



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Weg van de Toekomst

Truck Platooning op de snelweg

Onderzoek naar veiligheidsrisico's en mogelijke
maatregelen voor truck platooning
op autosnelwegen



Scriptie

Daniël Meeusen
03-06-2021

MEDIATHEEKFORMULIER

Naam student: Daniël Meeusen

Opleiding	☐ Built Environment – International Spatial Development ☒ Built Environment – Mobiliteit ☐ Built Environment – Ruimtelijke ordening en Planologie ☐ Built Environment – Urban Design ☐ Logistics Engineering ☐ Logistics Management
Auteur	Daniël Meeusen
Titel	Truck Platooning op de snelweg
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) Afd. Wegverkeer en Benutten
Plaats	Lange Kleiweg 34 2288GK, Rijswijk Nederland
Bedrijfsbegeleider	Alex van Loon Henk Schuurman
Hogeschoolbegeleider	Ruud Hornman
Samenvatting	Met truck platooning zijn vrachtwagens digitaal aan elkaar gekoppeld en kunnen met korte volgafstanden in een colonne rijden. Dit levert verschillende veiligheidsrisico's op, zoals het in conflict raken van de truck platoon met andere weggebruikers bij in- en uitvoegen, waardoor het gewenst is om maatregelen toe te passen die deze veiligheidsrisico's mitigeren.
Trefwoorden (5x)	Truck platooning, Vrachtverkeer, Smart Mobility, Voertuigautomatisering, Scriptie

Weg van de Toekomst

Truck Platooning op de snelweg

Onderzoek naar veiligheidsrisico's en mogelijke maatregelen voor truck platooning op autosnelwegen

Datum: 3 juni 2021



Student:	Daniël Meeusen
Code:	172548
Onderwijsinstelling:	Breda University of Applied Sciences
Adres:	Mgr. Hopmansstraat 2 4817JS Breda
Academie:	Built Environment & Logistics (ABEL)
Opleiding:	Built Environment – Mobiliteit
Hogeschoolbegeleider:	Ruud Hornman



Opdrachtgever:	Rijkswaterstaat
Adres:	Lange Kleiweg 34 2288GK Rijswijk
Afdeling:	Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) Afd. Wegverkeer en Benutten
Bedrijfsbegeleiders:	Alex van Loon Henk Schuurman

Foto voorblad: Scania CV AB



VOORWOORD



Foto: Rijkswaterstaat

Beste lezer,

Voor u ligt het onderzoeksrapport *Truck platooning op de snelweg*, welke een vervolgonderzoek is van mijn onderzoek *A58 van de Toekomst*. In mijn vorige stageperiode heb ik onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van autonoom vervoer en daarop een visie opgesteld hoe de 'weg van de toekomst' eruit komt te zien. Een van de ontwikkelingen die hieruit voortkwam is truck platooning, waar dit onderzoeksrapport overgaat.

In het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Built Environment – Mobiliteit aan de Breda University of Applied Sciences, heb ik in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek gedaan naar de werking en ontwikkeling van truck platooning en welke knelpunten met veiligheidsrisico's kunnen optreden als dit zal plaatsvinden op de middellange termijn (2030-2040) op het Nederlandse autosnelwegennet. Op basis van deze uitkomsten heb ik mitigerende maatregelen opgesteld en deze toegepast op twee transportroutes. Het afstudeeronderzoek heeft door de coronamaatregelen volledig vanuit thuis plaatsgevonden van februari 2021 tot en met juni 2021.

Voor de begeleiding vanuit de Breda University of Applied Sciences zou ik graag Ruud Hornman willen bedanken en vanuit Rijkswaterstaat Alex van Loon en Henk Schuurman. De afgelopen afstudeerperiode hebben zij mij ondersteund en begeleid in het proces van mijn onderzoek. Ook wil ik graag mijn collega's van Rijkswaterstaat Boris van Waterschoot en Onno Tool bedanken dat zij bereid waren om met mij in gesprek te gaan over dit onderzoeksonderwerp en feedback te geven.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Daniël Meeusen

Etten-Leur, 3 juni 2021

SAMENVATTING



Truck platooning, een nieuwe techniek waarbij vrachtwagens digitaal aan elkaar gekoppeld rijden in een colonne, zal de komende jaren zijn intrede maken op de autosnelweg. Hierbij bepaalt de chauffeur van het leidende voertuig de snelheid en de route, en hoeven de chauffeurs in de volgende vrachtwagens géén rijtaken uit te voeren. Waar vrachtverkeer normaliter rijdt met een volgtijd tussen 1 en 3 seconden, wordt het met truck platooning mogelijk om een volgtijd van 0,3 tot 0,8 seconden te hanteren. Dit gegeven kan hinder opleveren voor andere weggebruikers met negatieve gevolgen voor de verkeersveiligheid.

