouw kruispunten – eerste slimme rotondes in gebruik. RVM netwerk / GOW buiten de kom hebben alleen nog maar ongelijkvloerse kruispunten bij conflicten met niet gemotoriseerd verkeer.
- Op rechtstanden is geen (of veel minder) verlichting meer nodig.
- Op de wegen waar voertuigen met L4-ALKS mogen rijden, is sprake van gescheiden rijbanen en deze zijn niet toegankelijk voor niet gemotoriseerd verkeer (autosnelwegen en geschikte N-wegen), conform de ALKS richtlijn. Belijning en bebording zijn goed leesbaar voor de voertuigsensoren op plekken waar ALKS is toegestaan.
- Ontwerp en inrichting van vrijliggende busbanen is volledig toegerust op automatisch bussen.
- Last mile trajecten naar economisch belangrijke locaties, van OV-knooppunten of hubs naar woongebieden, bedrijventerreinen en campussen met een goede vervoerswaarde, zijn volledig toegerust op automatische voertuigen.
- Ontwerp en inrichting van hub-to-hub transport trajecten zijn volledig toegerust op automatische vrachtwagens. Het betreft hub-to-hub waarbij veel volume pendelbewegingen plaatsvinden in een relatief eenvoudig ODD, ritten buiten de spits. Dat geldt nog niet voor het voor- en natransport van en naar de hubs/terminals met mixed traffic – nog te complex – en op routes met drukke knelpunten waar mogelijk negatieve effecten op doorstroming en bereikbaarheid te verwachten zijn). Ook is er sprake van beveiligde overslaglocaties (truckparkings) bij de oprit tot de corridors.

Een dag in 2040



Alwin is 35 jaar en werkt bij een bedrijf voor slimme verkeersoplossingen. Een van zijn speerpunten is versobering, vereenvoudiging en meer uniformering van wegen. "Slimme voertuigen vragen immers om domme wegen" roept Alwin te pas en te onpas met een soort berustende lach die hij van nature lijkt te hebben. L4 automatisch rijden neemt langzaam een vlucht. Alwin heeft zelf ook een dergelijke auto en vraagt zich af hoe we nu toch tot het veilig automatisch nemen van kruispunten kunnen komen. Zo ook weer toen hij op een regenachtige dinsdagmiddag al lang stond te wachten bij een kruispunt om links af te slaan, tot eindelijk iemand hem er tussen liet. Alwin dacht nog, nou maar goed dat we hier nog niet automatisch rijden, want die dingen volgen toch vooral de regels.

Maar het liet Alwin niet los, het moet simpeler kunnen. Hij bedacht dat dus de linksaf beweging toch echt wel de lastige is. Op een rotonde kun je alleen maar rechts dus heb je dat probleem niet, maar ja, dan zit je weer met capaciteit. Plots kwam hij op de gedachte van een oud idee van de slimme rotonde (SYROPS). Het gaat dan om rotondes met meerdere rijstroken die lokaal telkens aan voertuigen die uit een bepaalde richting komen, aangeven dat ze mogen oprijden. Er staat nog een tweelichter bij voor niet autonome voertuigen en bijvoorbeeld motoren. Zo werkt de slimme rotonde van Alwin als een draaischijf snel langs alle richtingen die beurtelings mogen oprijden. Met de huidige technieken moet dit goed kunnen werken en het is veilig.

Fietsers kunnen in het model dat Alwin inmiddels heeft uitgewerkt telkens van het hiaat dat ontstaat gebruik maken. "Zo combineren we de veiligheid van een rotonde, met de capaciteit van een kruispunt en een complexiteit die past bij een goede gebruikerservaring van zelfrijdend OV, logistiek en personenvervoer" vertelt Alwin. "Daarbij komt dat rotondes als kruispuntvorm bijdragen aan het 'ontrommelen' van de verkeersomgeving. En door de zo goed als voltooide elektrificatie van het voertuigenpark is uitstoot geen probleem meer". Hij vervolgt "Een logische stap na het verdwijnen van tapers, spits- en plusstroken, specials in het wegennet die het rijden voor mens en machine onnodig moeilijk maakten".

Voortgang use cases:

- Eerste toepassingen van robotaxi's in Nederland. In een beperkt tijdslot (avond/nacht). In een specifiek voor die voertuigen ingeregeld gebied. Het betreft gedeelde, elektrische level 4 voertuigen.
- Eerste toepassingen zijn volledig operationeel van: automatische voertuigen die OV schakels verbinden in stedelijke gebied (onderdeel van multimodaal) / last mile personenvervoer van/ naar economisch belangrijke locaties / vraag gestuurd autonoom personenvervoer in dunbevolkte/buiten gebieden.
- Autonoom OV op vrijliggende busbanen: op vrijliggende busbanen buiten en aan de rand van steden (hoofwegennet en tangentele routes), met manuele besturing in de stadscentra (radialen).
- Op een aantal locaties verbinden automatische bussen de belangrijkste hubs. Vanuit deze hubs is aanvullend, vraag gestuurd dan wel (hoog) frequent (kleinschalig) automatisch vervoer een integraal onderdeel van de vervoersoplossing voor dunbevolkte, rurale gebieden en de bereikbaarheid van economische toplocaties.

Uitbouw digitale infrastructuur:

- Geofencing wordt op steeds meer plekken toegepast voor toegangregulering, regulering voor het gebruik van automatische functies en begrenzen van rijnsnelheden.
- Het basis netwerk voor voertuig-wal communicatie is volledig uitgerold.
- Alle nieuwe voertuigen beschikken over V2X communicatie om verkeersgerelateerde informatie te kunnen delen met andere weggebruikers (voor verkeersveiligheid) en verkeersmanagers (voor verkeersinformatie, geleiden en sturen).
- Steeds meer informatie uit de weg- en verkeersomgeving die voertuigen nodig hebben om veilig en comfortabel te functioneren, is in het voertuig beschikbaar. Dat werkt via een combinatie van detectie door in-car sensoren en communicatie (voertuig-wal en voertuig-voertuig). Er zijn procedures ontwikkeld om te voorkomen dat er sprake is van tegenstrijdige, niet-eenduidige of ongeautoriseerde informatie.

Aanpassing ontwerp en inrichting / reductie complexiteit / afbouw fysieke elementen:

- Complexiteit in de infrastructuur is steeds verder afgebouwd. Geen nieuwe fysieke snelheidsremmers worden meer aangelegd.
- Geen parkeerplekken meer voor privé auto's in woonstraten in drukke steden.
- Bewegwijzering langs de weg is steeds minder nodig.
- Wegkantsystemen worden steeds verder afgebouwd.

Smart Mobility (m.b.t. automatisch vervoer) is als vast onderdeel opgenomen in MIRT trajecten.

Beprijzing naar vervoerswijze (shared/individueel) en beschikbaarheid (capaciteit) is geïntroduceerd.

Onderhoud van wegen vindt niet alleen periodiek maar ook vraag gestuurd plaats op basis van een continue stroom van data uit voertuigen.

Een dag in 2035



Reeva is 32 jaar en woont inmiddels alweer 16 jaar in Nederland. Ze legt uit in een media interview wat er de laatste 10 jaar zoal veranderd is binnen het vakgebied van verkeersmanagement. Reeva is landelijk coördinator verkeerscentrales bij RWS.

“De laatste jaren hebben we sterk ingezet op de afbouw van systemen die naast of boven de weg staan. Dergelijke systemen zijn kostbaar en leiden tevens tot horizonvervuiling” vertelt ze. “Ik heb nog net meegemaakt toen ik in Nederland kwam wonen, dat de DRIPS eruit gingen. Er was immers voldoende verkeersinformatie via navigatie beschikbaar en bijna iedereen die dat wil kon daar toen al over beschikken onderweg”.

De journalist verlegt de focus naar de toekomst en vraagt hoe ze denkt over de functie van verkeerscentrales in de toekomst. Reeva vervolgt enthousiast: “We werken nu aan het verder versimpelen van de infrastructuur en assets. We hebben inmiddels veel minder bewegwijzering en de klassieke MTM systemen worden momenteel steeds verder afgebouwd. De laatste portalen ten zuiden van Utrecht en nabij Den Haag zullen binnen enkele jaren buiten dienst worden gesteld. Verwijderen is nog een ander vraagstuk en zal meer bij groot onderhoud moeten gebeuren. Bij Rotterdam blijven ze op de ring nog even staan. Dat maakt de doelgroepstroken duidelijker”. De journalist merkt op dat ze de vraag wat ontwijkt en zegt dat het hem ging over de rol

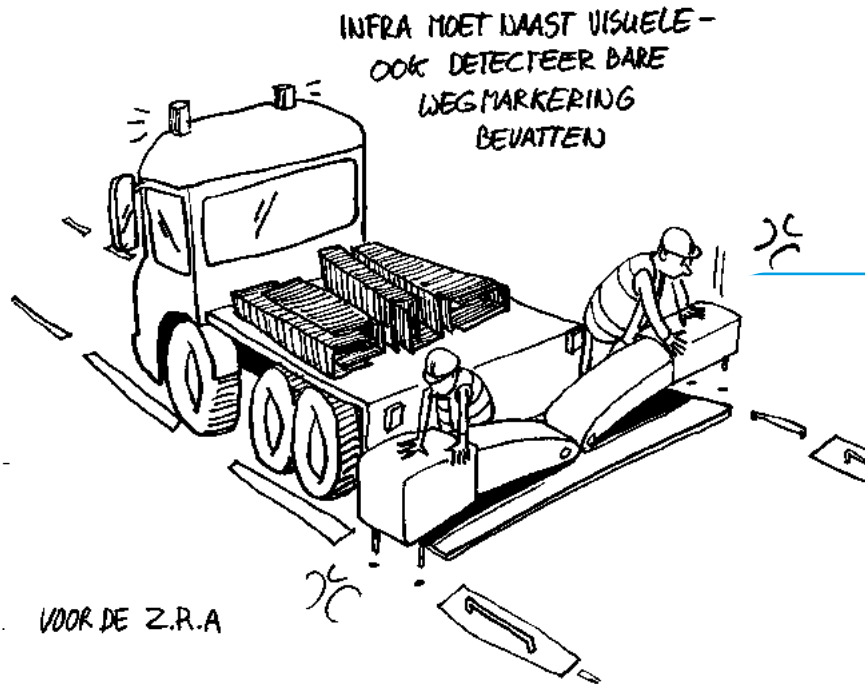
van de centrale. “Oh ja, dat was ook, hihi, nou we gaan stappen maken met de introductie van digitale snelheidszones. Over een tijdje beschikken alle voertuigen over een actuele snelheid en steeds meer voertuigen rijden inmiddels autonoom. In tegenstelling tot mensen luisteren voertuigen wel en nu de data echt goed is en real time kunnen we dit stapsgewijs gaan invoeren. We hebben inmiddels ook goede ervaringen met Artificial Intelligence (AI) en we kunnen steeds meer pro-actief sturen in plaats van reactief vroeger. Ook is de samenwerking met serviceproviders steeds beter geworden”.

Later ging Reeva weer op pad en onderweg naar een van de andere verkeerscentrales, keek ze nog eens naar de oude MTM portalen en dacht nog aan de aansturing ervan toen ze begon bij RWS. Hoewel ze wat laat was door de uitloop van het interview, ging haar auto plots langzamer rijden. Snel informeert ze met haar stem naar het dashboard gericht wat er aan de hand is. “Verderop is langzaam rijdend verkeer” klinkt een vriendelijke stem uit de speakers. Omrijden is geen optie, maar ze dacht wel, zie je nu weet ik veel eerder dan met de portalen dat er vertraging is, en door nu langzamer te rijden, kom ik straks niet stil te staan.



Voortgang use cases:

- Alle voertuigen hebben ISA (maar nog geen begrenzende vorm)
- Eerste Automated Transport corridors zijn operationeel (hub-to-hub op vastgestelde tijdsvensters). Autonom / teleoperated hub tot hub vervoer: autonome vrachtwagens van early-adopters rijden op een aantal voorlopende corridors waarbij de complexiteit beheersbaar is. In deze fase is deze high-tech dienstverlening nog duur en is de besparing van uren beperkt.
- Steeds meer hubs zijn operationeel waar ook first en last mile automated transport wordt aangeboden.
- Steeds minder motorvoertuigen worden toegelaten in de stadscentra.
- Alle nieuwe auto's hebben standaard een L4-ALKS ingebouwd. Overheden reguleren waar deze systemen inzetbaar zijn. In eerste instantie op een selectief aantal autosnelweg-trajecten bepaald door lokale overheden die binnen de ALKS-richtlijnen passen. En een aantal geschikte N-wegen die voldoen aan dezelfde karakteristieken.
- Autonom vervoer op vrijliggende (bus)banen: automatische OV voertuigen rijden op een aantal vrijliggende busbanen onder een typegoedkeuring binnen de Implementing Act ADS. De automatische bussen maken onderdeel uit van het reguliere openbaar vervoer (binnen een concessie).
- Last mile personenvervoer van/naar economisch belangrijke locaties: op meerdere plaatsen rijden automatische vervoersoplossingen van en naar economisch belangrijke locaties onder een typegoedkeuring binnen de Implementing Act ADS (EU-GSR). Op verschillende plekken is autonoom vervoer onderdeel van de concessie. De vervoersoplossing sluiten aan op mobiliteitsbeleid en maken een integraal onderdeel uit van de gebiedsontwikkeling.
- Vraag gestuurd autonoom personenvervoer in dunbevolkte/buiten gebieden: op meerdere plaatsen in Nederland rijden automatisch vervoersoplossingen als aanvullend vervoer op het bestaande OV-netwerk onder een typegoed-



keuring binnen de Implementing Act ADS (EU-GSR). Op verschillende plekken is autonoom vervoer onderdeel van de concessie. De vervoersoplossing sluiten aan op mobiliteitsbeleid en maken een integraal onderdeel uit van de gebiedsontwikkeling.

Uitbouw digitale infrastructuur:

- Locatiebepaling is sterk verbeterd (via combinatie satellieten/GNSS en communicatiebakens).
- iVRI's zijn de standaard geworden.
- Digital twins zijn beschikbaar voor het hoofdwegennet (HWN). Digital twins van wegbeheerders en private partijen bewegen stapsgewijs naar elkaar toe.

Aanpassing ontwerp en inrichting / reductie complexiteit / afbouw fysieke elementen:

- 'Specials' op snelwegen worden niet meer aangelegd en de bestaande worden uitgefaseerd.
- Het functioneren van geautomatiseerde voertuigen in tunnels en bij andere kunstwerken is kritisch onderzocht, faalmechanisme zijn bekend, en de fysieke inrichting en beschikbare digitale infrastructuur van tunnels wordt hierop aangepast.
- Mogelijke civieltechnische implicaties op spoorvorming, door automatische voertuigen die binnen een rijstrook langdurig hetzelfde spoor volgen, worden onderzocht.
- Op GOW buiten de kom worden geen ongelijkvloerse kruispunten met niet gemotoriseerd verkeer aangelegd, en bestaande worden uitgefaseerd.



- Steeds meer wordt ruimtelijke indeling in steden heroverwogen (vervolg SUMP) als onderdeel van de mobiliteitstransitie
- Eerste slimme rotondes zijn in gebruik.
- Planning en inrichting van hubs: er wordt veel ruimte gereserveerd voor hubs (voor parkeren of voor aanbidding van diensten om de hub aantrekkelijk te maken, afhankelijk van hoe deelconcepten zich ontwikkelen).
- De afbouw van verkeersborden en bewegwijzering is definitief in gang gezet. Als eerste worden de niet functionele borden weggehaald.
- Ook de afbouw van DRIPs is definitief in gang gezet in de plannings- en werkprocessen van wegbeheerders.
- Bebording en bewegwijzering langs de weg komt overeen met de informatie die digitaal aangeboden wordt (bevestiging en vertrouwen geven in de digitale informatie).
- Minder objecten langs de weg zorgt ervoor dat er ook minder afschermingsvoorzieningen nodig zijn.

Ondersteunende processen:

- Audits uitgevoerd volgens RISMII betrekken ook veilig functioneren van ADAS/ADS in de beoordeling.
- EU categorisering van wegen voor routekeuze en ODD: de wegencategorisering is geactualiseerd voor geautomatiseerde voertuigen (met daarin opgenomen een specificatie van bijbehorende service levels ODD-ISAD). Wegbeheerders gebruiken deze actief in het opstellen van netwerkvisies.
- Eenduidig en praktisch toelatingskader voor geautomatiseerde voertuigen is ontwikkeld door alle betrokken stakeholders.
- De nadruk tot 2030 ligt op verkeersveiligheid bij de implementatie en uitrol van geautomatiseerde personenauto's in Nederland. Nederland volgt daarmee de internationale Europese richtlijnen, wet- en regelgeving.

Een dag in 2030



Noah is 31 jaar en werkt bij een overslagbedrijf. Zijn werkzaamheden bestaan uit het aanmelden van inkomende goederen en het uitmelden van een vertrekkende zending. Hoewel hier veel automatisch gaat, blijft enige controle op juistheid en staat van de goederen natuurlijk noodzakelijk. Zijn bedrijf werkt inmiddels al ruim een jaar met een pendeldienst met automatische vrachtwagens. De productie- en overslaglocatie liggen dichtbij een op- en afrit van het snelwegtraject waarover het vervoer plaatsvindt. Op de snelweg rijden de trucks volledig automatisch hub-to-hub. Op de korte trajectdelen van de hub naar het industrieterrein worden de trucks nog handmatig bestuurd, want deze delen vallen nog niet onder het ODD van de automatische trucks.

Noah was eerst pendelchauffeur op dit 8 km lange traject, maar zag kans om zich om te laten scholen tot goederenontvanger. Het geeft hem meer rust en betere werktijden. Ok, de zelfrijdende vrachtwagens komen vaak 's nachts, maar als deze eenmaal op het terrein zijn, is er bij groenteconserven geen haast om het snel over te slaan. Toch begint hij vroeg in de ochtend, rond 06.15. Hij kijkt dan welke wagens zijn binnengekomen en waar die kunnen aandokken om gelost te worden. Dat aandokken en lossen hoeft hij niet zelf te doen natuurlijk, maar hij kijkt wel of het de juiste spullen zijn en doet steekproeven of er het juiste etiket op zit. Want daar gaat het wel eens mis. Albert Heijn wil nu eenmaal geen etiketten van Jumbo ontvangen.

Vandaag ontdekt hij al snel dat er een complete zending mist. Op zijn scherm kan hij alle posities zien van het wagenpark en zo komt hij er achter dat een wagen stil staat langs de weg. De servicedienst was al eerder gealarmeerd en waren bijna klaar met het vervangen van de band op de stuuras. Gelukkig verliep alles veilig en had het overige verkeer niet al te veel hinder. Met Rijkswaterstaat is een reactietijd afgesproken bij pech en die is ook vandaag weer prima gehaald. Het brengt wel zijn schema in de war want later komen er wagens met chauffeur die op de docks weer moeten laden. De betreffende wagen met pech laat Noah dan vanavond maar aandokken. Dan maar een half uurtje later thuis. Het blijft immers de wereld van transport.

Uitbouw digitale infrastructuur:

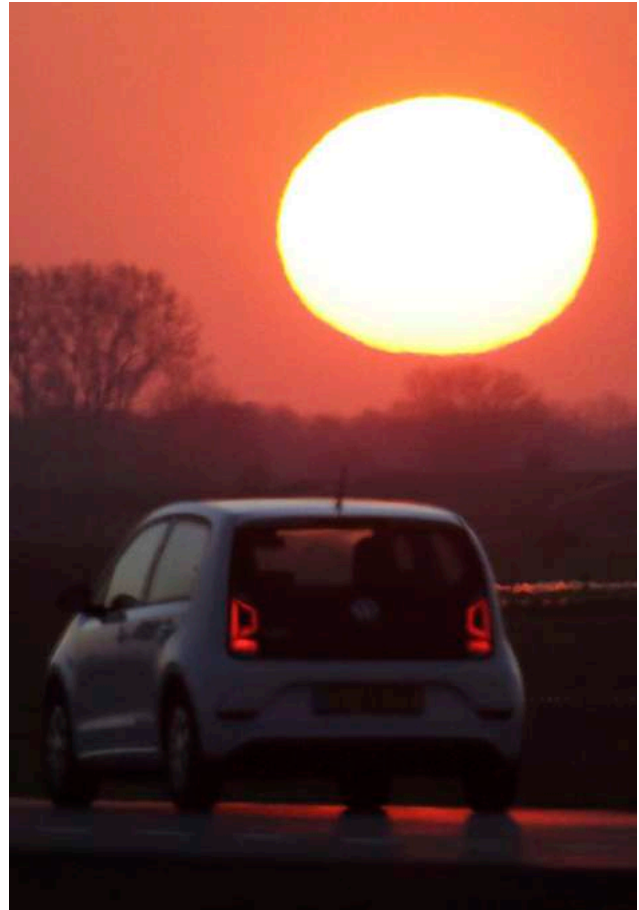
- Wegbeheerders leveren (via de RTTI-verordening) weg en verkeer gerelateerde informatie voor o.a. OEMs en service providers. De 2022/23 ITS directive en de RTTI fungeren als opmaat naar een systeem dat steeds beter voorbereid is voor zelfrijdend.
- Start met uitrol basis netwerk voor voertuig-wal communicatie (bij o.a. kruispunten en VRi's).
- Nadere uitwerking digitaal verkeersmanagement heeft plaatsgevonden.
- Leveranciers en bezorgdiensten krijgen toegang tot speciaal voor hen gereserveerde zones.
- Voor de benodigde connectiviteit werkt voor het hoofdwegennet de komende jaren intensief gewerkt aan de verkeerssystemen (onder andere intelligente verkeersregelinstallaties, camera's, wegkantstations) en het verbeteren van de digitale infrastructuur.

Aanpassing ontwerp en inrichting / reductie complexiteit / afbouw fysieke elementen:

- Bij aanleg, beheer en onderhoud van markering en bebording nemen wegbeheerders het functioneren van slimme voertuigen/ADAS expliciet mee.
- Reductie parkeerplaatsen voor auto's in stadscentra zet door, als onderdeel van de heroverweging van ruimtelijke indeling in steden.
- Op het hoofdwegennet is de uitfasering van DRIPs en niet functionele TDIs van beleid naar de plannings- en werkprocessen van wegbeheerders doorgezet.

Ondersteunende processen:

- In het HWO zijn aspecten m.b.t. het veilig en comfortabel functioneren van ADAS opgenomen.
- Start met het opnemen van Smart Mobility (m.b.t. automatische voertuigen) in MIRT trajecten.
- MaaS als voorbereidend platform voor multimodale ketenreis met 1 betaalsysteem.
- Toepassingskader van L3-ALKS op Nederlandse wegen is ontwikkeld door de gezamenlijke wegbeheerders, in aansluiting op de EU verordening General Safety Regulation (GSR) en Implementing Act ADS.



