

MIRT-STUDIE A58 TILBURG – BREDA

A58 VAN DE TOEKOMST

Een onderzoek naar het effect van
autonoom rijden op infrastructuur



Daniël Meeusen
172548
2-7-2020



MIRT-studie A58 Tilburg – Breda

A58 van de Toekomst

Een onderzoek naar het effect van autonoom rijden op infrastructuur

Auteur:

Daniël Meeusen

172548

Opleiding:

Mobiliteit

Academy for Built Environment & Logistics (ABEL)

Breda University of Applied Sciences

Datum:

2 juli 2020



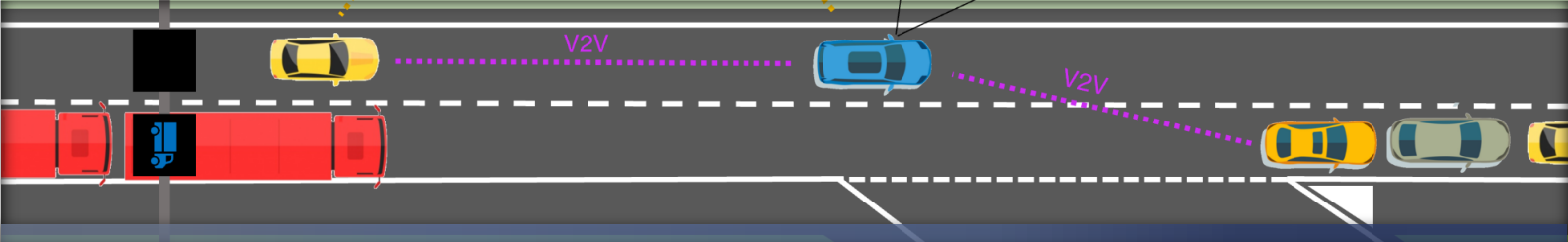
VOORWOORD

Mijn interesse binnen het vakgebied van mobiliteit gaat onder andere uit naar de ontwikkeling van nieuwe innovaties en ontwerp van infrastructuur. In dit onderzoek staat de relatie tussen deze twee domeinen centraal.

In dit onderzoeksrapport is beschreven hoe een snelweg in 2050 kan worden vormgegeven, gericht op de ontwikkeling van autonoom vervoer. Deze visie is vertaald naar de A58 Tilburg – Breda, welke tussen 2025 en 2030 verbreed gaat worden. Het was leerzaam om te werken aan een visie voor infrastructuur van de toekomst en daaraan gekoppeld de A58 tussen Tilburg en Breda.

Voor de begeleiding vanuit de gemeente Breda zou ik graag John Bakker willen bedanken en vanuit Rijkswaterstaat Rick Delbressine. Vanuit de Breda University of Applied Sciences wil ik ook bedanken: mijn hogeschoolbegeleider Rien Smalheer en mijn studiegenoten Ruben Vergeer en Jim van Beckhoven. De afgelopen stageperiode hebben zij mij begeleid in het proces van mijn onderzoek en ontwikkeling van mijn leerdoelen. Ook wil ik graag Hendrik-Jan Bergveld (Ministerie van I&W) en Sander Zondervan (Antea Group) bedanken dat zij bereid waren om met mij in gesprek te gaan over dit onderzoeksonderwerp.

Tenslotte wil ik graag Mark van Eijk (stage-coördinator) en Jeroen Weppner bedanken. Door de uitbraak van de coronacrisis aan het begin van de stageperiode, waren er voormalige stageplaatsen geannuleerd, waar ik ook onder viel. Door het snel omschakelen en opzetten van alternatieve stageopdrachten, kon een mogelijke studievertraging uiteindelijk worden voorkomen.



SAMENVATTING

In de periode van april tot juli 2020 is er onderzoek gedaan naar welke voorwaarden gesteld dienen te worden aan de vormgeving van een snelweg in 2050, gericht op de ontwikkeling van autonoom vervoer. Deze visie is vertaald naar de A58 Tilburg – Breda, welke tussen 2025 en 2030 verbreed gaat worden.

De auto wordt als voertuig steeds geavanceerder. De afgelopen jaren zijn er rijhulpsystemen als Adaptive Cruise Control en Lane Departure Assist op de markt verschenen, met als doel de rijtaak voor de bestuurder gemakkelijker te maken. Daarnaast zijn automerken en techbedrijven bezig met de ontwikkeling van de zelfrijdende auto. Een bekend voorbeeld is Tesla die haar auto's voorziet van hardware om later volledig autonoom rijden mogelijk te maken. De vraag is wat de ontwikkeling van de zelfrijdende auto gaat betekenen voor de inrichting van infrastructuur. De geavanceerde rijhulpsystemen bieden de mogelijkheid om bepaalde ontwerprichtlijnen te heroverwegen. Zo is het (theoretisch) mogelijk om rij-, redresseerstroken en de obstakelvrijzone te versmallen.

De communicatie van data tussen voertuigen onderling en infrastructuur (V2X) kan een bijdrage leveren aan de optimalisatie van de verkeersstromen op het wegennetwerk. Door het communiceren van voertuig- en verkeers-gerelateerde data kan de wegcapaciteit efficiënter benut worden. Zo kunnen met platooning voertuigen in colonnes dichter op elkaar rijden. Infrastructuur moet daarbij onder anderen aangesloten worden op het C-V2X-netwerk om de kansen die V2X-communicatie biedt voor de verkeersveiligheid en wegcapaciteit, mogelijk te maken.

De **weg van de toekomst (2030 - 2050)** kan steeds **efficiënter benut** worden, doordat er bij de aanleg al rekening is gehouden met **aankomende innovaties**. De weg is gericht op een **gemengde voertuigvloot van autonoom rijden** en is in staat om te **communiceren met voertuigen**, zodat verkeersstromen worden geoptimaliseerd. .

De A58 tussen Tilburg en Breda bestaat tussen St. Annabosch en Tilburg-Centrum West uit 2x2 rijstroken en tussen Tilburg-Centrum West en De Baars uit 2x3-rijstroken. Op dit traject treedt er bijna dagelijks vertraging op. De huidige I/C-capaciteit ligt tussen de 0,8 en 0,9 en naar verwachting stijgen deze waarden tot 2030 naar 1,0 als er geen maatregelen worden genomen. Om de betrouwbaarheid van de reistijd en bereikbaarheid van het gebied op dit traject te verbeteren, heeft Rijkswaterstaat vijf oplossingspakketten gevormd. Deze betreffen: niet-infra, slim ruimtegebruik, slim gebruik, 2x3 en 2x4.

Wanneer er bij de aanpak van de A58 Tilburg – Breda rekening wordt gehouden met de aanleg van kabelinfrastructuur voor 5G, intelligente wegkantsystemen, camera's voor voertuigdetectie en een dynamische doelgroepstrook voor (truck)platooning, voldoet de A58 aan de voorwaarden voor een weg van de toekomst. De A58 van de Toekomst is dan in staat om voertuig- en verkeersgerelateerde data uit te wisselen tussen voertuigen, mens en infrastructuur, wat kan leiden tot een efficiëntere benutting van het traject.

Als vervolg op dit onderzoek, wordt er geadviseerd om aanvullend onderzoek te doen naar het gedrag van automobilisten tijdens het invoegen in een voertuigpeloton, specifieke eisen voor de aanleg van slimme infrastructuur en de aanpassingen van maatvoeringen.



INHOUDSOPGAVE

1.0 INLEIDING.....	8
1.1 ACHTERGROND & AANLEIDING	8
1.2 BETROKKEN PARTIJEN	10
1.3 DOELSTELLING & AANPAK	11
1.4 LEESWIJZER	14
2.0 ONTWIKKELING AUTONOOM VERVOER.....	15
2.1 NIVEAUS VAN AUTONOOM VERVOER	15
2.2 VERWACHTE TRANSITIE NAAR VOLLEIDG AUTONOOM.....	17
2.3 EFFECTEN OP VORMGEVING.....	20
2.4 DEELCONCLUSIES.....	23
3.0 COMMUNICATIESYSTEMEN	24
3.1 VEHICLE-TO-EVERYTHING COMMUNICATIE.....	24
3.2 ONTWIKKELING V2X	25
3.3 EFFECTEN OP DE WEGOMGEVING.....	26
3.4 DEELCONCLUSIES	27
4.0 VERKEERSGEDRAG & AUTONOOM RIJDEN.....	28
4.1 RELATIE TUSSEN RIJHULPSYSTEMEN, VERKEERSVEILIGHEID EN INFRASTRUCTUUR	28
4.2 TRUCK PLATOONING	30
4.3 DEELCONCLUSIES	31
5.0 REFERENTIEPROJECTEN	32
5.1 PARTNERSHIP TALKING TRAFFIC.....	32
5.2 SLIMME PROVINCIALE WEG N205 (NOORD-HOLLAND)	33
5.3 INNOVA58.....	34
5.4 YEOJU SMART HIGHWAY ZUID-KOREA	35
5.5 TESTTRACK A270 HELMOND	36
5.6 DEELCONCLUSIES	36
6.0 WEG VAN DE TOEKOMST	37
6.1 AANKOMENDE ONTWIKKELINGEN	37
6.2 DATA IN DE MOBILITEITSDRIEHOEK	38
6.3 VOORWAARDEN AAN DE INFRASTRUCTUUR VAN DE TOEKOMST	38
6.4 ONZEKERHEDEN	41
6.5 ADAPTIEF INSPELEN OP DE ONTWIKKELINGEN	42
6.6 DEELCONCLUSIES	44
7.0 HUIDIGE EN TOEKOMSTIGE A58	45
7.1 DE HUIDGE A58.....	45

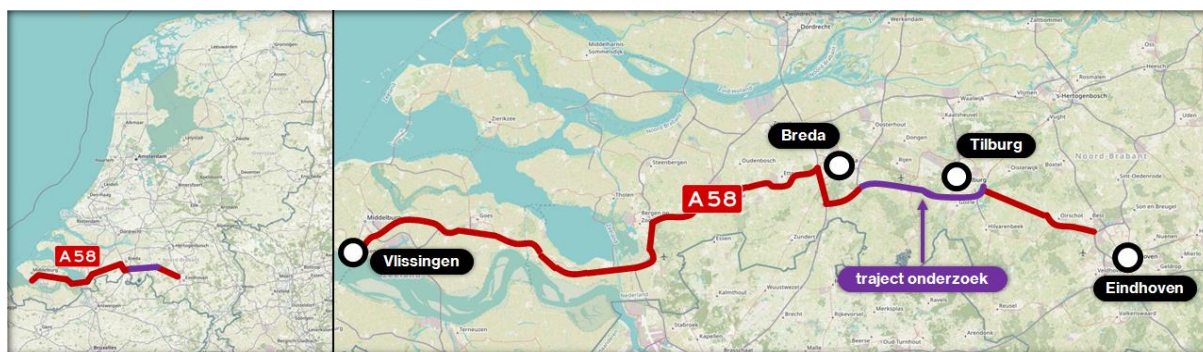
7.2 DE TOEKOMSTIGE A58	46
7.3 DEELCONCLUSIES.....	47
8.0 A58 VAN DE TOEKOMST	48
8.1 RUIMTEGEBRUIK	48
8.2 (INTELLIGENTE) VOORZIENINGEN	50
8.3 DEELCONCLUSIES	50
9.0 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	51
9.1 CONCLUSIES	51
9.2 AANBEVELINGEN.....	54
LITERATUURLIJST	55
BIJLAGE 1: BEGRIPPENLIJST	59
BIJLAGE 2: PARTNERSHIP TALKING TRAFFIC	63

1.0 INLEIDING

In het plan van aanpak wordt de samenstelling van het onderzoek besproken. Hierbij zal worden ingegaan op de context, het vraagstuk en de betrokken partijen in het onderzoek. Ten slotte volgt er een methodische verantwoording over het plan van aanpak.

1.1 ACHTERGROND & AANLEIDING

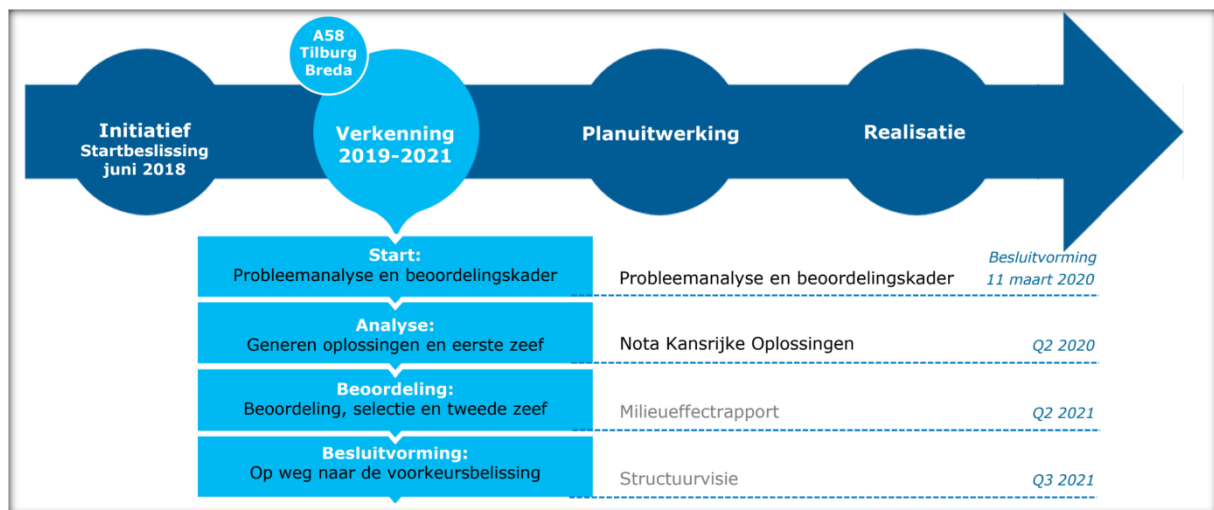
De A58 is een snelwegverbinding, onderdeel van het Nederlandse hoofdwegenet, tussen Eindhoven en Vlissingen (zie figuur 1). Het vormt een belangrijke verbinding in Zuid-Nederland tussen verschillende woon- en werkgebieden. Het traject tussen Tilburg en Breda vormt een belangrijke schakel in het (internationale) wegennetwerk tussen de Mainport Rotterdam, Brainport Eindhoven, Greenport Venlo en het Duitse Ruhrgebied. Vanwege deze economische functie is een goede doorstroming op deze verbinding van groot belang.



Figuur 1: Traject A58

Het probleem is echter dat er op het traject Tilburg – Breda dagelijks files staan, wat er zelfs toe geleid heeft dat deze in de top 50 files van Rijkswaterstaat staat. De huidige I/C-verhouding ligt tussen de 0,8 en 0,9. Naar verwachting zullen deze waarden in 2030 stijgen naar 1,0 als er geen maatregelen worden genomen. Deze waarden betekenen dat er grote kans op filevorming is en de verkeersafwikkeling slecht is (Antea Group, 2020). Volgens de economische wegwijzer 2016 leiden de files op de A58 tot 6,5 miljoen euro schade per jaar (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018).

Om de betrouwbaarheid van de reistijd en bereikbaarheid van het gebied te verbeteren, is in juni 2019 de verkenning van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT) gestart. Het MIRT is een programma waarin ruimtelijke projecten zijn opgenomen die doormiddel van rijksinvesteringen gefinancierd worden. In het MIRT werkt het Rijk samen met andere partijen (overheden, maatschappelijke organisaties, bedrijven, etc.) om de concurrentiepositie, bereikbaarheid en leefbaarheid van Nederland duurzaam te ontwikkelen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2016). Binnen het MIRT zit de A58 Tilburg-Breda in de verkenningsfase (zie figuur 2). Hierbij wordt gekeken naar wat de nut en noodzaak is van verbreding en welke alternatieven er mogelijk zijn. Het doel van de verkenning is om te zoeken naar de 'slimste oplossing' om de bereikbaarheid te vergroten.



Figuur 2: Planning MIRT Tilburg – Breda (Antea Group, 2020)

Uit de marktverkenning en de startbeslissing blijken er kansen te zijn voor een combinatie van smart mobility-, gedragsmaatregelen en fysieke capaciteitsuitbreiding. Daarom is in het Bestuurlijk Overleg MIRT besloten tot de start van een verkenning, als onderdeel van het programma SmartwayZ.NL. Dit is een mobiliteitsprogramma dat, samen met het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, de provincies Noord-Brabant en Limburg en andere partijen, aan een innovatief mobiliteitsnetwerk werkt. De druk op het huidige wegennet neemt toe en uit de praktijk blijkt dat het aanleggen van extra rijstroken niet altijd de beste oplossing is. Daarnaast zijn er nieuwe innovaties binnen mobiliteit in opkomst, zoals autonoom vervoer en deelsystemen. SmartwayZ.NL wil hierop inspelen en heeft de ambitie om het slimste wegennet van Europa te realiseren. Verschillende partijen werken hierin samen aan acht deelopgaven, waaronder de A58 Tilburg – Breda (SmartwayZ.NL, z.d.).

Voor de verkeersproblematiek op de A58 zijn er vijf mogelijke oplossingspakketten aangewezen ter onderzoek, bestaande uit een hoofdoplossing met aanvullende maatregelen voor doorstroming en verkeersveiligheid:

Pakket	Onderzoek naar	Extra rijstroken	Type maatregelen
Niet-infra pakket	Oplossing zonder extra rijstroken	Geen	Verruimen in- en uitvoegstroken, aanpassen van verkeerslichten, stimuleren fietsgebruik, etc.
Slim ruimtegebruik	Oplossing zonder extra ruimtebeslag	1 extra rijstrook per richting in de middenberm	Verruimen in- en uitvoegstroken
Slim gebruik	Oplossing die slim gebruik maakt van de beschikbare ruimte	1 extra rijstrook per richting in de middenberm	Verruimen in- en uitvoegstroken, dynamische wegkant informatie, doelgroepstrook, etc.
2x3	Weg met 2x3 rijstroken	1 extra rijstrook per richting aan de buitenkant	Werkgeversbenadering, snelbus, samenvoegen van verzorgingsplaatsen
2x4	Weg met 2x4 rijstroken	2 extra rijstroken per richting aan de buitenkant	Samenvoegen van verzorgingsplaatsen

Tabel 1: Mogelijke oplossingspakketten voor verkeersproblematiek A58 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020)

Naar verwachting zal de realisatie van de vernieuwde A58 tussen 2026 en 2030 gereed zijn (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018).

Vraagstuk en afbakening

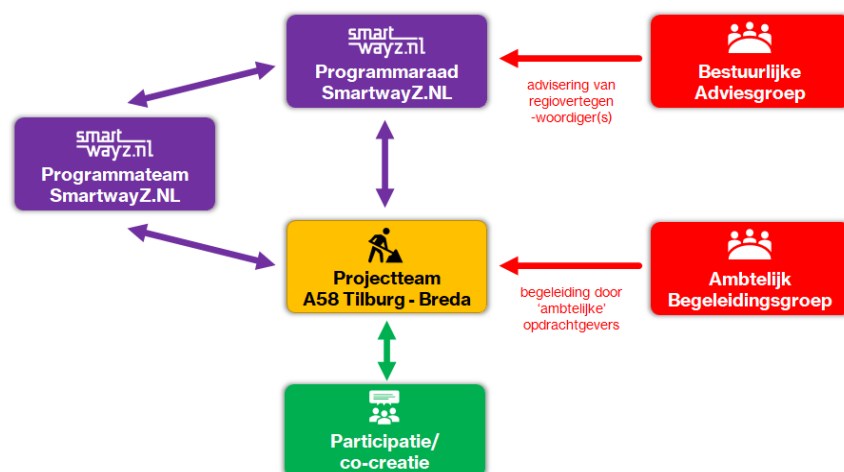
De casus van dit onderzoek zal zich richten op de ontwikkeling van zelfrijdend vervoer in de periode 2025-2050. Bij de verbreding van de A58 wil Rijkswaterstaat inspelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer. Deze biedt kansen voor de optimalisatie van de wegcapaciteit en verbetering van de verkeersveiligheid. Door tijdens de verbreding al rekening te houden met komende innovaties, hoeft de weg de komende 30 jaar niet meer worden opgebroken, wanneer nieuwe innovaties op de markt verschijnen. De A58 is als het ware dan toekomstbestendig.

In dit onderzoek zal worden onderzocht wat het effect zal zijn van een voertuigvloot op de vormgeving van een snelweg, bestaande uit een menging van verschillende gradaties autonoom vervoer (niveau 2 t/m 4). Deze uitkomsten zullen worden vertaald naar de A58 Tilburg – Breda, waaruit duidelijk zal worden wat het effect is op ruimtegebruik en voorzieningen om de bestaande A58 geschikt te maken voor de opkomst van de zelfrijdende (vracht)auto.

Het plangebied betreft het wegvak van de A58 tussen knooppunt Sint Annabosch (Breda) en De Baars (Tilburg). Dit houdt in dat beide knooppunten buiten het plangebied vallen.

1.2 BETROKKEN PARTIJEN

Bij de MIRT-verkenning van de A58 zijn verschillende partijen betrokken. De verkenning wordt uitgevoerd door het projectteam A58 Tilburg – Breda. In het projectteam hebben zitting: het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, de Provincie Noord-Brabant, Gemeente Tilburg en Gemeente Breda. De opdrachtgever van de verkenning is het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. De programmaraad van SmartwayZ.NL heeft de bevoegdheid tot besluitvorming over de verkenning, die bekrachtigd wordt door het Bestuurlijk Overleg MIRT. De programmaraad wordt daarnaast geadviseerd door de Bestuurlijke Adviesgroep, bestaande uit overheden die invloed hebben in het gebied. Ten slotte is het participatieproces een onderdeel van de MIRT-verkenning, waarbij belanghebbenden en geïnteresseerde, zoals bewoners, bedrijven en verenigingen, mee mogen denken over (slimme) oplossingen voor de A58 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018).



Figuur 3: Relaties tussen betrokken partijen project A58 Tilburg – Breda (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2018).

1.3 DOELSTELLING & AANPAK

De doelstelling van dit onderzoek betreft: **“Het opstellen van voorwaarden voor een verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden (niveau 2-4)¹, welke vertaald kan worden naar de A58 Tilburg – Breda.”**

Hierbij luidt de hoofdvraag:

“Welke voorwaarden moeten worden gesteld aan de verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden en hoe verhoudt dit zich tot de oplossingspakketten van de A58 Tilburg-Breda?”