In de periode van februari 2021 tot en met juni 2021 is er in opdracht van Rijkswaterstaat een afstudeeronderzoek uitgevoerd naar de verkeersveiligheidsrisico's en daarop mitigerende maatregelen als een truck platoon niveau 4 komt te rijden op een autosnelweg in de periode 2030 – 2040. Hiervoor is er gebruik gemaakt van vakliteratuur en is er een interview en kennissessie gehouden met experts.

Uit de knelpuntenanalyse komt naar voren dat de volgende verwachte knelpunten met gekoppelde veiligheidsrisico's kunnen optreden:

- **Verkleinde in- en uitvoegmogelijkheden:** De aanwezigheid van een truck platoon op de hoofdrijbaan kan ertoe leiden dat een weggebruiker géén geschikt hiaat vindt om in te voegen, waardoor deze in conflict raakt met de truck platoon of andere weggebruikers.
- **Turbulentie tussen de truck platoon en andere weggebruikers:** Door snelheidsverschillen bij het wisselen van rijstroken, moeten andere weggebruikers mogelijk op de rem, met het risico dat men in botsing met elkaar raakt.
- **Systeem komt buiten het *Operational Design Domain (ODD)*:** Als een chauffeur niet in staat is om tijdig in te grijpen bij een situatie waarin het truck platoon-systeem problemen ondervindt, kan een truck platoon in botsing raken met obstakels of andere voertuigen.

Deze knelpunten zijn te mitigeren met behulp van maatregelen, onderverdeeld in vier pakketten:

- **M.1 Niet-infrapakket:** Smart mobility- en gedragsmaatregelen die géén aanpassing aan de infrastructuur vereisen;
- **M.2 Maatwerk-infrapakket:** Maatregelen die op bepaalde locaties kleine aanpassingen aan de infrastructuur vereisen en/of efficiënt gebruik van de beschikbare ruimte;
- **M.3 Dynamische doelgroepstrook:** Tijdelijke afsluiting van een rijstrook voor het verkeer met uitzondering van de truck platooning;
- **M.4 Vaste doelgroepstrook:** Aparte rijstrook welke alleen toegankelijk is voor een truck platoon.

De toepassing van een stappenplan voor de implementatie van de maatregelen op de A15 en A16, laat zien dat met een vijftal basismaatregelen uit het *M.1 Niet-infrapakket*, truck platooning grotendeels verkeersveilig gefaciliteerd kan worden en er weinig tot géén aanpassingen vereist zijn aan de infrastructuur. Rijkswaterstaat wordt aanbevolen om op korte termijn de maatregelen verder uit te werken, zodat de wegbeheerder kan anticiperen op truck platooning en dat deze techniek verkeersveilig geïntroduceerd kan worden op het wegennet.



BEGRIPPENLIJST

Foto: Microsoft

Aansluiting	Ongelijkvloers kruispunt van een stroomweg en een weg van een lagere hoofdcategorie, waartussen uitwisseling mogelijk is.
Adaptive Cruise Control (ACC)	Rijhulpsysteem niveau 1. Past zijn snelheid en afstand tot de voorligger met behulp van sensoren.
Autosnelweg	Standaardtype snelweg, met een functie voor hoofdzakelijk lange afstandsverkeer.
Boogstraat	De ronding van de as van een weg.
Car Platooning	Het draadloos verbonden rijden in een colonne van personenauto's.
Cellular V2X (C-V2X)	Draadloze communicatie via het mobiele netwerk.
Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC)	Rijhulpsysteem niveau 2. Past zijn snelheid en afstand tot de voorligger met behulp van sensoren en datacommunicatie met de voorligger.
Dedicated Short-Range Communications (DSRC)	Draadloze communicatie via Wi-Fi.
Hiaat	De tijd (volgtijd) of afstand (volgafstand) tussen twee voertuigen.
Infrastructure-To-Vehicle Communicatie (I2V)	Draadloze communicatie tussen infrastructuur en voertuigen.
Intelligent Wegkantsysteem (iWKS)	Computer die verbonden is met de verkeerscentrale, detectielussen en het mobiele netwerk. Het station kan matrixsignaalgevers, verkeerslichten en spitsstrookborden aansturen en communiceren met voertuigen.
Intelligente Verkeersregelininstallatie (iVRI)	Verkeerslichten verbonden met het mobiele netwerk en afgestemd op de real-time verkeerssituatie.
Knooppunt	Ongelijkvloers kruispunt van stroomwegen, waartussen ongelijkvloerse uitwisseling mogelijk is.
Kunstwerk	Een civiel-bouwkundige constructie met bijbehorende installaties.
Lane Keep Assist (LKA)	Rijhulpsysteem niveau 1. Voertuig rijdt zelfstandig binnen de rijstrookbelijning.
Laterale controle	Het behouden en corrigeren van de positie op de weg.
Longitudinale controle	Het behouden en corrigeren van de snelheid.
Operational Design Domain (ODD)	Toepassingsgebied welke alle fysieke, operationele en externe factoren omvat die bepalen in hoeverre rijhulpsystemen kunnen functioneren.