Een dag in 2025

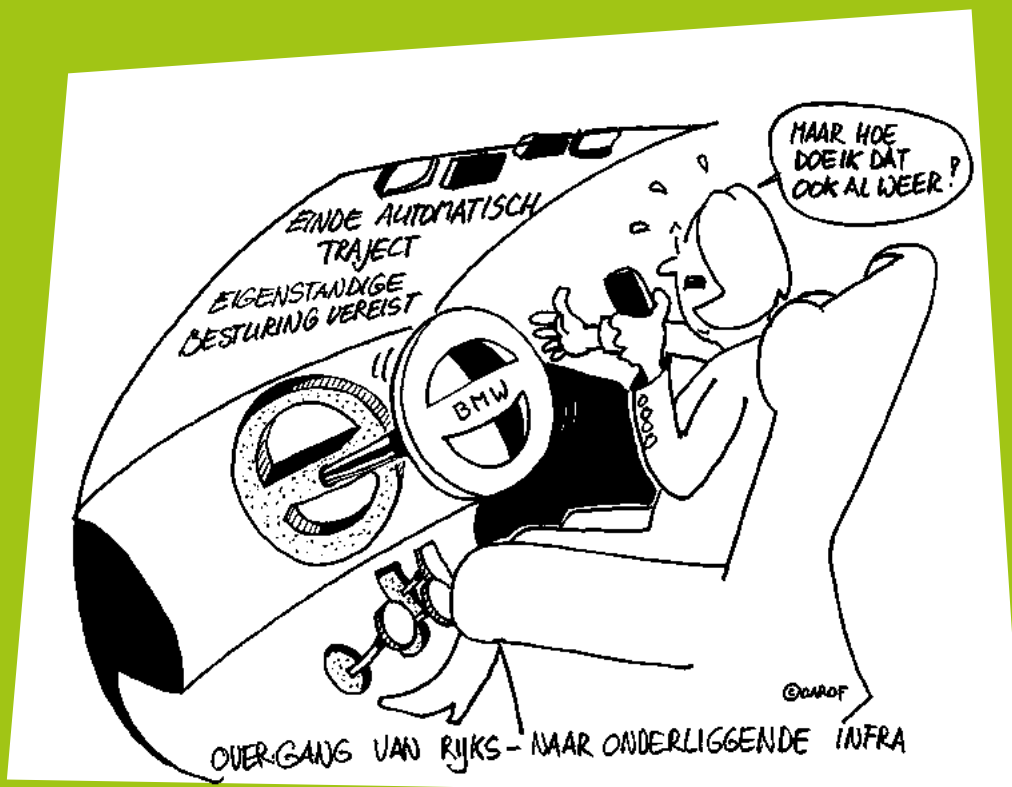
Annika is 25 jaar en werkt sinds kort bij de provincie als verkeerskundige. Haar HBO opleiding verkeerskundige zag er wat anders uit dan die van haar wat oudere collega's. Annika is beter in staat de link te leggen tussen data en verkeerskunde. Ze is in staat om met een verkeerskundige blik naar data en informatie te kijken en met data deskundigheid naar verkeerskundige vraagstukken.

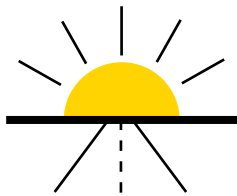
Bij het toetsen van ontwerpen past ze het nieuwe handboek wegontwerp strikt toe. Hierin staan ook aanbevelingen voor wegontwerp en slimme voertuigen en Annika is er scherp op zo veel mogelijk toekomstvast te ontwerpen. De provincie beschikt over een traject van 12 kilometer weg die 2x2 ongelijkvloers is uitgerust. Er liggen aanvragen van autofabrikanten voor het gebruik van ALKS op dit type weg en binnen enkele jaren gaan hier de eerste voertuigen rijden die dit traject met level 4 functionaliteiten mogen gaan gebruiken. Annika is maandagochtend al weer vroeg op kantoor, als ze een mail leest waarin staat dat het traject mogelijk toch afvalt. Tussen het 12 km weg van de provincie en de snelweg zit nog een kruispunt met verkeerslichten. Dat punt valt buiten het ODD van deze toelating, en haar collega wijst erop dat trajecten voor een verantwoorde toepassing van de ALKS functionaliteit langer moeten zijn dan 23 km omdat het aantal overnames door menselijke besturing moet worden beperkt.



In regionale overleggen maakt Annika duidelijk dat het kruispunt toe is aan herziening. Het betreft alleen conflicten tussen motorvoertuigen en bij de volgende reconstructie wil ze dat het kruispunt ongelijkvloers wordt. Aangezien de toch wel hoge kosten hiervan, stuit het voorstel op weerstand. Samen met haar collega's pakt ze nu het idee op om in ieder geval niet afslaand verkeer bij verkeerslichten ook zelfrijdend te kunnen laten zijn en te onderzoeken wat ervoor nodig is om dat voor elkaar te krijgen.

Mede door dit voorval is Annika er wel van overtuigd dat infra eenvoudiger moet en kan, maar dat het belangrijk blijft om modaliteiten zo veel mogelijk te scheiden en deze juist weer samen te brengen daar waar multimodale uitwisseling voor de hand ligt of wenselijk is.





4 Conclusies

Het beeld in 2060

Als stip op de horizon zien we een situatie waarbij technologische mogelijkheden ervoor gezorgd hebben dat het verkeer- en vervoersysteem in 2060 zo is opgezet en georganiseerd dat zij een duidelijke bijdrage levert aan de kwaliteit van leven en de leefomgeving. Geautomatiseerde voertuigen, connectiviteit en digitalisering hebben daarin een belangrijke rol. Tegelijkertijd staat niet de technologie daarin centraal, maar de mens met zijn/haar behoeften en de omgeving. Geautomatiseerd vervoer zal een bijdrage leveren aan maatschappelijke doelen op het gebied van verkeersveiligheid, sociale veiligheid, leefbaarheid, gezondheid, bereikbaarheid en comfort, als integraal onderdeel van een multimodaal verkeer- en vervoersysteem, dat toegankelijk is voor iedereen.

Alle nieuw geregistreerde voertuigen zijn connected, en beschikken over automatisering, maar op verschillende niveaus. Voor deze voertuigen zijn de meeste functies in relatie tot veiligheid en efficiëntie door het voertuig overgenomen van de mens. Er zijn diverse toepassingen van geautomatiseerd vervoer, gericht op personenvervoer, individueel en collectief, en transport/logistiek. Op het hoofdwegennet (RVM netwerk) zijn alle applicaties actief en zijn geautomatiseerde voertuigen de norm/maatgevend (niet geautomatiseerd is onder specifieke condities toegestaan). Ook het onderliggend wegennet ondersteunt geautomatiseerd vervoer, maar de mix van verkeersdeelnemers met variërende vorm van automatisering (van 'handmatig' naar 'volledig geautomatiseerd') is daar maatgevend voor de inrichting van het verkeerssysteem. In woonwijken/leefgebieden zijn wegen primair ingericht vanuit de menselijke weggebruiker. Vanwege complexiteit voor AVs en uit sociaal oogpunt. Parkeerruimte voor privé auto's in woonstraten is niet meer nodig. Een overstap van actieve modaliteit (lopen, fietsen) naar een gemotoriseerde modaliteit is binnen 5-10 minuten bereikbaar.

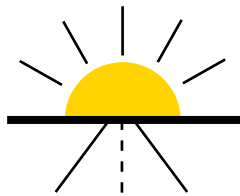
Wat betekent dit voor de fysieke en digitale infrastructuur

Om het beeld van 2060 te kunnen realiseren, zal er in het ontwerp en de inrichting van wegen standaard rekening worden gehouden met geautomatiseerde voertuigen. Er heeft een omslag plaatsgevonden van primair denken vanuit de menselijke bestuurder van een voertuig naar primair denken vanuit de specificaties van het geautomatiseerde voertuig (op trajecten waar AVs maatgevend zijn) of denken vanuit de combinatie AV en menselijke bestuurder (op trajecten waar handmatige besturing is toegestaan).

De basisredenering voor de ontwikkeling van de infrastructuur is als volgt. De fysieke infrastructuur hoeft niet grootschalig aangepast te worden en de digitale infrastructuur is sterk ontwikkeld. Ontwerp en inrichting van de infrastructuur geschiedt compleet via de basisprincipes: reductie van complexiteit en vergroten van uniformiteit en eenduidigheid. Met speciale aandacht voor de conditie van de weg via beheer en onderhoud. In feite is dit een voortzetting en actualisatie van de principes voor Duurzaam Veilig wegontwerp, die al sinds de jaren 90 worden toegepast. De kwalitatieve impuls die het verkeerssysteem hiermee krijgt, gaat samen met een reductie van kosten doordat onnodige elementen niet meer onderhouden hoeven te worden en het gangbare beheer en onderhoud efficiënt en pro-actief kan plaatsvinden door asset informatie die CAV leveren.

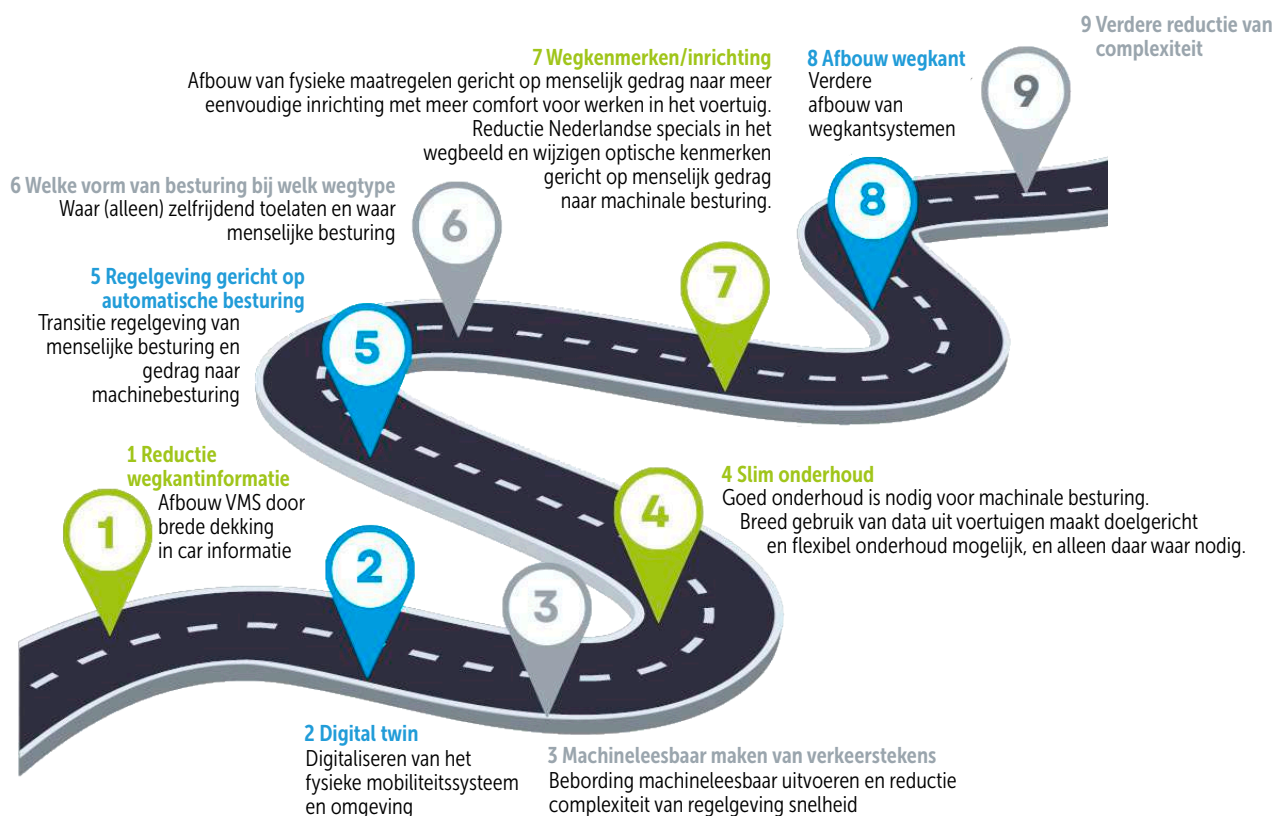
Bereiken van het 2060 beeld betekent een stapsgewijze afbouw van complexiteit en vergroten van uniformiteit. Door uitfasering van fysieke elementen/specials die niet meer functioneel zijn (ontrommeling van de verkeersomgeving), stapsgewijze opbouw van de digitale infrastructuur (met connectiviteit, coöperatieve systemen, lokalisatie en data als sleutelaspecten), en vergroten van standaardisering voor zowel fysieke als digitale elementen. De fysieke en digitale infrastructuur functioneren als één systeem (elkaar ondersteunend en volledig met elkaar in overeenstemming). De fysieke infrastructuur is aangevuld met een volledige digitale weergave (twin) als basis voor ODD management (toegang voor geautomatiseerde voertuigen conform het beschikbare service level vanuit de fysieke en digitale infrastructuur ISAD) verkeersmanagement en asset management (optimale inzet van de beschikbare wegcapaciteit). HD-maps zijn de interface hiervoor in het voertuig, en connectiviteit (V2X) maakt het mogelijk dat de juiste informatie op het juiste moment in het voertuig en voor alle weggebruikers beschikbaar is.

Met de future backcasting aanpak die in deze paper is gehanteerd, hebben we vanuit 2060 terug geredeneerd naar het heden, en geven daarmee een beeld van hoe de stapsgewijze ontwikkeling mogelijk kan gaan. Om de doelen in 2060 zoveel mogelijk te kunnen halen en op weg er naar toe desinvesteringen te voorkomen. De bijbehorende tijdlijn lichten we hieronder toe. Deze tijdlijn is mede geïnspireerd door de expert interviews die we hebben uitgevoerd en sluit ook aan bij globale beelden uit sleutelpublicaties in de literatuur³.



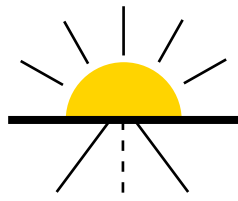
Reductie complexiteit

Stappen naar vereenvoudiging infra



Figuur 8. De stappen vanuit de toekomst naar nu (stap 9 naar stap 1) laten een mogelijk backcastingpad zien voor de afbouw van complexiteit. Dit pad kan vanuit het nu vanaf stap 1 gevolgd worden, maar hoe verder weg de stap, hoe groter de onzekerheid.

3 Met de ERTRAC roadmap (2022), Visie op Automatisch Rijden van RWS (2021), en de Beleidsvisie CAV vanuit de Krachtenbundeling (2023) als goede referenties van voorziene implicaties van AV op het (inter)nationale hoofdwegennet en de uitrol van use cases over een groter deel van het netwerk.

**9****Verdere reductie van complexiteit***Verdere reductie van complexiteit en waar mogelijk ontvlechting van verkeersstromen.*

Om meer veiligheid door automatische besturing en een ander gebruik van ruimte en capaciteit te bewerkstelligen is het nodig om uiteindelijk de complexiteit in de omgeving zo veel mogelijk te reduceren. Slimme voertuigen vragen om een zo eenvoudig mogelijke inrichting (homogeen en eenduidig wegbeeld). Dit om zo veel mogelijk veiligheidswinst te kunnen maken, maar ook om de rit zo comfortabel mogelijk te laten verlopen zodat de tijdsbesteding van reizen anders ingevuld kan worden (van besturen naar werken, eten of ontspannen).

Er is sprake van een duidelijke scheiding van ODD's met de functie automatisch rijden, gemengd verkeer en menselijke besturing. De keuze van waar (alleen nog) automatisch vervoer toe te staan, bepaalt de inrichtingselementen. Op deze trajecten op het hoofdwegennet (RVM) is de uniformiteit vergroot (met EU gestuurde basiskenmerken). Het ontvlechten van conflicterende verkeersstromen en het vereenvoudigen van conflicten is grotendeels voltooid. Lastige bewegingen, als linksaf slaan, wordt zoveel mogelijk voorkomen, evenals conflicten met andere verkeerssoorten (actieve en gemotoriseerde modaliteiten zijn ontvlochten) en specials zijn uitgefaseerd. Op het onderliggend wegennet blijven op veel locaties conflicten tussen gemotoriseerde en actieve modaliteiten aanwezig. Kruispunten worden vooral uitgevoerd als rotonde (argument: reductie van complexiteit en ontromming van de infra). Snelheidsremmers en andere maatregelen zoals asverspringingen etc. worden niet meer toegepast. In woonwijken/leefgebieden zijn wegen primair ingericht vanuit de menselijke weggebruiker. Vanwege complexiteit voor AVs en uit sociaal oogpunt. Parkeerruimte voor privé auto's in woonstraten is niet meer nodig.

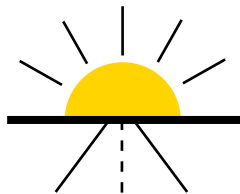
Er zijn geen concessies gedaan aan het veiligheidsniveau van wegen, er is geen sprake van rigoureuze herdimensionering van wegprofielen. Ongevallen blijven in zekere mate voorkomen en ook dan is bijvoorbeeld een obstakelvrije zone waarbinnen het voertuig zichzelf in veiligheid kan stellen nodig. Ook enige redressering door sterke wind zal nodig blijven voor het opvangen van zijdelingse bewegingen door grotere voertuigen. Bij overgangsgebieden moet er voldoende ruimte ingebouwd zijn voor de transitie van geautomatiseerd naar handmatig rijden.

8**Afbouw wegkant***Verdere afbouw van wegkantssystemen*

De situatie is bereikt waarin op de wegen waar alleen automatisch rijden is toegestaan, wegkantssystemen, bewegwijzering en openbare verlichting steeds verder zijn afgebouwd. Er zijn op het hoofdwegennet minder verkeerslichten door conflictreductie op kruispunten en aansluitingen, en door in-car verkeersregeling en signalering, met de ontwikkeling van connectiviteit en coöperatieve systemen als sterke enablers (V2X communicatie van weggebruikers onderling). De ontromming van de verkeersomgeving is grotendeels voltooid. De beeldkwaliteit van de infrastructuur is sterk verbeterd omdat verreweg de meeste complexiteit is verwijderd. Daarbij is het wel van belang om oog te houden voor situaties waarin alsnog 'met de hand' gereden moet worden, zoals bij storingen in de communicatie of uitzonderlijke weersomstandigheden.

7**Wegkenmerken en inrichting***Afbouw van fysieke maatregelen gericht op menselijk gedrag naar meer eenvoudige inrichting met meer comfort voor werken in het voertuig. Reductie van specials in het wegbeeld en optische kenmerken van gericht op menselijk gedrag naar machinebesturing.*

Er is stevig ingezet op reductie/aanpassing van Nederlandse specials in het wegennet, zoals tapers, spitsstroken en specifieke markering op wegen die het functioneren van geautomatiseerde voertuigen belemmeren (zoals op ETW 60), in goede afstemming met ontwikkelingen in de automotive industrie. Er wordt gewerkt vanuit een streven naar een homogeen en eenduidig wegbeeld, dat snelheids- en koerswisselingen zoveel mogelijk voorkomt. In tegenstelling tot menselijke besturing heeft machinale besturing geen baat bij zaken als optisch versmallen en structurele maatregelen als drempels en as verspringingen om een veilige snelheid aan te houden. Sterker nog, snelheid kan vanuit verkeersmanagement dynamisch met snelheidsvensters geregeld worden op basis van actuele omstandigheden (zoals gladheid, zicht, dichtheid van verkeer of maatschappelijke omgevingsfactoren). Het geeft meer comfort zodat de tijdsbesteding van het reizen ook daadwerkelijk anders ingevuld kan worden (zoals werken, eten of ontspannen i.p.v. besturen). Hoge snelheid wordt dan minder relevant, omdat de tijd anders beleefd wordt.

**6****Welke vorm van besturing bij welk wegtype?**

Waar (alleen) zelfrijdend toelaten en waar menselijke besturing toestaan

Een duidelijk beeld van waar welk automatiseringsniveau toe te staan, staat aan de basis van de inrichting van het betreffende traject, in termen van de level of service vanuit de infra en bijbehorende fysieke en digitale elementen. Reductie van complexiteit en de daarmee samenhangende versobering/afbouw van specifieke fysieke elementen, wat wegaanleg en onderhoud minder kostbaar maakt, begint bij scherpe keuzes wat waar toe te staan. De toename van zelfrijdend op het hoofdwegennet heeft geleid tot een transitie in het denken van het waar toestaan van automatische besturing, naar het waar nog toestaan van menselijke besturing en waarom.

3**Machineleesbaar maken van verkeerstekens**

Bebording en markering machineleesbaar uitvoeren en reductie van complexiteit van regelgeving snelheid

Naast beschikbaar maken en interpreteren van data moeten voertuigen (en mensen) ook zelf de omgeving goed kunnen begrijpen. Het is belangrijk dat borden en kenmerken goed machineleesbaar zijn. Bepaalde borden als komborden en bepaalde regels m.b.t. snelheid zijn dat nu niet. Een vereenvoudiging van het snelheidslandschap helpt mee om het aantal verschillende, tijd en situatie afhankelijke snelheidslimieten te reduceren, waarmee digitalisering vereenvoudigd wordt. Goed detecteerbare markering, bij verschillende licht- en weerscondities, en eenduidig te interpreteren markering verbetert het functioneren van (automatische) Lane Keeping systemen.

5**Regelgeving gericht op automatische besturing**

Transitie regelgeving van menselijke besturing en gedrag naar machine besturing

Voor een brede invoering van automatisch rijden zal regelgeving ook faciliterend moeten zijn. Door de regelgeving af te stemmen op de specificaties en het perspectief van geautomatiseerde voertuigen en door regels voor het gebruik van infrastructuur verder te ontwikkelen en verkeers- en toegangsregels digitaal beschikbaar te maken.

2**Digital twin**

Digitaliseren van het fysieke mobiliteitssysteem en omgeving

Om daadwerkelijk stappen te kunnen zetten in automatisch rijden moet de digitale infrastructuur gelijk zijn aan de fysieke. De digitale tweelingbroer van de assets moet daarvoor op orde gebracht worden. Dat geldt niet alleen voor statische maar ook voor dynamische (real time) en tijdelijke aspecten (zie ITS directive/RTTI). Het betreft informatie over wegontwerp en -inrichting, bebording, en ook over ge- en verboden. In deze fase is dat niet alleen belangrijk voor doorontwikkeling van zelfrijdend, maar ook voor menselijke interpretatie en ondersteuning via ADAS.

4**Slim onderhoud**

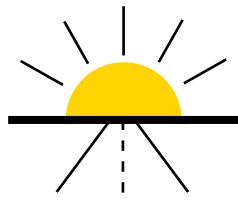
Goed onderhoud is nodig voor machinale besturing, breed gebruik van data uit voertuigen maakt doelgericht en flexibel onderhoud mogelijk, alleen daar waar nodig.

Onderhoudscontracten kunnen meer en meer uitgaan van data uit voertuigen. Onderhoud moet daar plaatsvinden waar voertuigen aangeven dat ze de omgeving niet (meer) kunnen lezen. Er liggen grote kansen in kostenreductie en voorkomen van hinder, als alleen daar wordt ingegrepen waar het nodig is. Daarbij moet gezocht worden naar een betere balans in preventief onderhoud (verwachte levensduur) en reactief (feitelijke levensduur). Data uit voertuigen kan daarnaast ook worden gebruikt voor het monitoren van bijvoorbeeld verkeersveiligheidsbeleid, in termen van de kwaliteit van weginrichting en verkeersgedrag (zoals snelheid, rembeweging etc.).

1**Reductie wegkant informatie**

Afbouw VMS door brede dekking in-car informatie

Doordat eigenlijk iedereen die dat wil goede informatie over de actuele wegomstandigheden kan krijgen in navigatiediensten, kunnen als eerste de Variable Message Signs e.d. worden afgebouwd. De inzet verplaatst zich naar digitale input van belangrijke informatie via in-car systemen, maar ook routekeuze waarvan de beleidsaspecten nu ook in de navigatie kunnen doorwerken (RTTI, VM-IVRA). Er wordt ook gewerkt aan een veilige overdracht van de in-car informatie door meer standaardisatie van teksten en het vermijden van een overkill aan waarschuwingen.



Figuur 9. Veranderende rollen en intervallen: de investering in digitale infra en data zal nog verder toenemen, de kosten van fysieke infra nemen af door versobering en meer reactief onderhoud, gericht op de functie van voertuigen die zelf aangeven of de waarneming nog voldoet.

Impressie investeringslijn

Via de tijdlijn voorzien we dat de weg niet grootschalig aangepast hoeft te worden voor geautomatiseerde voertuigen. We verwachten eerder dat er een lijn ingezet moet worden van vereenvoudiging van fysiek en een uitbreiding van digitaal. Nederlandse specials in het wegbeeld verdwijnen, zeker daar waar we inzetten op geautomatiseerd rijden. Dit heeft een kostenbesparend effect en doet recht aan een uniforme inrichting voor geautomatiseerd rijden op EU niveau. Nieuwe assets die nodig zijn, zoals mogelijk slimme rotondes, worden stapsgewijs geïntroduceerd, waarmee benodigde investeringen gespreid worden in de tijd.