Om deze hoofdvraag te beantwoorden is er informatie nodig. Deze zal worden verkregen uit wetenschappelijke onderzoeken en vak-artikelen. In sommige gevallen zal er ook informatie worden verkregen vanuit experts. Indien dit het geval is, is dit aangegeven bij de deelvraag.

Deelvraag 1: “Hoe ziet de transitie naar autonoom vervoer er de komende jaren uit?”

Onderzoek naar	Doel	Expert
De eigenschappen van de 6 niveaus van autonoom rijden	In kaart brengen wat de (technische) eigenschappen zijn per type niveau van autonoom vervoer.	Rick Delbressine <i>Technisch Adviseur Smart Mobility Rijkswaterstaat</i>
De prognose van het aanbod van het wagenpark in de periode 2025 – 2050.	Kunnen voorspellen welke types autonoom vervoer in de periode 2025 – 2050 op het wegennet zullen rijden.	
Gevolgen/criteria op de maatvoering van een weg per niveautype van autonoom rijden en per voertuigsoort.	In kaart brengen wat het effect is op rijstrookindeling en -maatvoering van de verschillende niveautypes autonoom vervoer.	

Deelvraag 2: “Welke effecten heeft de communicatie tussen voertuigen onderling en infrastructuur op de vormgeving en het gebruik van de weg?”

Onderzoek naar	Doel
Kenmerken van verschillende communicatiesystemen tussen voertuigen onderling en infrastructuur (V2X, 5G, DSRC, etc.).	In kaart brengen welke systemen nodig zijn om de weg te kunnen laten communiceren met het voertuig.
Gevolgen van verschillende communicatiesystemen op de vormgeving van de weg.	Onderzoek naar de invloed op vluchtstroken, bergingszones en noodzaak van wegmeubilair.

¹ Er zijn zes niveaus van autonoom vervoer te onderscheiden, waarbij niveau 0 geen automatisering betreft en niveau 5 volledig autonoom. In hoofdstuk 2 Ontwikkeling Autonoom Vervoer zal hier dieper op in worden gegaan.

Deelvraag 3: “Wat zijn de effecten van het verkeersgedrag van bestuurders in verschillende niveautypes autonoom vervoer op de vormgeving van de weg?”

Onderzoek naar	Doel	Expert
Het verkeersgedrag van weggebruikers op de niveautypes van autonoom rijden.	In kaart brengen welke kansen en bedreigingen de niveautypes van autonoom vervoer brengen in het verkeersgedrag van weggebruikers.	Rick Delbressine <i>Technisch Adviseur Smart Mobility Rijkswaterstaat</i>

Deelvraag 4: “Welke projecten kunnen als referentie dienen voor de A58 Tilburg – Breda?”

Onderzoek naar	Doel
Projecten die als referentie kunnen dienen voor zelfrijdend vervoer op de A58 Tilburg – Breda.	In kaart brengen van kansen, bedreigingen en leerpunten in vergelijkbare projecten.

Deelvraag 5: “Welke voorwaarden moeten worden gesteld aan de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden in de periode 2030-2050?”

Resultaat	Doel
Conclusie van bovenstaande deelvragen, met daaruit komende voorwaarden	Ontwikkelen ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden (niveau 2 t/m 4).

Deelvraag 6: “Hoe ziet het huidige ontwerp en de oplossingspakketten van de A58 Tilburg – Breda eruit?”

Onderzoek naar	Doel	Expert
Huidige rijstrookindeling	In kaart brengen van de huidige infrastructuur als nulpunt om later te kunnen bepalen welke aanpassingen nodig zijn om deze “futureproof” te maken.	Hendrik Jan Bergveld <i>Projectleider A58 Tilburg – Breda Ministerie van IenW</i>
Maatregelen voor uitbreiding van de A58 in de MIRT-verkenning	In kaart brengen welke maatregelpakketten voor de A58 Tilburg – Breda in het zicht zijn.	Sander Zondervan <i>Adviseur Ruimtelijke Strategie Antea Group</i>

Deelvraag 7: “Hoe verhoudt de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden zich tot de oplossingspakketten van de A58 Tilburg-Breda?”

Onderzoek naar	Doel
Effect van een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden (niveau 2 t/m 4) op ruimtegebruik en voorzieningen van de A58 Tilburg – Breda.	In kaart brengen hoe de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden zich verhoudt tot de A58 Tilburg – Breda.

Conceptueel onderzoeksmodel

De eerste vier deelvragen vormen het theoretisch kader van het onderzoek. Hier zal worden ingegaan op de ontwikkeling van autonoom vervoer, communicatiesystemen tussen voertuigen onderling en infrastructuur, de relatie tussen verkeersgedrag van weggebruikers en autonoom vervoer en referentieprojecten. Vervolgens kan er een beeld worden gevormd over hoe een snelweg er in 2050 uit zou kunnen komen te zien (Weg van de Toekomst). Met de huidige en toekomstige vormgeving van de A58 kan vervolgens worden onderzocht wat nodig is om de A58 gereed te maken op toekomstige innovaties.



Figuur 4: Conceptueel onderzoeksmodel

Resultaat

Uit de verkregen informatie van de eerste vier onderzoeksvragen wordt een vormgeving gemaakt hoe een weg eruit moet komen te zien, gericht op een autovloot met een menging van de niveautypes 2 – 4. Vervolgens kan worden getoetst hoe de huidige vormgeving van de A58 zich verhoudt met de weg van de toekomst. Hieruit volgt een beschrijvende vormgeving voor de A58 bestaande uit:

- Gericht op de A58 tussen de knooppunten Sint Annabosch en de Baars, na realisatie in 2030;
- Voorwaarden voor de indeling van infrastructuur (zoals rijstrookindeling), gericht op de niveautypes 2 – 4 van autonoom vervoer;
- Voorwaarden voor wegmeubilair om communicatie tussen weg en voertuig mogelijk te maken;
- Voorwaarden waar in het nieuwe ontwerp van de A58 rekening moet worden gehouden om verdere ontwikkeling van autonoom vervoer mogelijk te maken.

1.4 LEESWIJZER

Dit rapport is opgebouwd uit negen hoofdstukken, waarvan hoofdstuk 2 t/m 5 uit literatuurstudie bestaan. **Hoofdstuk 2** gaat over de ontwikkeling van autonoom vervoer met de bijbehorende effecten en kansen op de vormgeving van wegen en **hoofdstuk 3** gaat over de benodigde communicatiesystemen om autonoom vervoer mogelijk te maken. **Hoofdstuk 4** gaat in op het verkeersgedrag onder weggebruikers die gebruikmaken van rijhulpsystemen en **hoofdstuk 5** behandelt een aantal referentieprojecten voor de A58 Tilburg – Breda.

Met de inzichten en conclusies uit de hoofdstukken 2 t/m 5 kan vervolgens de ideale weg van de toekomst worden ontworpen in **hoofdstuk 6**. In **hoofdstuk 7** wordt ingegaan op de huidige en toekomstige A58, waarna in **hoofdstuk 8** kan worden bekeken hoe de A58 zich verhoudt met de ideale vormgeving van hoofdstuk 6. Het rapport wordt vervolgens in **hoofdstuk 9** afgesloten met een conclusie en een aantal aanbevelingen.

Aansluitend is in **bijlage 1** een begrippenlijst bijgevoegd en in **bijlage 2** informatie over de toepassing van het partnership Talking Traffic (hoofdstuk 5).



2.0 ONTWIKKELING AUTONOM VVERVOER

Veel fabrikanten zijn bezig met de ontwikkeling van autonoom vervoer. De automatisering van voertuigen is geen doel op zich, maar een middel om de rijtaak voor de bestuurder comfortabel te maken. Daarnaast brengt de ontwikkeling van autonoom vervoer kansen met zich mee voor de verkeersveiligheid en doorstroming op het wegennet. In dit hoofdstuk wordt de eerste deelvraag van dit onderzoek beantwoord:

Deelvraag 1: “Hoe ziet de transitie naar autonoom vervoer er de komende jaren uit?”

2.1 NIVEAUS VAN AUTONOM VVERVOER

In 2016 heeft Society of Automotive Engineers (SAE)² zes niveaus van automatisering vastgesteld om onderscheid te kunnen maken tussen de technische eigenschappen van autonoom rijden. Het laagste niveau betreft geen automatisering en loopt op tot volledig geautomatiseerd in het hoogste niveau (SAE, 2018). In tabel 2 is een samenvatting weergegeven van welke rijtaken onder welke verantwoordelijkheid vallen (bestuurder of systeem).

SAE Level	Omschrijving	Remmen, sturen, versnellen	Monitoren omgeving van het voertuig	Dynamische /strategische rijtaken	Terugvaloptie	Attentieniveau bestuurder		
						Handen	Ogen	Hersenen
0	Geen automatisering	Bestuurder	Bestuurder	Bestuurder	Bestuurder	Aan	Aan	Aan
1	Ondersteuning bestuurder	Bestuurder	Bestuurder	Bestuurder & systeem	Bestuurder			
2	Gedeeltelijke automatisering	Systeem	Bestuurder	Bestuurder & systeem	Bestuurder	Uit	Uit	Uit
3	Voorwaardelijke automatisering	Systeem	Systeem	Bestuurder & systeem	Bestuurder			
4	Hoog geautomatiseerd	Systeem	Systeem	Systeem	Bestuurder			
5	Volledig geautomatiseerd	Systeem	Systeem	Systeem	Systeem			
Hersenen		Aan	Uit	Het wel of niet nodig zijn om tijdens het rijden alert en waakzaam te blijven				
Handen		Aan	Uit	Het wel of niet nodig zijn om de handen aan het stuur en de voeten op de pedalen te houden				
Ogen		Aan	Uit	Het wel of niet nodig zijn om op te letten wat er op de weg gebeurt				

Tabel 2: SAE-levels (CROW, z.d.)

Niveau 0 & 1: Géén automatisering en ondersteuning bestuurder

Het laagste niveau van automatisering betreft niveau 0: géén automatisering. In de ‘traditionele auto’ moet de bestuurder zelfstandig alle rijtaken uitvoeren, zoals remmen en gas geven. De meeste moderne voertuigen beschikken over ondersteunende rijhulpmiddelen, welke onder niveau 1 vallen: Het voertuig kan de bestuurder helpen bij het behouden van de snelheid en waarschuwen van obstakels. Voorbeelden van ondersteunende functies zijn cruise control, lane departure warning en In-car signage. Zie bijlage 1 voor de betekenis van deze rijhulpsystemen.

² Society of Automotive Engineers (SAE international) is een Amerikaans instituut bestaande uit automobielskundigen.

Niveau 2: Gedeeltelijke automatisering

Rijhulpsystemen als Adaptive Cruise Control (ACC), Lane Keep Assist (LKA) en Automatic Emergency Braking (AEB) vallen onder niveau 2. Met rijhulpsystemen (ADAS – Advanced Driver Assistant Systems) worden de basis rijtaken, als remmen, sturen en versnellen, overgenomen door het voertuig.

Een geavanceerdere versie van deze rijhulpsystemen is de Autopilot die ingebouwd zit in verschillende Tesla modellen. Camera's en sensoren detecteren objecten in een 360-graden zicht met een bereik tot 250 meter. Naast automatisch sturen, versnellen en remmen, biedt de Autopilot aanvullende functies. Zo kan het systeem rijstrookwisselingen voorstellen om je route te optimaliseren, smallere bochten nog strakker nemen of zichzelf naar een beschikbare parkeerplek navigeren (Tesla, z.d.).

Echter betekenen deze functies niet dat het voertuig zelfrijdend is. Bestuurders moeten tijdens het rijden ten allen tijden blijven opletten en de bediening over kunnen nemen als het voertuig niet meer kan ondersteunen.



Figuur 5: Voorbeelden van rijhulpsystemen (Audi, z.d.) (Chevrolet, z.d.) (Corby, 2018)

Niveau 3: Voorwaardelijke automatisering

De functies van de Autopilot in Tesla-modellen kennen raakvlakken met niveau 3 van automatisering. Het voertuig kan de omgeving in de gaten houden en kan op snelwegen zelfstandig de rijtaken overnemen. De auto is dan in staat om onverwachte situaties te voorspellen, wat betekent dat de bestuurder zijn aandacht op iets anders kan richten. Echter geldt nog steeds dat de bestuurder het voertuig moet kunnen overnemen, indien het systeem dit vraagt. Huidige auto's die tot dit niveau behoren, zoals de Waymo, Audi R8 en enkele Tesla-modellen, zijn voorzien van het TOR-systeem (take-over-requests). Het systeem vraagt de bestuurder frequent om het stuur tijdelijk over te nemen, zodat de bestuurder alsnog gefocust blijft op de weg.

Niveau 4: Hoog geautomatiseerd

Binnen dit niveau kan het voertuig alle rijtaken overnemen van de bestuurder, in de veronderstelling dat hij niet altijd spoedig zal reageren op het verzoek van het TOR-systeem (CROW, z.d.).

Op dit moment zijn verschillende (auto)fabrikanten bezig met het ontwikkelen en testen van voertuigen met een hoge automatisering. Testvoertuigen van Waymo, onderdeel van Alphabet³, zijn voorzien LiDAR-technologie. Deze radar-technologie analyseert objecten, zoals verkeerslichten en andere voertuigen, in een 360-graden beeld. Het systeem kan

³ Alphabet Inc. is sinds 2015 het moederbedrijf van Google Inc. In 2016 is het 'Google self-driving car project' vernoemd naar Waymo als onderdeel van Alphabet.

dan zien of een verkeerslicht op rood staat en met welke snelheden nabije voertuigen rijden. Door middel van kunstmatige intelligentie is het systeem zelflerend en zal het naarmate de tijd betere voorspellingen kunnen doen (Waymo, z.d.).



Figuur 6: LIDAR-technologie in Waymo-voertuigen (Waymo, z.d.)

Niveau 5: Volledig geautomatiseerd

Het hoogste niveau van automatisering betreft volledig geautomatiseerd. Het voertuig neemt alle rijtaken van de bestuurder over, waarbij de bestuurder niet meer hoeft in te grijpen. Sterker nog, voertuigen die over dit niveau beschikken hebben helemaal geen bestuurder nodig. Zo kan men bijvoorbeeld uitstappen voor de ingang van zijn kantoor en de auto rijdt zelf naar een parkeerplek. Daarnaast wordt het mogelijk om tijdens het rijden te werken, vergaderen of te lezen.

Een voorbeeld van een voertuig die onder dit niveau valt is de Rivium ParkShuttle in Capelle aan den IJssel. Dit is een zelfrijdende shuttle van 2getthere, die sinds 1999 iedere dag passagiers vervoert tussen metrostation Kralingse Zoom en het kantorenpark Rivium. In de zomer van 2020 zal de derde generatie van deze shuttle naast zijn eigen infrastructuur, ook voor het eerst op de openbare weg rijden (2getthere, z.d.).



Figuur 7: Rivium ParkShuttle 3.0 (2getthere, z.d.)

2.2 VERWACHTE TRANSITIE NAAR VOLLEIDIG AUTONOOM

Op dit moment zijn er al veel modellen die uitgerust worden met rijhulpsystemen die behoren tot niveau 1 en 2. Daarnaast zijn fabrikanten bezig met het ontwikkelen en uitbrengen van voertuigen die tot niveau 3 in staat zijn. Ze zijn dan voorzien van een automatische piloot, maar daar liggen dan nog wel beperkingen aan vast. In simpele verkeerssituaties, zoals snelwegen, kan de huidige automatische piloot prima zelfstandig rijden, zonder dat de bestuurder moet ingrijpen. Echter wanneer de situatie verandert, bijvoorbeeld bij wegwerkzaamheden, zal de autopiloot de situatie niet meer begrijpen en wordt er van de bestuurder verwacht het stuur over te nemen (Dikkenberg, 2020). Het probleem dat hierbij speelt is dat uit een studie blijkt dat bestuurders minstens 6 seconden nodig hebben om de rijtaak over te nemen, wanneer het voertuig dit vraagt (Nes & Duivenvoorden, 2017). Omdat in het verkeer iedere seconde telt en de systemen in niveau 3 een gevoel van schijnveiligheid kunnen geven, kiezen sommige fabrikanten ervoor om dit niveau over te slaan en te focussen op niveau 4.

In niveau 4 is de discussie over het TOR-systeem verdwenen (beperking niveau 3), omdat verwacht en geaccepteerd wordt dat de bestuurder niet altijd frequent zal reageren wanneer het stuur over moet worden genomen. Tot op heden zijn er nog wel beperkingen die overwonnen moeten worden om het rijden met niveau 4 'waterdicht' te maken. In de software van de autopilot zijn verschillende verkeerssituaties geprogrammeerd, zodat het voertuig weet hoe hij moet reageren. Echter "bestaat het verkeer niet altijd uit eentjes en nulletjes", waardoor de afgelopen jaren al meerdere voorbeelden van ongelukken met zelfrijdende voertuigen te betreuren zijn. Zo remde een Uber-auto te laat, toen een overstekende vrouw met een fiets aan de hand te laat werd herkend door de software (Poort, 2019). Een ander voorbeeld is dat een Tesla een aanhanger van een vrachtwagen niet herkend had vanwege de felverlichte achtergrond (Horlings, 2019).

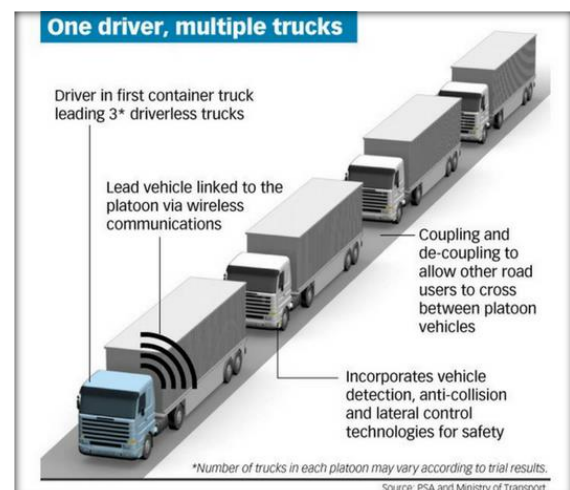
De ideale situatie zal zijn dat voertuigen volledige autonoom zijn (niveau 5). Echter blijft de ontwikkeling hiervan met auto's en vrachtwagens op de openbare weg nu nog redelijk beperkt. Er zijn nog veel bottlenecks die opgelost moeten worden, zoals systeembeveiliging en juridische zaken. Daarnaast dienen er nog heel veel tests te worden gedaan, totdat de systemen van zelfrijdende voertuigen 'waterdicht' zijn en in alle omstandigheden perfect kunnen functioneren. Sommige automerken claimen dat er in 5-10 jaar volledige zelfrijdende auto's op de markt kunnen verschijnen voor consumenten, anderen verwachten dit nog 10 tot 30 jaar kan duren (Toet, 2020).

Truck Platooning

Wat betreft vrachtwagens wordt er geëxperimenteerd met truck platooning (niveau 2). Bij dit systeem zijn meerdere vrachtauto's digitaal aan elkaar gekoppeld, waarbij de voorste vrachtauto de snelheid en route van het konvooi bepaalt. Het voordeel hiervan is dat vrachtauto's dichter op elkaar rijden, wat een positief effect heeft op de doorstroming en CO2-uitstoot (Association European Automobile Manufacturers, 2017).

Echter brengt truck platooning ook discussiepunten met zich mee. Nu is er op het Nederlandse wegennetwerk al vaak sprake van colonnevorming van vrachtauto's. Hierdoor ondervinden automobilisten problemen bij het in- en uitvoegen, doordat ze moeite hebben om veilig tussen de vrachtwagens te voegen. Als er straks meer slimme vrachtwagens met korte volgafstanden op de weg gaan rijden, wordt de ruimte om veilig in en uit te voegen voor automobilisten kleiner (ANWB, z.d.).

Op het moment is truck platooning alleen mogelijk met vrachtauto's van hetzelfde merk. De European Automobile Manufacturers Association⁴ heeft, samen met verschillende overheden en bedrijven, de ambitie om in 2023 truck platooning tussen verschillende merken mogelijk te maken en breed te faciliteren op het Europese hoofdwegennet (Association European Automobile Manufacturers, 2017).



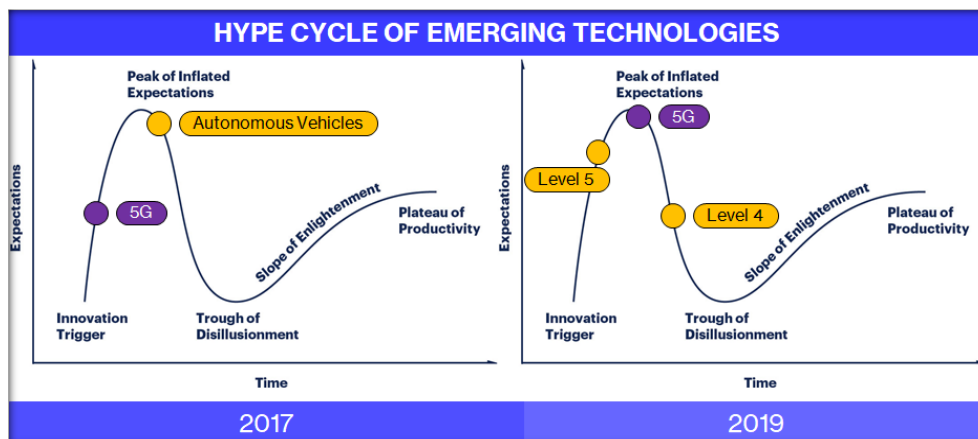
Figuur 8: Truck Platooning (Duan, 2017)

⁴ De European Automobile Manufacturers Association (ACEA) vertegenwoordigt 16 Europese voertuigproducenten, zoals de BMW Group, Daimler, FCA, DAF en Volvo.

Gartner Hype Cycle

Ondanks dat bedrijven grote verwachtingen en beloftes hebben over autonoom vervoer, kan de ontwikkeling ervan nog jaren duren. IT onderzoeks- en adviesbureau Gartner heeft de Hype Cycle ontwikkeld, welke een meetlat weergeeft over de volwassenwording van nieuwe technologische ontwikkelingen. Iedere nieuwe techniek doorloopt dezelfde fase: bij de introductie verschijnt het in de media en krijgt het veel aandacht (**Innovation Trigger**). Vervolgens wordt het een hype en verschijnen de eerste grote successen en mislukkingen (**Peak of Inflated Expectations**). Daarna verdwijnt de interesse in de techniek, omdat de vooruitzichten rooskleuriger werden gedacht dan daadwerkelijk het geval was (**Trough of Disillusionment**). In deze fase zie je de ontwikkeling van sommige technieken ook gestopt wordt. In de vierde fase lukt het bedrijven om investeringen in technologieën winstgevend te maken en wordt het product steeds beter (**Slope of Enlightenment**). Uiteindelijk wordt de techniek relevant en wordt deze breed uitgerold (**Plateau of Productivity**) (Gartner, z.d.).