Profiel van vrije ruimte	De afstand die een bestuurder aanhoudt om de aanraking met een object te voorkomen.
Rijstrook	Bestemd voor rijdend verkeer.
Spitsstrook	Een vluchtstrook aan de rechterkant of extra rijstrook aan de linkerkant van de snelweg, die alleen tijdens drukke momenten open is voor verkeer.
Spoorvorming	Verzakking of beschadiging van het wegdek als gevolg van zware belasting.
Stadsautosnelweg	Type snelweg met een belangrijke functie voor het lokale en regionale verkeer, gekenmerkt door een grote aansluitingsdichtheid en een duidelijk stedelijk karakter.
Stroomweg	Wegcategorisering, bestaande uit ongelijkvloerse kruisingen en fysieke rijbaanafscheiding om het verkeer met een hoge gemiddelde snelheid af te wikkelen.
Take-Over-Request (ToR)	Melding van het voertuigsysteem die aan de bestuurder vraagt het stuur over te nemen.
Transfer of Control (ToC)	De tijd die nodig is om het stuur over te nemen van het voertuigsysteem na een Take-Over-Request.
Truck Platooning	Het draadloos verbonden rijden in een colonne van vrachtauto's.
Vehicle-To-Everything Communicatie (V2X)	Verzamelnaam voor alle componenten die draadloze communicatie tussen voertuigen onderling, infrastructuur, voetgangers, etc. mogelijk maken.
Vehicle-To-Vehicle Communicatie (V2V)	Draadloze communicatie tussen voertuigen onderling.
Veiligheidszone	De gereserveerde ruimte waarbinnen geen onbeschermd objecten geplaatst mogen worden.
Verkeersruimte	De benodigde bewegingsruimte van een voertuig om voort te bewegen.
Vluchtstrook	Bestemd voor noodgevallen.
Volgafstand	Zie betekenis <i>Hiaat</i>
Volgtijd	Zie betekenis <i>Hiaat</i>
Weefvak	Op de weefstrook vindt er een uitwisseling plaats van rijdend verkeer afkomstig van en gaande naar verschillende rijbanen.



INHOUDSOPGAVE



1.0 Het onderzoek	9
1.1 Achtergrond & Aanleiding	9
1.2 Opdrachtgever	11
1.3 Probleemdefinitie & Opdracht	12
1.4 Doelstelling	12
1.5 Methodologische aanpak	12
1.6 Leeswijzer	16
2.0 Het voertuig	17
2.1 De werking van truck platooning	17
2.2 De verwachte ontwikkeling van truck platooning	20
2.3 Deelconclusie	22
3.0 De Infrastructuur	23
3.1 Wegelementen en -configuraties	23
3.2 Prestatie van rijhulpsystemen op verschillende elementen	25
3.3 Deelconclusie	26
4.0 De Bestuurder	27
4.1 De cyclus van het informatieverwerkend systeem	27
4.2 Controleovername door vrachtwagenchauffeur in een platoon	27
4.3 Gedrag van andere verkeersdeelnemers	28
4.4 Deelconclusie	30
5.0 Data	31
5.1 De communicatie tussen wegbeheerder en logistiek dienstverlener	31
5.2 Deelconclusie	32
6.0 Scope bepaling & Knelpunten	33
6.1 Scope-opbouw	33
6.2 Knelpuntenanalyse	36
6.3 Deelconclusie	40
7.0 Maatregelen	41
7.1 De maatregelen	41
7.2 Deelconclusie	48