Figuur 9 geeft deze gedachte weer: afbouw van complexiteit van de fysieke infra in combinatie met een investering in digitalisering. Steeds meer digitaal: investeringen in uitbouw van digitale elementen betalen zich terug doordat minder in fysieke infra (assets) geïnvesteerd hoeft te worden. En daarmee komen de kostenbesparende mogelijkheden voor efficiënt onderhoud, meer gedreven door gegevens vanuit connected voertuigen en minder op tijdsinterval (leesbaarheid en functioneren van functies staat centraal als trigger).

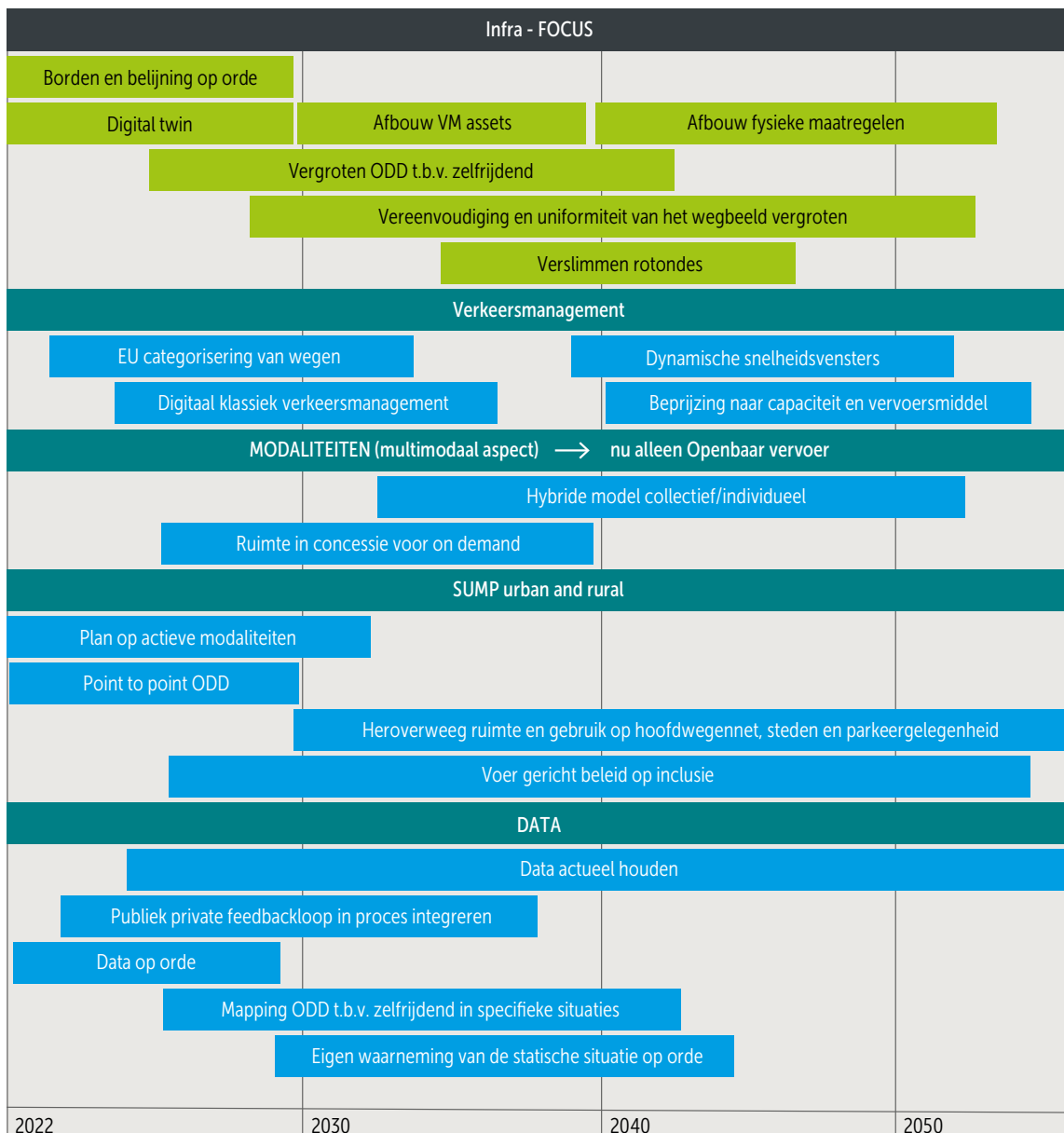
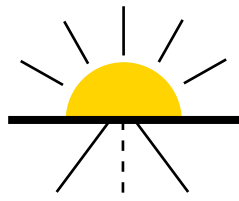
De figuur geeft een globale rode lijn voor een toekomstbestendige ontwikkeling van weginrichting, waarmee het potentieel van geautomatiseerd verkeer en vervoer, en de nog te nemen ontwikkelstappen, worden ondersteund. Het begint met de basis op orde, via de basisprincipes: reductie

complexiteit, vergroten uniformiteit en eenduidigheid. Eerst fysiek voor het faciliteren van het functioneren van het slimme, geautomatiseerde voertuig volgens zijn ODD. En daarnaast ook digitaal, deels parallel, waarbij voorkomen dient te worden dat veel effort gestoken wordt in digitale info/twin voor wegen die fysiek nog veel complexiteiten kennen, waarvoor ADAS/ADS veel gaten in hun ODD tegenkomen, met veel disengagement en overgangssituaties (oncomfortabel en potentieel onveilig). De focus in de digitalisering ligt op trajecten/wegvakken die qua fysieke inrichting al grotendeels op orde zijn. Digitalisering dient niet als lapmiddel gebruikt te worden voor fysieke infrastructuur⁴. Vanuit deze redenering volgt bijvoorbeeld ook het belang om te werken aan vereenvoudiging van het snelheidslandschap, om daarmee de digitalisering van informatie over snelheidslimieten te ondersteunen.

Verdere aandachtspunten vanuit de ontwikkeling van het mobiliteitssysteem (mobiliteitstransitie)

De beschrijving van de tijdlijn en de investeringslijn geven een beeld van ontwikkelstappen voor de komende decennia, vanuit het perspectief van infrastructuur ter ontplooiing van geautomatiseerde voertuigen. Uiteraard is het daarbij ook van belang uit te zoomen en de positie van infrastructuur voor AV ontwikkelingen te zien in het bredere perspectief van het zich ontwikkelende mobiliteitssysteem. Figuur 10 geeft hiervan een impressie.

⁴ Zie PIARC Smart Road Classification document (2023).



Figuur 10. Globaal in tijd (onder) zien we de items m.b.t. infra welke relevant zijn voor de transitie, met het bredere plaatje daaronder.

Uit de figuur volgen diverse aspecten die verdere ontwikkeling vragen, waaronder de volgende:

- Visie op waar automatische voertuigen nuttig en gewenst zijn (en waar niet) in aansluiting op andere modaliteiten, ook als onderdeel van deelconcepten.
- Ontwikkelingen kenmerken zich door zoektocht naar de balans tussen wat er technisch al mogelijk is en waar de belangrijkste opgaven, behoeften en verdienmodellen liggen (balans tussen maatschappelijke value case en commercieel economische businesscase).
- De ontwikkeling van de infrastructuur zal gelijk op moeten lopen met de toelating van geautomatiseerde voertuigen tot het wegennet of specifieke wegtypen/zones daarbinnen.
- Wegencategorisering op basis van ODD-ISAD service levels. Waar nog handmatig rijden toelaten.
- Regels voor het gebruik van infrastructuur verder ontwikkelen (coding and managing the curbes / urban space management) en digitaal beschikbaar maken. Bijvoorbeeld langsparkeren niet toestaan op AV trajecten (in stadscentra).
- Ontwikkelen van een data visie (welke data hebben wegbeheerders en voertuigproducenten nodig, en wat is er beschikbaar) en een wettelijk kader voor de inwinning en uitwisseling van data. Afstemming tussen wegbeheerders, fabrikanten, serviceproviders en kaartenmakers over een gemeenschappelijk beeld van digital twins.

Deel 2

Van richten op de menselijke bestuurder naar richten op het Geautomatiseerde voertuig in Wegontwerp en -Inrichting

Onze mobiliteit en vooral het wegverkeer staat voor een interessante transitie met grote veranderingen. Van een periode waarbij de bestuurder van een auto alle informatie zelf moet vergaren, interpreteren en de auto moest besturen, naar een periode waarbij de auto in bepaalde condities volledig automatisch kan functioneren. Daartussen ligt een periode van minimaal enkele decennia, waarbij de auto met zijn ADAS-toepassingen, steeds meer functies overneemt en de bestuurder steeds meer en beter kan ondersteunen bij het veilig uitvoeren van zijn/haar rijtaak. Er vinden verschuivingen plaats in de traditionele relatie tussen mens, voertuig en weg waarop ons verkeerssysteem de afgelopen decennia is gebouwd.

In Deel 2 van deze whitepaper gaan we hier verder op in, als achtergrondinformatie bij de gepresenteerde beelden in Deel 1. We besteden daarin aandacht aan de positie van geautomatiseerde voertuigen in de bredere mobiliteits-transitie, de veranderende relatie mens-voertuig-weg voor geautomatiseerde verkeer, en ontwikkelingen die er al zijn en de komende jaren worden voorzien op het gebied van automatisch verkeer en vervoer. En dat alles in het perspectief van de ontwikkeling van fysieke en digitale infrastructuur om een verantwoorde introductie van automatische voertuigen in het verkeerssysteem mede mogelijk te maken, te ondersteunen en te versnellen, daar waar de maatschappelijke en economische waarde hoog is.

5.1 Technologische ontwikkelingen als bijdrage aan de mobiliteitstransitie en maatschappelijke doelen

De ontwikkelingen op het gebied van geautomatiseerd verkeer & vervoer zijn een onderdeel van de brede mobiliteitstransitie waarin we ons momenteel bevinden. Binnen deze transitie groeit het besef dat we voor de kwaliteit van onze leefomgeving ook mobiliteit en de ruimte die daarvoor nodig is anders moeten gaan organiseren. Dat speelt in de steden, die steeds drukker worden in een beperkte ruimte, en ook in meer rurale gebieden, waar vervoersarmoede op de loer ligt. Er zijn veranderingen nodig op de korte termijn en zeker voor volgende generaties, willen we klimaatdoelen kunnen halen en de kwaliteit van leven centraal kunnen zetten via een veilige, schone en aangename leefomgeving.

“Niet de technologie staat daarin centraal, maar de mens met zijn/haar behoeften”.

Vanuit die volgorde redenerend kunnen technologische ontwikkelingen goed bijdragen aan de vier dimensies van brede welvaart in relatie tot mobiliteit (zoals in 2022 gepubliceerd door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)): Leefomgeving, Bereikbaarheid, Gezondheid, Veiligheid. Ontwikkelingen van automatische voertuigen zullen daarin gelijk optrekken met duurzaam ruimtegebruik, duurzame energieopwekking en -gebruik, tegengaan van overconsumptie, vergroten van inclusiviteit en bevorderen van actieve modaliteiten (fietsen en lopen), vanuit een door de Mobiliteitstransitie mede in gang gezette systeemverandering. Stapsgewijs worden er initiatieven genomen om de systeemverandering vorm te geven, o.a. vanuit: 1. *Gepersonaliseerd gemotoriseerd verkeer*, 2. *Collectief vervoer (OV)* en 3. *De transportsector*.

Via een stapsgewijze uitrol van use cases die bij deze modaliteiten horen, kan geautomatiseerd verkeer en vervoer bijdragen aan de maatschappelijke opgaven op het gebied van de kwaliteit van onze leefomgeving en duurzame, veilige, efficiënte en inclusieve mobiliteit.

Natuurlijk zijn niet alle ontwikkelingen van de laatste tijd even succesvol, en zijn er nog diverse hobbels te nemen om maatschappelijke ‘value cases’ en ‘private business cases’ goed op elkaar af te stemmen voor grootschalige implementatie van geautomatiseerde voertuigen. Maar de ontwikkelingen staan niet stil, en de vruchten zullen vroeg of laat geplukt worden. Een stapsgewijze en adaptieve aanpak is nodig voor een verantwoorde en veilige introductie van geautomatiseerd verkeer en vervoer. Met voldoende ruimte om te leren en te evalueren, de goede dingen te versnellen en risico’s te beheersen.

“Self driving is zeker geen heilloze weg. Immers, vrijwel alle ongevallen worden veroorzaakt door fouten van mensen.”

“Dus als technologie menselijke fouten kan wegnemen, dan kan dit zeker een belangrijke bijdrage leveren aan het terugdringen van het aantal verkeersdoden. Een zelfrijdend systeem is nooit moe, zit nooit met vier biertjes op achter het stuur, kijkt niet op een telefoon en rijdt niet te snel”.

Tabel 5. Nadere operationalisering van de diverse beleidsdoelen met mogelijke acties op de diverse niveaus

Beleidsterrein	Beleidsdoel			Aandachtspunt
	Strategisch	Tactisch	Operationeel	
Verkeersveiligheid	Minder letsel en verkeersdoden	Goede rijvaardigheid	Ouderen kunnen eerder het rijbewijs inleveren en toch mobiel blijven	Toezicht (CBR) en informatie doelgroep.
		Minder fouten door menselijke besturing	Van rijtaakondersteuning naar automatische functies (ADS)	Mensen voorkomen ook fouten.
		Veilige snelheid bij alle omstandigheden	Dynamisch snelheidsvenster	Alleen waar voldoende autonomie is en toegestaan is.
		Voorkomen afleiding primaire verkeerstaak	Voorkomen zoekgedrag Vermoeidheid speelt geen rol	Sluitend routesysteem ODD voor ADS moet groot genoeg zijn
		Houden aan regels	Hoger opvolggedrag regelgeving door automatische voertuigen	Geen directe communicatie tussen weggebruikers onderling
		Invloed verdovende middelen en medicijngebruik	Minder invloed drank of drugsgebruik	Regelgeving
Beter klimaat en leefomgeving	Betere luchtkwaliteit	Reductie uitstoot door betere rijcapaciteit	Goede V2X communicatie	Interactie met langzaam verkeer kan verstorend werken
	Betere leefomgeving	Maatschappelijk gewenste routing	Verhogen opvolggedrag routing	Actueel houden van gewenste routing, scherpe keuzes nodig
Doorstroming/wegcapaciteit	Beter benutten huidige capaciteit	Capaciteit is beter planbaar	Reserveren weg capaciteit i.c.m. beprijzing en reserveren parkeren	Back-up nodig om vastlopen te voorkomen
		Meer transport in daluren afwikkelen	Meer transport en logistiek in de nacht of tijden dat er wegcapaciteit is	Niet voor bederfelijk goed
		Minder sturen op congestie	Congestie is minder problematisch door andere tijdsbesteding bestuurder	Werken in voertuigen moet normaal worden als onderdeel van de werkdag.
Ruimte	Reduceren parkeervraag	Parkeren hoeft niet dicht bij de bestemming van de gebruiker	Valet parking bij evenementen of toerisme	Inrichten terreinen die de vraag op een aanvaardbare plek kunnen opvangen, of voertuigen gaan andere ritten doen. Verdelen aankomst en vertrekpatroon.
		Minder voertuig bezit	Delen is bij AV door de aanschafkosten meer voor de hand liggend vanuit de gebruiker	Individueel en collectief meer naar elkaar toe groeien
		Ontwikkeling nevenfuncties bij hubs	Minder bezit is lagere parkeervraag bij hubs	Eerst plannen op meer parkeercapaciteit bij hubs, later minder (herontwikkelen ruimte), verstedelijking voorkomen en borgen parkeercapaciteit in absolute daluren.
Inclusie	Vervoersarmoede voorkomen	Senioren	Ouderen kunnen langer mobiel blijven	Meer vraag
		Jongeren	Ook voor mensen zonder rijbewijs	Meer vraag
		Minder validen	Ook voor mensen met een beperking	Meer vraag, hulp kan nodig blijven
	Sociale veiligheid	Vrouwen	Keuze voor individueel reizen in bepaald gebied of deel van de dag.	Borgen sociale veiligheid in shared ritten

Tabel 5. Nadere operationalisering van de diverse beleidsdoelen met mogelijke acties op de diverse niveaus (vervolg)

Beleidsterrein	Beleidsdoel			Aandachtspunt
	Strategisch	Tactisch	Operationeel	
Maatschappelijke kosten baten	Borgen en uitbreiden dienstregeling OV	Voldoende personeel	Minder chauffeurs nodig in OV door automatisering voertuigen	Te beginnen op afgesloten terrein, vervolgens op eigen infra en uiteindelijk overal waar wenselijk
	Verminderen inflatie	Reductie kosten vervoer en transportketen	Minder chauffeurs nodig bij logistiek door automatisering	Zorg dat transport ook point to point autonoom kan en dat het niet stopt bij de afrit of begint bij de oprit
	Potentieel bedrijfsleven Nederland	Technische voorsprong	Meer (andere) banen door automatische voertuigen	Kan in tijden van recessie weer snel actueel worden.
	Balans werk/ privé	Meer vrijetijd	Reistijd kan efficiënter gebruikt worden	Werken in voertuigen moet normaal worden als onderdeel van de werkdag.
Beschikbaarheid mobiliteit	Uitbreiden collectief vervoer	Regio en ruraal gebied	Vult de gaten van het OV in ruraal gebied	Sociale veiligheid
		Uitbreiden dienstregeling (frequentie en tijden)	Vult de gaten van het OV als aanvulling op dienstregelingstijden	Sociale veiligheid
Betaalbaarheid mobiliteit	Sociaal vervoersstelsel	Toegankelijk en beschikbaar voor iedereen	Geen speeltje voor de rijken	Zorg voor een systeem dat betaalbaar is voor iedereen
Sociale impact	Sociale samenleving	Sociaal weggedrag	Geen robotjes in de woonstraat	Meer robotisering
Militaire impact	Minder inzet van mensenlevens in conflictgebieden			Voertuigen moeten wel overal kunnen rijden. Rol van drones kan daar groter zijn dan van voertuigen.

5.2 De veranderende relatie mens-voertuig-weg

Zowel verkeerskundig, planmatig als in regelgeving zijn we gewend ons te richten op de mens als bestuurder van een voertuig. We zien nu in 2023 de eerste tekenen ontstaan dat dit stap voor stap wezenlijk anders gaat worden. Tot hoe ver het zal gaan is nu nog niet te zeggen, maar een rol voor de menselijke bestuurder zal er nog een lange tijd blijven. Denk aan de hobbyrijder, de motorrijder, bouwbusjes, machines noem maar op. Neemt niet weg dat we anders naar infra moeten gaan kijken, daar waar het voertuig het overneemt van de mens.

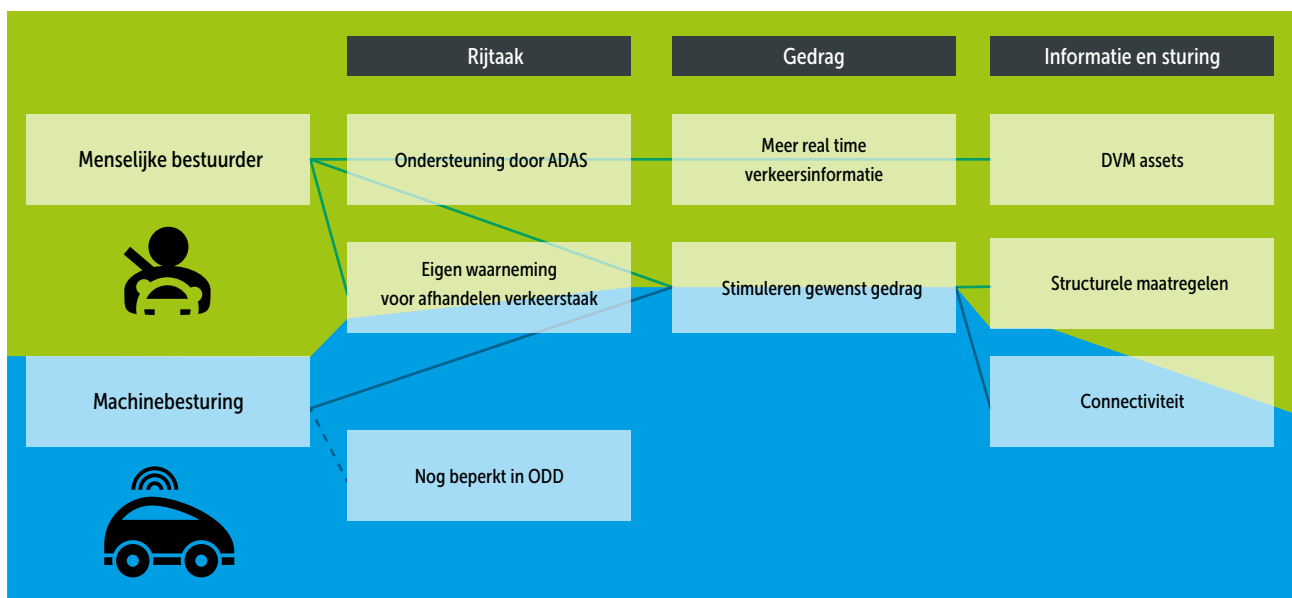
Als we die gedachten even in een ander perspectief zetten, merken we al snel dat digitalisering een belangrijke factor is naar zelfrijdend. Systemen als ISA werken deels met data, maar als we verder naar de toekomst kijken, lijkt zoiets als ISA de opmaat naar het digitaal opleggen van een variabele snelheid, afhankelijk van de omstandigheden als dichtheid van verkeer en wegtoestand. (A)LKS in combinatie met ACC vormt de grondslag voor level 4 automatisch rijden en zal zich vast verder doorontwikkelen in de toekomst. Routekeuze, die we nu onder de RTTI verordening meer beleidsmatig gaan verwerken in de navigatie, zal uiteindelijk leiden

tot routekeuze voor een autonoom voertuig, waarbij opvolggedrag snel groter wordt.

Het gewenste gedrag van een voertuig komt door automatisch rijden dus steeds meer binnen bereik. DVM assets en infrastructurele maatregelen worden daardoor steeds minder relevant. Ook al zullen er ook nog steeds handmatig bestuurd voertuigen zijn in een lange periode die nog voor ons ligt. Als de dichtheid van zelfrijdend voldoende groot is, wordt sneller rijden dan toegestaan lastig, en zal met verdere maatregelen rondom toegang van bepaalde voertuigen in bepaalde gebieden ook de routekeuze steeds meer naar (maatschappelijk) gewenste toename groeien.

De rijtaak zal van ondersteuning van de bestuurder door ADAS op termijn naar automatische uitvoering door het voertuig verschuiven, het gewenste gedrag komt meer en meer binnen handbereik, fysieke zaken kunnen langzaam aan worden afgebouwd (afhankelijk van het type licht dat dichterbij of verder weg). Het sleutelwoord is connectiviteit. Alle informatie komt bij het voertuig in de mix van eigen waarneming, data en sturing vanuit de centrale.