Net als iedere techniek kan ook de ontwikkeling van autonoom vervoer worden gekoppeld aan de Hype Cycle van Gartner (zie figuur 10). In 2017 was autonoom vervoer net over zijn piek heen van een hype. In 2019 werd autonoom vervoer opgesplitst in level 4 en 5, waarbij de interesse in niveau 4 aan het dalen was en niveau 5 juist aan het stijgen. Deze grafiek laat eigenlijk zien dat ondanks de grote beloftes van fabrikanten en kansen die zij zien in autonome voertuigen, het nog tientallen jaren kan duren voordat deze breed beschikbaar zijn voor de consumentenmarkt.



Figuur 9: Autonoom vervoer en 5G in de Hype Cycle (Gartner, z.d.)

Gevolgen door het coronavirus (COVID-19)

De uitbraak van de coronacrisis leidt ertoe dat de auto-industrie harde klappen krijgt. Vele fabrieken zijn tot stilstand gebracht en de autoverkoop is volledig ingezakt. Economen verwachten dat de Europese autoverkopen in 2020 11% lager zullen zijn dan in 2019. Dit geldt alleen voor het scenario dat het COVID-19-virus snel onder controle is, waardoor dit verlies veel groter kan uitpakken. Daarnaast zitten, onder anderen door aangescherpte milieuregels, veel autofabrikanten in een omschakelingsfase naar hybride en elektrische modellen. In de ontwikkeling hiervan zitten veel research-kosten, waardoor met het terugvallen van de vraag deze kosten weer moeilijk terugverdiend kunnen worden (Westen, 2020).

De stilstand van de auto-industrie kan ertoe leiden dat de innovatie en ontwikkeling van autonoom vervoer vertraagd wordt. Door de hoge kosten van innovatie, is het denkbaar dat deze over de lange termijn worden uitgeschoven en de prioriteit nu op het herstellen van de automarkt ligt. Een andere factor die meespeelt is dat door de virusuitbraak het niet veilig is voor medewerkers om experimenten uit te voeren met (semi)-autonome voertuigen. Zo waren in maart verschillende merken als Uber en Waymo tijdelijk gestopt met zelfrijdende auto-pilots op de openbare weg (Dikkenberg, 2020). Echter moet er nog onderzoek worden gedaan naar de precieze impact op de autobranche op de langere termijn.

Komende ontwikkelingen

Kortom, de verwachting is dat de komende 10 – 20 jaar de markt van voertuigen met rijhulpsystemen niveau 2 en 3 breder toegankelijk wordt voor consumenten en er voertuigen met niveau 4 op de markt verschijnen. Ook zullen er op de openbare weg experimenten met (truck) platooning worden uitgevoerd. Echter zijn er nog vele vraagstukken die onderzocht en beantwoord moeten worden, zoals de nauwkeurigheid van de prestatie van de systemen. Ondanks de 'rooskleurige' beloftes van fabrikanten, kan het daarom nog jaren duren totdat degelijke systemen geschikt worden voor consumenten.

2.3 EFFECTEN OP VORMGEVING

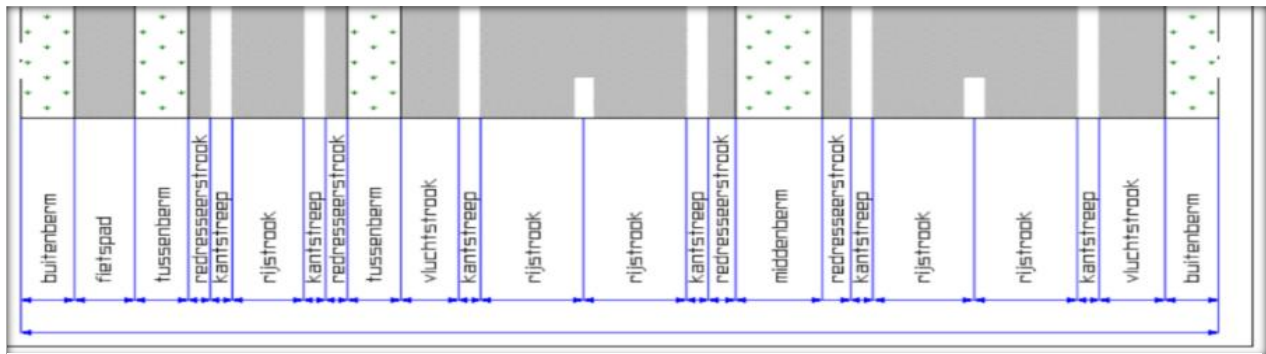
Om te kunnen achterhalen wat het effect is van rijhulpsystemen op de vormgeving van een weg, moet eerst worden begrepen hoe de huidige wegvormgeving opgebouwd is. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA). Vervolgens kan met behulp van een onderzoek van het Landelijk Verkeersmanagement Beraad (LVMB) per ruimtelijk element worden bekeken welke effecten rijhulpsystemen hebben op wegontwerp.

Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen

Voor de vormgeving van autosnelwegen geldt de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA). De huidige en geldende richtlijnen voor wegontwerp zijn gebaseerd op de traditionele auto, waarbij de weggebruiker zelfstandig alle rijtaken uitvoert. Hierin speelt de relatie tussen infrastructuur, voertuig en mens een grote rol, waarin infrastructuur en het voertuig ondersteuning en bescherming bieden aan de rijvaardigheden van de mens. Het dwarsprofiel van een stroomweg is opgebouwd uit de volgende ruimtelijke elementen:

Element	Maat	Functie
Rijstrook	3,50 m	Bestemd voor rijdend verkeer
Vluchstrook	3,50 m	Bestemd voor noodgevallen
Redresseerstrook	0,60 m	Bestemd om weggebruikers de gelegenheid te geven voor koerscorrecties
In-, uitrij- en weefstrook	3,50 m	De invoegstrook is bedoeld om aanrijdend verkeer de ruimte te geven om in te kunnen voegen met het doorgaand verkeer. De uitrijstrook geeft verkeer de mogelijkheid om uit te voegen van de hoofdbaan. Op de weefstrook vindt er een uitwisseling plaats van rijdend verkeer afkomstig van- en gaande naar verschillende rijbanen.
Markering	-	Functioneert als begeleiding en regeling van het verkeer
Bochtverbreding	-	Betreft de extra aangebrachte ruimte in krappe horizontale bogen, om voertuigen de mogelijkheid te bieden een bocht te kunnen maken. Tijdens het rijden in een bocht hebben de achterwielen van een voertuig een meer naar binnen gelegen baan dan de voorwielen.
Vluchtruimte	2,40 m	Bestemd voor gestrande voertuigen om de vluchstrook vrij te houden. Dit verkleint het risico op ongelukken op de vluchstrook.
Bergingszone	2,50 m	Een aparte ruimte in de middenberm voor gestrande voertuigen, om te voorkomen dat zij een minder negatieve invloed hebben op de verkeersafwikkeling.

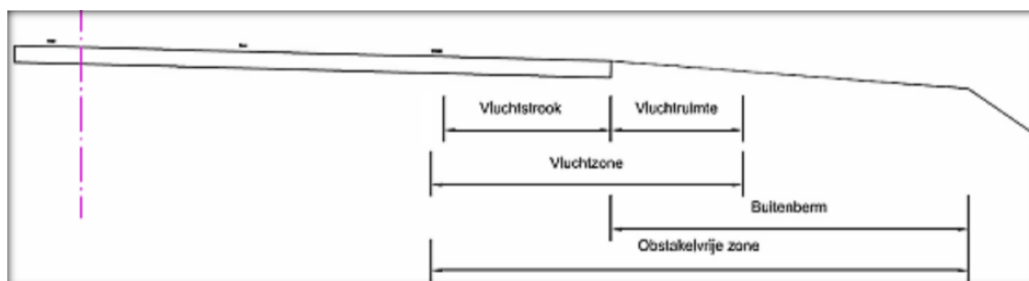
Tabel 3: Ruimtelijke elementen stroomweg (Rijkswaterstaat, 2019)



Figuur 10: Dwarsprofiel stroomweg (Rijkswaterstaat, 2019)

Behalve de fysieke ruimte die nodig is om een voertuig te laten rijden, heeft een voertuig ook ruimte nodig om veilig te kunnen bewegen zonder in aanraking te komen met objecten en tegenliggers. Daarnaast zit er een veiligheidsmarge in de maatvoering verwerkt om de beperkingen van de bestuurder en het voertuig op te vangen. Hoe sneller de ontwerpsnelheid is, des te groter deze marge dient te zijn. In een dwarsprofiel zijn daarom de volgende veiligheidsruimtes te onderscheiden:

- **De verkeersruimte (minimumruimte):** betreft de bewegingsruimte die een voertuig nodig heeft om voort te bewegen. Door stuurcorrecties om op de weg te blijven, beweegt het 'traditionele' voertuig zich nooit in een rechte lijn.
- **Het profiel van vrije ruimte:** betreft de afstand die een bestuurder aanhoudt om te voorkomen dat een object wordt geraakt.
- **De veiligheidszone (obstakelvrije zone):** betreft de gereserveerde ruimte waarbinnen geen onbeschermd object geplaatst mogen worden (Schermers & Petegem, 2013).



Figuur 11: Veiligheidszones (Rijkswaterstaat, 2019)

Relatie rijhulpsystemen en infrastructuur

Er zit een relatie tussen infrastructuur en het presteren van ADAS-systemen. Uit onderzoek van het Landelijk Verkeersmanagement Beraad (LVMB)⁵ liggen per infrastructuurelement op autosnelwegen de volgende relatie met rijhulpsystemen:

- **Horizontale boog:** Bij opeenvolgende bochten hebben LKA-systemen moeite om hun koers te houden. De boogstraal ligt dan onder een bepaalde grenswaarde, waardoor het systeem niet veilig gebruik kan maken van LKA. Echter is aanpassing van de richtlijn voor horizontale bogen niet nodig, omdat naar verwachting in 5 – 10 jaar LKA-systemen op basis van digitale kaarten de boogstraal kunnen aanpassen.

⁵ Het Landelijk Verkeers Management Beraad (LVMB) is een samenwerking tussen verschillende wegbeheerders op het gebied van verkeersmanagement.

- **Rijstrook:** Onderzoek van Royal HaskoningDHV laat zien dat het ADAS-systeem geen moeite heeft om zijn positie te behouden bij wegen met gescheiden richtingen en een minimale breedte van 2,80m.
- **Spitsstrook:** Sommige spitsstroken hebben een smallere breedte dan 2,80m, welke door sommige LKA-systemen te smal bevonden worden voor een veilige werking van het systeem. Hierdoor schakelt het systeem zich uit en moet de bestuurder de rijtaak weer overnemen.
Een ander probleem is dat de spitsstroken aan de rechterzijde anders zijn vormgegeven dan de andere rijstroken. De in- en uitvoegstrook loopt over de spitsstrook heen, waardoor het LKA-systeem de neiging heeft om in de taartpunten uit de rijstrook te rijden.
- **Redresseerstrook:** Voertuigen met LKA behouden nauwkeuriger hun koers op de weg, waardoor in theorie de breedte van de obstakelvrijzone smaller zou kunnen. Echter werkt het systeem minder goed, wanneer de markering van slechte kwaliteit is. Als het systeem zich in dat geval uitschakelt, heeft de bestuurder tijd nodig om de controle over te nemen. In deze tijd treedt er een koersafwijking op, die opgevangen moet kunnen worden door de breedte van de redresseerstrook.
- **Obstakelvrijzone en geleiderail:** Aanpassingen aan de redresseerstrook hebben invloed op de benodigde breedte van de obstakelvrijzone. Als een voertuig van de weg raakt zullen de ADAS-systemen ervoor zorgen dat het voertuig tijdens een noodstop obstakels ontwijkt. Botsingen met obstakels zullen op lange termijn minder voorkomen, waardoor de breedte van de obstakelvrijzone smaller zou kunnen.
- **Markering:** Voor het functioneren van ADAS-systemen is het van belang dat markering waarneembaar is onder alle omstandigheden. Nu wordt langsmarkering bijvoorbeeld met name gebruikt voor LKA, maar naar verwachting zullen in de toekomst systemen meerdere markeringssoorten herkennen, zoals haaiantanden. Communicatie van verkeersregels via digitale kaarten gaat hierin een grotere rol spelen, waar in hoofdstuk 3 dieper op in zal worden gegaan.
- **Bebording:** Op dit moment worden met name alleen snelheidsborden en inhaalverbod-borden herkend door het in-car-signage-systeem. Daarbij komt het voor dat het verkeersbordherkenningssysteem verkeerd borden herkent, waardoor onjuiste informatie wordt gegeven. Om het systeem foutloos te laten werken moet er bij de plaatsing en onderhoud van verkeersborden rekening worden gehouden met het in-car-signage-systeem. Daarnaast moet er met autofabrikanten worden samengewerkt om het aanbod van te herkennen verkeersborden uit te laten breiden.
- **Bewegwijzering:** Steeds meer weggebruikers maken bij hun routekeuze gebruik van navigatiesystemen. Het voordeel hiervan is dat de route gebaseerd is op realtime-verkeersinformatie, waardoor weggebruikers niet onnodig een file in worden gestuurd. Overigens is de verwachting dat in een periode van 5 – 10 jaar de routekeuze niet overgenomen zal worden door de auto. Fysieke bewegwijzering zal daarom de komende jaren blijven functioneren als bevestiging en referentie in de routekeuze (Morsink & Gorter, 2019).

2.4 DEELCONCLUSIES

Op basis van bovenstaande informatie kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 1: *“Hoe ziet de transitie naar autonoom vervoer er de komende jaren uit?”*

Onderzoek naar	Conclusie
De eigenschappen van de 6 niveaus van autonoom rijden	Er zijn 6 niveaus van autonoom rijden te onderscheiden, die opgesteld zijn door de SAE. Niveau 0 betreft de traditionele auto zonder rijhulpsystemen en niveau 5 volledig zelfrijdend. De tussenliggende niveaus beschikken trapsgewijs over steeds geavanceerdere rijhulpsystemen, waarbij geleidelijk meer rijtaken door het voertuig worden overgenomen.
De prognose van het aanbod van het wagenpark in de periode 2025 – 2050.	Het wagenpark zal in de periode 2025 – 2050 bestaan uit een gemengde voertuigvloot van autonomie. Een groot deel van de auto's zal zijn voorzien van rijhulpsystemen die behoren tot niveau 2 en 3. Daarnaast zullen de eerste auto's op de weg te zien zijn die tot niveau 4 behoren en misschien zelfs niveau 5. Echter is dit nog onzeker en zijn de verwachtingen hoger dan de realiteit. De verwachting is dat de techniek van truck platooning vanaf 2023 breed zal worden geïntroduceerd. Dit betekent dat we op de Europese snelwegen steeds vaker colonnes van vrachtwagens zullen zien.
Gevolgen/criteria van de ontwikkeling van autonoom vervoer op de maatvoering van een weg	De rijhulpsystemen binnen niveau 2 t/m 4 bieden de mogelijkheid om bepaalde ontwerprichtlijnen te heroverwegen. Zo is het (theoretisch) mogelijk om rij-, redresseerstroken en de obstakelvrijzone te versmallen. Voor spitsstroken dient te worden onderzocht hoe in- en uitvoegstroken kunnen worden gemarkeerd, zodat voertuigen geen last krijgen van diagonale langsmarkering. Het onderhoud van markering gaat een belangrijke rol spelen, zolang rijhulpsystemen gebruik maken van beeldherkenning. Idealiter zou het geleiden van voertuigen en communicatie van verkeersregels via digitale kaarten en nauwkeurige GPS verlopen.

3.0 COMMUNICATIESYSTEMEN

Op de weg vindt er veel interactie plaats tussen voertuigen en infrastructuur. Om (semi-) autonome voertuigen veilig te kunnen laten rijden is er communicatie nodig. Intelligente Transportsystemen (ITS) is een internationaal begrip voor alle informatie- en communicatietechnologieën in voertuigen en infrastructuur. Voor de communicatie tussen voertuigen onderling en infrastructuur is het bekendste systeem Vehicle-To-Everything Communicatie. In dit hoofdstuk wordt de volgende deelvraag behandeld:

Deelvraag 2: “Welke effecten heeft de communicatie tussen voertuigen onderling en infrastructuur op de vormgeving en het gebruik van de weg?”

3.1 VEHICLE-TO-EVERYTHING COMMUNICATIE

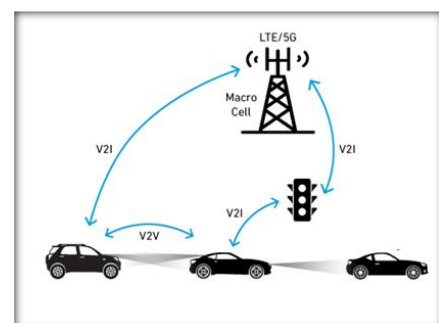
Met Vehicle-to-Everything Communicatie (V2X) kunnen voertuigen draadloos informatie uitwisselen met voertuigen onderling, infrastructuur, voetgangers, etc. V2X is de verzamelnaam voor onder anderen de componenten Vehicle-To-Vehicle (V2V) en Vehicle-To-Infrastructure (V2I) (McLellan, 2019).

Vehicle-to-Vehicle Communicatie (V2V)

Vehicle-to-Vehicle Communicatie (V2V) maakt draadloze communicatie tussen voertuigen mogelijk. V2V werkt door middel van korte afstand communicatie, waarmee in een bereik van 300 meter berichten over het voertuig (zoals snelheid, locatie en remstatus) kunnen worden uitgewisseld. Met deze informatie, die gewonnen wordt uit de sensoren in voertuigen, kunnen voertuigen elkaar waarschuwen wanneer het risico op een ongeluk groter wordt. Hierdoor kunnen voertuigen sneller anticiperen op de veranderende verkeerssituatie, waardoor ongelukken kunnen worden voorkomen. De National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)⁶ stelt dat een brede implementatie van V2V in de Verenigde Staten kan leiden tot het voorkomen van 400.000 tot 600.000 ongevallen, 190.000 tot 270.000 verkeersslachtoffers en 780 tot 1.080 levens per jaar (NHTSA, 2014).

Vehicle-to-Infrastructure (V2I)

Vehicle-to-Infrastructure communicatie maakt informatie-uitwisseling tussen voertuigen en infrastructuur mogelijk, zoals verkeersborden, DRIP's en belijning. Deze informatie kan bestaan uit informatie over congestie, weersomstandigheden, groentijden van intelligente verkeerslichten en routeadviezen (Aries, 2020).



Figuur 12: V2I en V2V (Aries, 2020)

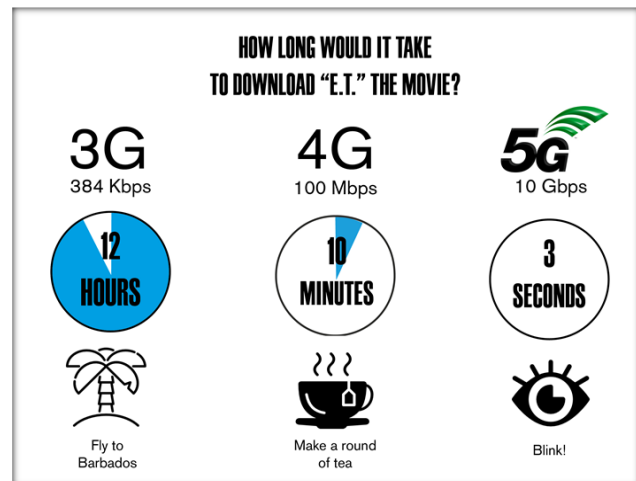
⁶ De National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), onderdeel van de overheid van de Verenigde Staten, is vertegenwoordiger en toezichthouder op de verkeersveiligheid in de Verenigde Staten.

3.2 ONTWIKKELING V2X

Tot op heden zijn er twee communicatiesystemen beschikbaar die gebruikt worden voor V2X: Dedicated Short-Range Communications (DSRC) en Cellular-V2X (C-V2X). DSRC is gebaseerd op WiFi en C-V2X werkt via het mobiele netwerk. Het probleem dat hierin speelt is dat er geen communicatie mogelijk is tussen beiden systemen. Daarnaast is de Europese Unie er nog niet over uit is welk systeem de standaard moet worden, waardoor iedere autofabrikant en technologiebedrijf aan zijn eigen systeem werkt (Horlings, 2019).

5G

In de ontwikkeling van DSRC en C-V2X gaat 5G de komende jaren een grote rol spelen. 5G is de vijfde generatie van het mobiele netwerk en de opvolger van 4G, welke bekend staat als gebruik onder mobiele telefoons. Het verschil met 4G is echter dat 5G op een hogere frequentie werkt, waardoor het vele malen sneller is dan 4G. Zo kan je met 5G een 8K-film 500% sneller downloaden dan met 4G LTE. Daarnaast betekent dit dat 5G een nieuwe scala aan toepassingen mogelijk maakt, zoals ziekenhuisoperaties op afstand, Augmented Reality en autonoom vervoer (Qualcomm, z.d.).



Figuur 13: Illustratie snelheid 5G (Mahesh, 2019).

Het 5G-netwerk zal een prominente rol spelen in het mogelijk maken van slim en autonoom vervoer. In het verkeer moet er tijdens de rijtaak in een korte tijd snel gehandeld worden. Om deze taak gedeeltelijk of volledig aan het systeem van het voertuig te geven, moet deze snel en nauwkeurig informatie kunnen uitwisselen. 5G is in staat om de locatie van een voertuig tot 2cm nauwkeurig te bepalen en op een zeer hoge snelheid een grote hoeveelheid aan data uit te wisselen (Condoluci, et al., 2019).

Verschillende telecomproviders en technologiebedrijven zijn tot op heden bezig met een geleidelijke uitrol van het 5G-netwerk en op de markt brengen van 5G-ondersteunde producten. Op sommige plekken kan men al beperkt gebruik maken van het 5G-netwerk, echter is het de verwachting dat in Europa een brede en dekkende uitrol tot 2022 – 2023 zal gaan duren (Kastelijn, 2020).