8.0 Waar & Wanneer	49
8.1 Stappenplan voor de implementatie van mitigerende maatregelen	50
8.2 Deelconclusie	51
9.0 Truck platooning op de A15 & A16	52
9.1 Methode Casestudy	52
9.2 A15 Maasvlakte - Ridderkerk	53
9.3 A16 Ridderkerk - Hazeldonk	58
9.4 Deelconclusie	63
10.0 Conclusie & Aanbevelingen	64
10.1 Conclusie	64
10.2 Aanbevelingen	69
Literatuurlijst	71
Bijlagen	71
Bijlage 1 Scopekeuze tussen car- en truck platooning	79
B1.1 De verwachte ontwikkeling van car platooning	85
B1.2 De verwachte ontwikkeling van truck platooning	86
B1.3 Scopekeuze tussen car- en truck platooning	87
Bijlage 2 Infrastructurele elementen	85
B2.1 Dwarsprofiel stroomweg	85
B2.2 Knooppuntconfiguraties	86
B2.3 Aansluitingen	87
B2.4 Spitsstroken	90
B2.5 Kunstwerken	92
Bijlage 3 Interview met Boris van Waterschoot	93
Bijlage 4 Notulen Kennissessie	99

Hoofdstuk 1.0 - Inleiding HET ONDERZOEK

In opdracht van Rijkswaterstaat is er een afstudeeronderzoek gedaan naar de verkeersveiligheidsrisico's die verbonden zijn aan truck platooning. In dit hoofdstuk is de samenstelling van het onderzoek beschreven, met daarbij de context, het vraagstuk, de methodologie en de leeswijzer.



Foto: Aron, Robin

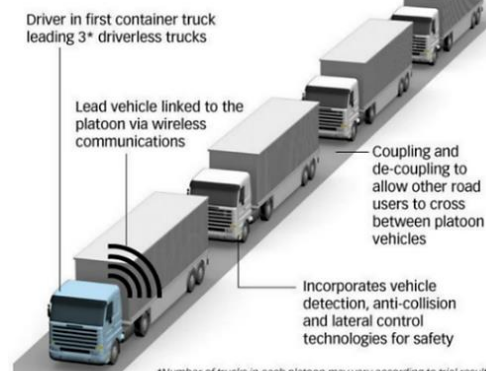
1.1 Achtergrond & Aanleiding

Het geautomatiseerde voertuig, ofwel het *Connected and Automated Vehicle* (CAV), is in opmars: de afgelopen jaren zijn er meerdere voertuigen op de markt verschenen die de bestuurder helpen bij de rijtaak. Zo kan het voertuig zijn snelheid aanpassen op basis van de afstand tot zijn voorligger, het automatisch maken van een noodstop of het zelfstandig rijden binnen de belijning. Deze automatische systemen vallen onder niveau 1 en 2 van automatisering¹. Echter staat de technologie niet stil en zijn veel fabrikanten bezig met het doorontwikkelen van automatische voertuigen totdat deze een niveau van volledige autonomie bereiken. Het voertuig heeft in dit geval alle rijtaken van de bestuurder overgenomen (SAE, 2018).

Een van de ontwikkelingen binnen geautomatiseerde voertuigen is truck platooning. Bij deze techniek zijn meerdere vrachtauto's digitaal aan elkaar gekoppeld, waarbij de voorste vrachtauto de snelheid en route van de colonne bepaalt (zie: figuur 1.1). De chauffeurs van de vrachtauto's die het voorste voertuig volgen, hoeven hierbij weinig tot géén rijtaken uit te voeren (ACEA, 2017). In *Hoofdstuk 2.0 Het Voertuig* is beschreven welke systemen truck platooning mogelijk maken en hoe een platoon wordt gevormd.

Het voordeel van truck platooning is dat de verbonden vrachtauto's dichter op elkaar kunnen rijden, wat kansen, maar soms ook risico's, biedt voor verkeersveiligheid, doorstroming, milieu, wegbeheer en economie.

One driver, multiple trucks



*Number of trucks in each platoon may vary according to trial results.
Figuur 1.1: Werking Truck Platooning (Duan, 2017)

Verkeersveiligheid

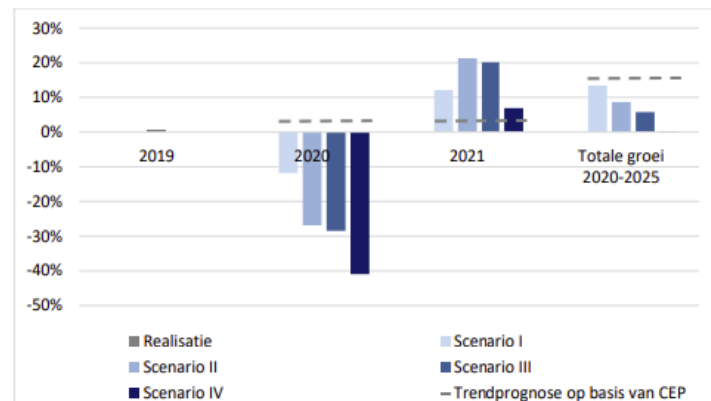
Geautomatiseerde voertuigen kunnen sneller ingrijpen bij gevaar dan menselijke bestuurders. Dit kan de kans op ongevallen verkleinen en daarmee ook de doorstroming bevorderen (ACEA, 2017). Echter kan een truck platoon ook veiligheidsrisico's veroorzaken bij aansluitingen. Op het moment is er op het Nederlandse wegennetwerk al vaak sprake van colonnevorming van vrachtauto's. Hierdoor ondervinden automobilisten hinder bij het in- en uitvoegen op de snelweg, doordat ze het lastig vinden om veilig tussen de colonne te voegen met negatieve