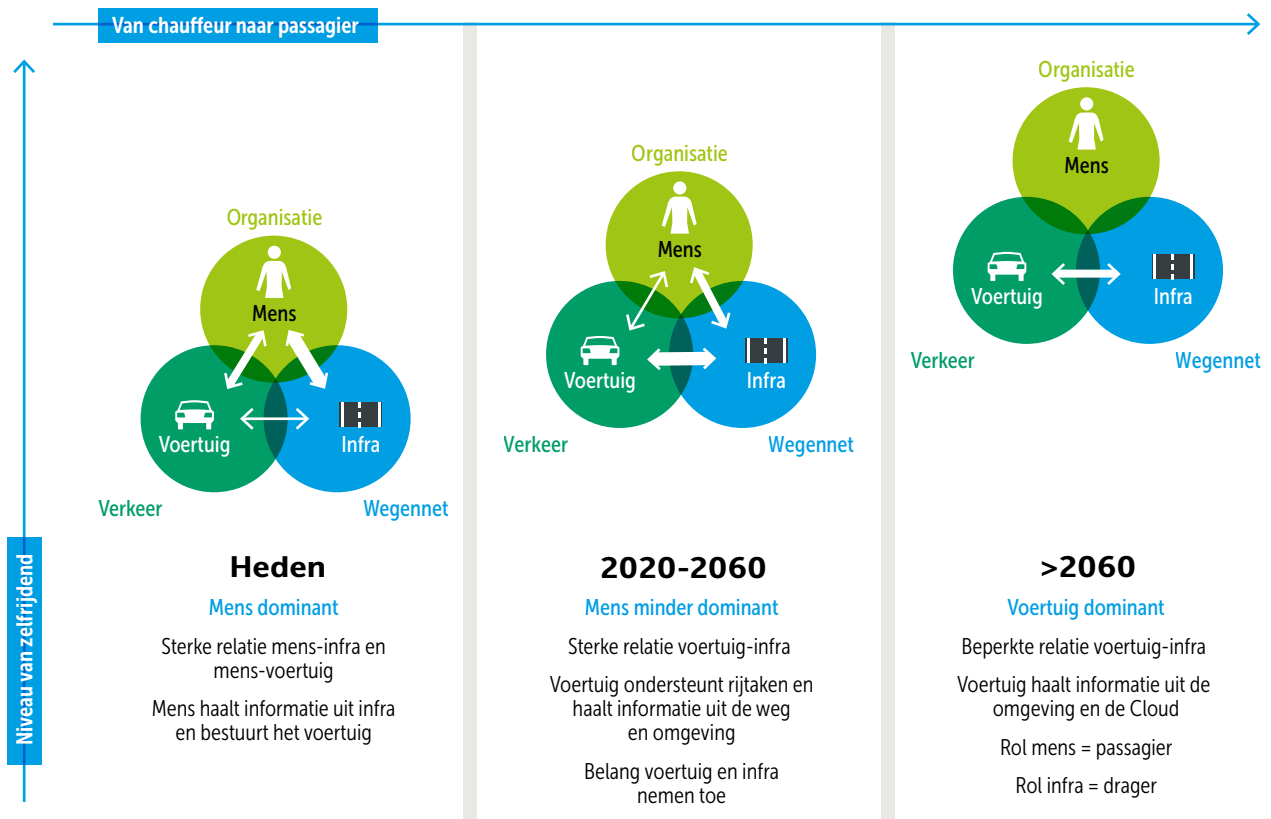
Deze transitie betekent dat er bij de ontwikkeling van het wegennet en de inrichting van wegen steeds meer gekeken moet worden naar de interactie tussen slimme voertuigen en de verkeersomgeving. Naast informatie over medeweggebruikers gaat het hier over informatie over de fysieke infrastructuur (wegontwerp en -inrichting, bebording) en informatie uit de digitale infrastructuur (ge- en verboden, verkeers- en routeinformatie). Waarbij de digitale infrastructuur steeds meer als digital twin van de fysieke infrastructuur zal gaan functioneren, met HD maps als interface richting het voertuig.



Figuur 11. Menselijke besturing versus automatische besturing en de voorzieningen.

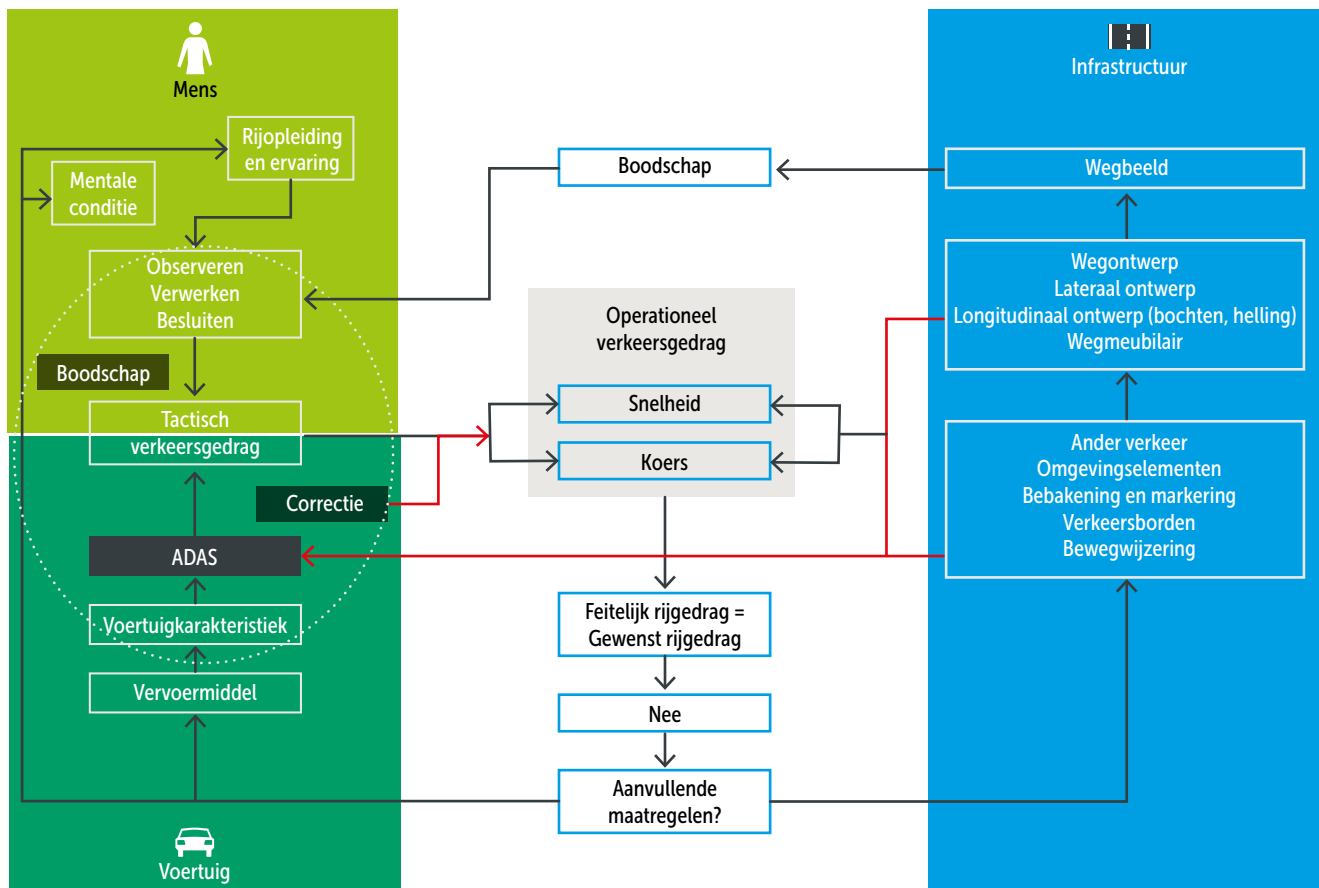
De infra is complex geworden om het menselijk gedrag te ondersteunen en ongewenst gedrag te reduceren. Daarnaast zien we dat waarschuwen van de bestuurder complexer is dan het waarschuwen van een voertuig (juiste timing en uitleg is vaak nodig). Aangezien automatische besturing een stuurbaar gedrag kent (opvolging van duidelijke commando's) is er minder nodig voor slimme voertuigen. Algemeen kan gezegd worden dat wat voor de mens lastig is waar te nemen of te begrijpen, is dat ook voor voertuigen. Vereenvoudigen, uniformeren, herkenbaarheid etc. komen zowel menselijke besturing ten goede als machinale besturing. Zelfs al mocht autonoom rijden er nooit komen, zijn dergelijke investeringen in uniformiteit en duidelijkheid nog steeds te rechtvaardigen, en kunnen als no-regret maatregel worden aangemerkt.

Veranderende relatie mens-voertuig-weg



Figuur 12. Transitie van mens naar machine m.b.t. het besturen van voertuigen (bron:RHDHV).

Overgangperiode van de situatie waarin de bestuurder van een auto alle informatie zelf moet vergaren, interpreteren en de auto moet besturen, naar een periode waarbij de auto misschien wel volledig autonoom kan functioneren. De verandering in de traditionele relatie mens, voertuig, weg (van het meer richten op de bestuurder naar meer richten op het voertuig) gaat geleidelijk. Er is sprake van een ingroei van technologie in het voertuigenpark, waarbij er lang sprake zal zijn van een hybride mix van voertuigen met verschillende niveaus van rijtaak automatisering. NB: meer richten op het voertuig i.p.v. de bestuurder neemt niet weg dat de mens nog steeds centraal staat. Deze verandering moet dus bijdragen aan de hogere maatschappelijke doelen waar de mens van profiteert (People in balans met Planet) en die de mens accepteert. Ook in de 3e P (Profit) moet zijn voorzien om de ontwikkelingen op gang te krijgen en te houden, waarbij er een goede publiek-private balans moet zijn tussen de maatschappelijke value cases en economische business cases.



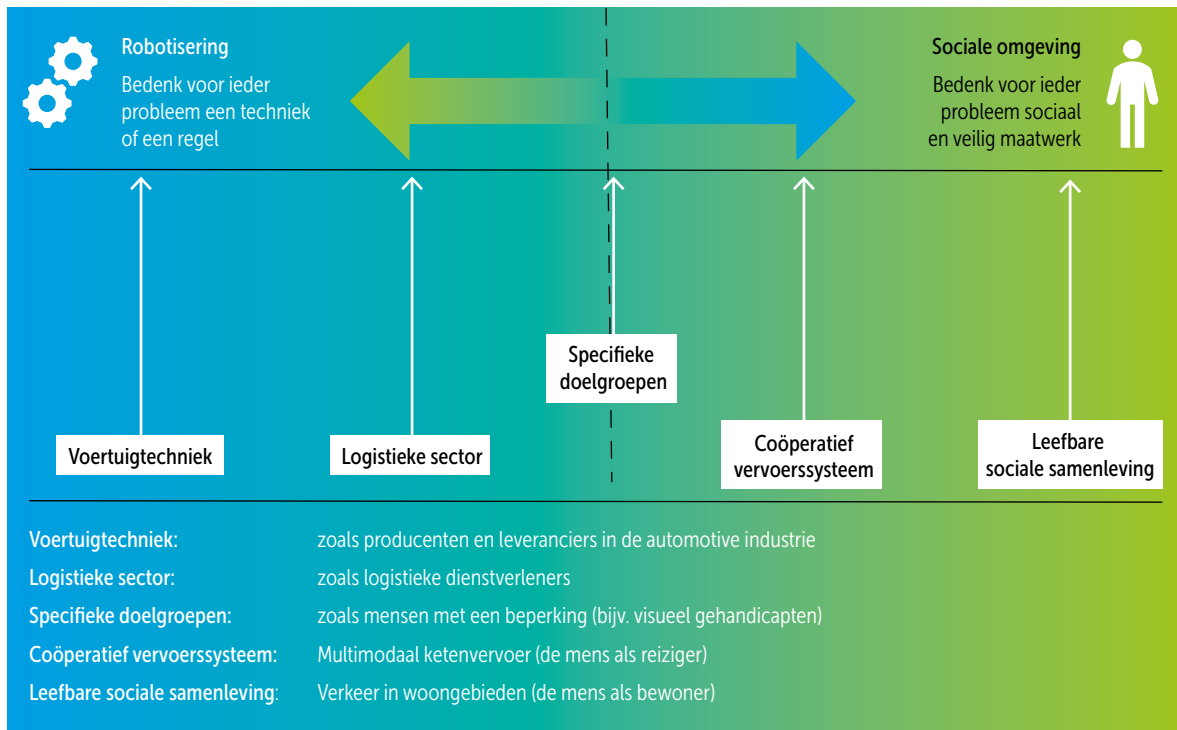
Figuur 13. Informatie stroom van omgeving naar voertuig en bestuurder, en van voertuig naar bestuurder (bron:RHDHV).

Is de informatie beschikbaar die het voertuig nodig heeft om veilig en comfortabel te functioneren en is het ook beschikbaar in het voertuig. Kunnen sensoren het waarnemen, functioneert de benodigde communicatie, is er geen sprake van tegenstrijdige of niet-eenduidige, dubbelzinnige of ongeautoriseerde informatie.

De afbeelding laat zien hoe de ADAS-toepassingen direct en indirect de operationele rijtaak (snelheid en koers) kunnen beïnvloeden en door een juiste interactie met de infrastructuur en de bestuurder, een grote bijdrage kunnen leveren aan de verkeersveiligheid. Maar als de (ook digitale) informatie uit de infrastructuur of de omgeving, door de ADAS-toepassing niet goed wordt of kan worden verwerkt of verkeerd wordt gebruikt, kunnen deze toepassingen ook tot onveilige situaties leiden. Voor voertuigen met een hogere graad van automatisering (ADS) geldt dit nog sterker.

Tabel 6. Menselijk gedrag versus machine en AI

Bestuurder	Voertuig
Snelheidsremmende maatregelen	Digitaal snelheidsvenster
Statisch snelheidsregime	Digitaal snelheidsvenster
Veilige kruispunten en rotondes	Digitaal kruispunt of rotonde
Route keuze beïnvloeden	Route keuze opleggen
Spitsmijden	Beprijzing of agenda gedreven mobiliteit (slimmer reizen of niet reizen)
Sociaal rijgedrag	Automatisch rijgedrag (tenzij AI....)
Defensief rijgedrag	Automatisch rijgedrag (tenzij AI....)
Interpretatie regels RVV	Automatisch rijgedrag (tenzij AI....)



Figuur 14. Bepaalde aspecten in het ecosysteem neigen naar sterke robotisering (bedrijfsleven).

Doelgroepen met een beperking hebben behoefte aan de menselijke kant van de samenleving maar zien ook de potentie van autonomie en mobiel zijn maar er in de omgeving ook duidelijk behoefte aan sociaal weggedrag en communicatie tussen verkeersdeelnemers onderling. Autonoom rijden en de sociale aspecten van verkeersdeelnemers moeten elkaar nog vinden.

5.3 Verantwoorde introductie automatisch verkeer en vervoer

Voor een verantwoorde introductie van ADAS en verdergaande vormen van geautomatiseerde voertuigen in het mobiliteitssysteem is goed samenspel nodig tussen mens, voertuig en infrastructuur:

- Belangrijke sleutelfactoren op het *niveau van de mens* zitten op het niveau van een goede balans tussen de maatschappelijke value cases en economische business cases. Direct voorafgegaan door goed aansluiten op menselijke behoeften, draagvlak en acceptatie bij gebruikers van de leefomgeving (als reiziger of bewoner).

- Sleutelfactoren op het *niveau van het voertuig* zijn nieuw te ontwikkelen testen en toelatingsprocedures. En in samenhang daarmee spelen ook de ontwikkelingen op het gebied van de rijopleiding en -bevoegdheid. Vanuit het mobiliteitssysteem in de breedte gezien, zien we vooral kansen voor geautomatiseerde voertuigen als integraal onderdeel van een multimodaal verkeer- en vervoerssysteem. Vanuit een visie op waar automatische voertuigen nuttig, gewenst en toegestaan zijn (en waar niet) in aansluiting op andere modaliteiten.
- Sleutelfactoren op het *niveau van de infrastructuur* hebben betrekking op de kwaliteit van de fysieke en digitale infrastructuur. Om veilig en comfortabel te functioneren hebben geautomatiseerde voertuigen bepaalde kwaliteitsniveaus nodig m.b.t. weginrichting en -ontwerp en m.b.t. de digitale ondersteuning die beschikbaar is (betrouwbare gegevens, communicatie- en plaatsbepalingstechnologie). De ontwikkeling van de infrastructuur zal gelijk op moeten lopen met de toelating van geautomatiseerde voertuigen tot het wegennet of specifieke wegtypen/zones daarbinnen⁵.

⁵ Als voertuigen toegelaten worden tot het Nederlandse wegennet moet bij de goedkeuring duidelijk zijn waar ze wel/niet automatisch kunnen rijden. Dit punt speelt momenteel bij ALKS.

Een belangrijk vertrekpunt voor verantwoorde introductie van geautomatiseerde voertuigen is dat de technologie ten dienste blijft staan aan de mens (behoefte en acceptatie). Daarnaast is het van belang dat op een integrale manier naar de systeemverandering gekeken wordt. Een integrale blik en visie helpen om de juiste investeringen te doen, tijdig te kunnen herkennen wanneer zaken bijgestuurd moeten worden. Visie en een open blik helpen ook om de verschillende partijen die hierin een rol hebben op hun sterkste punten te kunnen inzetten. Voor overheden/wegbeheerders is dit best spannend, want de ontwikkelingen in digitalisering en technologie gaan snel (met een korte life cycle) terwijl de infrastructuur assets een veel langere life cycle hebben. Reden temeer om ontwikkelpaden te verkennen naar een toekomstvaste ontwikkeling van het wegennet en weginrichting. Om daarmee te zorgen voor een zo helder mogelijk perspectief, aantrekkelijke stippen op de horizon om naar toe te werken, om urgente maatschappelijke doelen te realiseren, via een verantwoorde introductie van geautomatiseerde voertuigen, op een zo doelmatig mogelijke manier.

5.4 Huidige stand van zaken: toename ADAS en geleidelijke introductie ADS

Om een beter beeld te krijgen van mogelijke ontwikkelpaden van voertuig automatisering naar de toekomst, beschrijft deze paragraaf de volgende punten:

- De huidige situatie rondom geautomatiseerde voertuigen.
- Ontwikkelingen die worden voorzien.
- Dilemma's rondom de verdere introductie van geautomatiseerde voertuigen.

De huidige situatie

Nederland, in internationaal/EU perspectief, en waar we vandaan komen (paden uit het verleden).

- *Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)*: De kortere termijn relevantie van geautomatiseerde voertuigen zit vooral in de meerwaarde van ADAS. Voor de komende jaren zal er een gestage toename zijn van ADAS in de voertuigvloot. Via de EU verordening GSR (General Safety Regulation) moeten voertuigen vanaf 2022/2024 verplicht worden uitgerust met een aantal ADAS (o.a. ISA, Lane Keeping en AEBS). Om het veilig en juist gebruik van ADAS te bevorderen is in Nederland de ADAS Alliantie opgericht (sinds 2019). De ingroei van ADAS vindt ook plaats bij vrachtwagens (o.a. noodremstelsysteem, actieve Lane Keeping, ACC, en de dode hoek assistent). Om de meerwaarde van ADAS te verzilveren, is het van belang dat ADAS (in steeds meer situaties) goed functioneren en aansluiten op de behoeften van de eindgebruikers.

- *Introductie verdergaande automatisering (level 3 – ALKS)*: De geleidelijke introductie van systemen met verdergaande automatisering is in gang gezet op grond van de onlangs herziene Europese General Safety Regulation (GSR) en Implementing Act. Over enige tijd is het mogelijk om voor automatische voertuigen Europese typegoedkeuringen aan te vragen, maar er blijft ruimte voor de lidstaten om voorwaarden te stellen aan de plekken waar dergelijke voertuigen mogen rijden. Aanvragen voor toelating van voertuigen met ALKS (level 3) worden op korte termijn verwacht. Momenteel bereiden het Ministerie en RDW adviezen voor m.b.t. de toelating van ALKS als onderdeel van de implementatie van de Europese regels in de Nederlandse regelgeving. ALKS is nu alleen nog bedoeld voor autosnelwegen. Afstemming tussen overheden en wegbeheerders vindt plaats binnen de Krachtenbundeling Smart Mobility (werkgroep CAV) en de recent geïnstalleerde Nationale Taskforce ADS (op initiatief van het Ministerie van IenW, RWS en de RDW).

- *Platooning*: De praktijkimplementatie van platooning (vrachtwagens) staat momenteel stil, en er is onduidelijkheid over het vervolg. De ontwikkelstappen van de laatste jaren worden wel gezien als belangrijke voorloper van automatisering in de transportsector. De inspanningen die nodig zijn om platooning te organiseren, lijken momenteel de belangrijkste belemmering voor een mogelijke doorstart. Voor de business case logistiek zit het voordeel vooral in het overbodig zijn van een chauffeur in een automatisch rijdend voertuig. Het aanvullende voordeel van platooning, minder brandstofverbruik, wordt een stuk lager ingeschat.

- *Automatisch openbaar vervoer*: Er is een ontwikkelagenda geautomatiseerd openbaar vervoer opgesteld vanuit de Krachtenbundeling Smart Mobility. Doel hiervan is om, vanuit het perspectief van samenwerkende overheden, kennisinstellingen en openbaarvervoerbedrijven, invulling te geven aan de visie dat geautomatiseerd personenvervoer in 2040 onderdeel is van een vraaggestuurd en fijnmazig (collectief) vervoerssysteem. Aan de basis staat de Roadmap zelfrijdende shuttle 2030, waarin first en last mile vervoer van passagiers als een kansrijke toepassing wordt gezien, met meerdere potentiële implementatiegebieden verspreid over het land (Noord-Nederland, Zuid-Holland en Noord-Brabant).

5.5 Welke ontwikkelingen en dilemma's komen er op ons af?

De volgende ontwikkelingsporen voor geautomatiseerde voertuigen (AV) tekenen zich af:

1 OEMs zetten in op doorontwikkeling van ADAS (level 2), en minder op het in de markt zetten van een volledig automatisch voertuig (level 4)

In feite vallen de OEMs hierbij terug op de ontwikkellijn die ze al vanaf de jaren negentig van de vorige eeuw hebben ingezet, sinds de eerste vormen van bijv. ACC op de markt kwamen. De hype van het snel een volledig zelfrijdend voertuig op de markt zetten, is daarmee wel enigszins getemperd. Er zijn (in ieder geval) de volgende achterliggende redenen te noemen voor deze koersbijstelling:

- Breder ontwikkelingen in de autoindustrie: de verkoop van nieuwe voertuigen en het verdienmodel staan onder druk. Daarbij investeren fabrikanten veel in de elektrificatie van de voertuigvloot. Ook kijken veel autofabrikanten naar het aanbieden van mobiliteit als nieuwe bron van inkomsten. De elektrische deelauto komt daarmee in beeld, en het idee om van de deelauto een zelfrijdend vervoersmiddel te maken, is daaraan gekoppeld. Mede daardoor zijn er door de verschillende fabrikanten de afgelopen jaren tientallen miljarden euro's geïnvesteerd in de technologie voor automatisch rijden. De laatste jaren blijkt echter de techniek meer tijd nodig te hebben om volwassen te worden dan gedacht, en ook de vraag naar de deelauto is nog beperkt.
- Tijdens pilots met zelfrijdende voertuigen is het bewustzijn gegroeid dat de mens in veel situaties nog lang nodig is als back-up als het systeem faalt. Vanuit een eerdere technology push wordt er steeds meer rekening gehouden met de eindgebruiker. En vanuit deze 'mens centraal' gedachte komt de nadruk meer te liggen op zodanig ontwerpen van het systeem dat het de menselijke bestuurder zo goed mogelijk ondersteunt en een dienst levert waar de mens behoefte aan heeft.

"Het ontwikkelpad van steeds verdergaande ondersteuning in de rijtaak naar voertuigen die steeds meer rijtaken automatisch kunnen uitvoeren, in plaats van een volledig automatisch voertuig 'ineens' in het verkeerssysteem te droppen".