Uitrol op de markt

Een hoge penetratiegraad van V2X is nodig om de voordelen van deze communicatiesystemen realiseerbaar te maken op het wegennetwerk. Op dit moment is het probleem dat veel automerken een merkspecifiek communicatiesysteem ondersteunen. Naar verwachting van het LVMB zal in 5-10 jaar het ontwikkelen van een universeel communicatiesysteem en brede intrede in voertuigen nauwelijks mogelijk zijn (Morsink & Gorter, 2019).

3.3 EFFECTEN OP DE WEGOMGEVING

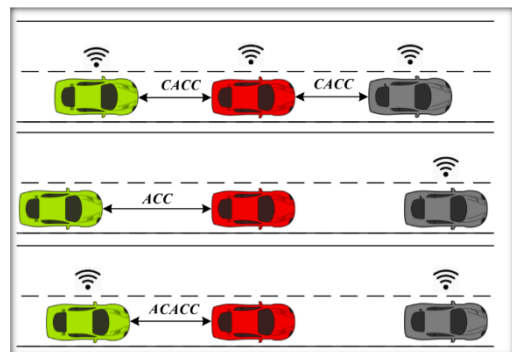
Data, zoals snelheidsstatus, verkeersinformatie en locatie van voertuigen, gaat een belangrijke rol spelen in de interactie tussen voertuig, mens en infrastructuur. Infrastructuur zal in dat geval 'slim' moeten worden om data-uitwisseling mogelijk te maken. De communicatie van deze data met V2X zal de volgende kansen bieden voor de wegomgeving:

- **Waarschuwen van filevorming:** Met V2X kan infrastructuur voertuigen waarschuwen als er filevorming ontstaat of werkzaamheden zijn.
- **Waarschuwen van blind spots:** Bestuurders kunnen worden gewaarschuwd voor gevaarlijke situaties in dode hoeken of tijdens slechte weersomstandigheden, zoals mist.
- **Mindere verstoring op rijstroken:** Voertuigen die met elkaar verbonden zijn kunnen dezelfde snelheid behouden tijdens het rijden. Dit zorgt voor minder onnodig remmen en rijstrookwisselingen, waardoor er minder verstoring optreedt in de doorstroming.
- **Slimme rijstroken:** Slimme rijstroken kunnen de precieze locatie en betekenis van belijning communiceren met het voertuig onder alle weersomstandigheden, zoals mist (Mallinson, 2020).

Platooning

V2X biedt ook kansen voor capaciteitswinning op het wegennetwerk. Met behulp van Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) kan een voertuig nauwkeuriger het afstands- en tijdsverschil berekenen dan met ACC. Een studie van Arem et. al (2006) laat zien dat met behulp van CACC het voertuig beter kan anticiperen op de snelheidsverandering van de voorganger, wat de verkeersveiligheid vergroot. Hierdoor kunnen de voertuigen dichter op elkaar rijden, wat een positief effect heeft op de doorstroming (Arem, Driel, & Visser, 2006). Sterker nog, als alle voertuigen voorzien zijn van CACC, zouden voertuigen een volgafstand van 0,5 seconden kunnen hanteren, wat tot een verdubbeling van de wegcapaciteit leidt (Werf, Shladover, Miller, & Kourjanskaia, 2002).

Toch betekent dit niet dat alle voertuigen voorzien moeten zijn van V2V, om capaciteitswinning op het wegennetwerk te krijgen. In 2019 is er onderzoek gedaan naar volgafstanden in de menging van V2V- en niet-V2V-voertuigen. Normaliter zou een V2V-voertuig moeten degraderen naar ACC wanneer het voorliggende voertuig geen V2V ondersteunt. Echter met het systeem Advanced Cooperative Adaptive Cruise Control (ACACC), haalt het V2V-voertuig informatie op van een ander V2V-voertuig die verder in de colonne rijdt. Hierdoor kan uiteindelijk de versnelling en vertraging van het voorliggende voertuig worden berekend, waardoor het voertuig van CACC gebruik kan blijven maken. Hierdoor kan er met ACACC een kortere volgafstand worden gehandhaafd, dan met ACC (zie figuur 15) (Navas & Milanés, 2019).



Figuur 14: Hanteren volgafstand met verschillende cruise control-systemen (Navas & Milanés, 2019)

3.4 DEELCONCLUSIES

Op basis van bovenstaande informatie kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 2: *“Welke effecten heeft de communicatie tussen voertuigen onderling en infrastructuur op de vormgeving en het gebruik van de weg?”*

Onderzoek naar	Conclusie
Kenmerken van verschillende communicatiesystemen tussen voertuigen onderling en infrastructuur (V2X, V2V, V2I).	V2X (Vehicle-to-Everything) is de verzamelnaam voor alle informatiesystemen tussen voertuigen onderling en infrastructuur. V2V (Vehicle-To-Vehicle) maakt communicatie tussen voertuigen onderling mogelijk en V2I (Vehicle-To-Infrastructure) tussen voertuigen en infrastructuur. 5G gaat een grote rol spelen in de ontwikkeling van V2X, waarbij snelle data-wisseling en nauwkeurige locatie kan worden gedeeld.
Gevolgen van verschillende communicatiesystemen op de vormgeving van de weg.	De communicatie van data tussen voertuigen onderling en infrastructuur kan een bijdrage leveren aan de optimalisatie van de verkeersstromen op het wegennetwerk. Door het communiceren van voertuig- en verkeers-gerelateerde data kan de wegcapaciteit efficiënter benut worden. Infrastructuur moet daarbij onder anderen aangesloten worden op het C-V2X-netwerk om de kansen die V2X-communicatie biedt voor de verkeersveiligheid en wegcapaciteit, mogelijk te maken.



4.0 VERKEERSGEDRAG & AUTONOM RIJDEN

Een van de dimensies binnen de mobiliteitsdriehoek is de mens. In het verkeer beweegt de mens zich als bestuurder en vind er interactie plaats tussen het voertuig, andere voertuigen en de omgeving. Rijhulpsystemen zijn onder anderen een middel om de rijtaak van de bestuurder comfortabel te maken. De vraag is echter of bestuurders er daadwerkelijk gebruik van maken en of deze systemen niet averechts werken. Een andere trend is truck platooning. Verschillende automobilisten hebben nu al moeite om soms tussen colonnes van vrachtwagens in te voegen. Welke effecten liggen hier voor de verkeersveiligheid en -capaciteit? In dit hoofdstuk kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 3: “Wat zijn de effecten van het verkeersgedrag van bestuurders in verschillende niveautypes autonoom vervoer op de vormgeving van de weg?”

De cyclus van het informatieverwerkend systeem

Om het verkeersgedrag van een bestuurder te begrijpen, moet je je kunnen verplaatsen in de weggebruiker. Tijdens het rijden moet een bestuurder continu informatie verwerken. Dit gebeurt aan de hand van een informatieverwerkend systeem in wisselwerking met de omgeving. Deze cyclus bestaat uit de stappen waarnemen > oordelen > beslissen > handelen en herhaalt zich continu. Echter zijn de eigenschappen van opnemen en verwerken van informatie voor de mens beperkt. Het ontvangen van een grote hoeveelheid informatie in een hoog tempo kan ervoor zorgen dat de bestuurder overbelast raakt, waardoor de kwaliteit van de rijtaak verslechterd. Het is daarom van belang dat de vormgeving van de weg aan de bestuurder uitlegt wat er van hem verwacht wordt. Informatiedragers, zoals verkeersborden, belijning en voertuigsignalering geven de bestuurder ondersteuning in het uitvoeren van de rijtaak. In de vormgeving van de weg is het belangrijk dat informatiedragers zichtbaar, opvallend, herkenbaar, leesbaar, begrijpelijk en uniform zijn (CROW, 2019).



Figuur 15: Cyclus informatieverwerkend systeem (CROW, 2019)

4.1 RELATIE TUSSEN RIJHULPSYSTEMEN, VERKEERSVEILIGHEID EN INFRASTRUCTUUR

ADAS-systemen zijn erop gericht om de rijtaak van de bestuurder minder belastend te maken en te ondersteunen. Dit resulteert vervolgens in positieve effecten voor de verkeersveiligheid. Echter kunnen ADAS-systemen ook een gevoel van schijnveiligheid creëren, waarin risicoacceptatie een rol in speelt. Risico is de kans dat er iets misgaat met de gevolgen daarvan (CROW, 2014). Als mensen zich veilig voelen doordat hun auto voorzien is van veiligheidssystemen, zullen ze (onbewust) bereid zijn om meer risico te nemen in het verkeer. Men vertrouwt dan op het systeem en zal dus minder in het verkeer opletten. Hierdoor komt een bepaald risico weer terug op het oude niveau, wat resulteert in een tegengesteld effect (reboundeffect) voor de verkeersveiligheid (Nes & Duivenvoorden, 2017).

Dit verschijnsel wordt aangetoond in een studie van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV). In 2018 heeft het SWOV onderzoek gedaan naar de reactiesnelheid van bestuurders in risicovolle verkeerssituaties, na een melding van het TOR-systeem. Onder risicovolle situaties kunnen situaties worden verstaan als geparkeerde auto's die het zicht op een zebrapad versperren of het plotseling ontstaan van een file (zie figuur 17). 50 participanten hebben deelgenomen in een autosimulatie (met niveau 3) aan acht risicovolle verkeerssituaties. De participanten werden in twee groepen verdeeld, waarvan de ene groep 4 seconden de tijd had om het stuur over te nemen en de andere groep 6 seconden. Uit het onderzoek blijkt dat bestuurders over het algemeen meer dan 6 seconden nodig hebben om het stuur over te nemen van de computer. Omdat ze vertrouwen op de automatische piloot en hun aandacht ergens anders hebben gevestigd, kost het bestuurders mentale kracht om snel te kunnen opletten in risicovolle situaties. Ook werd opgemerkt dat circa 29% van de 4 seconden-groep en 47% van de 6 seconden-groep, wel naar de verkeerssituatie zat te staren, maar geen actie ondernam.

Het resultaat van het onderzoek laat zien dat autofabrikanten moeten kijken hoe ze het TOR-systeem zo kunnen vormgeven, dat men snel het stuur kan overnemen wanneer dit gevraagd wordt (Vlakveld, Nes, Bruin, Vissers, & Kroft, 2018). Voor het ontwerp van infrastructuur betekent dat binnen de niveaus 2 t/m 4 van autonoom vervoer er nog altijd met een veiligheidsmarge in de vormgeving rekening moet worden gehouden.

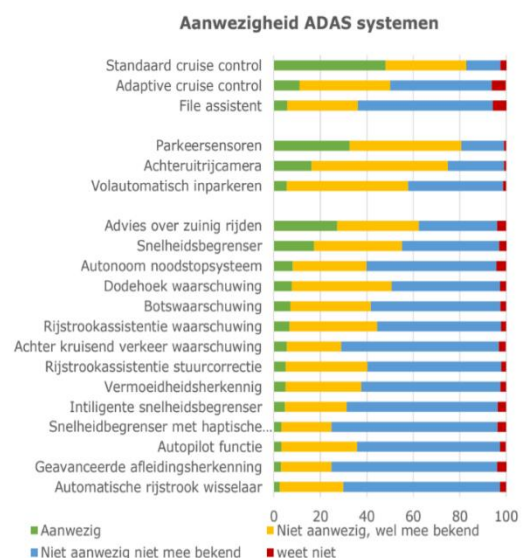


Figuur 16: Enkele risicovolle verkeerssituaties (Vlakveld, Nes, Bruin, Vissers, & Kroft, 2018)

Gebruik van rijhulpsystemen

Om inzicht te krijgen in het bezit, gebruik en tevredenheid van informatiediensten in voertuigen en langs de weg, voert Rijkswaterstaat een monitoring uit. In 2015 kwam het eerste monitorverslag uit en de meest recente stamt uit 2018. In de analyses uit 2018 is er gebruik gemaakt van resultaten van 2.024 respondenten die de Nederlandse autobestuurder vertegenwoordigen.

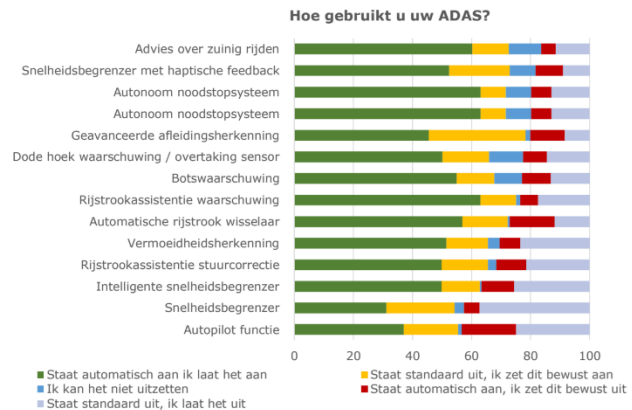
Uit de monitoring naar de aanwezigheid van rijhulpsystemen (figuur 18) kwam naar voren dat bijna de helft van de respondenten (48%) standaard cruise control in zijn auto heeft. Echter zijn specifieke systemen, als een autopilot of LKA, in minder dan 10% van de gevallen aanwezig in voertuigen. Daarnaast speelt dat van degenen die niet in bezit zijn van rijhulpsystemen, meer dan de helft ook géén interesse hierin heeft (Rijkswaterstaat, 2018).



Figuur 17: Aanwezigheid ADAS-systemen (Rijkswaterstaat, 2018)

Het merendeel van de respondenten die in bezit is van een rijhulpsysteem laat deze bewust of automatisch aan staan (zie figuur 19).

Een verklaring die voor deze resultaten wordt gegeven is dat er een verband zit tussen het bezit en gebruik van rijhulpsystemen. Zo is de kans op de aanwezigheid van ADAS groter onder bestuurders die meer kilometers afleggen, omdat ze het comfortabeler vinden rijden met deze systemen aan. Daarnaast speelt inkomen ook een rol: ADAS-systemen komen vooral voor in duurdere auto's.



Figuur 18: Gebruik van ADAS-systemen

Opvallend in het onderzoek was dat er onder een deel van de respondenten onduidelijkheid was over de aanwezigheid van rijhulpsystemen in hun voertuig. Zo dachten sommigen dat ze meerdere systemen aan boord hadden, terwijl dit in werkelijkheid niet het geval was. Hetzelfde gebeurde andersom. Dit verschijnsel kan negatieve gevolgen hebben voor de verkeersveiligheid. Als bestuurders niet weten dat ze in bezit zijn van ADAS-systemen, zullen ze deze niet gebruiken. Of als bestuurders ervan uitgaan dat het voertuig de bestuurder zal waarschuwen in gevaarlijke situaties, terwijl de auto dit niet doet, kan dit schijnveiligheid oproepen (Rijkswaterstaat, 2018).

De resultaten van deze monitor laten zien dat geavanceerde rijhulpsystemen nog niet over een groot marktaandeel beschikken. Daarnaast spelen factoren als interesse, aantal gereden kilometers en demografische factoren een rol in de aanschaf van voertuigen met ADAS-systemen. Dit betekent dat ondanks de techniek er is, het nog tientallen jaren kan duren voordat deze systemen daadwerkelijk door een groot aandeel weggebruikers gebruikt gaan worden. Voor het ontwerp van een weg die gericht is op de ontwikkeling van autonoom vervoer in de periode 2030 – 2050 betekent dit, dat naast deze ontwikkeling, de weg ook gericht moet zijn op niet-slimme voertuigen.

4.2 TRUCK PLATOONING

Zoals in paragraaf 2.2 is besproken, heeft de Association European Automobile Manufactures de ambitie om truck platooning in 2023 breed uit te rollen op het Europese wegennetwerk. Het voordeel van truck platooning is dat het tot brandstofbesparingen leidt en de doorstroming op de weg positief beïnvloed. In 2018 hebben verschillende professoren van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) onderzoek gedaan naar de impact van truck platooning op Nederlandse autosnelwegen. Met behulp van een microsimulatie is gekeken naar de effecten van truck platooning op doorstroming, efficiëntie en verkeersveiligheid. Als planstudie is hierbij de A15-corridor genomen (Europoort – Nijmegen) en werd er gerekend met drie scenario's: een lage-, gemiddelde- en maximale pelotonintensiteit. Uit het onderzoek kwam naar voren dat naar mate de pelotonintensiteit toenam, des te meer moeite automobilisten hadden om in te voegen. Hierdoor bleven voertuigen rijden tot het einde van de uitvoegstrook en gingen ze op de

snelweg stoppen en wachten met uitvoegen totdat de peloton voorbij gereden was. Deze stops hebben een negatieve invloed op de verkeersveiligheid (Yang, Kuijpers, Dane, & Sande, 2018).

In deze microsimulatie is men ervan uitgegaan dat de vrachtwagens altijd dezelfde afstand onderling behouden (6,7 meter). Data zou een oplossing kunnen bieden voor het bovenstaande probleem. Door locaties van in- en uitvoegstroken te verwerken in het systeem van truck platooning, kunnen vrachtwagens rond deze locaties langere volgafstanden aanhouden dan op rechte stukken. Hierdoor wordt voor automobilisten de mogelijkheid gecreëerd om makkelijker te kunnen uit- of invoegen.

Het onderzoek van de TU/e is beperkt gebleven tot een microsimulatie. Om het werkelijke gedrag van automobilisten met truck platooning te kunnen achterhalen, zou het interessant kunnen zijn om een virtual reality-onderzoek uit te voeren.

4.3 DEELCONCLUSIES

Op basis van bovenstaande informatie kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 3: *“Wat zijn de effecten van het verkeersgedrag van bestuurders in verschillende niveautypes autonoom vervoer op de vormgeving van de weg?”*

Onderzoek naar	Conclusie
Het verkeersgedrag van weggebruikers op de niveautypes van autonoom rijden.	ADAS-systemen zijn erop gericht om de rijtaak van de bestuurder comfortabeler te maken. Echter kunnen deze een gevoel van schijnveiligheid creëren, waardoor bestuurders laat kunnen reageren als de systemen onverwachts stoppen met werken. Dit betekent dat er in de vormgeving van de weg nog altijd gerekend moet worden met een veiligheidsmarge. Naast de ontwikkeling van autonoom vervoer moet infrastructuur de komende jaren ook gericht blijven op niet-slimme voertuigen. Geavanceerde rijhulpsystemen kennen nog maar een beperkt marktaandeel, ondanks dat de techniek er al is. Truck platooning kan een risico vormen voor de verkeersveiligheid op het wegennetwerk.



5.0 REFERENTIEPROJECTEN

De A58 tussen Tilburg – Breda zit tegen zijn capaciteit aan en is niet in staat om te communiceren met voertuigen. In Nederland en daarbuiten worden er pilots uitgevoerd om infrastructuur en voertuigen met elkaar te laten communiceren met op het oog de wegcapaciteit te optimaliseren en de verkeersveiligheid te verbeteren. In dit hoofdstuk zal worden gekeken naar (inter)nationale voorbeelden die als referentie kunnen dienen voor de ‘weg van de toekomst’ en de A58 Tilburg – Breda. Deze projecten dienen toepasbaar te zijn op een autosnelweg en gebruik te maken van technieken die de doorstroming en verkeersveiligheid bevorderen. Uit deze praktijkvoorbeelden kunnen kansen, successen, beperkingen en bedreigingen worden meegenomen als leerpunten. Met deze uitkomsten kan uiteindelijk de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 4: *“Welke projecten kunnen als referentie dienen voor de weg van de toekomst en A58 Tilburg – Breda?”*

5.1 PARTNERSHIP TALKING TRAFFIC

Het Partnership Talking Traffic is een samenwerking tussen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), overheden en bedrijven om het verkeer veiliger en slimmer te maken (Partnership Talking Traffic, z.d.).



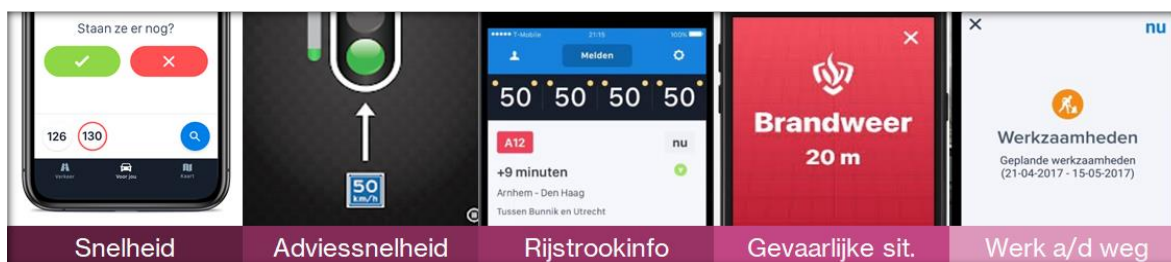
De basis van het Partnership Talking Traffic bestaat uit data en connectiviteit. Er is veel data over actuele snelheid, rijgedrag en locatie, doordat steeds meer mensen de beschikking hebben tot verbonden apparaten, zoals smartphones en connected vehicles. Met deze data kan men de mobiliteit slimmer organiseren en kan er beter gebruik worden gemaakt van de beschikbare ruimte (Partnership Talking Traffic, z.d.).

Toepassing in de praktijk

Het Partnership Talking Traffic ontwikkelt diensten die de weggebruiker voorzien van een persoonlijk advies en rijtaakondersteuning. Nu zijn deze geïmplementeerd in navigatiesystemen en apps, zoals Flitsmeister en Onderweg, maar in de toekomst moeten deze ook beschikbaar worden voor autonome voertuigen. Voorbeelden van toepassingen voor snelwegen, die nu al beschikbaar zijn:

- **Maximumsnelheid:** De bestuurder ontvangt informatie over de geldende wettelijke maximumsnelheid voor zijn voertuigtype. Deze houdt ook rekening met dynamische maximumsnelheden, zoals bij spitsstroken, files en venstertijden.
- **Snelheidsadvies:** De bestuurder ontvangt een snelheidsadvies op basis van de actuele verkeerssituatie of externe omstandigheden.
- **Informatie over rijstroken:** De bestuurder ontvangt informatie over open en gesloten rijstroken en dynamische snelheden.
- **Mogelijke gevaarlijke situaties:** De bestuurder ontvangt een waarschuwing voor mogelijk gevaarlijke verkeerssituaties, zoals onoverzichtelijke kruispunten, obstakels op de weg of naderende hulpdiensten.
- **Werk in uitvoering:** De bestuurder ontvangt informatie over gesloten rijstroken, maximumsnelheden en alternatieve routes tijdens wegwerkzaamheden.

In bijlage 2 is een uitgebreid overzicht weergegeven van alle praktijktoepassingen en extra achtergrondinformatie over Talking Traffic.



Figuur 19: Toepassingen Talking Traffic (Talking Traffic, z.d.)

Kansen en Bedreigingen

Van de toepassingen van het Partnership Talking Traffic kunnen de volgende aspecten worden geleerd:

Successen/Kansen	Beperkingen/Bedreigingen
✓ Informatie is real-time ✓ Gebaseerd op internationale standaarden ✓ Toegankelijk: iedereen met een smartphone of navigatiesysteem kan er gebruik van maken ✓ Werkt via telecommunicatienetwerk	- Matrixborden en VRI's moeten intelligent worden om te kunnen communiceren met mobiliteitsdiensten. De eerste jaren zal dit aandeel klein zijn, waardoor het sporadisch zal voorkomen wanneer men intelligente infrastructuur tegen komt. Zo waren er eind 2019 nog maar 600 iVRI's geïnstalleerd en actief (Talking Traffic, 2019); - Meldingen op smartphone, navigatie en dashboard kunnen bestuurders afleiden. Dit kan negatieve gevolgen hebben voor de verkeersveiligheid.

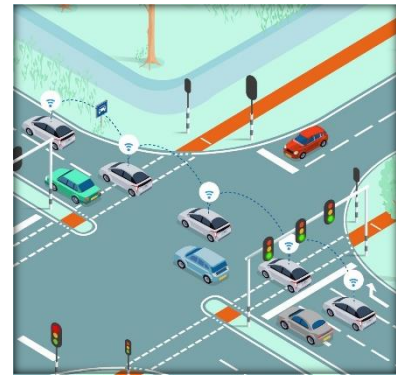
5.2 SLIMME PROVINCIALE WEG N205 (NOORD-HOLLAND)

De komende jaren neemt de druk op het Noord-Hollandse (vaar)wegennet steeds toe en blijven nieuwe technologieën zich ontwikkelen. De provincie Noord-Holland wil inspelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer, slimmere verkeerslichten en mobiliteitsdiensten. De provincie doet dit onder anderen met het project 'Smart Mobility Schiphol'. Verschillende wegen rondom Schiphol fungeren als proeftuin voor nieuwe innovaties (Provincie Noord-Holland, 2018).



Figuur 20: N205

De N205 tussen Hoofddorp en de aansluiting met de A9 bij Haarlem is onderdeel van dit project en behoort tot een van de eerste slimme wegen van Nederland. De weg is uitgerust met 6 intelligente verkeerslichten die doormiddel van communicatie anticiperen op verschillende snelheidslimiteten, invoegstroken en interactie met langzaam verkeer. In samenwerking met TNO heeft de provincie op dit traject onderzoek gedaan naar het rijden in pelotons met ACC en CACC. In de praktijktest is met pelotons van 3 en 7 slimme voertuigen tussen het regulier verkeer gereden, waarbij een volgafstand van 0,6 seconden + 5 meter werd gehanteerd (Klunder, et al., 2019).



Figuur 21: Animatie rijden met CACC op de N205 (Provincie Noord-Holland, 2018)

Kansen en Bedreigingen

Van de praktijkproef N205 kunnen de volgende aspecten worden geleerd:

Successen/Kansen	Beperkingen/Bedreigingen
✓ Tijdens de proef is aangetoond dat een test met platooning op de openbare weg veilig kan worden uitgevoerd ✓ Bestuurders van traditionele personenwagens hadden geen hinder ondervonden bij het invoegen tussen de peletons ✓ CACC biedt kansen voor de afname van voertuigverliesuren en betere benutting van de wegcapaciteit	- Om van de kansen van CACC te profiteren is een penetratie van minimaal 50% nodig - ACC kan een negatieve gevolg hebben op de doorstroming, omdat deze een langere volgafstand hanteert dan een bestuurder normaliter zou hanteren

5.3 INNOVA58

Rijkswaterstaat heeft naast het traject Tilburg – Breda, ook het plan om de A58 te verbreden op het tracé Breda-Zuid (knooppunt Galder – St. Annabosch) en Tilburg – Eindhoven (knooppunt De Baars – Batadorp). Deze twee trajecten vallen onder het project InnovA58, waarbij het doel is om samen met verbreding, de fileproblemen op een innovatieve en duurzame manier op te lossen (Rijkswaterstaat, z.d.).



Figuur 22: Traject InnovA58

InnovA58 heeft mogelijke innovaties voor beide trajecten ingedeeld in de thema's slimme mobiliteit, circulair werken, klimaat & energie en verzorgingsplaats 2.0 & innovatiestroom (Rijkswaterstaat, z.d.). Uit deze innovaties bestaan er kansen voor het ontwerp van de 'weg van de toekomst'

Kansen	
✓	Bandenspanning van vrachtwagens meten langs de weg, zodat ongevallen voorkomen kunnen worden
✓	Verzorgingsplaats 2.0: de 'verzorgingsplaats van de toekomst' is voorzien van geïntegreerde oplaadsystemen voor elektrische voertuigen en een fysiek punt waar vrachtwagens elkaar kunnen opwachten voor platooning. Daarnaast is deze uitgerust met smart mobility-faciliteiten: zo ontvangen bestuurders op de snelweg on-trip informatie over beschikbare parkeerplaatsen.
✓	Als het invoegen van verkeer tot problemen leidt voor de doorstroming, ontvangen bestuurders op de snelweg een advies om invoegend verkeer de ruimte te geven. Dit gebeurt op basis van cameraregistratie- en GPS-informatie
✓	Teststrook: is een proeflocatie voor nieuwe soorten asfalt, zoals de mogelijkheid voor energieopwekking. Infrastructuur kan zo een bijdrage leveren aan duurzame energieopwekking.
✓	Living Lab geeft de mogelijkheid om nieuwe innovaties te testen in de praktijk

5.4 YEOJU SMART HIGHWAY ZUID-KOREA

De Yeosu Smart Highway is een 7,7 kilometer lange snelweg in Zuid-Korea die bedoeld is voor experimenten met autonome voertuigen. In november 2019 heeft Hyundai een praktijkproef gedaan met truck platooning. Twee vrachtwagens reden achtereenvolgend op elkaar met een afstand van 16,7 meter op een snelheid van 60 km/uur. Beide trucks waren voorzien van V2V-communicatie, zodat zij data over acceleratie, vertraging en rijhulpsystemen met elkaar konden uitwisselen. Als er een ander voertuig tussen de colonne invoegde, vergroete de afstand tussen de vrachtwagens automatisch naar een afstand van 25 meter. Wanneer het voertuig weer was uitgevoegd, verkleinde de afstand tussen de trucks weer automatisch naar 16,7 meter. Ook werd aangetoond dat indien de voorste truck een noodstop maakt, de achterliggende hierop reageert en ook veilig tot stilstand komt (Hyundai, 2019).

De proef van Hyundai laat de volgende kansen en beperkingen zien voor het uitvoeren van truck platooning in de praktijk:

Successen/Kansen	Beperkingen/Bedreigingen
✓ Door het verkleinen van de volgafstand (in dit geval naar 16,7 m), wordt de capaciteit op de snelweg vergroot. ✓ Een chauffeur hoeft tijdens het rijden in een peloton alleen in te grijpen tijdens noodgevallen. Een chauffeur raakt hierdoor minder vermoeid, wat een positief effect heeft op de verkeersveiligheid. ✓ Vrachtwagens die dicht op elkaar rijden ondervinden minder luchtweerstand, wat resulteert in minder brandstofverbruik en verlaging van uitstoot van emissies.	- Deze test is uitgevoerd bij een snelheid van 60 km/uur. Er dient nog onderzoek te worden gedaan hoe truck platooning bij 100 km/uur in de praktijk plaatsvindt. - Deze test is uitgevoerd in Zuid-Korea, waar de verkeerssituatie en wegontwerprichtlijnen anders zijn dan in Nederland.

5.5 TESTTRACK A270 HELMOND

De A270/N270 is een provinciale weg tussen Eindhoven en het Limburgse Well. Het tracé tussen Eindhoven en Helmond dient als testtracé voor nieuwe ontwikkelingen binnen de auto-industrie. Het 8 kilometer lange traject is onder anderen voorzien van intelligente verkeerslichten, communicatiemasten, 56 camera's voor voertuigdetectie, 3G-communicatie en verbonden met een verkeerscentrale. (TASS international, z.d.).

De testtrack A270 wordt gebruikt door partijen die verbonden zijn aan de Automotive Campus⁷. Zij zien dat de ontwikkeling van rijhulpsystemen en coöperatief rijden een positieve invloed kunnen hebben op het gebruik en de verkeersveiligheid van het wegennetwerk. Om dit te bereiken dienen er eerst nog vele tests te worden uitgevoerd, om de systemen nauwkeuriger en veiliger te maken. De snelweg dient hier al ideale testlocatie, omdat deze géén mengeling kent met andere vervoerswijzen en verkeerssituaties relatief eenvoudig zijn.

Kansen	
✓	Verbetering verkeersveiligheid met afname van verkeersslachtoffers
✓	Afname congestie en toename efficiëntie wegcapaciteit
✓	Afname uitstoot emissies



Figuur 23: Locatie Testtrack A270

5.6 DEELCONCLUSIES

Op basis van bovenstaande informatie kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 4: “Welke projecten kunnen als referentie dienen voor de weg van de toekomst en A58 Tilburg – Breda?”

Onderzoek naar	Conclusie
Projecten die als referentie kunnen dienen voor zelfrijdend vervoer op de weg van de toekomst en de A58 Tilburg – Breda.	Voor de A58 Tilburg – Breda kunnen de volgende praktijkvoorbeelden dienen als referentie: Talking Traffic, N205 Haarlem-Hoofddorp, InnovA58, Yeouju Smart Highway en Testtrack A270. Uit deze projecten kunnen de volgende kansen worden meegenomen om infrastructuur te laten inspelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer: • Rijhulpsystemen kunnen positief bijdragen aan de verkeersveiligheid; • Platooning biedt kansen voor de afname van voertuigverliesuren en vergroting van de wegcapaciteit; • Apps voor smartphones die informatie geven over de verkeerssituatie zijn voor een breed publiek toegankelijk; • Milieu en energie spelen een rol in het ontwerp van infrastructuur; • De snelweg kan als veilige testlocatie dienen voor praktijkonderzoeken met niveaus van autonoom vervoer; Om bovenstaande kansen mogelijk te maken dient infrastructuur te worden uitgerust met sensoren en communicatiesystemen, zodat communicatie tussen voertuigen en infrastructuur mogelijk wordt.

⁷ De Automotive Campus Helmond is een ontmoetingsplek waar kennisinstituten en bedrijven samenwerken aan nieuwe innovaties binnen de auto-industrie en mobiliteit.



6.0 WEG VAN DE TOEKOMST

Uit de resultaten en conclusies van de eerdere deelvragen kan de weg van de toekomst worden ontworpen voor de periode 2030 – 2050. De deelvraag die hierin centraal staat betreft:

Deelvraag 5: *“Welke voorwaarden moeten worden gesteld aan de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden in de periode 2030-2050?”*

De **weg van de toekomst (2030 - 2050)** kan steeds **efficiënter benut** worden, doordat er bij de aanleg al rekening is gehouden met **aankomende innovaties**. De weg is gericht op een **gemengde voertuigvloot van autonoom rijden** en is in staat om te **communiceren met voertuigen**, zodat verkeersstromen worden geoptimaliseerd. .

Dit hoofdstuk zal ingaan op de aankomende ontwikkelingen, op basis van theorie uit eerdere hoofdstukken. Vervolgens zal worden beschreven hoe een wegbeheerder kan inspelen op deze ontwikkelingen door het slim maken van zijn infrastructuur.

6.1 AANKOMENDE ONTWIKKELINGEN

De komende jaren zal de ontwikkeling van autonoom vervoer zich doorzetten. De eerste 10 tot 20 jaar zullen er meer voertuigen op de markt komen die over niveau 3 en 4 van automatisering beschikken. Voertuigen die over niveau 2 beschikken zullen in deze periode ook toegankelijker worden voor een bredere markt, waardoor de penetratiegraad van geavanceerde rijhulpsystemen zich zal verhogen. In de Monitoring Wegverkeer Gerelateerde Informatiediensten (hoofdstuk 2.2) verwacht Rijkswaterstaat dat het bezit van rijhulpsystemen naar boven de 60% zal stijgen in 2025 (Rijkswaterstaat, 2018). Daarbij speelt ook mee dat nieuwe voertuigen software-updates kunnen ontvangen, die hun systeem steeds geavanceerder maken. Een voorbeeld is Tesla, die zijn voertuigen van technieken voorziet die nog niet allemaal geactiveerd zijn wanneer deze op de markt verschijnen. Zodra een bepaalde functie, zoals een Autopilot, geschikt is voor toepassing op de openbare weg, brengt Tesla een software-update uit waardoor het voertuig geavanceerder wordt (Ven, 2019). In plaats van dat een voertuig naarmate de tijd steeds verslechterd, wordt het met software-updates juist beter.

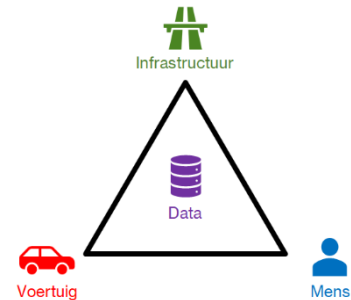
Een andere ontwikkeling die zich de komende jaren gaat doorzetten is communicatie tussen voertuigen onderling en infrastructuur. Doormiddel van V2V- en V2I-communicatie kunnen voertuigen en infrastructuur de verkeerssituatie, -regels, snelheden en locatie met elkaar communiceren. Met deze informatie kunnen verkeersstromen op elkaar worden afgestemd en geoptimaliseerd, waardoor het huidige wegennetwerk efficiënter benut kan worden. Een efficiëntere benutting is nodig, omdat de verwachting is dat de komende jaren het verkeersvolume en reistijdverlies op het wegennet blijven stijgen (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid , 2019).

De ontwikkeling van (geavanceerde) rijhulpsystemen en V2X-communicatie brengt de mogelijkheid tot het rijden in colonnes in de praktijk. De eerste 10 tot 20 jaar zullen dit met name experimenten zijn, waarin colonnes van (vracht)auto's op de snelweg zullen rijden. Later, naarmate de techniek betrouwbaarder wordt, zal dit vaker op de weg worden

toegepast. Platooning zal vooral op snelwegen met een hoge I/C-verhouding kunnen leiden tot een efficiëntere benutting van het wegennetwerk. Voertuigen kunnen dichter op elkaar rijden met een constante snelheid.

6.2 DATA IN DE MOBILITEITSDRIEHOEK

Zoals in hoofdstuk 2.3 besproken zijn de huidige richtlijnen voor wegontwerp (ROA 2019) gebaseerd op de wisselwerking tussen voertuig, infrastructuur en de mens (de mobiliteitsdriehoek). Met het oog op de technische ontwikkelingen wat betreft autonoom vervoer en smart mobility, gaat data een belangrijke rol spelen in deze wisselwerking. Uit ieder thema kan informatie worden gewonnen:



Figuur 24: Mobiliteitsdriehoek

- Uit **voertuigen**: informatie als snelheid, locatie en remstatus;
- Uit **infrastructuur**: informatie als (dynamische) verkeersregels, de actuele en mogelijke gevaarlijke verkeerssituaties;
- Uit **mens**: informatie als ritmotief, -patroon, rijstijl en routekeuze.

Door **data** uit te wisselen tussen voertuig, mens en infrastructuur kan mobiliteit slim worden georganiseerd. Verkeersstromen kunnen worden geoptimaliseerd, zodat er een betere benutting van het wegennetwerk mogelijk wordt.

6.3 VOORWAARDEN AAN DE INFRASTRUCTUUR VAN DE TOEKOMST

Om deze wisselwerking mogelijk te maken, betekent dit dat de infrastructuur van de toekomst intelligent moet worden. Dit betekent dat infrastructuur in staat is om te kunnen communiceren met voertuigen en datacentra, om optimalisatie van de verkeersstromen mogelijk te maken. Op basis van de theorie en conclusies uit de deelvragen 1 t/m 4 richt de weg van de toekomst zich op drie thema's: intelligente wegkantsystemen, rijstroken & veiligheidszones en dynamische doelgroepstroken voor truck platooning.

Intelligente wegkantsystemen

Een wegkantstation is een computer die verbonden is met de verkeerscentrale en detectielussen. Het station kan matrixsignaalgevers, verkeerslichten en spitsstrookborden aansturen. Het geheel van dit systeem wordt ook wel wegkantstelsysteem (WKS) genoemd (Rijkswaterstaat, 2017).

Om in te spelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer moeten WKS intelligent worden (iWKS). Dit kan door het WKS te laten verbinden met het 4G- en 5G-netwerk, zodat communicatie tussen WKS en voertuigen mogelijk wordt (V2I). Een iWKS maakt gebruik van verschillende databronnen, zoals bestaande detectielussen, locatiegegevens uit smartphones en voertuigen en positiegegevens die serviceproviders uit antennemasten halen (Rijkswaterstaat, 2017). Met deze data kunnen iWKS het volgende met voertuigen communiceren:

- **Maximum- en adviessnelheid:** Het voertuig en de bestuurder ontvangen de op dat moment geldende maximumsnelheid. Daarnaast kan er ook een adviessnelheid worden gegeven op basis van de actuele verkeerssituatie of versperringen verder op de route. Het voertuig past hierop zijn snelheid aan, wat er toe leidt dat de verkeersstroom op de weg geoptimaliseerd wordt.

- **Informatie over rijstroken:** iWKS geeft het voertuig en de bestuurder informatie over (spits-)rijstroken die open of gesloten zijn. Daarnaast worden ook de verkeersregels gecommuniceerd met het voertuig, bijvoorbeeld wanneer een lijn wel of niet overschreden mag worden.
- **Rijstrookkeuze-advies:** Het voertuig en de bestuurder ontvangen een advies over de rijstrookkeuze. Als het rond een bepaalde afslag of knooppunt druk is, kan er een rijstrookkeuze-advies worden uitgezonden op basis van de routekeuze. Dit zorgt ervoor dat er minder onnodig hoeft te worden gewisseld van rijstrook. Dit resulteert in minder turbulentie op het wegvak en daardoor betere benutting van de wegcapaciteit.
- **Waarschuwen van gevaarlijke situaties:** Op basis van data uit datacentra en andere voertuigen communiceert het iWKS naar het voertuig (mogelijke) gevaarlijke situaties, zoals weersomstandigheden. Het voertuig/bestuurder kan dan vooraf anticiperen op de komende situatie en zijn snelheid hierop aanpassen.
- **Meten bandenspanning langs de weg:** Detectielussen in het wegdek meten de bandenspanning van voorbijgaande vrachtwagens. Chauffeurs ontvangen in hun systeem een melding of hun bandenspanning wel of niet voldoet.

Het iWKS is een systeem dat naarmate de tijd steeds geavanceerder wordt. Het iWKS is vooraf al voorzien van de techniek die nodig is om bovenstaande functies mogelijk te maken. Deze techniek bestaat uit detectielussen, meetsystemen, matrixsignaalgevers en connectieverbindingen met datacentra. Zodra meer voertuigen en apps in staat worden om te communiceren met infrastructuur, kunnen via een software-update (op afstand) de functies in het iWKS worden geactiveerd. Hierdoor loopt het iWKS niet achter de techniek, maar juist voorop.

Rijstroken en veiligheidszones

Naar inschatting van Rijkswaterstaat zal het bezit van ADAS-systemen in het wagenpark rond 2025 op 60% liggen. Als we kijken naar 2050, zal de penetratiegraad van geavanceerdere systemen, zoals LKA, in 2050 tegen de 100% zijn (Rijkswaterstaat, 2018). Voor de vormgeving van rijstroken en veiligheidszones betekent dit het volgende:

- **Rijstroken** kunnen worden versmald naar een waarde tussen de 3,50m en 2,80m. Doordat systemen als LKA in 2050 een penetratiegraad van bijna 100% kennen, wordt de mogelijkheid gecreëerd om rijstroken verantwoord te versmallen. Echter dient er nog wel vervolgonderzoek te worden gedaan naar welke waarde hiervoor ideaal is. Onderzoek van Royal Haskoning DHV laat zien dat LKA-systemen geen hinder ondervinden bij rijstroken van een breedte van minimaal 2,80m. Ondanks dat de systemen tot 2050 zich zullen blijven ontwikkelen en overname van het stuur steeds minder nodig wordt, zal het ontwerp alsnog ruimte moeten bieden voor het opvangen van een koerswijziging.
- **Redresseerstrook:** tot 2050 zullen rijhulpsystemen zich zodanig ontwikkelen, dat het overnemen van het stuur door de bestuurder minder vaak nodig zal worden. Toch betekent dit dat de redresseerstrook ook in de toekomst van belang zal zijn. Als het voertuig vraagt om het stuur over te nemen, moet de koersafwijking die

hierbij optreedt kunnen worden opgevangen door de redresseerstrook. Omdat onderzoek laat zien dat dit tot 6 seconden kan duren, zou dit kunnen betekenen dat de redresseerstrook zelfs breder zou moeten worden.

- **Obstakelvrijzone en geleiderail:** de monitor van Rijkswaterstaat laat zien dat het systeem Brake Assist een penetratiegraad tegen de 100% kent in 2050 (Rijkswaterstaat, 2018). Met dit systeem is het voertuig in staat om tijdens een noodstop obstakels te ontwijken. De huidige obstakelvrijzone in de buitenberm ligt bij een ontwerpsnelheid van 120 km/u op minimaal 20,00m en in de middenberm op 25,00m. In theorie zou Brake Assist ertoe kunnen leiden dat de obstakelvrijzone versmald wordt, als bijna 100% van de voertuigen over dit systeem beschikt. De kans om tijdens een crash in botsing te raken met een object wordt dankzij dit systeem veel kleiner. Net als voor de breedte van een rijstrook, zou ook voor de obstakelvrijzone moeten worden onderzocht wat een verantwoorde maat zou kunnen zijn. Dit is ook afhankelijk van de omgeving: het ontwijken van een rij bomen is complexer dan één verkeersbord.
- **Bergingszone:** het zal ten alle tijden kunnen voorkomen dat voertuigen een defect vertonen en daardoor stranden. De bergingszone zal daarom ook in de toekomst van belang zijn om de negatieve gevolgen van gestrande voertuigen op de verkeersafwikkeling te beperken.
- **Markering:** zolang rijhulpsystemen gebruik maken van camerabeelden voor het houden van hun koers, zal markering nodig blijven om voertuigen te geleiden. Belangrijker gaat onderhoud van de markering worden. Leesbare en eenduidige markering is van belang voor het correct functioneren van rijhulpsystemen die gebruik maken van camerabeelden.