- OEMs zullen niet ontwikkelen op basis mogelijkheden van een of twee landen maar op "de grootste gemene deler". Nederland kan wel agenda zettend zijn door (eerder) meer functionaliteit te bieden (bv vanuit de digitale road infrastructuur), mits er wel zicht is op dat dat de norm gaat worden.
- De verwachting is dat auto's als eerste verdergaand geautomatiseerd zullen rijden op de snelweg en in de file (gepersonaliseerd gemotoriseerd vervoer). Menselijke bestuurders worden graag ondersteund op lange, monotone stukken snelweg, en hebben een hekel aan rijden in de file. Dat is anders in een stedelijke omgeving, met name in drukke stadcentra. Er is te weinig behoefte bij gebruikers om dit grootschalig voor elkaar te krijgen. Op smalle wegen met veel interactie met voetgangers en fietsers die flexibel omgaan met de verkeersregels, kunnen automatische voertuigen zich niet vlot en comfortabel voortbewegen en er zijn ook veel veiligheidsissues. Er ontbreekt een goed businessmodel voor de enorme investeringen die hiervoor nodig zijn.
- Specifieke toepassingen voor automatische voertuigen in verblijfsgebieden zijn mogelijk wel kansrijk. Bijvoorbeeld automatisch zoeken naar een parkeerplek op een parkeerterrein. Of het automatisch af- een aanrijden van een parkeerterrein buiten de woonwijk naar de voordeur (zie initiatief Buurautonoom). *Een derde voorbeeld is een zelfrijdend deelvoertuig dat mensen in een verblijfsgebied (stadscentrum, woonwijk of bedrijven-terrein) oppikt en over een afstand van zo'n 0,5 – 2 km naar een stadshub vervoert.*

2 Ontwikkelingen in de technologie van automatisch rijden, trekken ook de aandacht van bedrijven buiten de auto-industrie

Met als bekend voorbeeld Google-zusterbedrijf Waymo. Er zijn inmiddels meerdere technologie bedrijven (VS en Azië) die L3 overlaan, en mogelijk op termijn aan de OEMs gaan leveren, of door hen overgenomen worden. Robotaxi's in bijvoorbeeld San Francisco zijn een bekende toepassing, met veel aandacht in de media. Het betreft hier gangbare modellen personenvoertuigen (geen futuristisch design) met veel technologie aan bord, en daardoor duur, die in een specifiek gebied rijden (geofence) in een beperkt tijdslot ('s avonds, om minder met andere vervoersaanbieders – OV – te concurreren) en niet bij slecht weer (een scherp afgebakend en goed ingeregeld ODD).

3 Transport & logistiek

Meer inzet op de ontwikkeling van automatisch rijdende vrachtwagens dan op connected vrachtwagens / platooning. Point-to-point op vastgestelde trajecten. Daar-

naast ook automatisch van het eindpunt van het betreffende traject naar de laad/los locatie via een 'smart dolly' die de trailer overneemt. Zie ook Europees MODI project. En de CCAM ambitie in Nederland voor de praktijkimplementatie van automatisch transport via TEN-T corridors tussen 2025 – 2030.

Automation profielen die worden voorzien

Er zal nog lang een periode blijven met menselijke besturing. Dit kan met diverse invalshoeken als drijfveer:

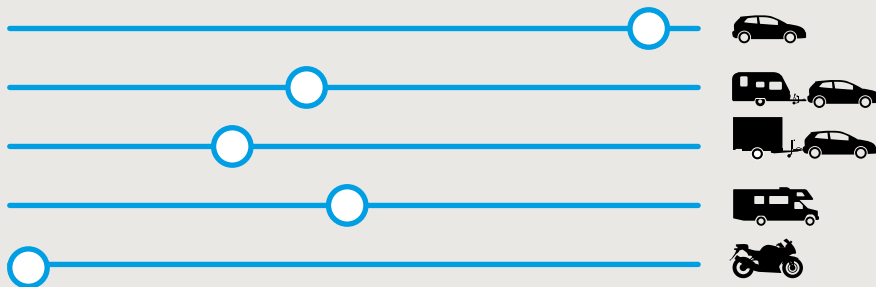
- Rijden is leuk.
 - Er zal een categorie mensen blijven die graag zelf een voertuig bestuurt.
 - Mensen die nu een oldtimer rijden, blijven wellicht ook lang zelf rijden met iets uit eerdere tijden.
- Rijden heeft een imago.
 - Motorrijders zullen niet snel overstappen op een zelf-

rijdende motor (zelfs ISA is niet verplicht gesteld voor motoren).

- Automatisch rijden is te ingewikkeld.
 - Voertuigen zullen niet overal de rijtaak overnemen. Het is de vraag of het wenselijk is om overal autonoom vervoer toe te staan (robotisering woonwijk) en het is de vraag of het voor alle categorieën mogelijk zal zijn. Denk bijvoorbeeld aan speciaal transport. Kosten voor automatisering zullen hoog zijn, terwijl de vorm weinig voorkomt in het wegbeeld.
- Werktuigen.
 - Deze moeten niet alleen zelf kunnen rijden, maar zouden dan ook de werkfunctie moeten kunnen overnemen.

Hieronder is weergegeven wat de ontwikkelpotentie per vervoerswijze ongeveer kan zijn.

Individuele gemotoriseerde mobiliteit



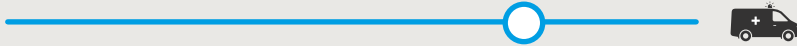
Voor de gemotoriseerde, individuele mobiliteit is de ontwikkelpotentie voor personenwagens hoog te noemen. Personenwagens met aanhangwagen of caravan lijkt wat lastiger, tenzij geautomatiseerde voertuigen bijvoorbeeld goed worden in achteruit rijden waardoor gebruikers dat graag willen hebben. Voor motoren lijkt zelfrijdend niet aan de orde, net als voor oldtimer bezitters. Voor campers is het twijfelachtig maar niet onmogelijk.

Publieke mobiliteit



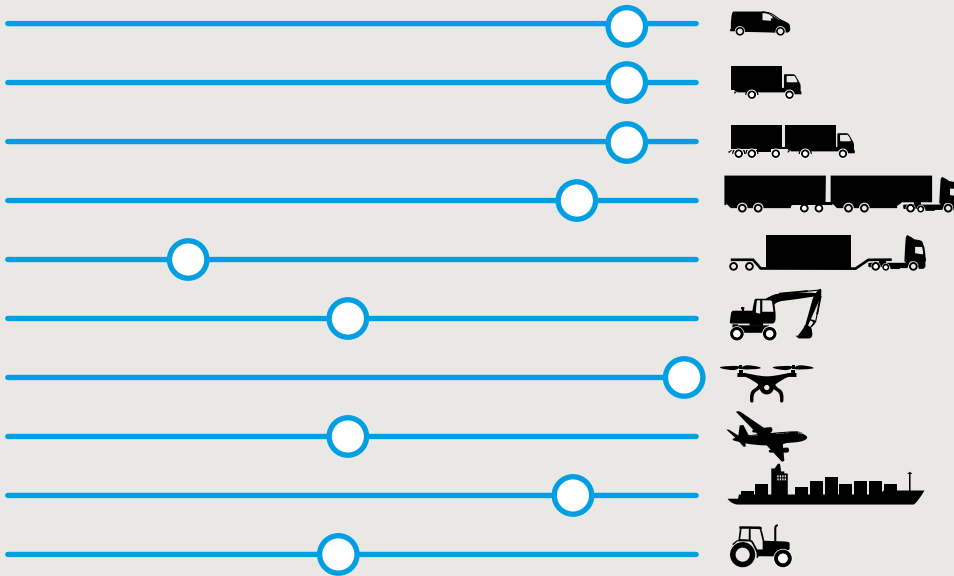
Gelet op het personenvervoer lijken de kansen hoog, mits maatschappelijk geaccepteerd. Voornaamste struikelblok lijkt de sociale veiligheid, maar als dat voldoende aandacht krijgt lijkt het openbaar vervoer kansrijk voor automatisch rijden. Bij bussen is dat wat afhankelijk van het ODD en in complexe situaties wellicht nog lang lastig. In de scheepvaart lijkt de potentie ook hoog, maar mogelijk minder bij veerponden, tenzij hier goede veiligheidsmaatregelen komen voor het oversteken van de rivier.

Nood- en hulpdiensten



Voor hulpdiensten kan zelfrijdend een oplossing zijn voor het personeelstekort en de kosten daarvan, maar de vraag is hoe en of dit zich kan en zal ontwikkelen bij de uitvoering van een dringende taak (lees hoge snelheden).

Transport en logistiek



Voor transport en logistiek is de ontwikkelpotentie hoog te noemen. Uitzondering hierop lijkt het uitzonderlijk vervoer. Dit is al snel erg kostbaar om goed te automatiseren. Bij vliegtuigen zal de menselijke back-up wenselijk blijven vanuit veiligheid en acceptatie (hoewel het grootste deel van de reis al jaren autonoom is). Bij werk- en landbouwvoertuigen is het de vraag hoe belangrijk het rijden is t.o.v. het werk dat deze voertuigen verrichten en of dat werk automatisch moet en kan.

Welke dilemma's zijn er verder bij de doorontwikkeling en implementatie van AVs?

Vanuit de gebruikers (mens) – acceptatie, draagvlak:

- In automatische modus kan reistijd anders gebruikt worden en dat kan leiden tot meer autokilometers (langere reistijden door files zijn minder vervelend). Het kan mogelijk ook leiden tot 'verdringing' van OV. Mensen waarderen de privé-omgeving van de auto en kunnen ook makkelijker de eigen gewenste activiteiten ontplooiën en werken (ongestoord werken is in het OV lastiger). Dit vergroot de populariteit van de auto ten koste van het OV. Het vergroot ook de vraag naar beschikbare capaciteit van het wegennet.
- Verkeersveiligheid: mensen voorkomen ook fouten die voertuigen niet voorkomen, en kunnen door sociale interactie en onderlinge communicatie flexibeler met verkeersregels omgaan als de situatie daarom vraagt.
- Keuzevrijheid: de gebruiker wil de mogelijkheid hebben zelf te kiezen om wel/niet in automatische modus te rijden. Voor toegang tot een weg/traject kan de automatische modus als voorwaarde gesteld worden. De gebruiker kan dan kiezen voor toegang onder deze conditie of voor geen toegang (andere route). Dit kan mogelijk het rendement van geautomatiseerde voertuigen op hun bijdrage aan maatschappelijke doelen verlagen, maar is wel belangrijk voor draagvlak om verdere stappen in de introductie van geautomatiseerde voertuigen te kunnen zetten.
- Van belang is wel om de privacy goed te blijven regelen, anders kan er al snel maatschappelijke weerstand ontstaan.

Juridische en ethische vraagstukken:

- Naast dat er nog technologische hindernissen zijn, komen er bij de stap naar een volledig zelfrijdende auto ook juridische en ethische vraagstukken kijken. Zo zijn er afgelopen augustus in het Verenigd Koninkrijk plannen aangekondigd voor uitgebreide regelgeving rondom zelfrijdende auto's, met als belangrijkste element dat bij zelfrijdende voertuigen de fabrikant aansprakelijk is voor het (weg)gedrag van het voertuig, niet de bestuurder.
- Automatische voertuigen moeten leren de wet te overtreden als de situatie daarom vraagt (om bijvoorbeeld een obstakel te kunnen ontwijken en niet onnodig in een deadlock te komen staan). Dat is juridisch complex.

“Mensen gaan proberen het AV de schuld te geven dus die AVs gaan zich strikt aan de regels houden.”

- Voor een brede invoering van automatisch rijden zal regelgeving dit ook moeten faciliteren. Deze regelgeving heeft meerdere lagen nodig. De eerste laag is die van het geprogrammeerde verkeersgedrag. Dit bestaat voor een heel groot deel uit voorschriften die wij nu onder verkeerswetgeving verstaan. Deze moet worden vertaald in functionele gedragsvoorschriften voor geautomatiseerde systemen. In het boek 'doe zelf normaal' schetst Maxim Februari het algemeen voortschrijdende proces dat wet- en regelgeving steeds meer wordt gedigitaliseerd en omgezet in computersystemen die deze wetgeving toepassen. Als mensen de regels interpreteren, kunnen zij er soms voor kiezen deze regels te overtreden, of een beetje op te rekken. Algoritmes doen dat in principe niet. Dit betekent onder andere dat onuitvoerbare of lastig op te volgen regels, die normaal zouden worden genegeerd, door zelfrijdende systemen wel strikt worden opgevolgd, wat kan leiden tot ergernis of zelfs onveilige situaties.
- Een fundamenteel probleem is dat de huidige procedure om deze formele regels te maken zijn gebonden aan allerlei vormen van democratische inspraak: een burger kan een bezwaar indienen als een gemeente een verkeersbesluit neemt en zo controle uitoefenen op de rechtmatigheid, rechtvaardigheid, onderbouwing, en proportionaliteit van een verkeersmaatregel. Op het moment dat dit geautomatiseerd wordt via technische standaarden, is deze controle minder eenvoudig uit te voeren, zeker als deze regels automatisch kunnen worden aangepast naargelang de omstandigheden.
- Een tweede laag is die van de informele gedragingen. In hoeverre is het mogelijk en nodig om die vast te leggen in regelgeving of andere normen? Uniform rijgedrag heeft veel voordelen, maar als de voorkeuren voor bijvoorbeeld routekeuze te dwingend worden, zal dit wellicht in strijd zijn met het verkeersbelang van de vrijheid van het verkeer; er is een groot verschil in een overheid die mensen vriendelijk vraagt om een bepaald gebied te mijden en een overheid die via een verkeersmanagementsysteem dat gebied feitelijk afsluit voor verkeer.
- De derde laag gaat over de wijze waarop aansprakelijkheid en eigen verantwoordelijkheid worden ingericht. Nu is de eigenaar van het voertuig verplicht verzekerd voor schade die voortvloeit uit het eigen gedrag, en is de bestuurder zelf verantwoordelijk om zich veilig in het verkeer te gedragen, wordt de auto op minimale veiligheidseisen getoetst via de APK, en is de wegbeheerder een zorgplicht om verkeersonveilige situaties te voorkomen dan wel binnen redelijke termijn te herstellen. Hoe zit dat als een computerprogramma de auto bestuurt? Is de programmeur dan verantwoordelijk? Wie verzekert dit? Hoe voorkom je dat 'big tech' via schikkingen individuele burgers afkoopt, in plaats van de veiligheid van voertuigen verder te verhogen? Wat als iemand zijn auto aanpast? Nu zien wij al dat bij oudere auto's met rijkhulpsystemen het door de eigenaar te duur wordt gevonden om bijvoorbeeld sensoren te laten repareren of vervangen als ze stukgaan of na schade. Worden deze systemen straks meegenomen in de APK? Zit een periodieke toets op cybersecurity en het bewaken van de privacy van inzittenden ook inbegrepen bij de typegoedkeuring?
- Het punt van de aansprakelijkheid van de wegbeheerder is in deze context van bijzonder belang. Bij menselijke bestuurders is de staat van onderhoud en een eventuele onduidelijke inrichting deels te ondervangen omdat mensen goed kunnen improviseren. Als voertuigen via hun techniek afhankelijk zijn van de weginrichting en door de overheid aangeboden, voorgeschreven of mogelijk gemaakte systemen, is de overheid in veel grotere mate aansprakelijk. Niet alleen voor schade door ongevallen, maar bijvoorbeeld ook als een voertuig vanwege de veiligheid zou moeten stoppen omdat de belijning niet leesbaar is, en de passagiers hierdoor vertraging oplopen met vervolgschade. Vanwege de financiële – en machtspositie van bedrijven die de voertuigen en de software leveren, is het denkbaar dat de schadelast voor wegbeheerders fors kan toenemen, als dit niet tijdig via nieuwe wet- en regelgeving wordt georganiseerd.
- De vierde laag heeft betrekking op de wet- en regelgeving die met data-uitwisseling gepaard gaat. Zowel op het niveau van het toelaten van voertuigen op de Nederlandse wegen, als op de diensten die worden aangeboden in het voertuig en rondom het voertuig, bijvoorbeeld

om het verkeer in goede banen te leiden. Als er in de 'cloud' wordt gewerkt om dit verkeer te sturen, ontstaan er al snel mogelijke combinaties die tot persoonsgegevens te herleiden zijn. Dit vraagt een actieve houding van overheden die deze diensten aanbieden, laten ontwikkelen, of derden toestemming geven om dit in de digitale openbare ruimte te exploiteren.

Regelgeving rondom veiligheidseisen:

- Nederland heeft de ambitie voorop te lopen met de ontwikkeling van automatisch vervoer, maar complexe regelgeving rond veiligheidseisen leidt ertoe dat het innovatieklimaat onder druk staat. In 2016 is de Declaration of Amsterdam over automatische voertuigen opgesteld, met daarin de ambitie om Nederland tot koploper bij automatisch rijden te maken. Tegelijkertijd staat in Nederland verkeersveiligheid hoog in het vaandel. Het aantal pilots en toepassingen in Nederland is beperkt in verhouding tot de eerder uitgesproken ambitie. Dat komt o.a. doordat de toelatingsprocedures in de praktijk ingewikkelder blijken dan vooraf gedacht. Technologie heeft de potentie om in veel aspecten veiliger te zijn dan menselijke bestuurders ("een computer wordt niet afgeleid en gaat niet zitten bellen"). Maar vertrouwen op een technisch systeem in een ingewikkelde en kwetsbare verkeersomgeving vereist voorzichtigheid en een stapsgewijze, gecontroleerde aanpak. De uitdaging zit erin niet zo voorzichtig te worden dat innovatie stopt.

"Volledig automatisch rijden is een extreem complex proces, waarbij we bijna per definitie 'overvoorzichtig' worden. Dat kan ook bijna niet anders, omdat systemen niet in staat zijn evenveel risico te nemen als mensen. Als er iets op de weg ligt, rijden we eromheen, ook als we daarbij over een doorgetrokken streep rijden. Een automatisch voertuig doet dat niet. Uiteindelijk is alles oplosbaar, technisch en juridisch, maar het is erg duur omdat het zo gecompliceerd is. Het probleem is daar niet groot genoeg voor en daardoor is er geen echte progressie bij alle proeven. Bij autonoom vervoer is grootste hype langzamerhand wel voorbij."

Inclusiviteit:

- In relatie tot bijvoorbeeld mensen met een visuele of andere handicap. Gesloten (in multimodaal netwerk altijd van A naar B – last mile alleen lopen of fietsen – dan sluit je visueel gehandicapten en ouderen mogelijk uit – reis afmaken met CAV, publiek transport -> netwerk dat inclusief is.
- Betaalbaarheid.

Publiek-private business case:

- Om over de hele linie voortgang te boeken, is een publiek-private business case nodig. Dat maakt een snelle uitrol van potentieel geschikte use cases voor automatisch rijden lastiger, maar is wel nodig voor een verantwoorde introductie, om voldoende aan de maatschappelijke doelen bij te dragen.

Businesscase voor automatisch rijden – bestuurder uit het voertuig:

"Dit speelt bij de use cases transport, OV, taxi. De use case transport is het meest kansrijk. Want bij OV en taxi speelt bijvoorbeeld ook sociale veiligheid, en bij taxi speelt de beperkte markt in Nederland ten opzichte van bijvoorbeeld de VS."

- Voor een aantrekkelijke businesscase in de transportsector is het kunnen weglaten van een menselijke chauffeur op dit moment een sterk bepalende factor, geredeneerd vanuit kostenreductie. Het beeld daarbij is dat het mogelijk moet zijn zonder bestuurder te rijden op specifieke snelwegtrajecten (point-to-point). Rijden zonder bestuurder betekent ook minder restricties in rijtijden, flexibiliteit in tijdslots (ook, of juist vooral 's nachts rijden) en rijden met lagere snelheid (tijdsduur van de rit is minder van belang). Geen bestuurder in het voertuig is belangrijker voor de businesscase dan reductie van brandstofverbruik door platooning. Platooning wordt voor deze use case dan ook niet per se nodig geacht. Geen chauffeur betekent overigens niet per se dat er geen menselijke inzet meer nodig is. Bij het bereiken van het eindpunt van het traject moet laden/lossen plaatsvinden. Als dat niet automatisch kan, is er een lader/losser nodig. Ook voor de first/last mile is mogelijk nog lang een menselijke chauffeur nodig. Dit zijn belangrijke aspecten om mee te nemen in de kansrijkheid van de businesscase en daarmee op de verwachte grootschalige realisatie van deze use case.

"In de toekomst willen mensen geen auto meer, maar kopen ze mobiliteit als een dienst: soms nemen ze een deelauto, soms de trein, soms een deelfiets. De voordelen van de deelauto zijn evident: door autodelen zijn er minder auto's nodig, waardoor het beslag op grondstoffen en ruimte afneemt."

"Je kunt nog zo'n goed systeem met apps bedenken, maar een deelauto is nooit zo goed als een eigen auto voor de deur. De eigen auto zit in het sociale weefsel van mensen gebakken."

- Het delen van auto's is met name interessant in relatie tot ruimtegebrek in steden (voor parkeren).
- KiM (2021): slechts 2 procent van de Nederlanders maakt gebruik van een deelauto. Samen zijn ze goed voor 0,02 % van het totale aantal autoritten. Bovendien wordt de deelauto ook gebruikt als vervanging van het OV en de fiets. Het exploiteren van deelauto's blijkt commercieel nog niet zo interessant, dat geldt met name voor de free floating deelauto's (zonder vaste parkeerplaats).
- De auto staat voor individuele vrijheid, en heeft daarin een lange traditie. Automobilisten hechten nog altijd veel belang aan 'instant mobiliteit' (auto staat voor de deur als je hem echt nodig hebt). Over de jaren heen is de auto relatief goedkoper geworden door de toename van de koopkracht.
- Verschil tussen stad en platteland. In de stad liggen mogelijkheden voor verdere groei van deelauto's. De ruimte is schaars en kan de groei van het wagenpark niet aan. Dat leidt tot meer reguleren door gemeenten: parkeren wordt duurder en er worden toegangsbeperkingen ingesteld voor auto's. Als gevolg hiervan is er in de grote steden sprake van een afname van het autobezit. Bij jongeren is vooral sprake van uitstelgedrag bij het kopen van een auto en dat moment valt vaak samen met het verhuizen uit de stad naar de periferie of het platteland. Op het platteland is sprake van een toename van het autobezit. Mensen zijn daar aangewezen op de

auto voor het bereiken van voorzieningen, en rijden vaak meer dan de 10.000 km/jaar de nu gangbaar drempel voor aantrekkelijkheid van een deelauto.

5.6 Kunnen we een omslagpunt benoemen (van menselijke besturing naar voertuig)?

Met betrekking tot het omslagpunt (van menselijke bestuurder naar voertuig) zien we wisselende beelden, dichterbij of verder weg in de tijd. Die hebben ook te maken met toepassing/toelating van automatisch rijden op een groot deel van het netwerk of op kleinere delen van het netwerk, die makkelijker specifiek op de behoeften van automatische voertuigen afgestemd kunnen worden.

- De eerste Connected Automated Transport corridors op snelwegen zouden al binnen 10 jaar mogelijk kunnen zijn, met een grootschalige toepassing in de periode tussen 10-25 jaar vanaf nu. Kansrijk daarvoor is het Trans-European Transport Network (TEN-T).
- Ook andere use cases op snelwegen (hoofdwegennet) zouden vanaf 2030 concreet in beeld kunnen komen. Te beginnen met automatisch rijden op snelwegen, in lijn met de functies van ALKS, mogelijk daarna aangevuld met coöperatief rijden, een coöperatieve vorm van ALKS/ACC. Snelwegen zijn geschikter voor automatisch rijden dan andere wegtypen doordat er zich geen langzaam verkeer bevindt, rijrichtingen gescheiden zijn en kruispunten ongelijkvloers.
- Op de hoofdstructuur van het onderliggend wegennet (autowegen en hoofdadars in het GOW netwerk, het RVM netwerk), zou grootschalig automatisch rijden vanaf 2050 binnen bereik kunnen komen (belangrijk aspect daarin zijn de gelijkvloerse kruispunten en beperkte rijrichtingscheiding).
- Voor stadsverkeer zal het omslagpunt veel later liggen, na 2060, als het er ooit al komt, want nut, noodzaak en behoefte aan grootschalige toepassing van automatisch verkeer in een stedelijke omgeving wordt veel lager geacht. Het is zeer complex door de vele interacties met langzaam verkeer, en daardoor ook kostbaar (zie hoofdstuk 3).