Dynamische Doelgroepstroken voor Truck Platooning

In 2050 zal platooning van voertuigen steeds vaker voorkomen. Voor het toepassen van truck platooning kan er, wanneer de verkeerssituatie dit toelaat, een dynamische doelgroepstrook worden gerealiseerd. Wanneer er een peloton van vrachtwagens aankomt, wordt er een rijstrook gereserveerd door signalering op de matrixborden. Hiervoor zijn er twee scenario's mogelijk:

- **De peloton van vrachtwagens rijdt op de rechterrijstrook:**

Voordeel	Nadeel
✓ Er treedt op de hoofdrijbaan geen verstoring op bij het in- of uitvoegen van vrachtverkeer.	- Voor overig verkeer wordt het moeilijk om in- en uit te voegen tussen de colonne. Verkeerslichten dienen hiervoor te worden afgesteld bij afslagen.

- **De peloton van vrachtwagens rijdt op de linkerrijstrook:**

Voordeel	Nadeel
✓ Overig in- en uitvoegen verkeer ondervindt geen hinder van de colonne.	- Wanneer vrachtverkeer in- of uit dient te voegen, treedt er verstoring op de hoofdrijbaan op.

Afstemming op aansluitingen zou een oplossing kunnen bieden voor bovenstaande nadelen. Zo kan de volgfstand tussen vrachtwagens ruimer worden wanneer er een aansluiting nadert. Het 'probleem' in Nederland is echter dat, vergeleken met het buitenland, afslagen relatief kort op elkaar liggen. Dit zou betekenen dat vrachtverkeer relatief vaak zijn volgfstand zou moeten verruimen, waardoor de positieve effecten van truck platooning verwaarloosbaar worden.

Op langere stukken zou een dynamische doelgroepstrook voor truck platooning kunnen werken. Echter dient de uitwerking hiervan (voor Nederland) in een vervolgonderzoek nader te worden bepaald.

6.4 ONZEKERHEDEN

Ondanks dat de ontwikkeling van autonoom vervoer voorspoedig gaat en er veel kansen liggen, zijn er nog onzekerheden over het tijdspad en vraagstukken die overwonnen moeten worden.

Ontwikkeling autonoom vervoer

Zoals de Gartner Hype Cycle beschrijft (zie hoofdstuk 2.2) zit men in 2020 op een punt dat er veel beloftes en verwachtingen worden gedaan door fabrikanten. Deze rooskleurige verwachtingen zullen naarmate de tijd afnemen, omdat men erachter komt dat er nog veel hobbels in de techniek zitten die overwonnen moeten worden. Het overwinnen ervan zal tijd en investeringskosten met zich mee brengen. De coronacrisis kan daarnaast een vertraging opleveren voor zulke investeringen, omdat een deel van de auto-industrie tijdelijk stil heeft gelegen en de prioriteit komt te liggen op het herstel van de economie.

Betrouwbaarheid

Een andere rol die een onzekerheid vormt in de ontwikkeling van autonoom vervoer, is de betrouwbaarheid van de systemen (zie hoofdstuk 2.2). Tot op heden komt het voor dat de automatische piloot bepaalde verkeerssituaties niet herkend of foutief handelt, met ernstige ongevallen tot gevolg. Een rol die hierin speelt is dat het lastig is om alle mogelijke verkeerssituaties te programmeren in het systeem. Het verkeer is divers en bestaat uit talloze situaties, die niet allemaal in eentjes en nulletjes te vertalen zijn. Op juridisch vlak liggen er ook vraagstukken die beantwoord moeten worden, zoals aansprakelijkheid bij ongevallen.

Daarnaast ligt er ook nog een vraagstuk over de schijnveiligheid die rijhulpsystemen kunnen geven. Systemen in niveau 2 en 3 gaan ervan uit dat de bestuurder in een korte tijd het stuur kan overnemen wanneer het systeem dit vraagt. Echter toont onderzoek aan dat bestuurders hiervoor minstens 6 seconden nodig hebben, wat bij een hoge snelheid te lang is en fataal kan zijn.

Penetratiegraad en gebruik

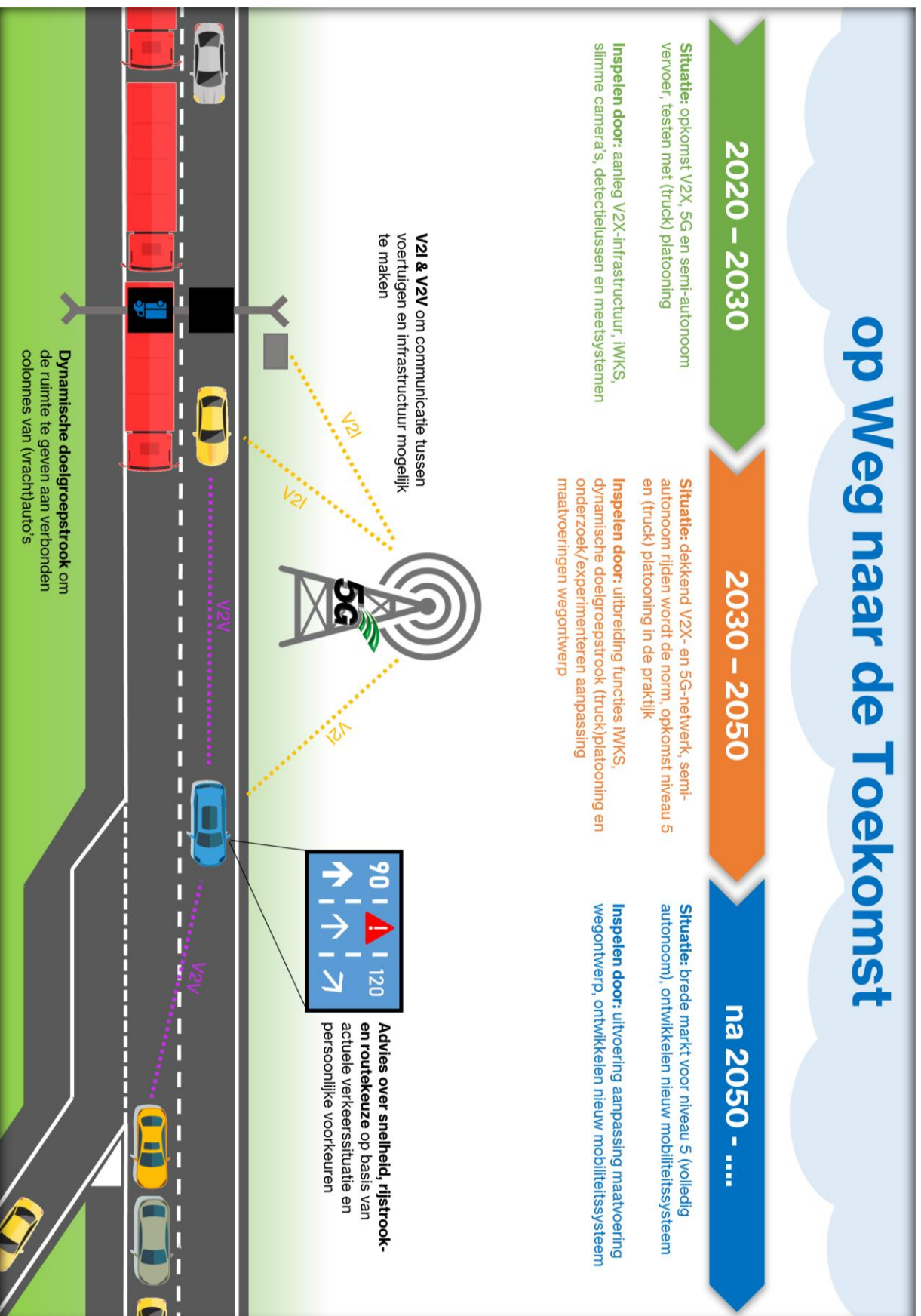
Rijkswaterstaat verwacht dat het bezit van rijhulpsystemen tot 2050 zal stijgen naar de 100% (Rijkswaterstaat, 2018). Gedurende deze periode zijn er op het wegennetwerk een gemengde voertuigvloot van verschillende gradaties autonoom zal rijden. Voor infrastructuur betekent dit dat deze altijd geschikt moet blijven voor het 'domste' systeem. Daarnaast betekent een hoog bezit niet een hoog gebruik. Zo laat de monitor van Rijkswaterstaat zien dat van degene die rijhulpsystemen bezitten, maar 60% deze daadwerkelijk gebruikt (Rijkswaterstaat, 2018). Om te profiteren van de positieve effecten van rijhulpsystemen op het wegennetwerk, dient dit percentage hoger te zijn.

6.5 ADAPTIEF INSPELEN OP DE ONTWIKKELINGEN

Ondanks bovenstaande onzekerheden kan een wegbeheerder zich wel alvast voorbereiden op de ontwikkeling van autonoom vervoer en communicatie van data. Een wegbeheerder kan infrastructuur uitrusten met techniek die nodig is om systemen als in paragraaf 6.2 mogelijk te maken. Zodra er meer voertuigen en apps geavanceerder worden en in staat zijn om te communiceren met infrastructuur, kunnen bepaalde functies in slimme infrastructuur (op afstand) worden geactiveerd. Hiermee zorg je dat je als wegbeheerder inspeelt op de toekomst en niet achter blijft. Tijdens de transitie naar autonoom vervoer kan een wegbeheerder met behulp van het volgende tijdspad inspelen op de ontwikkeling van de weg van de toekomst:

Periode	Situatie	Inspelen door
2020-2030	• Opkomst en uitrol V2X en 5G • Brede markt van voertuigen niveau 2 (gedeeltelijke automatisering) • Opkomst niveau 3 en 4 (semi-autonoom) • Testen met (truck)platooning	• Aanleggen kabelinfrastructuur voor 5G • Vervanging van 'traditionele' WKS naar iWKS • Aanleg camera's voor voertuigdetectie • Aanbrengen systemen en detectielussen voor meten van de bandenspanning vrachtverkeer langs de weg.
2030-2050	• Dekkend 5G-netwerk en begin ontwikkeling 6G • Niveau 2 (gedeeltelijke automatisering) de norm in voertuigen • Bredere markt van voertuigen niveau 3 en 4 • Opkomst eerste voertuigen niveau 5 (volledig autonoom) in de vorm van personenauto's en vrachtwagens • Uitvoering van (truck)platooning in de praktijk	• Uitbreiding functies iWKS door software-updates • Dynamische doelgroepstroken voor (truck)platooning • Onderzoek en experimenteren met aanpassingen van maatvoering rijstroken en veiligheidszones
Na 2050	• Niveau 3 en 4 (semi-autonoom) de norm in voertuigen • Bredere markt van voertuigen niveau 5 • Ontwikkeling nieuw mobiliteitssysteem	• Uitvoering aanpassing rijstroken en veiligheidszones • Ontwikkeling nieuw mobiliteitssysteem

op Weg naar de Toekomst



Figuur 25: Infographic Weg van de Toekomst

6.6 DEELCONCLUSIES

Op basis van bovenstaande informatie kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 5: “Welke voorwaarden moeten worden gesteld aan de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden in de periode 2030-2050?”

Resultaat	Conclusie
Conclusie van bovenstaande deelvragen, met daaruit komende voorwaarden	Om in te spelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer, dienen de volgende voorwaarden te worden gehanteerd aan de vormgeving van infrastructuur: • Aanleggen kabelinfrastructuur voor 5G, camera's voor voertuigdetectie en systemen en detectielussen voor meten van de bandenspanning van vrachtverkeer langs de weg; • Vervanging van traditionele WKS naar iWKS; • Faciliteren dynamische doelgroepstroken voor (truck)platooning;



7.0 HUIDIGE EN TOEKOMSTIGE A58

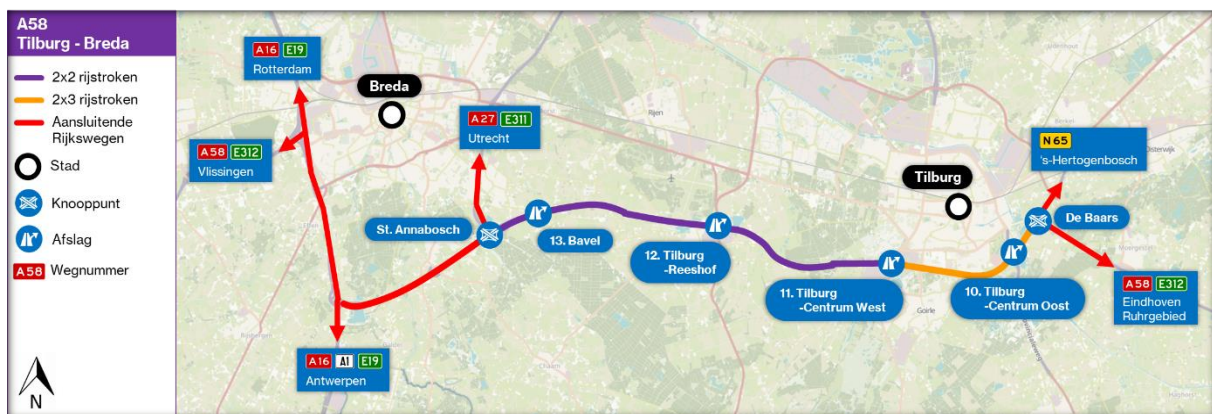
Nu het beeld van de weg van de toekomst gevormd is, kan worden gekeken hoe deze visie vertaald kan worden naar de A58 Tilburg – Breda. Hiervoor moet eerst worden gekeken wat het huidige ontwerp van dit traject is en welke oplossingen hiervoor bedacht zijn. In dit hoofdstuk wordt de volgende deelvraag beantwoord:

Deelvraag 6: “Hoe ziet het huidige ontwerp en de oplossingspakketten van de A58 Tilburg – Breda eruit?”

7.1 DE HUIDIGE A58

De Rijksweg A58/E312 Tilburg – Breda, maakt onderdeel uit van de A58 Vlissingen – Eindhoven. Sinds de opening in 1971, is het deel tussen knooppunt Sint Annabosch en de Baars een schakel geworden tussen de (inter)nationale routes naar onder anderen Antwerpen (A16), Rotterdam (A16), Eindhoven (A58) en het Ruhrgebied (A67) (zie figuur 27). De A58 Tilburg – Breda heeft de volgende kenmerken:

- Het traject St. Annabosch – Tilburg-Centrum West bestaat uit 2x2 rijstroken;
- Het traject Tilburg-Centrum West – De Baars bestaat uit 2x3 rijstroken, waarbij de derde rijstrook gerealiseerd is in de middenberm;
- Het gehele traject kent vier aansluitingen en drie verzorgings-/parkeerplaatsen;
- Het traject kent een ruim ingedeeld wegprofiel: de middenberm is grotendeels ruim 20 meter breed;
- 60-65% van het verkeer op dit traject is doorgaand verkeer;
- Het aandeel vrachtverkeer ligt in de spitsperiodes op 10 – 15% en buiten de spits tot 20%
- Ruim 93% van de reizigers op dit traject gebruikt deze voor woon-werkverkeer (Antea Group, 2020).



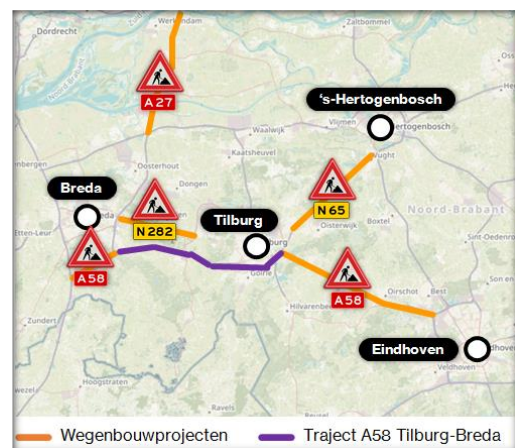
Figuur 26: Traject A58 Tilburg - Breda

De huidige I/C-verhouding op dit traject ligt tussen de 0,8 en 0,9. Dit betekent dat de capaciteit beperkt is en er kans op filevorming is. Als er géén aanpassingen worden gedaan aan de weg, zal de verkeersdruk in 2030 met 21% toenemen en ligt de I/C-verhouding op 1,0⁸ (Antea Group, 2020). Bij de modelberekening is alleen uitgegaan van de snelheidslimiet 130 km/uur en niet de nieuwe limiet van 100 km/uur tussen 6-19u, die sinds maart 2020 geldt. Deze snelheidslimiet wordt in een volgende fase van de verkenning meegenomen. Echter is de verwachting dat de snelheidslimiet van 100 km/uur tussen 6-19 uur beperkt effect gaat hebben op de berekeningen, aangezien de A58 al tegen zijn capaciteit aan zit (Zondervan, 2020).

7.2 DE TOEKOMSTIGE A58

Vòòr 2030 staan er een aantal wegenprojecten op de planning in de omgeving van de A58 Tilburg – Breda:

- Verbreding **A58 Tilburg – Eindhoven** van 2x2 naar 2x3 rijstroken, inclusief aanpak knooppunt De Baars;
- Verbreding **A58 St. Annabosch – Galder** van 2x2 naar 2x3 rijstroken, inclusief aanpak knooppunten St. Annabosch en Galder;
- Verbreding **A27 Hooipolder – Houten** van 2x2 naar 2x3 rijstroken;
- Ombouw **N65** van gelijk- naar ongelijkvloerse aansluitingen in Helvoirt en Vught;
- Opknippen van **N282** ter hoogte van Hulst met capaciteitsuitbreiding richting Breda (Antea Group, 2020).



Figuur 27: Wegenprojecten omgeving A58

Met de al hoge I/C-verhouding van de A58 Tilburg – Breda en capaciteitsverbredingen van wegen in de omgeving, zal de druk op dit traject alleen maar hoger worden. Om de betrouwbaarheid van de reistijd en bereikbaarheid van het gebied te verbeteren, is in juni 2019 de verkenning van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT) gestart. In het MIRT worden ruimtelijke projecten opgenomen die doormiddel van rijksinvesteringen gefinancierd worden. De A58 Tilburg – Breda zit binnen het MIRT in de verkenningsfase, waar de nut en noodzaak van verbreding wordt onderzocht. Ook worden er in deze fase mogelijke oplossingen/alternatieven onderzocht. Voor de A58 Tilburg – Breda zijn er vijf mogelijke oplossingspakketten aangewezen, bestaande uit een hoofdoplossing met aanvullende maatregelen voor doorstroming en verkeersveiligheid. Binnen ieder oplossingspakket is er ruimte voor innovatieve maatregelen om de A58 'futureproof te maken'. Naar verwachting zal de realisatie van de vernieuwde A58 tussen 2026 en 2030 gereed zijn (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020).

⁸ Voor het berekenen van de verkeersdruk in 2030 is gerekend met het Nederlandse Regionale Model (NRM). Deze wordt door het Rijk gebruikt voor bereikbaarheids- en infrastructuurprojecten.

Pakket	Onderzoek naar	Extra rijstroken	Type maatregelen
Niet-infra pakket	Oplossing zonder extra rijstroken	Geen	Verruimen in- en uitvoegstroken, aanpassen van verkeerslichten, stimuleren fietsgebruik, etc.
Slim ruimtegebruik	Oplossing zonder extra ruimtebeslag	1 extra rijstrook per richting in de middenberm	Verruimen in- en uitvoegstroken
Slim gebruik	Oplossing die slim gebruik maakt van de beschikbare ruimte	1 extra rijstrook per richting in de middenberm	Verruimen in- en uitvoegstroken, dynamische wegkantinformatie, doelgroepstrook, etc.
2x3	Weg met 2x3 rijstroken	1 extra rijstrook per richting aan de buitenkant	Werkgeversbenadering, snelbus, samenvoegen van verzorgingsplaatsen
2x4	Weg met 2x4 rijstroken	2 extra rijstroken per richting aan de buitenkant	Samenvoegen van verzorgingsplaatsen

Tabel 4: Oplossingspakketten A58 Tilburg-Breda (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020)

7.3 DEELCONCLUSIES

Op basis van bovenstaande informatie kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 6: “Hoe ziet het huidige ontwerp en de oplossingspakketten van de A58 Tilburg – Breda eruit?”

Onderzoek naar	Conclusie
Rijstrookindeling	De A58 Tilburg – Breda bestaat uit 2x2-rijstroken, waarbij de huidige I/C-capaciteit tussen de 0,8 en 0,9 ligt.
Maatregelen voor uitbreiding van de A58 in de MIRT-verkenning	Voor de A58 Tilburg – Breda zijn er vijf oplossingspakketten gevormd met aanvullende maatregelen. Deze bestaan uit niet-infra, slim ruimtegebruik, slim gebruik, 2x3 en 2x4.



8.0 A58 VAN DE TOEKOMST

Door de Weg van de Toekomst te vertalen naar de toekomstige uitbreiding van de A58 Tilburg – Breda kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 7: “Hoe verhoudt de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden zich tot de oplossingspakketten van de A58 Tilburg-Breda?”

Definitie

Door de Weg van de Toekomst te vertalen naar de A58 ontstaat de volgende definitie:

*De **A58 van de toekomst (2030 -2050)** kan steeds **efficiënter benut** worden, doordat er bij de aanleg al rekening is gehouden met **aankomende innovaties**. De weg is gericht op een **gemengde voertuigvloot van autonoom rijden** en is in staat om te **communiceren met voertuigen**, zodat verkeersstromen worden geoptimaliseerd. .*

Door voertuig- en verkeersgerelateerde data uit te wisselen tussen voertuig, mens en infrastructuur kunnen de verkeersstromen op de A58 Tilburg – Breda worden geoptimaliseerd. Dit kan resulteren in een efficiëntere benutting van het traject. Echter is de A58 op dit moment nog niet geschikt om te communiceren met voertuigen. Om deze snelweg bestendig te maken voor de opkomst van autonoom vervoer (niveau 2 – 4) en V2X, kunnen een aantal voorwaarden voor de infrastructuur van de toekomst (hoofdstuk 6.3 en 6.5) worden toegepast op dit traject. In de volgende paragrafen zal hierbij worden ingegaan op het ruimtegebruik en intelligente voorzieningen.