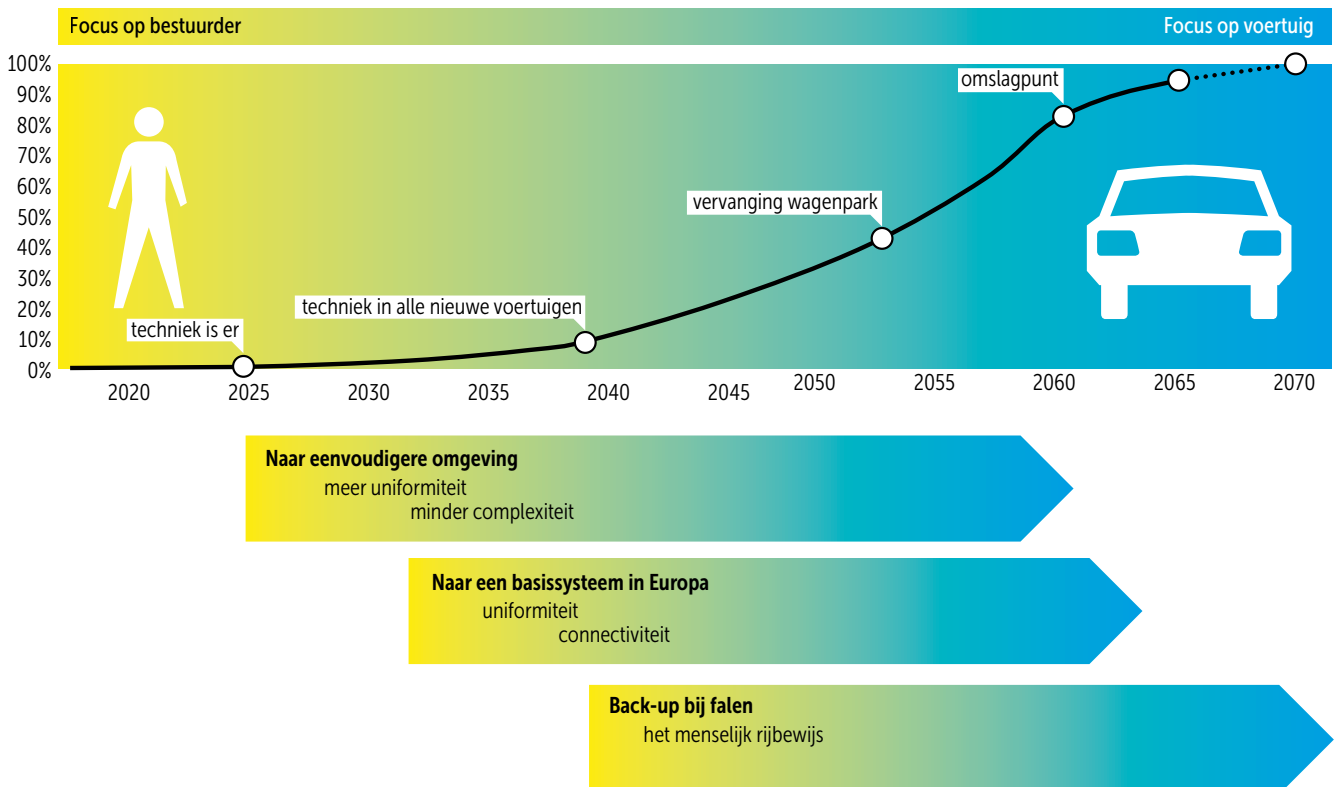
Totaalbeeld: een scherpe aanduiding van het omslagpunt is nog niet aan de orde, door de verwachte langdurige mix van voertuigen met verschillende automatiseringsniveaus. Hieruit volgen onderstaande observaties m.b.t. het wegennet en inrichting van wegen:

- Bij gemengd verkeer kunnen er in eerste instantie geen substantiële veranderingen plaats vinden in het ontwerp. Het blijft immers gebaseerd op wat menselijke bestuurders nodig hebben om veilig, vlot en comfortabel te rijden. Pas bij een 100% volledig automatische voertuig-

vloot (of op trajecten waar je alleen die voertuigen toelaat) kun je denken aan een andere dimensionering van het dwarsprofiel (rijstrookbreedte, redresseerstrook, obstakelvrije zone) en aan aanpassingen van het lengteprofiel en kruispunten en rotondes. Dit geldt voor stroomwegen (SW) en gebiedsontsluitingswegen (GOW), maar niet voor erftoegangswegen (ETW). Op ETW is de interactie met andere weggebruikers (fietsers, voetgangers, licht gemotoriseerd verkeer) bepalender voor de inrichting dan de kenmerken van het automatische voertuig.

- Ook bij gemengd verkeer is er wel een aantal aanknopingspunten voor wegbeheerders om het wegontwerp toekomstbestendig te maken en de verdere ontwikkeling van automatische voertuigen te faciliteren.
- Goede dingen die nu in het ontwerp zitten (gericht op de menselijke bestuurder) zijn ook van belang voor slimme voertuigen. Zie de 3 bovengenoemde basisprincipes (voortbouwend op de Duurzaam Veilig visie). Vanuit kostenbesparing wegen anders dimensioneren lijkt geen goede keuze.

- Stapsgewijze verbetering van veiligheid van het verkeerssysteem, door ook de eigenschappen van slimme voertuigen hierin te verdisconteren. *Conditionele toegang tot een traject is waarschijnlijk pas interessant bij een penetratiegraad van minimaal 70% (ook vanwege inclusiviteit). Zie het onderstaande S-curve ingroeiplaatje (figuur 15). Voor vracht- en goederenvervoer wellicht bij een lagere penetratiegraad.*
- Als onderdeel van bovenstaande punt -> stapsgewijze doorontwikkeling van de digitale infrastructuur, digitaal beschikbare informatie over de verkeersomgeving en de weg. Waarbij gepersonaliseerd (op voertuigkenmerk-niveau) het rijgedrag van het voertuig wordt aangepast. Waarmee een voertuig bijvoorbeeld een passende snelheid aanneemt om door een bocht te rijden.

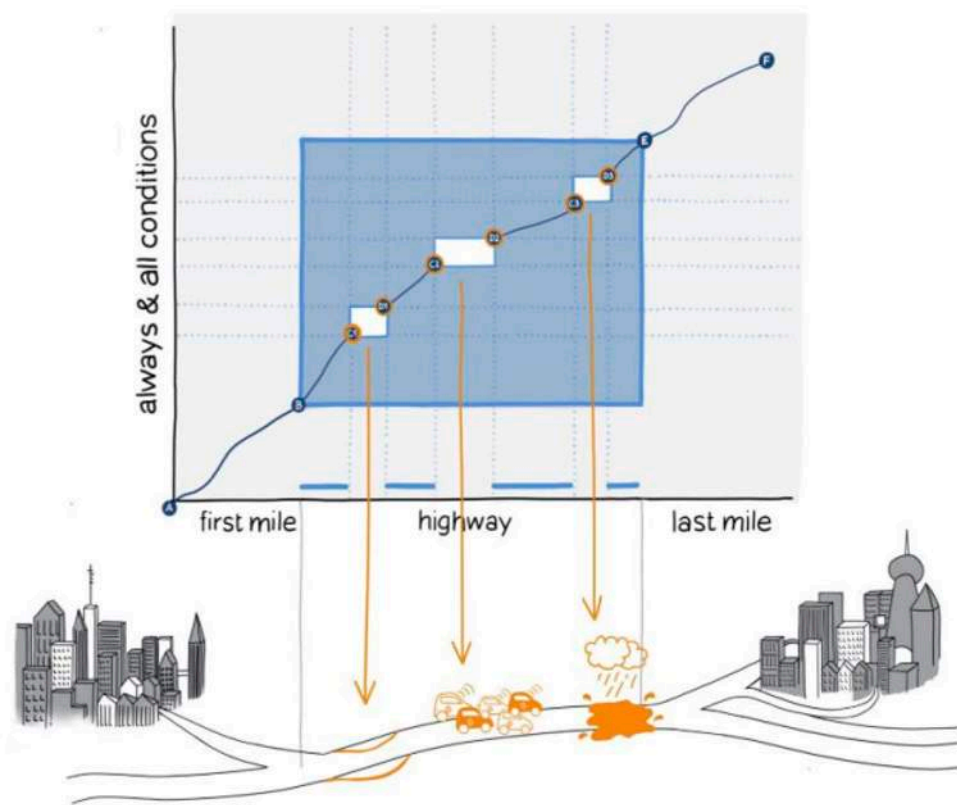


Figuur 15. Zodra de techniek in alle nieuwe voertuigen zit, is het wachten op de vervanging van het wagenpark. Dat zal bij privé bezit vanwege de kosten langer duren dan bij deelmobiliteit of mobiliteitsdiensten.

Deelmobiliteit en zelfrijdend kunnen elkaar dus helpen. Zelfrijdend geeft vanwege de kosten meer kans op delen, delen zal het wagenpark sneller vervangen. Uiteindelijk (afhankelijk van techniek, toelating en economische conjunctuur) zal ergens in de periode 2050-2060 het omslagpunt liggen waarbij 70+% zelfrijdend is en menselijke besturing ondergeschikt zal zijn (op ten minste een deel van het ODD). Uniformiteit en connectiviteit helpen die transitie. Het menselijk rijbewijs zal nog lang als backup fungeren als het voertuig er niet uitkomt, tenzij dit op afstand georganiseerd kan worden. Europa laat de voorwaarden voor besturing op afstand voorlopig aan de lidstaten zelf. In een bepaalde fase kan er een situatie ontstaan dat een rijbewijs alleen nodig is voor deur tot deur verplaatsingen per auto en niet voor point to point of hub tot hub verplaatsingen. Dit kan een extra boost geven aan meer deelmobiliteit.

5.7 Kortom: geautomatiseerde voertuigen en weginrichting: basis op orde, reductie complexiteit en toename digitalisering

Zowel verkeerskundig, planmatig als in regelgeving zijn we gewend ons te richten op de mens als bestuurder van een voertuig. De veranderende relatie mens-voertuig-weg betekent dat we ons steeds meer op het voertuig moeten richten in het ontwerp en functioneren van het verkeer- en vervoersysteem. Er moet goed gekeken worden naar de interactie tussen slimme voertuigen en de verkeersomgeving. De voordelen van geautomatiseerd rijden kunnen alleen worden behaald als er wordt voldaan aan de eisen van het toepassingsgebied en -condities waarvoor de voertuigen zijn ontworpen om veilig en comfortabel te functioneren (het zogeheten Operational Design Domain – ODD). Naast informatie over medeweggebruikers gaat het hier over informatie over de fysieke infrastructuur (wegontwerp en -inrichting, bebording) en informatie uit de digitale infrastructuur (ge- en verboden, verkeers- en routeinformatie). Deze vormen samen de sleutelattributen voor het toepassingsgebied/ODD van geautomatiseerde voertuigen.



Figuur 16. schematische voorstelling van het vergroten van het ODD voor zelfrijdend.

Wegontwerp en de inrichting van wegen: basisprincipes als vertrekpunt

Een toekomstbestendige weginrichting start bij het consequent werken volgens de basisprincipes:

- Reductie van complexiteit.
- Vergroten van uniformiteit en eenduidigheid.

Deze principes zijn gebaseerd op de bekende visie op Duurzaam Veilig wegverkeer, en zijn van toepassing op zowel de menselijke bestuurder als op voertuigen met verschillende niveaus van automatisering. Ze sluiten ook aan op de zorgplicht van wegbeheerders m.b.t. adequate weginfrastructuur voor alle verkeersdeelnemers.

- Om toepassing van automatische voertuigen mogelijk en aantrekkelijk te maken in Nederland moeten complexe situaties, voor zowel slimme voertuigen als de mens, zoveel mogelijk weggenomen worden. De ontwikkeling bij fabrikanten is gericht op een zo groot mogelijk toepassingsgebied/ODD, met zo min mogelijk onderbrekingen. Minder onderbrekingen betekent minder situaties waarin sprake is van een terugval modus en de mens de besturing moet overnemen. Dit zorgt voor minder potentieel risicovolle overgangssituaties en vergroot daarmee het rendement en aantrekkelijkheid van geautomatiseerde voertuigen.
- Een consequente toepassing van de huidige richtlijnen voor wegontwerp en -inrichting draagt sterk bij aan uniformiteit en eenduidigheid. Ook worden in de lopende actualisaties van het Handboek Wegontwerp en de Richtlijn Bebakening en Markering aanvullende functionele eisen opgenomen m.b.t. markering en bebording ten behoeve van het functioneren van ADAS. Bijvoorbeeld: goede kwaliteit markering (zichtbaar in meerdere licht- en weerscondities), juiste positionering en waarneembaarheid van verkeersborden.
- Als er afgeweken moet worden van richtlijnen, dan is het van belang ervoor te zorgen dat ook geautomatiseerde voertuigen met deze afwijkingen/maatwerk oplossingen om kunnen gaan.
- Deze punten kunnen ook leiden tot een upgrade van kwaliteitsnormen voor onderhoud en aangepaste onderhoudsschema's.
- Uitgangspunt infrastructuur: geen grote wijzigingen aan wegontwerp, voertuig moet weten waar hij wel/niet automatische functies kan gebruiken en zijn toegestaan. In noodsituaties moet er voldoende ruimte zijn om gecontroleerd te stoppen en uit te wijken ('minimum risk manoeuvre', bij L4 en hoger). Bij overgangsgebieden moet er voldoende ruimte ingebouwd zijn voor de transitie van geautomatiseerd naar handmatig rijden.
- De kwaliteit van de inrichting van het hoofdwegennet is internationaal gezien goed (bijv. wat betreft kwaliteit van

de belijning en verharding) en het is van belang dat dit zo blijft mede vanuit het perspectief van geautomatiseerde voertuigen. Extra aandacht is daarbij nodig voor het uitfaseren of nadrukkelijk signaleren van complexiteiten/specials (zoals taperinvoegers en spitsstroken bij in- en uitvoegers) die niet op korte termijn met fysieke ontwerpaanpassingen opgelost kunnen worden. Een goede dialoog met fabrikanten is hiervoor ook van belang.

Digitale infrastructuur

Digitalisering is een belangrijke factor bij de transitie naar zelfrijdend. Systemen als ISA werken deels met data, en als we verder naar de toekomst kijken, lijkt een systeem als ISA de opmaat voor het digitaal opleggen van een variabele snelheid, afhankelijk van de omstandigheden als dichtheid van verkeer en wegtoestand. Nu al bereiden wegbeheerders zich voor om relevante data beschikbaar te hebben, via de Real Time Traffic Information (RTTI) EU-verordening, en de Data Top 15. Zoals informatie over wegwerkzaamheden en maatschappelijk gewenste routes, die door een beleidsmatige verwerking via de RTTI-verordening ook via service providers in navigatiesystemen terecht zal komen. Een toename van digitale informatie en verder ontwikkelde digitale service levels voor wegen zullen leiden tot steeds meer situaties waarin geautomatiseerde voertuigen veilig en comfortabel kunnen rijden (ODD uitbreiding), en tot tijdige in-car signalering van situaties buiten het ODD. Ook komen hiermee innovatieve vormen van verkeersmanagement steeds verder binnen bereik, bijvoorbeeld via maatschappelijk gewenste/toegestane routekeuze en bovengenoemde snelheidsbeheersing op maat voor geautomatiseerde voertuigen.

Minder complexiteiten, efficiënt onderhoud en steeds meer digitaal

De transitie naar zelfrijdend is gebaat bij een afname van complexiteiten en ontrommelen van de verkeersomgeving. Dat betekent dat in de ontwikkeling van de infrastructuur fysieke zaken (specials in wegontwerp en DVM-assets) geleidelijk kunnen worden afgebouwd. Afhankelijk van het wegtype en met oog voor uniformiteit en eenduidigheid. De conditie van de weg is ook een belangrijke factor voor het functioneren van geautomatiseerde voertuigen, net als voor menselijke bestuurders. Extra aandacht voor de zichtbaarheid van bijvoorbeeld markering en bebording bij variërende weer- en lichtcondities vraagt een herijking/actualisatie van kwaliteitsnormen voor onderhoud. Daarentegen bieden slimme voertuigen ook een continue stroom aan informatie over de toestand van assets, waarmee onderhoud meer proactief en vraag gestuurd kan plaatsvinden. Parallel daaraan is het van belang de digitale infrastructuur steeds verder te uit te bouwen (mede) ten gunste van geautomatiseerde voertuigen, ook als onderdeel/compensatie van de fysieke ontromming. Met een primaire focus op wegen die qua fysieke infrastructuur al in hoge mate geschikt zijn voor geautomatiseerd rijden (weinig complexiteiten en ODD-onderbrekingen). De digitale infrastructuur zal daarbij steeds meer als digital twin van de fysieke infrastructuur gaan functioneren, met HD maps (digitale navigatiekaarten) als interface richting het voertuig, en met connectiviteit als sleutelwoord. Alle informatie komt bij het voertuig in een mix van eigen waarneming, communicatie met de omgeving, data en sturing vanuit de centrale.

Actueel voorbeeld:

Vereenvoudiging van het snelheidslandschap:

Veel verschillende, tijd en situatie afhankelijke snelheidslimieten maken digitalisering lastig.

Actueel voorbeeld:

Toepassing geautomatiseerd vervoer in buitengebieden:

Op ETW 60 wegen is kantmarkering aangebracht met als belangrijkste functie optische versmalling voor snelheidsbeheersing. Geautomatiseerde voertuigen hebben optische versmalling niet nodig voor snelheidsbeheersing, maar hebben wel behoefte aan markering voor geleiding. De huidige markering vervult die functie niet goed, want ze geleidt het voertuig naar het midden van de rijbaan. Daarom vallen deze wegen nu buiten het ODD van Lane Keeping Assist systemen, maar vaak hebben bestuurders de systemen toch aan staan, wat tot ongewenste en risicovolle situaties kan leiden. Om dit op korte termijn op te lossen, zouden automobilisten zelf de systemen op deze wegen moeten uitzetten (via voorlichting en educatie) of fabrikanten moeten met een oplossing komen. Maar omdat dit een Nederlandse 'special' betreft is het ook zinvol om dit als aandachtspunt mee te nemen in een toekomstige herziening van wegontwerp en -inrichting, gericht op het faciliteren van zowel menselijke bestuurders als geautomatiseerde voertuigen. Daarbij rekening houdend met de verwachting dat geleiding voor geautomatiseerde voertuigen steeds meer digitaal ondersteund zal worden (via plaatsbepalingstechnologie, detectie van de randing van de verharding (edge detection) en nauwkeurige digitale kaarten), maar dat er ook lang nog behoefte zal blijven aan een fysieke back-up voor geleiding (via markering).

Actueel voorbeeld:

Uitbreiding 30 km/u snelheidsregime binnen de kom:

Steeds meer wegen binnen de kom krijgen een snelheidslimiet van 30 km/u in plaats van 50 km/u. Vanuit de huidige situatie vraagt dat om een andere inrichting van de weg en inpassing in de omgeving, die de komende 30 jaar zal plaatsvinden. De vraag daarbij is of aanpassing van de inrichting wel een toekomstvaste investering is, als via geautomatiseerde voertuigen geen overtreding van de snelheidslimiet meer plaats vindt en voertuigen met passende snelheden rijden (als de beschikbare informatie juist is). Daar staat weer tegenover dat mensen communiceren met andere weggebruikers waarbij sociaal rijgedrag, defensief en correctief rijgedrag zou moeten ontstaan vanuit verkeersinzichtelijk handelen.

5.8 Tot slot: voorspellingen m.b.t. het tijdsfad naar grootschalige implementatie van volledig automatisch rijden (SAE level 5)

Diverse ontwikkelingen op het gebied van geautomatiseerd verkeer en vervoer zijn de afgelopen jaren al in gang gezet. Nog niet allemaal even succesvol. Ontwikkelingen kenmerken zich door zoektocht naar de balans tussen wat er technisch al mogelijk is en waar de belangrijkste opgaven, behoeften en verdienmodellen liggen. We zien wel dat de ontwikkelingen op het gebied van connectiviteit en stapsgewijs verdergaande automatisering van rijtaken (verschuiven van taken van het voertuig naar het voertuig gestaag doorlopen (zie de EU General Safety Regulation (GSR) en Implementing Act) en onomkeerbaar lijken.

Het tempo van de ontwikkelingen is lastiger te voorspellen, maar in deze afsluitende paragraaf willen we toch een aantal beelden en observaties meegeven over het tijdsfad naar grootschalige implementatie van volledig automatisch rijden.

“Er zit toekomst in volledig autonoom rijden, maar grootschalige uitrol heeft veel voeten in de aarde en lijkt op dit moment verder weg dan enige tijd terug, vooral als het gaat om een drukkere of stedelijke omgeving. Je merkt de laatste tijd dat verwachtingen wat naar beneden worden bijgesteld. Bovendien zijn de vereiste investeringen heel erg groot.”

Deze uitspraak is een goede weergave van recente literatuur en beelden opgehaald bij diverse geïnterviewde experts. Als we dit vertalen naar mogelijke tijdsfaden naar grootschalig, volledig automatisch rijden (level 5), dan geeft figuur 17 een aardig beeld van prognoses door twee deskundige bronnen, ERTRAC (Europees perspectief) en KIM (Nederland in internationaal perspectief). De figuur laat ook zien hoe de voorspellingen de afgelopen paar jaar zijn bijgesteld en naar elkaar toe bewegen.

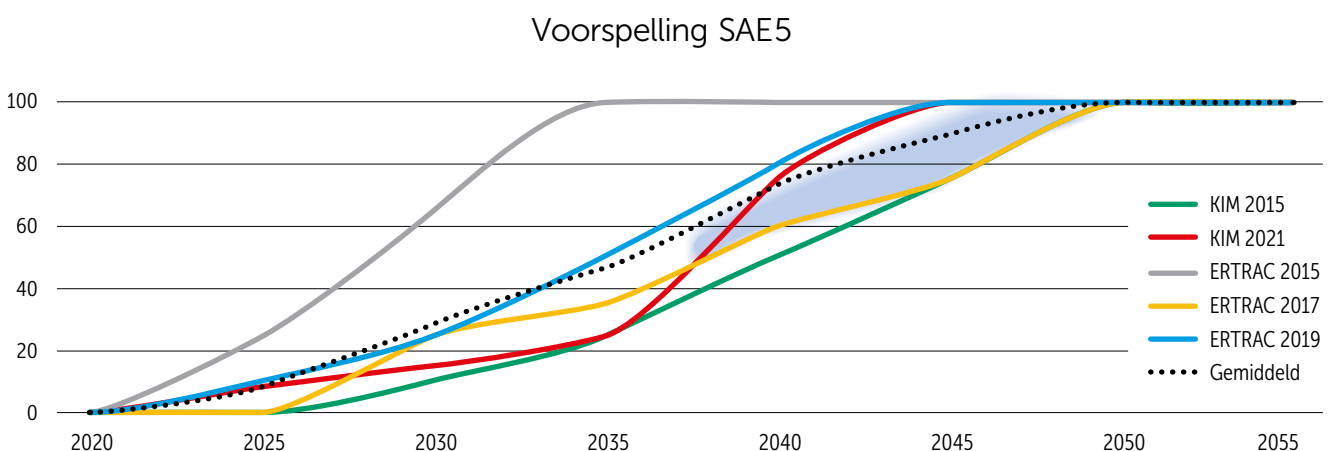
Bovenliggende vragen:

- Waarom zouden we volledig zelfrijdend level 5 willen?
- Hoe kunnen publieke en private partijen samen optrekken en elkaar versterken voor verantwoorde introductie van automatisch vervoer?

Bij de beantwoording van deze vragen spelen aandachtspunten m.b.t. de volgende aspecten: techniek/voertuig, mens/behoefte en acceptatie, ODD/verkeersomgeving.

Techniek/voertuig

- Alle futuristische verschijningsvormen van automatische voertuigen ten spijt, is de verwachting dat voertuigen (personen- en vrachtwagens) in de basis hetzelfde blijven (hun conventionele vorm grotendeels zullen behouden). Dat betekent geen grote veranderingen in voertuig-dynamica aspecten, rij eigenschappen, draaicirkels, band-weg contact etc. Dat impliceert ook dat er geen grote veranderingen in de uitgangspunten voor wegontwerp worden verwacht op basis van de omvang en rij-eigenschappen van automatische voertuigen.



Figuur 17. Vanuit de literatuur zien we dat voorspellingen van level 5 vanuit de roadmaps van ERTRAC en KIM Voor nu doen de roadmaps vermoeden dat het in de periode 2035-2045 de techniek er breed moet zijn.

- Voertuigen zullen in eerste instantie wel zwaarder worden, door elektrificatie (maar dat staat in principe los van automatisering). De verwachting is dat doorontwikkelingen op het terrein van optimalisatie duurzame aandrijftechniek, en gebruik van nieuwe materialen, de gewichtstoename zullen beperken.
- Mogelijke civieltechnische implicaties op spoorvorming, door automatische voertuigen die binnen een rijstrook langdurig hetzelfde spoor volgen, moeten wel nader onderzocht worden.
- Grote veiligheidswinst kan al behaald worden met level 4 (point-to-point). Level 5 is dan vooral een stap in comfort, waarin je t.o.v. level 4 alleen de first en last mile bedient, in een omgeving die erg complex is (mix van verkeersdeelnemers) en daardoor kostbaar om te realiseren.
- Level 4, niet alleen op autosnelwegen, maar ook op het RVM netwerk, duurt naar verwachting nog wel even. Als er sprake is van overname van de rijtaak door de bestuurder, dan moet daar veel tijd voor beschikbaar zijn (meer dan nu vaak genoemde ToC van 7 sec) of de auto moet zichzelf op een verantwoorde manier kunnen parkeren.

“Dat komt doordat de intelligentie van voertuigen overschat wordt. Een exponentiële toename in technologie zorgt voor lineaire toename van slimheid van het voertuig.”

- Automatische voertuigen leren op een andere manier van situaties die ze in het verkeer tegen komen dan mensen (relatie met rijbewijs voor het automatische voertuig). Daarvoor is het ook van belang dat voertuigen van verschillende merken hun ervaringen uitwisselen (uitdaging om dat goed te organiseren).

Mens/behoefte en acceptatie:

- Ondersteun de mens op de punten waar ondersteuning het meest nodig is. Bijvoorbeeld: op lange, monotone trajecten / bij afleiding / bij langdurig repeterende handelingen / consequent houden aan verkeersregels / bij obstructie van menselijke zicht, beperkingen in de menselijke waarneming / bij beperking in de menselijke informatieverwerking, cognitie / bij compensatie van menselijke handelingsnelheid. En situaties uit het genoemde rijtje die acceptabel zijn en waarvan de meerwaarde waar nodig goed wordt uitgelegd (via adequate productinformatie, rijopleiding etc.).
- Ondersteuning is minder geschikt: in een verkeersomgeving waar (veelal sociale) interactie tussen veel verschil-

lende typen verkeersdeelnemers nodig is (bibeke en met name ETW) / situaties waarin verkeersregels flexibel geïnterpreteerd moeten worden voor veilige, vlotte en comfortabele afwikkeling van het verkeer.

- Bovenstaande punten zijn met name van belang vanuit het perspectief van verkeersveiligheid. Menselijke bestuurders kunnen ook fouten voorkomen / risicovolle situaties afhandelen waar automatische voertuigen meer moeite mee hebben.











ODD/verkeersomgeving


Komen de twee bovenstaande punten in samen. Level 5 is buiten perspectief

- SAE 5 op het hele netwerk is onwaarschijnlijk, voorlopig buiten perspectief. Het wordt niet nodig bevonden om alles te automatiseren. Er is geen probleem om op te lossen, zodanig dat de investeringen opwegen tegen de opbrengsten.
- Wel op vastgestelde, geschikt bevonden wegtypen/routes en tijdstippen (level 4). Link met voertuig toelating en conditionele toegang.
- Meest kansrijke toepassing: point-to-point logistiek (level 4). Waarbij de voertuigen dan door bestuurder naar hoofdcorridor worden gereden. Eerder bij transport dan bij personenvervoer.
- Toepassingen van robotaxi's in de VS zijn er al. De exploitanten daarvan hebben hun businesscase nog niet rond (ondanks veel grotere taximarkt daar dan in Nederland) en zijn niet voornemens de toepassing buiten de VS te exporteren. In avond/nacht zouden robotaxi's in Europa mogelijk ook interessant kunnen zijn. In een specifiek voor die voertuigen ingeregeld gebied. Gedeelde, elektrische level 4 voertuigen. Of als automatisch deelvoertuig met als bestemming een stadshub voor overstap op andere modaliteiten.
- Grootschalige toepassing van automatisch rijden in de stad, door andere voertuigen als taxi's, wordt als te ingewikkeld en te kostbaar gezien. In wijk of stad wel rijtaak-ondersteuning in aansluiting op menselijke beperkingen/behoefte. In een stedelijke omgeving heeft level 4 mogelijk toegevoegde waarde bij evenementen.
- Level 4 is in Nederland voor rurale toepassingen waarschijnlijk interessanter dan in de stad. Maar komt er een goede businesscase? Vooralsnog lijkt er alleen op het hoofdwegennet een duidelijke consumentenvraag/businesscase. – stad: niet in elke straat, maar wel bij de inprickers, omdat anders de afstanden te groot worden. Structuur nodig die recht doet aan de '5 minuten AV'. In de stad niet op de oprit, maar binnen 5 minuten bereikbaar. Wegen in de stad waar ze wel komen, simpel conflictvrij ingericht. Lage snelheid. – *en mogelijk aansluitend op stadshub, zie hierboven.*

Wegcategorisering

SAE J3017™ Levels of driving automation

	SAE Level 0	SAE Level 1	SAE Level 2	SAE Level 3	SAE Level 4	SAE Level 5	
Adaptive cruise control 		●	●	●	●	●	Levels: No driving automation You drive, vehicle can provide driving assist features
Parking helper - L1 		●					
Active lane centering 				●	●	●	Driving automation assistance Either steering or braking assist but not at the same time
Parking helper - L2 			●	●	●	●	
Highway pilot - L2 			●	●	●	●	Partial driving automation Steering and braking assist together as support feature only; human driver must supervise
Traffic jam pilot 				●	●	●	
Automated driving system - L3 				●			Conditional driving automation Full automation but only in pre-determined conditions; human must drive when system is not engaged
Automated driving system - L4 					●		
Parking valet 					●	●	Full driving automation You never have to drive anywhere unless you want to
Automated driving system - L5 						●	



Figuur 18. Van ADAS (assisted) naar ADS (automation).

Afgesloten terrein	Essentiële herkenbaarheidskenmerken (EHK)	Stroomweg		Gebiedsontsluitingsweg			Erftoegangsweg			
		SW130	SW100	GOW80	GOW70	GOW50	ETW60	ETW30		
				n.v.t. (algemene limiet RWW)		n.v.t. (algemene limiet RWW)				
Eigen terrein, niet-openbare weg Geen uniforme inrichting	Markering en richtingscheiding									
Functie	Functie	Wegvakken	Kruispunten	Wegvakken	Kruispunten	Wegvakken	Kruispunten	Wegvakken	Kruispunten	
Bedrijfsvoering	Stromen	Stromen	Stromen	Stromen	Uitwisselen	Uitwisselen	Uitwisselen	Uitwisselen	Uitwisselen	
Assisted level	Assisted level		Assisted level		Assisted level		Assisted level		Assisted level	
0 1 2	SW130: 0 1 2	SW100: 0 1 2		0 1 2		0 1 2		0 1 2		
Automation level	Automation level		Automation level		Automation level		Automation level		Automation level	
3 4 5	SW130: 3 4 5	SW100: 3 4 5		3 4 5		3 4 5		3 4 5		

Figuur 19. Wegkenmerken en de ontwikkelpotentie van zelfrijdend. We zien met name obstakels met de huidige inrichting van de ETW varianten. Deze zijn zelfs al niet goed geschikt voor lane keeping. (bron: SWOV met aanvullingen).

Point to point

Een van de eerste usecases die zich zullen gaan ontwikkelen bij zowel transport als openbaar vervoer zijn de zogenaamde point to point trajecten waar het voertuig op termijn zonder chauffeur zou kunnen. Bij ov kan een chauffeur het in een bepaalde periode dan over nemen op het punt waar de bus of tram een nog te ingewikkeld ODD op de route tegen komt. Punt hierbij is natuurlijk om het zelfrijdend ODD dan zo lang mogelijk te maken.

Voor transport zal dit point to point als eerste op het TEN-T netwerk plaatsvinden, als we kijken naar de ontwikkelingen in het zuiden van de VS. Punt hierbij is wel dat point to point van distributie centrum, haven of industriegebied als beginpunt dat ook als eindpunt moet hebben.



Figuur 20. Point to point transport moet daadwerkelijk point tot point kunnen zijn wil het een use case en value case kunnen worden. De ETW is niet ingericht op zelfrijdend, GOW op termijn wellicht wel (met aandachtspunten). Industrierterreinen en havengebieden moeten derhalve bereikbaar zijn met minimaal een GOW in de jaren tussen nu en 2060. Een gelijke redeneerlijn kan voor HUB to HUB personenvervoer worden gehanteerd.

Tabel 7. Ontwerpaspecten van wegen en netwerken versus de potentie bij autonoom rijden

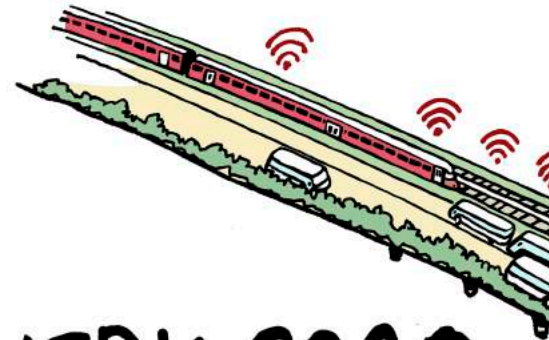
Huidige categorisering (bron: SWOV)	Impact m.b.t. automatische voertuigen
Op het niveau van het netwerk:	
Maak verblijfsgebieden zo groot mogelijk en aaneengesloten	Maak ODD voor zelfrijdend zo groot mogelijk
Laat een zo klein mogelijk deel van de ritten over relatief onveilige wegen lopen	Zorg voor digitale beschikbaarheid van gewenste routing (real time)
Laat ritten zo kort mogelijk duren	Omrijden voor gewenste route kan in zekere mate omdat tijd anders gebruikt wordt
Zorg dat het begrip 'snelste rit' en 'veiligste rit' samenvallen.	Zorg dat de gewenste rit de veiligste rit is
Op het niveau van routes:	
Voorkom zoekgedrag	Zelfrijdend kent altijd de route (en reserveert vooraf een parkeerplek)
Maak wegcategorieën zo herkenbaar mogelijk	Maak de wegen voor zelfrijdend zo sober mogelijk
Beperk en uniformeer het aantal verkeersoplossingen	Beperk en uniformeer het aantal verkeersoplossingen
Op het niveau van het wegontwerp:	
Vermijd conflicten met tegemoetkomend verkeer	
Vermijd conflicten met kruisend en overstekend verkeer	
Scheid verkeerssoorten	
Reduceer de snelheid op potentiële conflictpunten	
Vermijd obstakels langs de rijbaan	

Deel 3

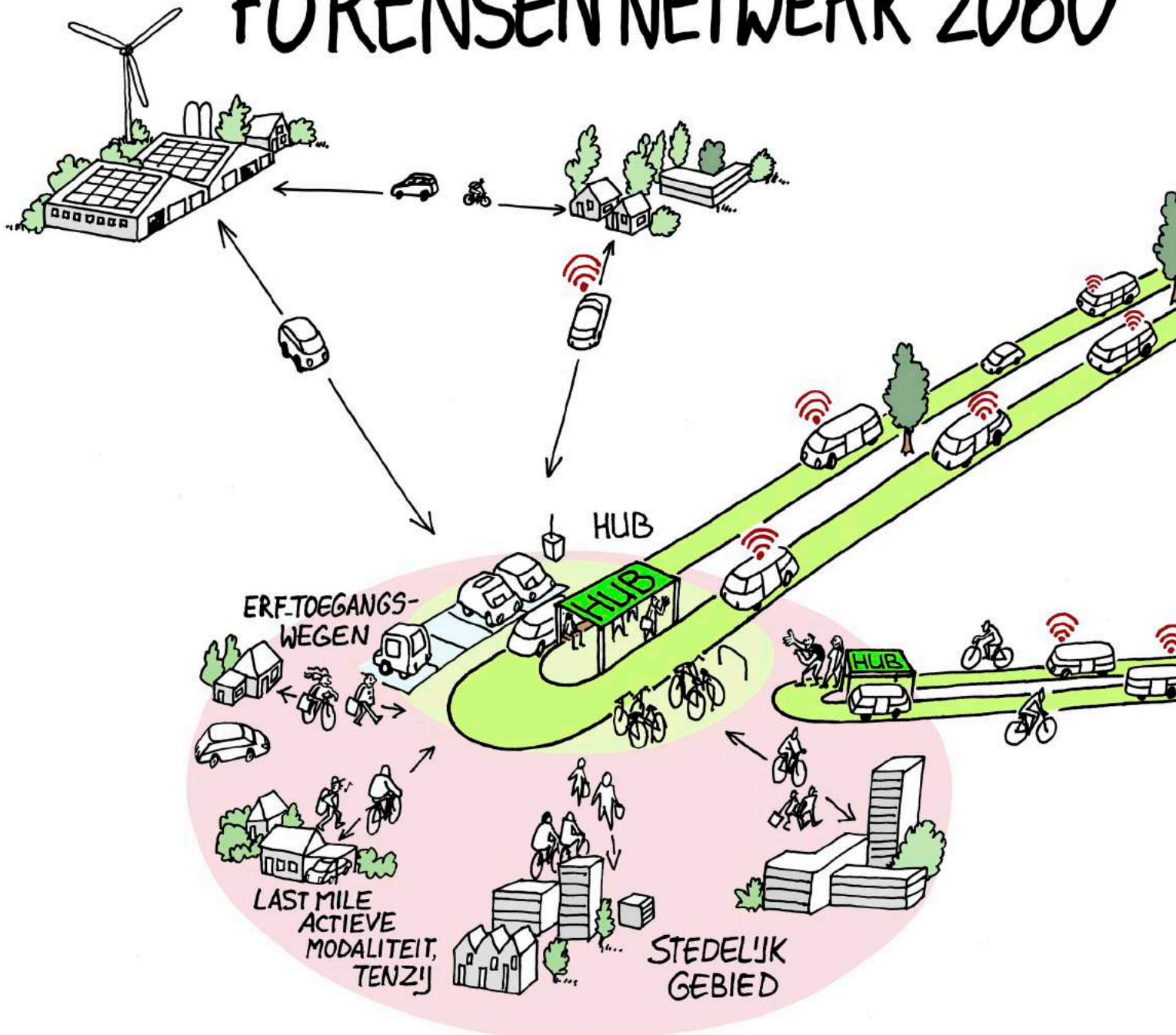
Bijlage 1: Schematische systeemschets mobiliteit 2060

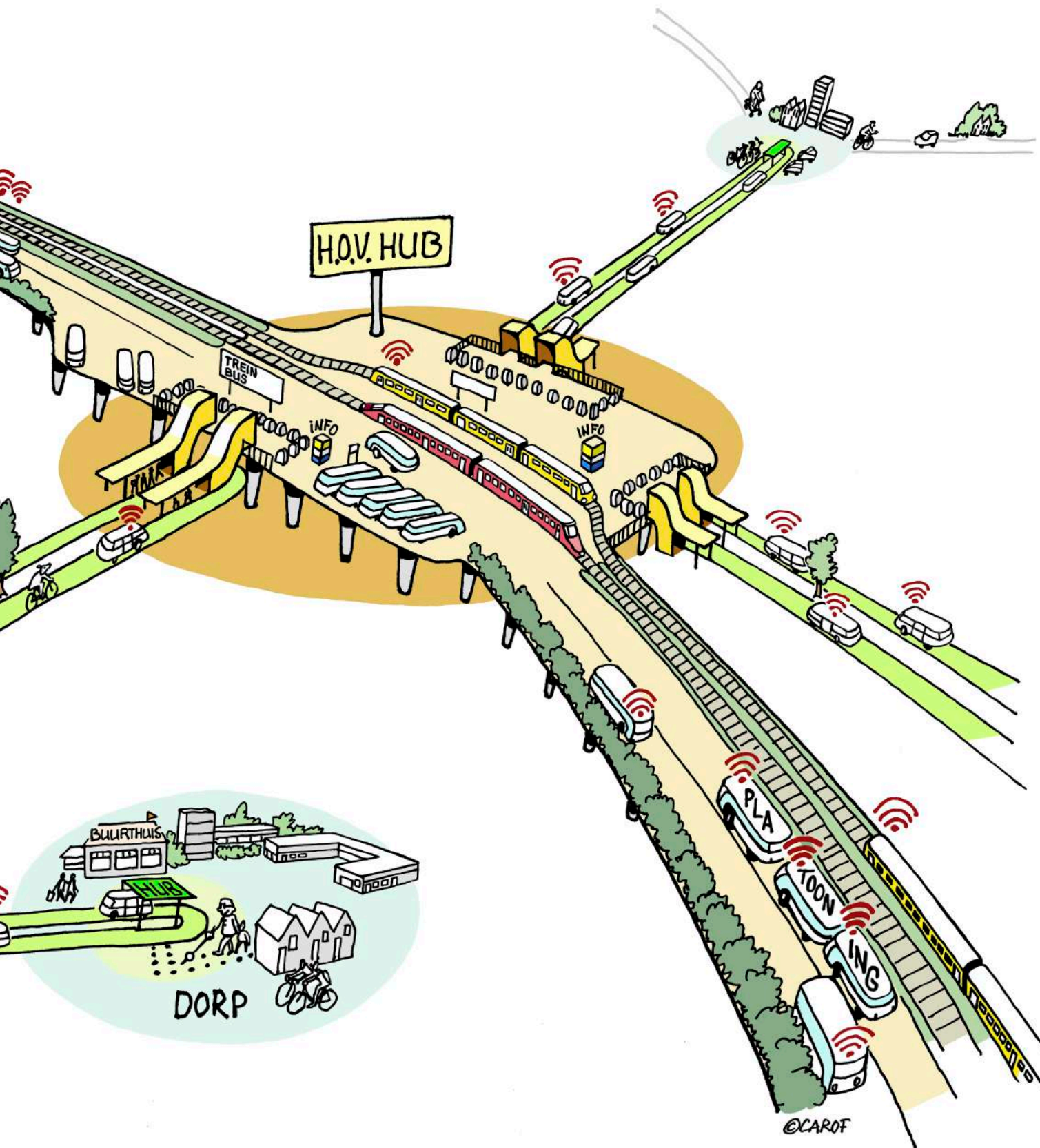
Systeemschets

Schematische weergave van het mobiliteitssysteem in de drie lagen wijk, hub tot hub en HOV corridor, met daarin de verbinding tussen stad en regio. Openbaar vervoer en individueel vervoer groeit meer naar elkaar toe waardoor er een afname van autobezit zal ontstaan in stedelijk gebied. Hierdoor ontstaat er meer ruimte. Voor de korte verplaatsingen is een actieve modaliteit de hoofdmodaliteit geworden in stedelijk gebied en deelmobiliteit ligt meer voor de hand. Daarnaast zal er enig privébezit blijven, met name ook in de regio. Het systeem moet betaalbaar blijven voor iedereen en inclusief zijn in gebruik.



FORENSEN NETWERK 2060

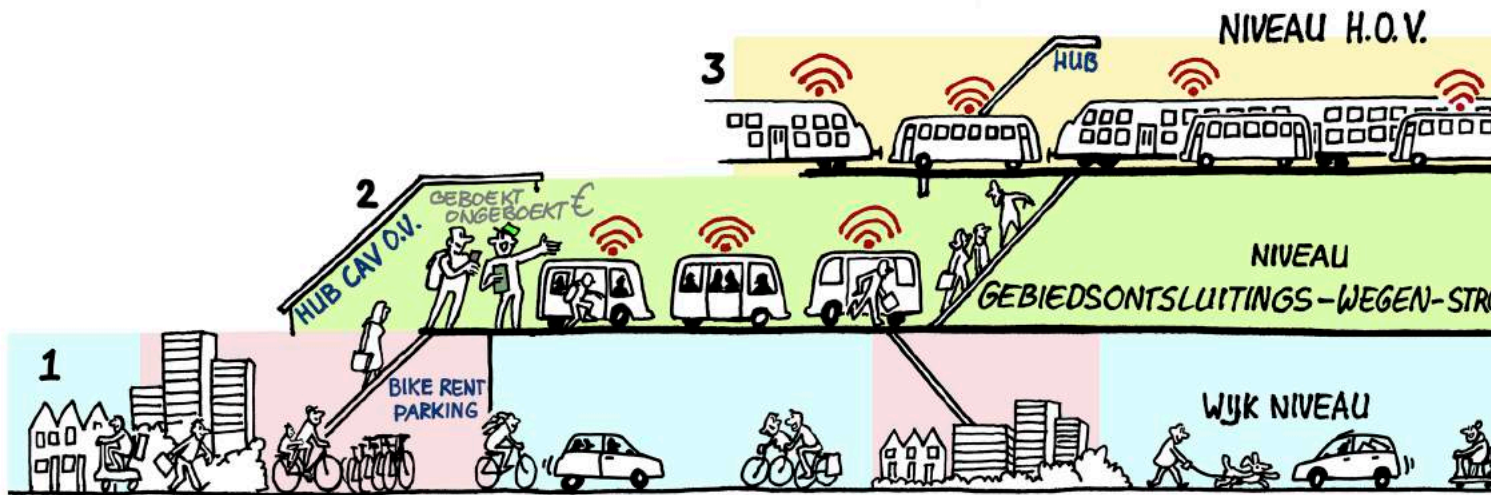




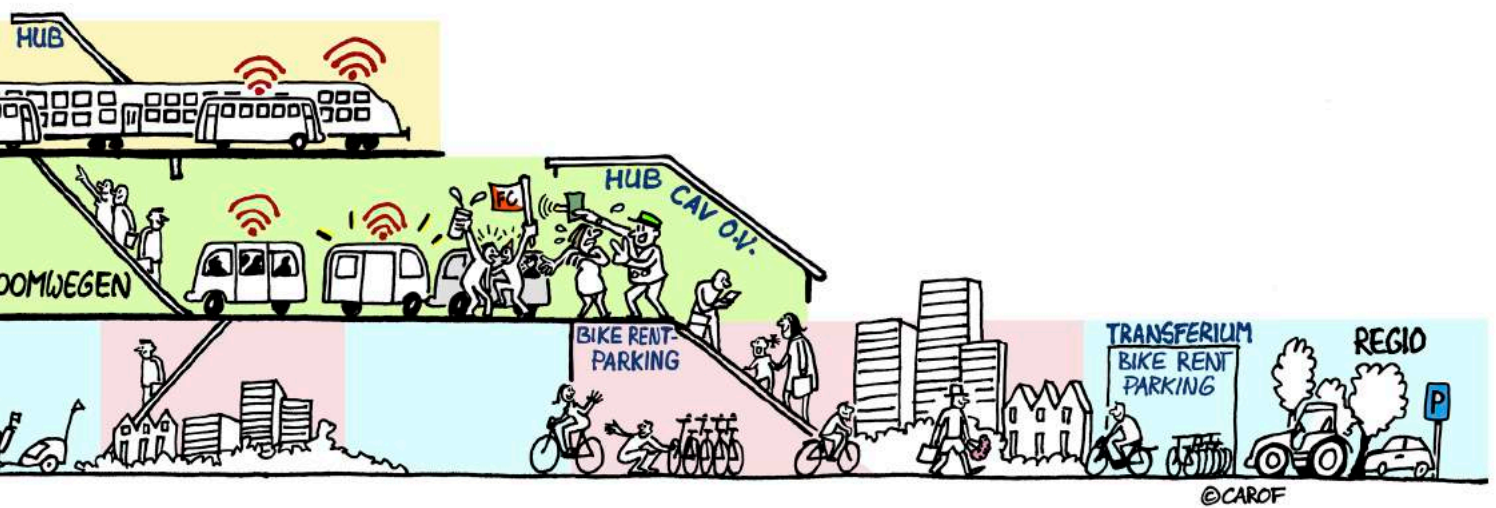
Doorsnede

Schematische doorsnede schets van het mobiliteitssysteem in de drie lagen wijk, hub to hub en HOV.