8.1 RUIMTEGEBRUIK

Geavanceerde rijhulpsystemen bieden de mogelijkheid om aanpassingen door te voeren aan de maatvoering van rijstroken en veiligheidszones. Echter kennen degelijke systemen pas tegen 2050 een hoge penetratiegraad (Rijkswaterstaat, 2018) en dient er nog onderzoek te worden gedaan naar het effect op de verkeersveiligheid bij het presteren van de systemen onder aangepaste maatvoeringen. Omdat de aanpak van de A58 tussen Tilburg – Breda tussen 2026 en 2030 zal plaatsvinden, is het tot op heden nog onverantwoord om nu al aanpassingen door te voeren in de breedte van de maatvoeringen van het wegontwerp. Geadviseerd wordt om bij de vernieuwing van de A58, de breedte van rijstroken met de huidige richtlijnen (ROA) te ontwerpen.

Vanaf 2023 zal truck platooning vaker op de openbare weg plaatsvinden, waaronder ook op de A58, welke een internationale schakel vormt tussen het Ruhrgebied en de havens van Rotterdam en Antwerpen. Zoals beschreven in paragraaf 4.2, wijst een studie van TU/e uit dat naarmate de pelotonintensiteit toeneemt, het risico op verkeersonveiligheid hoger wordt. Een dynamische doelgroepstrook op de rechterrijstrook voor truck platooning kan ervoor zorgen dat er minder verstoring tussen colonnes en het overig verkeer plaatsvindt. Wanneer er een peloton van vrachtwagens aan komt rijden, wordt er via signalering op de matrixborden, tijdelijk een rijstrook gereserveerd. Indien het peloton zich weer verder op de route bevindt, wordt een deel van de rijstrook weer vrijgegeven voor het overige verkeer. Voor de A58 Tilburg – Breda worden de volgende voorwaarden hiervoor geadviseerd:

- **Dynamische uitvoering:** Het aandeel vrachtverkeer op de A58 Tilburg – Breda ligt tussen 10 en 20% (Antea Group, 2020). Als er permanent een rijstrook gereserveerd wordt voor truck platooning, zal deze rijstrook niet optimaal benut worden. Daarom wordt er geadviseerd om een dynamische doelgroepstrook te reserveren, zodat er op de A58 efficiënt gebruik wordt gemaakt van de wegcapaciteit.
- **Uitvoering op rechterrijstrook:** Rondom Tilburg en Breda zitten er bedrijventerreinen met onder anderen veel logistieke bedrijvigheid (Antea Group, 2020). Om te voorkomen dat afslaand vrachtverkeer hinder oplevert voor doorgaand verkeer, wordt geadviseerd om een dynamische doelgroepstrook op de rechterrijstrook te faciliteren.
- **Afstellen van verkeerslichten bij aansluitingen:** Om te voorkomen dat overig verkeer hinder ondervindt bij het invoegen tussen een colonne bij opritten, wordt geadviseerd om verkeerslichten af te stellen bij aansluitingen. De kruispunten onder de afslagen 10 Tilburg-C. Oost, 11 Tilburg-C. West en 12 Tilburg-Reeshof zijn tot op heden geregeld. Volgens de iVRI-viewer⁹ van Siemens is de installatie bij afslag 12 intelligent en bij de andere afslagen traditioneel (Siemens, 2020). Om ervoor te zorgen dat ook de andere kruispunten kunnen afstemmen op truck platooning, wordt geadviseerd om ook deze om te bouwen naar iVRI's. Bij de afslag 13 Bavel, welke ongeregeld is, zou het kruispunt kunnen worden voorzien van iVRI's of toeritdoseringslichten bij de opritten, welke in werking treden bij het naderen van een colonne. De keuze hierin is afhankelijk van de intensiteiten op de kruispunten. Bij opritten vanaf verzorgingsplaatsen wordt ook geadviseerd om toeritdoseringslichten te faciliteren.
- Omdat truck platooning relatief nieuw is en daarbij de verkeersveiligheid te kunnen garanderen, wordt geadviseerd om een dynamische doelgroepstrook te faciliteren bij een **wegconfiguratie van minimaal 2x3-rijstroken**. De derde rijstrook kan hier zowel als volwaardige (3,50 m) of als versmalde rijstrook worden vormgegeven. Voor de A58 Tilburg – Breda geldt dat een dynamische doelgroepstrook gefaciliteerd kan worden bij de oplossingspakketten slim ruimtegebruik, slim gebruik, 2x3 en 2x4.

⁹ De iVRI-viewer van Siemens geeft een weergave van op welke locaties intelligente verkeerslichten operationeel zijn.

8.2 (INTELLIGENTE) VOORZIENINGEN

Om te kunnen inspelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer en het faciliteren van truck platooning, dienen wegmeubilair en -voorzieningen op de A58 intelligent te worden. Dit vertaalt zich in de volgende toepassingen:

Situatie	Inspelen door	Van toepassing op
- Opkomst en uitrol V2X en 5G - Niveau 2 (gedeeltelijke automatisering) breed toegankelijk - Opkomst niveau 3 en 4	Aanleggen kabelinfrastructuur voor 5G	Alle oplossingspakketten
	Vervanging van WKS naar iWKS	Alle oplossingspakketten
	Aanleg camera's voor voertuigdetectie	Alle oplossingspakketten
	Aanbrengen systemen en detectielussen voor meten van de bandenspanning vrachtverkeer langs de weg	Alle oplossingspakketten
Testen en uitvoeren (Truck) platooning	Faciliteren dynamische doelgroepstrook voor (truck)platooning	Slim ruimtegebruik, slim gebruik, 2x3 en 2x4

Tabel 5: Intelligent maken voorzieningen A58 Tilburg – Breda

8.3 DEELCONCLUSIES

Op basis van bovenstaande informatie kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 7: “Hoe verhoudt de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden zich tot de oplossingspakketten van de A58 Tilburg-Breda?”

Onderzoek naar	Conclusie
Effect van een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden (niveau 2 t/m 4) op ruimtegebruik en voorzieningen van de A58 Tilburg – Breda.	Geavanceerde rijhulpsystemen kennen in 2030 en de jaren erna nog een te lage penetratiegraad om verantwoord aanpassingen door te voeren in de breedtes van rijstroken en veiligheidszones. Een dynamische doelgroepstrook voor truck platooning op de A58 kan worden gefaciliteerd bij een minimale configuratie van slim ruimtegebruik. Technieken die datacommunicatie tussen voertuigen en infrastructuur mogelijk maken, kunnen worden toegepast in ieder oplossingspakket.



9.0 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk wordt de hoofdvraag van dit onderzoek beantwoord, welke gevormd is uit de resultaten en conclusies uit de deelvragen. Vervolgens worden er aanbevelingen geformuleerd voor vervolgonderzoeken binnen dit onderzoeksonderwerp.

9.1 CONCLUSIES

In dit onderzoek luidde de hoofdvraag:

“Welke voorwaarden moeten worden gesteld aan de verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden en hoe verhoudt dit zich tot de oplossingspakketten van de A58 Tilburg-Breda?”

Deze voorwaarden betreffen:

- **Gericht op de transitie naar autonoom vervoer:** In de periode 2030 – 2050 is niveau 2 (gedeeltelijke automatisering) de norm in voertuigen en zal er een bredere markt bestaan van voertuigen met niveau 3 en 4. Voor de maatvoering van rijstroken is het voor de realisatie in 2030 nog onverantwoord om aanpassingen door te voeren in de breedtes.
- **Voorzien van technieken die data-uitwisseling mogelijk maakt:** Om de uitwisseling van data mogelijk te maken dient de infrastructuur op de A58 te kunnen communiceren met voertuigen (V2I). Rijkswaterstaat kan dit mogelijk maken door kabelinfrastructuur aan te leggen voor 5G en wegvoorzieningen hierop aan te sluiten, zoals wegkantsystemen, camera's voor voertuigdetectie, detectielussen en meetsystemen voor de bandenspanning van vrachtverkeer. Dit is van toepassing op alle oplossingspakketten.
- **Faciliteren dynamische doelgroepstrook voor truck platooning:** De A58 Tilburg – Breda vormt een internationale schakel tussen de hoofdroutes naar de Brainport Eindhoven, het Ruhrgebied en de havens van Rotterdam en Antwerpen. Aansluitend op de ambitie van de European Automobile Manufacturers Association, zal (truck) platooning vaker op dit traject voorkomen. Om hierop in te spelen kan er bij een minimale 2x3-configuratie, dynamisch een rijstrook worden gereserveerd voor het rijden in colonnes. Hierbij dienen in- en uitvoegstroken te worden verlengd en verkeerslichten bij aansluitingen worden afgesteld.

De beantwoording van de hoofdvraag komt voort uit de conclusies uit de onderstaande deelvragen:

Ontwikkeling autonoom vervoer

Deelvraag 1: *“Hoe ziet de transitie naar autonoom vervoer er de komende jaren uit?”*

Het wagenpark zal in de periode 2025 – 2050 bestaan uit een gemengde voertuigvloot van autonomie. Een groot deel van de auto's zal zijn voorzien van rijhulpsystemen die behoren tot niveau 2 en 3. Daarnaast zullen we de eerste auto's op de weg zien die tot

niveau 4 behoren en misschien zelfs niveau 5. Echter is dit nog onzeker en zijn de verwachtingen hoger dan de realiteit.

De verwachting is dat de techniek van truck platooning vanaf 2023 breed zal worden geïntroduceerd. Dit betekent dat we op de Europese snelwegen steeds vaker colonnes van vrachtwagens zullen zien.

De rijhulpsystemen binnen niveau 2 t/m 4 bieden de mogelijkheid om bepaalde ontwerprichtlijnen te heroverwegen. Zo is het (theoretisch) mogelijk om rij-, redresseerstroken en de obstakelvrijzone te versmallen. Voor spitsstroken moet worden onderzocht hoe in- en uitvoegstroken kunnen worden gemarkeerd, zodat voertuigen geen last krijgen van diagonale langsmarkering.

Communicatiesystemen

Deelvraag 2: *“Welk effecten heeft de communicatie tussen voertuigen onderling en infrastructuur op de vormgeving en het gebruik van de weg?”*

De communicatie van data tussen voertuigen onderling en infrastructuur kan een bijdrage leveren aan de optimalisatie van de verkeersstromen op het wegennetwerk. Door het communiceren van voertuig- en verkeers-gerelateerde data kan de wegcapaciteit efficiënter benut worden. Infrastructuur moet daarbij o.a. aangesloten worden op het C-V2X-netwerk om de kansen die V2X-communicatie biedt voor de verkeersveiligheid en wegcapaciteit, mogelijk te maken.

Verkeersgedrag & Autonoom vervoer

Deelvraag 3: *“Wat zijn de effecten van het verkeersgedrag van bestuurders in verschillende niveautypes autonoom vervoer op de vormgeving van de weg?”*

ADAS-systemen zijn erop gericht om de rijtaak van de bestuurder comfortabeler te maken. Echter kunnen deze een gevoel van schijnveiligheid creëren, waardoor bestuurders laat kunnen reageren als de systemen onverwachts stoppen met werken. Dit betekent dat er in de vormgeving van de weg nog altijd gerekend moet worden met een veiligheidsmarge.

Naast de ontwikkeling van autonoom vervoer moet infrastructuur de komende jaren ook gericht blijven op niet-slimme voertuigen. Geavanceerde rijhulpsystemen kennen nog maar een beperkt marktaandeel, ondanks dat de techniek er al is.

Truck platooning kan een risico vormen voor de verkeersveiligheid op het wegennetwerk.

Referentieprojecten

Deelvraag 4: *“Welke projecten kunnen als referentie dienen voor de weg van de toekomst en A58 Tilburg – Breda?”*

Voor de A58 Tilburg – Breda kunnen de volgende praktijkvoorbeelden dienen als referentie: Talking Traffic, N205 Haarlem-Hoofddorp, InnovA58, Yeosu Smart Highway en Testtrack A270.

Uit deze projecten kunnen de volgende kansen worden meegenomen om infrastructuur te laten inspelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer:

- Rijhulpsystemen kunnen positief bijdragen aan de verkeersveiligheid;
- Platooning biedt kansen voor de afname van voertuigverliesuren en vergroting van de wegcapaciteit;

- Apps voor smartphones die informatie geven over de verkeerssituatie zijn voor een breed publiek toegankelijk;
- Milieu en energie spelen een rol in het ontwerp van infrastructuur;
- De snelweg kan als veilige testlocatie dienen voor praktijkonderzoeken met niveaus van autonoom vervoer;

Om bovenstaande kansen mogelijk te maken dient infrastructuur te worden uitgerust met sensoren en communicatiesystemen, zodat communicatie tussen voertuigen en infrastructuur mogelijk wordt.

Weg van de Toekomst

Deelvraag 5: *“Welke voorwaarden moeten worden gesteld aan de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden in de periode 2030-2050?”*

Om in te spelen op de ontwikkeling van autonoom vervoer, dienen de volgende voorwaarden te worden gehanteerd aan de vormgeving van infrastructuur:

- Aanleggen kabelinfrastructuur voor 5G, camera's voor voertuigdetectie en systemen en detectielussen voor meten van de bandenspanning van vrachtverkeer langs de weg;
- Vervanging van traditionele WKS naar iWKS;
- Faciliteren dynamische doelgroepstroken voor (truck)platooning;

De huidige A58 en oplossingspakketten

Deelvraag 6: *“Hoe ziet het huidige ontwerp en de oplossingspakketten van de A58 Tilburg – Breda eruit?”*

De A58 Tilburg – Breda bestaat uit 2x2-rijstroken, waarbij de huidige I/C-capaciteit tussen de 0,8 en 0,9 ligt. Om de betrouwbaarheid van de reistijd en bereikbaarheid van het gebied te verbeteren, zijn er vijf oplossingspakketten gevormd met aanvullende maatregelen. Deze bestaan uit niet-infra, slim ruimtegebruik, slim gebruik, 2x3 en 2x4.

A58 van de Toekomst

Deelvraag 7: *“Hoe verhoudt de ideale verkeerskundige vormgeving die gericht is op een gemengde voertuigvloot van autonoom rijden tot de oplossingspakketten van de A58 Tilburg-Breda?”*

Geavanceerde rijhulpsystemen kennen in 2030 en de jaren erna nog een te lage penetratiegraad om verantwoord aanpassingen door te voeren in de breedtes van rijstroken en veiligheidszones.

Een dynamische doelgroepstrook voor truck platooning op de A58 kan worden gefaciliteerd bij een minimale configuratie van slim ruimtegebruik.

Technieken die datacommunicatie tussen voertuigen en infrastructuur mogelijk maken, kunnen worden toegepast in ieder oplossingspakket.

9.2 AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten en conclusies uit dit onderzoek zijn de volgende aanbevelingen opgesteld:

Samenwerken naar één standaard communicatiesysteem

Tot op heden zijn er twee communicatiesystemen beschikbaar die gebruikt worden voor V2X: Dedicated Short-Range Communications (DSRC) en Cellular-V2X (hoofdstuk 3.1). Het probleem dat hierin speelt is dat er geen communicatie mogelijk is tussen beide systemen. Daarnaast is de Europese Unie er nog niet over uit welk systeem de standaard moet worden, waardoor iedere autofabrikant en technologiebedrijf aan zijn eigen systeem werkt.

Als er in de toekomst veel verschillende communicatiesystemen op de markt verschijnen, zou data-uitwisseling complexer kunnen worden, waardoor het lastiger wordt voor een wegbeheerder om op ieder systeem in te spelen. Om dit scenario te voorkomen is het advies aan Rijkswaterstaat om samen met overheden, de Europese Unie, autofabrikanten en technologiebedrijven, samen tot één universeel systeem te komen en dat verder uit te werken.

Simulatie-onderzoek naar het gedrag van automobilisten tijdens het invoegen in een voertuigpeloton.

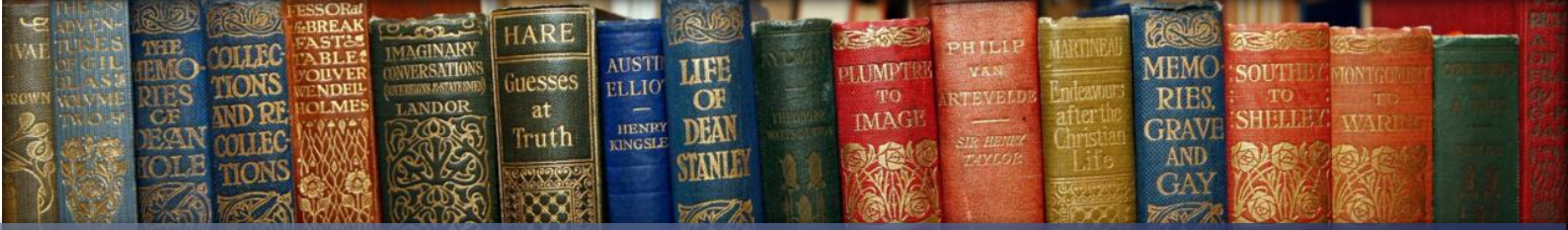
Uit een microsimulatie van de TU/e komt naar voren dat bij hoge pelotonintensiteiten van vrachtwagens, automobilisten moeite hebben met invoegen, wat negatieve gevolgen heeft voor de verkeersveiligheid (hoofdstuk 4.2). Om het werkelijke invoeggedrag van automobilisten met (truck) platooning te achterhalen, wordt er geadviseerd om een virtual reality-onderzoek uit te voeren. Daarbij moet onder andere worden onderzocht hoe een colonne van voertuigen op een verkeersveilige wijze kan worden gerealiseerd.

Onderzoek naar de specifieke eisen voor de aanleg van slimme infrastructuur

Dit onderzoek geeft voorwaarden voor de vormgeving van de weg om de infrastructuur te kunnen laten communiceren met voertuigen, zodat wordt ingespeeld op de transitie naar autonoom vervoer (hoofdstuk 6 en 8). Aanvullend op dit onderzoek dient er voor de A58 te worden nagegaan welke specifieke eisen gesteld moeten worden bij de aanleg van kabelinfrastructuur, intelligente wegkantsystemen, slimme camera's, detectielussen en meetsystemen. Hierbij gaat het om technische vraagstukken als de precieze locatie waar deze systemen worden gerealiseerd, aansluiting op het elektriciteitsnetwerk, etc. Deze fase zal pas kunnen plaatsvinden in de planuitwerking van het MIRT, wanneer er een voorkeursontwerp is ontwikkeld voor de A58 Tilburg – Breda.

(Praktijk)onderzoek naar de aanpassing van maatvoeringen in de wegvormgeving

Geavanceerde rijhulpsystemen bieden de mogelijkheid om aanpassingen door te voeren aan de maatvoering van rijstroken, de redresseerstrook en obstakelvrije zone. Echter dient er nog aanvullend onderzoek te worden gedaan welke maat hiervoor “ideaal” is, zodat de verkeersveiligheid gewaarborgd blijft. Hierbij dienen er praktijkonderzoeken te worden gedaan naar hoe rijhulpsystemen presteren bij bepaalde maatvoeringen.



LITERATUURLIJST

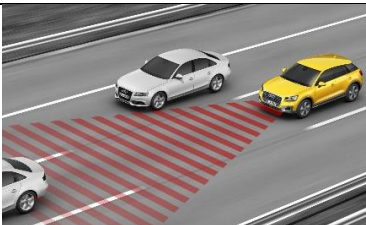
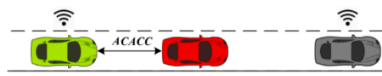
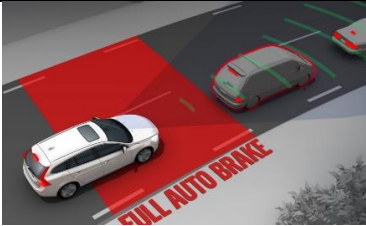
- 2getthere. (z.d.). *Redeveloping the service and business park: Rivium 3.0*. Geraadpleegd op 29 april 2020, <https://www.2getthere.eu/rivium-3-0/> .
- 3M. (z.d.). *What is Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Communication and why do we need it?* Geraadpleegd op 4 mei 2020, https://www.3m.com/3M/en_US/road-safety-us/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~/-/what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?storyid=021748d7-f48c-4cd8-8948-b7707f231795 .
- Antea Group. (2016). *Quickscan knooppunt St. Annabosch*. Antea Group.
- Antea Group. (2020, maart 11). *MIRT-verkenning A58 Tilburg-Breda*. Geraadpleegd op 14 april 2020, <https://a58tilburgbreda.nl/projectinformatie/documenten/default.aspx> .
- ANWB. (z.d.). *Veilig tussen de vrachtwagens door. Maar hoe?* Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://www.anwb.nl/belangenbehartiging/verkeer/veilig-tussen-de-vrachtwagens-door> .
- Arem, B. v., Driel, C. J., & Visser, R. (2006). The Impact of Cooperative Adaptive Cruise Control. In *IEEE Transactions on intelligent transportation systems* (pp. 429-436).
- Aries, K. (2020, februari 2). *Connected Vehicle Technology (V2V, V2I, V2X)*. Geraadpleegd op 4 mei 2020, <https://www.verizonconnect.com/resources/article/connected-vehicle-technology-v2v-v2i-v2x/> .
- Association European Automobile Manufactures. (2017). *What is Truck Platooning?* Brussel: European Automobile Manufactures Association (ACEA).
- Audi. (z.d.). *Adaptive cruise control (met Stop&Go functie)*. Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://nieuws.audi.nl/adaptive-cruise-control-met-stopgo-functie/> .
- Chevrolet. (z.d.). *Available lane keep assist with lane departure warning*. Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://my.chevrolet.com/how-to-support/driving-performance/driving/lane-keep-assist> .
- Condoluci, M., Gallo, L., Mussot, L., Kousaridas, A., Spapis, P., Mahlouji, M., & Mahmoodi, T. (2019). *5G V2X System-Level Architecture of 5GCAR Project*. MDPI.
- Corby, S. (2018, september 3). *What is Autonomous Emergency Braking or AEB?* Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://www.carsguide.com.au/car-advice/what-is-autonomous-emergency-braking-or-aeb-51459>
- CROW. (2014). *5 Informatieverwerking door de weggebruiker*. In CROW, *Mobiliteit en Gedrag*. CROW.
- CROW. (2019). *Hoofdstuk 5 Gegevens over mens, voertuig en weg*. In *Wegontwerp bibeko met ASVV\ASVV 2012*. CROW.
- CROW. (z.d.). *Niveaus van automatisering*. Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://www.crow.nl/testenzelfrijdendeauto/zelfrijdende-auto-s/niveaus-van-automatisering> .