VAN DEUR OP DRIE N































TOT DEUR NIVEAUS































Bijlage 2: Lijst van geraadpleegde literatuur















Titel	Auteur	Datum	Relevantie	Link	Land
Smart Roads Classification	Garcia A. et al. (Universitat Politecnica de Valencia)	2023	A PIARC Special Project		World Road Association (PIARC)
Preparing Infrastructure for Automated Vehicles	International Transport Forum (ITF)	2023	Automated vehicles are becoming more prevalent and capable, but they have different requirements than cars wholly controlled by human drivers. This report examines what is needed now to support automated vehicles, focusing on three policy-making areas: physical infrastructure, data and digital infrastructure, and institutional frameworks. It draws on the deliberations of an ITF Working Group, as well as interviews with policy makers, developers and experts.	Preparing Infrastructure for Automated Vehicles ITF (itf-oecd.org)	OECD
Beleidsvisie Toepassing Geautomatiseerd Wegvervoer Versie 0.9 (final draft)	Ackerman A.A.	2023	Beleidsvisie toepassing automatisch wegvervoer Werkgroep CAV - Krachtenbundeling Smart Mobility		
Computers that power self-driving cars could be a huge driver of global carbon emissions	Adam Zewe	2023	Vanwege het grote aantal berekeningen kan de technologie achter zelfrijdende voertuigen voor extra uitstoot zorgen. Bij de verdere ontwikkeling moet hier aandacht voor zijn.	Link	
SAE's Driving Automation Standard Is Not a Road Map	Colin Barnden	2022	Geeft aan dat autonome personenwagens er (voorlopig) niet zullen komen (opinie)	Link	-
Underground Autonomous Cargo Delivery	EVAN ACKERMAN	2022	Duiding: doet recht aan de afweging autonomous vehicle of autonomous transport (worden het zelfrijdende voertuigen of een vorm van zelfrijdend transport voor personen en goederen?)	Link	
Visualisaties helpen ons de toekomst te zien	Thomas Pelzer	2022	Maak een simulatie van een drukke reisdag en test het uit Duiding: 3d Schetsen van toekomstbeelden	Link	
Self-driving cars rules added to the Highway Code - What you can and can't do	Hannah De Boltz	2022	Uit de nieuwe regelgeving blijkt dat chauffeurs die in de zelfrijdende modus rijden, klaar moeten staan om de controle over te nemen als dat nodig is. Er zijn nog geen voertuigen in Groot-Brittannië geclassificeerd als zelfrijdend, maar dit kan volgend jaar veranderen. De overheid adviseert zelfrijdende modi te beperken met het type weg, het tijdstip, het weer, de locatie en de snelheid waarmee bij het gebruik van de technologie rekening moet worden gehouden.	Link	
Uitstel lelylijn: over 2,5 jaar meer duidelijkheid. Alternatieven: hyperloop of elektrisch vliegen op Amsterdam?	Klaas Jan ter Veen	2022	Duiding: geeft net als Maarten Steinbuch aan dat rail onbetaalbaar is/ wordt. Elektrisch vliegen kan een alternatief zijn?	Link Link	
Do adaptive cruise control and lane keeping systems make the longitudinal vehicle control safer?	SWOV	2022	Over ACC en LKS in relatie tot de eindgebruiker	Link	
Column Caspar de Jonge: Auto's uit de stad? Het kan en het gebeurt al!	NM magazine	2022	Steden stapsgewijs anders inrichten, nieuwe mobiliteitsdiensten als deelmobiliteit bevorderen. Die via nieuwe hubs zowel aan de stadsrand als in de (nieuwe en bestaande) wijk beschikbaar hebben. De toegang tot wijken, kantorenparken en productielocaties reguleren voor bestelbussen en goederentransport. Alles digitaal verbinden. Bewoners ondersteunen in hun dagelijks leven en verplaatsen. Maar ook de kwaliteit van de openbare ruimte bewaken en bevorderen. Inclusief omgevingsfactoren, uitstoot, geluid en biodiversiteit.	Link	
Connected, Cooperative and Automated Mobility Roadmap	ERTRAC Working Group: 'Connectivity and Automated Driving'	2022			

Titel	Auteur	Datum	Relevantie	Link	Land
Kunnen stepjes en zelfrijdende (deel)auto's meer reizigers in het ov krijgen?	Nick Augusteijn	2022	Een andere stip aan de horizon is die van de autonome (deel)auto's of zelfrijdende shuttles. Daar is nog niet iedereen van overtuigd. "Je ziet dat mensen nog bepaalde drempels over moeten. Niet iedereen heeft vertrouwen in de technologie en ook sociale veiligheid in het onbemande voertuig speelt een rol, met name bij vrouwen. Maar vroeger had men ook vrees voor de lift. Dat speelt nu nauwelijks meer."	Link	
Webinar toekomstig stedennetwerk	I&W	2022		Link	
C-ITS: Europe's Path to Connected, Cooperative & Automated Mobility	C2C consortium CCAM	2022		Link	
Roadmap Zelfrijdende Shuttle 2030 in Nederland	Henk Meurs Rebecca Rommerts	2022			
MRA Multimodaal toekomstbeeld 2040		2021	Afremmen en spreiden mobiliteitsgroei, Schaalsprong OV door stapsgewijs ontvlechten van openbaar vervoer, Ontwikkel één of twee regionale hubs per corridor Duiding: past 1 op 1 op de corridor aanpak	Link	
Webinar Luuk Verheul	Luuk Verheul	2021	Interessante rit met volledig autonoom in Phoenix. Gebied is wel goed ingelezen.	Link	
AutoX Opens Its Fully Driverless RoboTaxi Service to the Public in China	Auto X Team	2021	Vergelijkbare rit en functies met de Waymo taxi, met enkele interessante verkeerssituaties!?	Link	
Afweegkader aanleg en onderhoud verkeerssystemen Hoe Smart Mobility verkeerssystemen gaat veranderen	RWS	2021			
https://www.connekt.nl/wp-content/uploads/2021/04/Snelheid-maken-met-het-focuspunt-Smart-Mobility-juni-2020.pdf	RWS	2021		Link	
Guidelines and recommendations for future policy of cooperative and automated passenger cars	Deliverable D6.5 – WP6 – PU	2021			
Travellers' preferences towards existing and emerging means of frst/last mile transport: a case study for the Almere centrum railway station in the Netherlands	European Transport Research Review	2021	First/last mile transport, Mode choice, Preferences, Shared mobility, On-demand rides, Scenario's, Emerging modes	Link	
Whitepaper automatisch rijden RWS		2021			
CCAM Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA)	EC	2021		Link	
Autonomous Vehicles Readiness Index (AVRI)	KPMG	2020		Link	
Monitoren van de transitie naar autonoom vervoer	KIM	2020	Samenvatting is ook beschikbaar	Link	

Titel	Auteur	Datum	Relevantie	Link	Land
Autonom wegtransport in 2030	ACE	2020	Nederland koploper maken op het gebied van de implementatie van Connected & Automated Transport (CAT) in het wegverkeer, dat is wat IMIAT beoogt. Met 2030 als stip op de horizon gaat IMIAT via verschillende projecten de weg hiernaartoe uitvoeren.	Link	
5G Strategic Deployment Agenda for Connected and Automated Mobility in Europe	DG Connect	2020		Link	
Automatisierter und vernetzter Verkehr: Entwicklungen des urbanen Europa	Avenue 21 Austria	2020		Link	
Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies	US DoT	2020		Link	
Expectations and Concerns of Connected and Automated Driving	JRC	2020		Link	
Future Agenda open foresight; the future of autonomous vehicles; Global Insights gained from Multiple Expert Discussions	High Level Structural Dialogue on Connected and Automated Driving, UK	2020		Link	
Guidelines How to become an automation-ready road authority	CoEXist	2020		Link	
HTSM Automotive Roadmap 2020-2030	HOLLAND HIGH TECHIndustry	2020		Link	
Intelligent Transportation Systems (ITS) Joint Program Office: Strategic Plan 2020-2025	U.S. DOT	2020		Link	
Road map and action plan to facilitate automated driving on TEN road network – version 2020	EIP	2020			
Future of Rail 2050	Marcus Morrel Chris Luebke Lynne Goulding	2019		Link	
Autonomous vehicles' impact on port Infrastructure requirements	Dipl.-Ing. Ralf Fiedler Dipl.-Ing. Claudia Bosse Daria Gehlken, B.Sc. Katrín Brümmerstedt, M.Sc. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Univ. Hans-Christoph Burmeister	2019		Link	
A CAV Roadmap for Scotland	United Kingdom	2019		Link	
Automated and Connected Vehicles Policy Framework for Canada	Policy and Planning Support Committee (PPSC) Canada	2019		Link	

Titel	Auteur	Datum	Relevantie	Link	Land
CAD consolidated roadmap	Arcade	2019		Link	
Canada's Safety Framework for Automated and Connected VehiclesTransport	Public authority Strategy Canada	2019		Link	
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP) Automated Driving for Universal Services R&D Plan Director General for Science,	Cabinet Office Public authority Strategy Japan	2019		Link	
Defining the future of 1) urban transport, 2) freight transport, and 3) passenger car transport	Levitate	2019		Link	
EATA Roadmap	EATA	2019		Link	
Manifesto European Automotive and Telecoms Alliance Road map	EATA	2019		Link	
Research and innovation in connected and automated transport in Europe	JRC	2019		Link	
Road vehicle automation in sustainable urban mobility planning Practitioner Briefing	European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans	2019		Link	
Roadmap for the deployment of automated driving in the European Union	ACEA	2019		Link	
The future of road Transport – Implications of Automated, Connected, Low-carbon and Shared Mobility	JRC	2019		Link	
UK Connected and Automated Mobility Roadmap to 2030	Zenzic	2019		Link	
Who's in control? Road safety and automation in road traffic	Dutch Safety Board	2019		Link	
R4E project		2018		Link video Roadmap SM	
3rd High Level Meeting on connected and Automated DrivingHigh Level Structural Dialogue on Connected and Automated DrivingEU	Government offices of Sweden	2018		Link	
4th High Level Meeting on Automated and Connected MobilityHigh Level Structural Dialogue on Connected and Automated DrivingEU	Federal Ministry of Austria	2018		Link	

Titel	Auteur	Datum	Relevantie	Link	Land
Austrian Action Programme on Automated Mobility (2019-2022)	Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology Austria	2018			
Development of Autonomous Vehicles Strategic Orientations for Public Action	French Ministry for the Ecological and Solidary Transition	2018			
State of play of Connected and Automated Driving and future challenges and opportunities for Europe's Cities and Regions	Committee of the Regions	2018		Link	
Paden naar een zelfrijdende toekomst	KIM	2017	Een toekomst waarin zelfrijdende auto's het verkeersbeeld bepalen: hoe ziet dat eruit en wanneer kunnen we dat verwachten? Deze vragen zijn omgeven door veel onzekerheden. Als technologische ontwikkelingen voorspoedig gaan, de technologie betaalbaar is, automobilisten zelfrijdende auto's zien zitten en de maatschappelijke effecten positief zijn, is een 'zelfrijdende toekomst' heel goed mogelijk. Beleidsmaatregelen kunnen zo'n transitie naar een zelfrijdende toekomst bovendien versnellen. Tegelijkertijd kunnen er 'showstoppers' zijn: ontwikkelingen die een transitie in de weg zitten.	Link	
2nd High Level Structural Dialogue High Level Structural Dialogue on Connected and Automated Driving EU	The federal Government of Germany	2017		Link	
A roadmap for developing automation and robotics in the transport sector 2017-2019	Finnish Transport Agency	2017		Link	
Draft Roadmap and Action Plan to facilitate automated driving on TEN road network	EIP	2017		Link	
EU Roadmap for Truck Platooning	European Automobile Manufacturers Association	2017		Link	
Final Report Ethics Commission Automated and Connected Driving	Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure Germany	2017		Link	
Autonomous Vehicles Code of practice for testing in Belgium	Belgium transport authority	2016			
CEDR Position on Road Vehicle Automation	CDER	2016		Link	
Declaration of Amsterdam "Cooperation in the field of connected and automated driving"	EC	2016		Link	
Federal Automated Vehicles Policy	US DoT	2016		Link	

Titel	Auteur	Datum	Relevantie	Link	Land
On the road to automated driving: overview of the advances made so far and further progress required to make automated driving a reality	JAMA Industry Roadmap Japan	2016		Link	
Spanish approach on Autonomous driving	Dirección General de Trafico, Spain	2016		Link	
Testing autonomous vehicles in New Zealand	Ministry of Transport, NZ	2016		Link	
Automated vehicles – The Coming of the Next Disruptive Technology	The Conference Board of Canada Research Institute	2015		Link	
Connected/Automated Vehicle Research Roadmap for AASHTO	Public authority Report Australia	2015		Link	
Roadmap United States	US DoT	2015		Link	
European Roadmap Smart Systems for Driving	European Technology Platform on Smart Systems Integration	2015		Link	
Roadmap for Autonomous (Self-Driving) Vehicles in Ontario	Public Authority Roadmap Canada	2015		Link	
The Pathway to Driverless Cars – a detailed review of regulations for automated vehicle technologies	Department for Transport United Kingdom	2015		Link	
Truck Platooning Driving the Future of Transportation	TNO	2015		Link	
Automation in Road Transport	EC	2013		Link	
Monitor Informatiediensten geeft waardevolle kijk op de praktijk	n/a	n/a	Ontwikkeling gebruik navigatie	Link	
Connected, Cooperative and Automated Mobility	CDER				
Cooperative ITS towards Cooperative	C-ITS platform EC			Link	

Bijlage 3: Lijst van afkortingen en begrippen

ACC

Adaptive Cruise Control

is het systeem dat probeert het voertuig te laten rijden op een door de bestuurder ingestelde snelheid en/of volgafstand en/of volgtijd door het gebruik van automatisering en sensoren

ADAS

Advanced Driver Assistance Systems

ADAS is het geheel aan rijhulpsystemen om de bestuurder te ondersteunen in het uitvoeren van (een deel van) de dynamische rijtaak of te voorzien van veiligheid gerelateerde informatie.

ADS

Automated Driving System

ADS is de hardware en software die gezamenlijk in staat is om de dynamische rijtaak (dynamic driving task DDT) uit te voeren voor langere tijd los van of het systeem beperkt is tot een specifiek operational design domain (ODD). ADS gaat specifiek over niveau 3 t/m 5 Driving Automation Systems (DAS).

AI

Artificiële Intelligentie

ALKS

Automated Lane Keeping System

de hardware en software die geactiveerd worden door de bestuurder en die het voertuig binnen zijn rijstrook houden door de laterale en longitudinale bewegingen van het voertuig gedurende langere tijd te regelen zonder verdere input van de bestuurder

APK

Algemene Periodieke Keuring

AV

Automatisch voertuig

Een automatisch voertuig is een voertuig met een automated driving system (ADS) dat hardware en software gebruikt om de dynamische rijtaak uit te voeren binnen een gedefinieerd operational design domain (ODD) (zie ook CCAM, CAV en ZRA)

CAV

Connected Automated Vehicle

(zie ook AV, CCAM en ZRA)

CBR

Centraal Bureau Rijvaardigheidsbewijzen

CCAM

Connected, Cooperative, Automated Mobility

(zie ook AV, CAV en ZRA)

Conflicten

Een conflict is een situatie waarin het samenkomen of kruisen van verkeersstromen kan leiden tot wederzijdse hinder of verkeersongevallen.

Digital twin

Een virtuele representatie van de echte wereld

DRIP

Dynamisch Route Informatie Paneel

Zie ook VMS

DVM

Dynamisch Verkeers Management

Dynamisch verkeersmanagement is het, op basis van de toestand van het verkeerssysteem, beïnvloeden naar plaats en tijd van de vraag naar en aanbod van verkeersvoorzieningen en hun interactie.

ERTRAC

European Road Transport Research Advisory Council

ETW

Erftoegangsweg (zie ook GOW en SW)

Een erftoegangsweg is bedoeld voor het toegankelijk maken van erven.

GNSS

Global Navigation Satellite System

GOW

Gebiedsontsluitingsweg (zie ook SW en ETW)

Een gebiedsontsluitingsweg is een weg waarop het verkeer op de wegvakken kan stromen en op de kruispunten kan uitwisselen.

GSR

General Safety Regulation

Verordening (EU) 2019/2144 van het Europees Parlement en de Raad van 27 november 2019 betreffende typegoedkeuringsvoorschriften voor motorvoertuigen en aanhangwagens daarvan, en systemen, onderdelen en technische eenheden die voor dergelijke voertuigen zijn bestemd, wat betreft hun algemene veiligheid en de bescherming van inzittenden van voertuigen en kwetsbare weggebruikers.

HD maps

digitale navigatiekaarten

HOV

Hoogwaardig Openbaar Vervoer
een in Nederland gebruikelijke term voor stads- en streekvervoer dat voldoet aan hoge eisen op het gebied van de doorstroming, comfortvoorziening en reisinformatie bij zowel de haltes als in het voertuig.

HUB

Een mobiliteitshub is een knooppunt in een multimodaal mobiliteitsnetwerk. Op dit knooppunt komen verschillende vervoerswijzen en hun infrastructuur, groottes en schaalniveaus samen. Een hub fungeert als begin-, eind- of overstappunt in de reis. Daarbij is een onderscheid te maken tussen vervoerstromen van personen en vervoerstromen van goederen (logistiek en stadsdistributie), die kunnen overlappen.

ICT

Informatie- en Communicatietechnologie

Implementing act ADS

Uitvoeringsverordening (EU) 2022/1426 van de Commissie van 5 augustus 2022 tot vaststelling van uitvoeringsbepalingen voor Verordening (EU) 2019/2144 van het Europees Parlement en de Raad wat betreft uniforme procedures en technische specificaties voor de typegoedkeuring van de Automated driving system (ADS) van volledig geautomatiseerde voertuigen

ISA

Intelligente Snelheids Assistent
Intelligente snelheidsassistent is een systeem om de bestuurder te helpen de juiste snelheid voor de wegomgeving aan te houden door hem specifieke en gepaste feedback te geven.

ISAD

ISAD zijn infrastructuurondersteuningsniveaus die kunnen worden toegewezen aan delen van het netwerk om geautomatiseerde voertuigen en hun bestuurders te begeleiden bij de "gereedheid" van het wegennet voor toekomstige wegautomatisering

iVRI

Intelligente Verkeersregel installatie

KIM

Kennis Instituut voor Mobiliteitsbeleid

MIRT

Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport

MTM

Motorway Traffic Management

ODD

Operational Design Domain
Het Operational Design Domain zijn de condities waarvoor automatisch rijden systemen of onderdelen daarvan zijn ontworpen, waaronder de omgeving, geografische beperkingen, moment van van de dag en/of bepaalde verkeers- of wegcondities.

OV

Openbaar Vervoer
Voor een ieder openstaand personenvervoer volgens een dienstregeling met een auto, bus, trein, metro, tram of een via een geleidesysteem voortbewogen voertuig. Ook met een schip kan openbaar vervoer plaatsvinden.

PBL

Planbureau voor de Leefomgeving

RDW

Rijks Dienst voor het Wegverkeer

RISM II

Road Infrastructure Safety Management
Op 19 november 2008 is de Europese richtlijn 2008/96/EG (RISM) van het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie vastgesteld. De afkorting RISM staat voor 'Road Infrastructure Safety Management'. Deze richtlijn bevat regels over het beheer van de verkeersveiligheid van weginfrastructuur. In 2019 is richtlijn (EU) 2019/1936 vastgesteld, die strekt tot wijziging van de RISM-richtlijn. De herziene richtlijn wordt RISM-II genoemd.

RTTI

Real Time Traffic Information
Gedelegeerde Verordening (EU) 2022/670 van de Commissie van 2 februari 2022 tot aanvulling van Richtlijn 2010/40/EU van het Europees Parlement en de Raad met betrekking tot de levering van EU-brede realtimeverkeersinformatiediensten

RWS

Rijkswaterstaat

SAE level

Levels of Driving Automation

Smart Mobility**Slimme Mobiliteit**

Het verslimmen van mobiliteit door de inzet van innovatieve technieken en data, in de samenhang tussen voertuig, mens en infrastructuur, teneinde een bereikbare, vitale en gezonde leefomgeving te stimuleren, in een integrale, multimodale en ruimtelijke beleidsafweging, met een betaalbaar, beschikbaar en groen vervoerssysteem in stad en regio, door connectiviteit in een coöperatief publiek-private keten.

SUMP

Sustainable Urban Mobility Plans

SW

Stroomwegen (zie ook ETW en GOW)

Een stroomweg is een weg bedoeld voor een vlotte doorgang van het verkeer.

SYROPS

Synchronous Roundabouts with Rotating Priority Sectors

TDI

Toerit Doseer Installatie

TEN-T

Trans-European Transport Network

Tidal flow

Verkeer dat afwisselend in de ene en in de andere richting overheerst, al naar gelang de tijd of andere periodiek optredende omstandigheden.

V2X

Vehicle to Everything

V2X is het delen van gegevens tussen voertuigen en andere voertuigen, infrastructuur, andere weggebruikers of enig ander communicatiesysteem in één of twee richtingen

VM-IVRA

Verkeersmanagement Informatie voor Routeadvies

Slim routeadvies op maat

VMS

Variable Message sign

Zie ook DRIP

ZRA

Zelfrijdende auto (toegepast bij de illustraties. (Zie ook AV, CCAM en CAV)

Colofon


Toekomstvaste inrichting van wegen –
Een verkenning naar de impact van geautomatiseerd
verkeer en vervoer

Deze whitepaper is tot stand gekomen in opdracht van het
KpVV programma en de Landelijke Krachtenbundeling
Smart Mobility (Cluster Verantwoorde Introductie Automa-
tisch Vervoer, Bundel Infrastructuur van de Toekomst).

uitgave

CROW-KpVV, Ede

Deze uitgave is (mede) mogelijk gemaakt door een
bijdrage vanuit het KpVV-programma. Dit programma
ontwikkelt, verspreidt en borgt collectieve kennis voor
de decentrale overheden op het gebied van mobiliteit.
Het gaat om kennis die fundamenteel ondersteunt
bij de beleidsontwikkeling en -uitvoering. Het KpVV-
programma wordt gefinancierd door de provincies
en de vervoerregio's.

 **Interprovinciaal Overleg**
van en voor provincies


METROPOOLREGIO
ROTTERDAM DEN HAAG

 **Vervoerregio**
Amsterdam

artikelnummer

K-D135

tekst

Peter Morsink, Gerard van Dijck

fotografie

Gerard van Dijck

cartoons

© Beeldleveranciers.nl, Carolien Feldbrugge

vormgeving

Inpladi bv, Cuijk

productie

CROW

contact

CROW Klantenservice: klantenservice@crow.nl
of (0318) 69 53 15

bestellen

Deze uitgave is gratis te downloaden/bestellen via
www.crow.nl/K-D135