- Dikkenberg, B. v. (2020, maart 31). *Waarom autonoom rijden nog even een droom blijft*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, <https://www.rd.nl/meer-rd/wetenschap-techniek/waarom-autonoom-rijden-nog-even-een-droom-blijft-1.1647565> .
- Duan, D. (2017, november 23). *Truck Platooning: The Band of Semi-Trailers*. Geraadpleegd op 29 april 2020, <https://www.labroots.com/trending/chemistry-and-physics/7405/band-semi-trailers-truck-platooning> .
- Gartner. (z.d.). *Gartner Hype Cycle*. Geraadpleegd op 7 mei 2020, <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle> .
- Godsmark, P. (2017, januari 31). *The Definitive Guide to the Levels of Automation for Driverless Cars*. Geraadpleegd op 30 april 2020, <https://driverless.wonderhowto.com/news/definitive-guide-levels-automation-for-driverless-cars-0176009/> .
- Horlings, J. (2019, juli 13). *Communicerende auto's*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, <https://www.tweakers.net/reviews/6986/4/communicerende-autos-veiliger-snel-en-op-weg-naar-autonoom-strijd-om-de-standaard> .
- Horlings, J. (2019, juni 9). *Zelfrijdende auto's: Zijn wij de laatste generatie bestuurders?* Geraadpleegd op 6 mei 2020, <https://tweakers.net/reviews/6669/7/zelfrijdende-autos-zijn-wij-de-laatste-generatie-bestuurders-incidenten-en-ongelukken.html> .
- Hyundai. (2019, november 13). *Geslaagde test met truck platooning*. Geraadpleegd op 20 mei 2020, <https://imotion.hyundai.nl/geslaagde-test-hyundai-met-truck-platooning/> .
- Kastelij, N. (2020, januari 1). *5G komt dit jaar naar Nederland, maar kent langzame start*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, <https://nos.nl/collectie/12807/artikel/2316992-5g-komt-dit-jaar-naar-nederland-maar-kent-langzame-start> .
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid . (2019, november 12). *Mobiliteitsbeeld 2019*. Geraadpleegd op 13 mei 2020, <https://www.kimnet.nl/mobiliteitsbeeld/mobiliteitsbeeld-2019#/rapport/7.1> .
- Klunder, G., Legius, M., Boonman, H., Wouters, R., Calvert, S., Hamers, S., Welten, J. (2019). *CACC Proef Noord-Holland*. TNO.
- Mallinson, K. (2020, februari 6). *How C-V2X in 5G will transform cars and save lives* . Geraadpleegd op 4 mei 2020, <https://www.rcrwireless.com/20200206/analyst-angle/c-v2x-5g-transform-cars-analyst-angle> .
- McLellan, C. (2019, november 4). *What is V2X communication? Creating connectivity for the autonomous car era*. Geraadpleegd op 4 mei 2020, <https://www.zdnet.com/article/what-is-v2x-communication-creating-connectivity-for-the-autonomous-car-era/> .
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016, november). *Spelregels van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT)*. Geraadpleegd op 14 april 2020, <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/ruimtelijke-ordering-en-gebiedsontwikkeling/meerjarenprogramma-infrastructuur-ruimte-en-transport-mirt> .
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2018, juni 2018). *Startbeslissing A58 Tilburg - Breda*. Geraadpleegd op 14 april 2020, <https://a58tilburgbreda.nl/projectinformatie/documenten/default.aspx> .
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *A58 Tilburg - Breda Verkenning*.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Aanleiding voor dit project*. Geraadpleegd op 13 april 2020, <https://a58tilburgbreda.nl/default.aspx> .

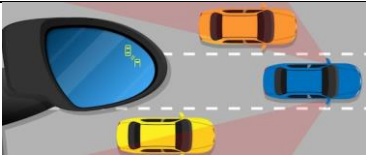
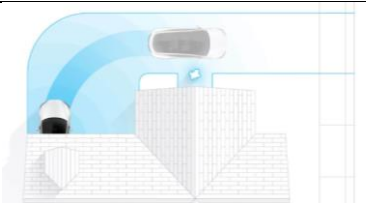
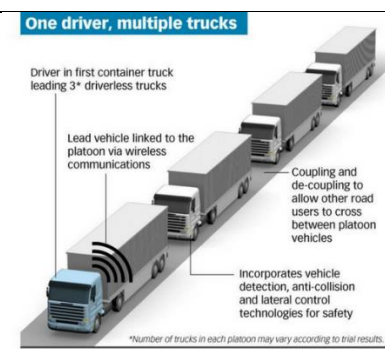
- Morsink, P., & Gorter, M. (2019). *Rapport Onderzoeksvraag 1 Aanpassen fysieke infrastructuur a.g.v. slimme auto's*. Landelijk VerkeersManagement Beraad (LVMB).
- Navas, F., & Milanés, V. (2019). *Mixing V2V- and non-V2V-equipped vehicles in car following*. Elsevier.
- Nes, C. v., & Duivenvoorden, C. (2017). *Veilig naar het verkeer van de toekomst*. Den Haag: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- NHTSA. (2014, februari 3). *Vehicle-To-Vehicle Communication Technology*. Geraadpleegd op 4 mei 2020, <https://www.nhtsa.gov/document/v2v-communications-factsheet>.
- NHTSA. (z.d.). *The Evolution of Automated Safety Technologies*. Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>.
- Partnership Talking Traffic. (2019, november 14). *Hoe staat het met de iVRI?* Geraadpleegd op 18 mei 2020, <https://www.talking-traffic.com/nl/nieuws/hoe-staat-het-met-de-ivri>.
- Partnership Talking Traffic. (z.d.). Geraadpleegd op 18 mei 2020, <https://www.talking-traffic.com/nl/>.
- Poort, F. (2019, november 6). *Zelfrijdende Uber-auto's hadden meer ongelukken voor fatale crash*. Geraadpleegd op 6 mei 2020, <https://www.bright.nl/nieuws/artikel/4911436/zelfrijdende-uber-autos-hadden-meer-ongelukken-voor-fatale-crash>.
- Provincie Noord-Holland. (2018). *Koers Smart Mobility provincie Noord-Holland*. Haarlem: Provincie Noord-Holland.
- Qorvo. (2018, oktober 31). *V2X in the Connected Car of the Future*. Geraadpleegd op 7 mei 2020, <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/v2x-in-the-connected-car-of-the-future>.
- Qualcomm. (z.d.). *Everything you need to know about 5G*. Geraadpleegd op 7 mei 2020, <https://www.qualcomm.com/invention/5g/what-is-5g>.
- Rijkswaterstaat. (2017, september 6). *Samenwerken aan een nieuw wegkantsysteem*. Geraadpleegd op 19 mei 2020, <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2017/09/samenwerken-aan-een-nieuw-wegkantsysteem.aspx>.
- Rijkswaterstaat. (2018). *Monitoring wegverkeer gerelateerde informatiediensten en rijtaakondersteunende systemen 2018*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2019). *Overzichtskaart Toekomstige situatie wegverbreding InnovA58 Eindhoven-Tilburg*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2019). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2019*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *De A58: een slimme en duurzame snelweg*. Geraadpleegd op 22 mei 2020, <https://www.innova58.nl/default.aspx>.
- SAE. (2018, november 12). *SAE International Releases Updated Visual Chart for Its "Levels of Driving Automation" Standard for Self-Driving Vehicles*. Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>.
- Schermers, G., & Petegem, J. v. (2013, februari). *Veiligheidseisen aan het dwarsprofiel van gebiedsontsluitingswegen met limiet 80 km/uur*. Geraadpleegd op 7 mei 2020, <https://www.swov.nl/sites/default/files/publicaties/rapport/d-2013-02.pdf>.

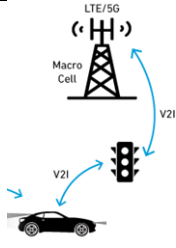
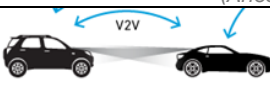
- Siemens. (2020, juni 3). *Productie iVRIs*. Geraadpleegd op 19 juni 2020, <https://www.ivriportaal.nl/actieve-ivris/> .
- Skottke, E.-M., Debus, G., Wang, L., & Huestegge, L. (2014). *Carryover Effects of Highly Automated Convoy Driving on Subsequent Manual Driving Performance*. Human Factors.
- SmartwayZ.NL. (z.d.). Geraadpleegd op 14 april 2020, <https://www.smartwayz.nl/mobiliteitsprofessional/programma/> .
- TASS international. (z.d.). *Cooperative Mobility*. Geraadpleegd op 22 mei 2020, <https://tass.plm.automation.siemens.com/cooperative-mobility> .
- Tesla. (z.d.). *autopilot*. Geraadpleegd op 30 april 2020, https://www.tesla.com/nl_NL/autopilot .
- Toet, D. (2020, april 10). *Zelfrijdend, veilig en beveiligd*. Geraadpleegd op 28 april 2020, <https://www.computable.nl/artikel/achtergrond/security/6912296/1444691/zelfrijdend-veilig-en-beveiligd.html> .
- Ven, M. v. (2019, september 27). *Tesla brengt softwareversie 10.0 met Smart Summon-functie en Netflix uit in VS*. Geraadpleegd op 30 april 2020, <https://tweakers.net/nieuws/157862/tesla-brengt-softwareversie-100-met-smart-summon-functie-en-netflix-uit-in-vs.html> .
- Vlakveld, W., Nes, N. v., Bruin, J. d., Vissers, L., & Kroft, M. v. (2018). *Situation awareness increases when drivers have more time to take over the wheel in a Level 3 automated car: A simulator study*. Den Haag: SWOV.
- Waymo. (z.d.). *Technology*. Geraadpleegd op 30 april 2020, <https://waymo.com/tech/> .
- Werf, J. v., Shladover, S., Miller, M., & Kourjanskaia, N. (2002). Effects of adaptive cruise control systems on highway traffic flow capacity. In *Intelligent transportation systems and vehicle-highway automation* (pp. 78-84). Transportation Research Record (TRR).
- Westen, M. v. (2020, maart 20). *Het Corona-virus raakt de auto-industrie aan alle kanten*. Geraadpleegd op 8 mei 2020, <https://www.dagelijksauto.nl/autonieuws/corona-virus-raakt-auto-industrie-enorm/> .
- Yang, D., Kuijpers, A., Dane, G., & Sande, T. v. (2018). *Impacts of large-scale truck platooning on Dutch highways*. Braunschweig: Elsevier.
- Zondervan, S. (2020, mei 29). (D. Meeusen, Interviewer)
- Zwijnenberg, H. (2018). *Infrastructuur gereedmaken voor automatisch rijden*. Goudappel Coffeng.

BIJLAGE 1: BEGRIPPENLIJST

Begrip	Uitleg	Impressie
5G	Vijfde generatie van het mobiele netwerk en opvolger van 4G.	-
Adaptive Cruise Control (ACC)	Niveau 2. Heeft dezelfde werking als cruise control, alleen houdt rekening met de afstand tot de voorganger. Als deze afstand te klein wordt, reduceert het voertuig automatisch zijn snelheid.	 (Audi, z.d.)
Advanced Cooperative Adaptive Cruise Control (ACACC)	Een V2V-voertuig haalt informatie op van een ander V2V-voertuig die verder in de colonne rijdt. Hierdoor kan uiteindelijk de versnelling en vertraging van het voorliggende voertuig worden berekend, waardoor het voertuig van CACC gebruik kan blijven maken.	 (Navos & Milanés, 2019)
Automatic Emergency Braking (AEB)	Niveau 2. Het voertuig detecteert een naderend ongeluk en maakt automatisch een noodstop.	 (Corby, 2018)
Autosteer+ (Tesla)	Niveau 2. Doormiddel van camera's en sensoren kan het voertuig strakkere bochten nemen.	 (Tesla, z.d.)
Bergingszone	Een aparte ruimte in de middenberm voor gestrande voertuigen, om te voorkomen dat zij een minder negatieve invloed hebben op de verkeersafwikkeling.	-
Bochtverbreding	Betreft de extra aangebrachte ruimte in krappe horizontale bogen, om voertuigen de mogelijkheid te bieden een bocht te kunnen maken. Tijdens het rijden in een bocht hebben de achterwielen van een voertuig een meer naar binnen gelegen baan dan de voorwielen.	-
Cellular V2X (C-V2X)	Draadloze communicatie via het mobiele netwerk.	-

Cruise Control	Niveau 1. Het voertuig houdt constant de door de bestuurder gewenste ingestelde snelheid aan.	 (Toyota, z.d.)
Dedicated Short-Range Communications (DSRC)	Draadloze communicatie via WiFi.	-
Gartner Hype Cycle	Een meetlat over de volwassenwording van nieuwe technologische ontwikkelingen.	-
In-, uitrij- en weefstrook	De invoegstrook is bedoeld om aanrijdend verkeer de ruimte te geven om in te kunnen voegen met het doorgaand verkeer. De uitrijstrook geeft verkeer de mogelijkheid om uit te voegen van de hoofdbaan. Op de weefstrook vindt er een uitwisseling plaats van rijdend verkeer afkomstig van en gaande naar verschillende rijbanen.	-
In-car signage	Niveau 1. De maximum snelheid wordt getoond in de display van het voertuig. Dit gebeurt op basis van camera's die verkeersborden herkennen of data uit kaarten.	 (Audi, z.d.)
Intelligente Verkeersregelinstallatie (iVRI)	Intelligente verkeerslichten zijn verbonden met het mobiele netwerk en afgestemd op de real-time verkeerssituatie.	-
Lane Departure Warning (LDW)	Niveau 1. Sensoren detecteren of het voertuig binnen de belijning blijft. Indien dit niet het geval is, ontvangt de bestuurder een waarschuwing.	 (Cates, 2016)
Lane Keep Assist (LKA)	Niveau 2. Heeft dezelfde werking als Lane Departure Warning, alleen het voertuig blijft zelfstandig binnen de rijstrook belijning.	 (Chevrolet, z.d.)
Markering	Functioneert als begeleiding en regeling van het verkeer	
Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport (MIRT)	Een programma waarin ruimtelijke projecten zijn opgenomen die doormiddel van rijksinvesteringen gefinancierd worden.	

Park Assist	Niveau 2. Het voertuig kan zichzelf inparkeren.	 (Volvo, z.d.)
Profiel van vrije ruimte	Betreft de afstand die een bestuurder aanhoudt om te voorkomen dat een object wordt geraakt	-
Redresseerstrook	Bestemd om weggebruikers de gelegenheid te geven voor koerscorrecties	-
Rijstrook	Bestemd voor rijdend verkeer	-
Side Object Warning	Niveau 1. Sensoren geven een waarschuwing als er een andere voertuig in de dode hoek rijdt.	 (Shutterstock, z.d.)
Smart Summon	Niveau 3. Het voertuig navigeert zichzelf door complexe omgevingen en parkeerplaatsen.	 (Tesla, z.d.)
Take-Over-Requests System (TOR)	Het voertuig-systeem vraagt de bestuurder frequent om het stuur tijdelijk over te nemen, zodat de bestuurder gefocust blijft of de weg.	-
Truck Platooning	Bij dit systeem zijn meerdere vrachtauto's digitaal aan elkaar gekoppeld, waarbij de voorste vrachtauto de snelheid en route van het konvooi bepaalt.	 (Duan, 2017)
Vehicle-To-Everything Communicatie (V2X)	Verzamelnaam voor alle componenten die draadloze communicatie tussen voertuigen onderling, infrastructuur, voetgangers, etc. mogelijk maken.	-

Vehicle-To-Infrastructure Communicatie (V2I)	Draadloze communicatie tussen voertuigen en infrastructuur.	 (Aries, 2020)
Vehicle-To-Vehicle Communicatie (V2V)	Draadloze communicatie tussen voertuigen onderling.	 (Aries, 2020)
Veiligheidszone	Betreft de gereserveerde ruimte waarbinnen geen onbeschermden objecten geplaatst mogen worden	-
Verkeersruimte	Betreft de bewegingsruimte die een voertuig nodig heeft om voor voort te bewegen. Door stuurcorrecties om op de weg te blijven, beweegt het 'traditionele' voertuig zich nooit in een rechte lijn.	-
Vluchtruimte	Bestemd voor gestrande voertuigen om de vluchtstrook vrij te houden. Dit verkleint het risico op ongelukken op de vluchtstrook.	-
Vluchtstrook	Bestemd voor noodgevallen	-
Wegkantstelsysteem (WKS)	Een wegstationsysteem is een computer die verbonden is met de verkeerscentrale en detectielussen. Het station kan matrixsignaalgevers, verkeerslichten en spitsstrookborden aansturen. Het geheel van dit systeem wordt ook wel wegstationsysteem (WKS) genoemd.	-



BIJLAGE 2: PARTNERSHIP TALKING TRAFFIC

Het Partnership Talking Traffic is een samenwerking tussen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), overheden en bedrijven om het verkeer veiliger en slimmer te maken (Partnership Talking Traffic, z.d.).



De opgave en pijlers

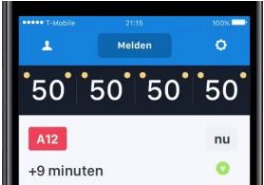
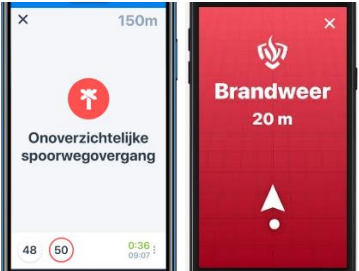
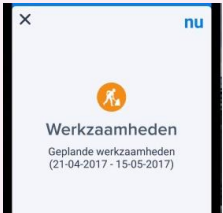
Veel mensen trekken naar de stad, waardoor de druk op ruimte steeds groter wordt. Daarnaast hebben steeds meer mensen toegang tot mobiele middelen en is Internet of Things in opkomst. Zo is er veel data over snelheid, rijgedrag en locatie doordat men continu verbonden is. Met deze data kan de mobiliteit slimmer worden georganiseerd en kan er beter gebruik worden gemaakt van de beperkte ruimte. Dit vertaalt zich in de volgende pijlers:

- **Doorstroming, kostenbesparing, duurzaam:** Door slimmer om te gaan met mobiliteit is het mogelijk om beter gebruik te maken van de wegcapaciteit. Hierdoor kan de doorstroming op de weg worden verbeterd en de reistijd verkort. Een verbeterde doorstroming leidt uiteindelijk tot een afname van (onnodig) afremmen en optrekken, wat leidt tot een kostenbesparing en minder uitstoot van uitlaatgassen;
- **Comfort:** Besparingen op reistijd, brandstof en kosten dragen bij aan het comfort voor weggebruikers. Door bestuurders te informeren over snellere routes, beschikbare parkeerplekken, etc., weet de weggebruiker altijd waar hij aan toe is;
- **Verkeersveiligheid:** Tijdens het rijden krijgen weggebruikers te maken met gevaarlijke verkeerssituaties, zoals spookrijders, obstakels op de weg of weersomstandigheden. Door bestuurders vroegtijdig te waarschuwen voor deze situaties, kunnen zij hierop beter anticiperen wat uiteindelijk de verkeersveiligheid positief beïnvloed.
- **Connected en zelfrijdende auto:** data en connectiviteit vormen een belangrijke basis voor de opkomst van de autonoom vervoer en slimme infrastructuur.

Toepassing

Het Partnership Talking Traffic ontwikkelt diensten die de weggebruiker voorzien van een persoonlijk advies en rijtaakondersteuning. Nu zijn deze geïmplementeerd in navigatiesystemen en apps, zoals Flitsmeister en Onderweg, maar in de toekomst moeten deze ook beschikbaar worden voor autonome voertuigen (Partnership Talking Traffic, z.d.).

Op dit moment worden de diensten van het Partnerschap Talking Traffic gebruikt voor de volgende doeleinden:

Functie	Werking	Impressie
 Maximum snelheid	De bestuurder ontvangt informatie over de geldende wettelijke maximumsnelheid voor zijn voertuigtype. Deze houdt ook rekening met dynamische maximumsnelheden, zoals bij spitsstroken, files en venstertijden.	 Beeld: Flitsmeister
 Snelheidsadvies	De bestuurder ontvangt een snelheidsadvies op basis van de actuele verkeerssituatie of externe omstandigheden.	 Beeld: FME
 Informatie over rijstroken	De bestuurder ontvangt informatie over open en gesloten rijstroken en dynamische snelheden.	 Beeld: Flitsmeister
 Inhaalverbod	Vrachtwagenchauffeurs ontvangen informatie over (dynamische) inhaalverboden voor vrachtverkeer.	 Beeld: Verkeersborden.com
 Mogelijke gevaarlijke situaties	De bestuurder ontvangt een waarschuwing voor mogelijk gevaarlijke verkeerssituaties, zoals onoverzichtelijke kruispunten, obstakels op de weg of naderende hulpdiensten.	 Beeld: Flitsmeister
 Werk in uitvoering	De bestuurder ontvangt informatie over gesloten rijstroken, maximumsnelheden en alternatieve routes tijdens wegwerkzaamheden.	 Beeld: Flitsmeister

 Parkeerinformatie	De bestuurder ontvangt informatie over beschikbare parkeerplekken, openingstijden en parkeerkosten.	 Beeld: Flitsmeister
 Prioriteit bij verkeerslichten	Bepaalde doelgroepen, zoals hulpdiensten en zwaar vrachtverkeer, kunnen voorrang of langer groen krijgen bij verkeerslichten.	 Beeld: FME

Tabel: Toepassing Talking Traffic in de praktijk (Talking Traffic, z.d.)

Partijen

Het Partnership Talking Traffic bestaat uit twee type partners:

- Private partners: Bestaande uit bedrijven die gespecialiseerd zijn in IT-applicaties, draadloze communicatie en verkeersinfrastructuur.
- Publieke partners: Centrale overheden (Partnership Talking Traffic, z.d.).

PRIVATE PARTIJEN →	BEMOBILE	dphninq	ERICSSON	FM Flitsmeister	SWECO	Vialis	Ziut	monotch
	KOHARTOG	kpn	locatienet	MOBIELE TV NL	vtron	rai vereniging	T-Systems	ROADEO
PUBLIEKE PARTIJEN →	Rijksdienst voor het Openbaar Verkeer en Vervoer	SIEMENS	simacan	SWARCO				
	Stim en schoon reizen	Goedopweg	metropool regio amsterdam	METROPOLREGIO ROTTERDAM DEN HAAG				

Figuur: Partners Talking Traffic (Talking Traffic, z.d.)