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

effecten voor de verkeersveiligheid als gevolg (ANWB, z.d.). Dit verschijnsel wordt ook getoond in een onderzoek van Goudappel Coffeng naar het invoeggedrag van weggebruikers tussen colonnes van niet-automatisch vrachtverkeer. Daarbij stellen de onderzoekers dat dit probleem groter kan worden als truck platooning, waarbij er dus met kortere volgafstanden gereden kan worden, in de praktijk gaat worden toegepast op trajecten met veel aansluitingen. Vooral als de verkeers- en colonne-intensiteit hoger wordt, kunnen er gevaarlijke verkeerssituaties ontstaan, zoals het stoppen op de invoegstrook of het doorrijden op de vluchtstrook (Essen, Dicke-Ogenia, Sluismans, Bazilinsky, & Taams, z.d.).

Doorstroming

In 2019 bedroeg de jaarfilezwaarte op het Nederlandse wegennet ruim 13,3 miljoen kilometer: een stijging van 14,2% ten opzichte van het jaar daarvoor (Rijkswaterstaat, 2020). Door de coronacrisis in 2020 waren de vele files en vertragingen op het wegennetwerk grotendeels afgenomen, echter verwacht het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) dat het totale wegverkeer weer vanaf 2025 voorbij het niveau van 2019 komt (zie: figuur 1.2) (Knoope & Francke, 2020). Doordat vrachtauto's in een platoon dichter op elkaar kunnen rijden, kan er met truck platooning efficiënter gebruik worden gemaakt



Figuur 1.2: Jaarlijkse toename van de verkeersprestatie op het hoofdwegennet t.o.v. 2019, uitgaande van 4 scenario's over de economische ontwikkeling (Knoope & Francke, 2020)

van de wegcapaciteit, wat de doorstroming kan bevorderen (ACEA, 2017). Dit is wel afhankelijk van een aantal variabelen. Zo hebben onder andere het aantal voertuigen dat in een colonne rijdt, de volgafstand, het niveau van autonoom vervoer, de penetratiegraad en locatie invloed op de prestaties op het wegennet. Zo toont een simulatieonderzoek van het CEDR dat bij een colonne bestaande uit drie vrachtwagens (niveau 4²) en een volgafstand van 4 meter, de gemiddelde snelheid van vrachtvoertuigen stijgt naarmate de penetratiegraad hoger wordt. Bij congestie ligt de gemiddelde snelheid van automatische vrachtvoertuigen na aansluitingen bijna 60% hoger dan wanneer zij niet geautomatiseerd zijn. Het overige niet-geautomatiseerd verkeer merkt hierdoor een snelheidsstijging van 45% (Penttinen, et al., 2019). Echter laat een simulatieonderzoek van de TU Eindhoven zien dat bij in- en uitvoegstroken het overig verkeer hinder ondervindt om tussen een platoon te voegen (3 vrachtvoertuigen met een volgafstand van 6,7m). Vooral bij een hoge penetratiegraad van truck platooning kan de turbulentie op een wegvak met veel aansluitingen tot 50% toenemen (Yang, Kuipjers, Dane, & Sande, 2018).

Milieu

Binnen de Europese Unie was in 2016 de transportsector verantwoordelijk voor bijna 30% van alle CO₂-uitstoot, waarvan 72% afkomstig van het wegverkeer. Zwaar en licht vrachtverkeer hadden hierin een aandeel van 38,1% (European Parliament, 2019). De Europese Raad heeft daarom het streven om de uitstoot van het vrachtverkeer terug te dringen met 15% vanaf 2025 en 30% vanaf 2030 (Raad van de Europese Unie, 2019). Naast het zuiniger bouwen van de

² Niveau 4 (hoog geautomatiseerd) betreft dat het voertuig alle rijtaken van de bestuurder kan overnemen, in de veronderstelling dat hij niet altijd spoedig zal reageren op een verzoek van overnemen (zie hoofdstuk 2.1)

voertuigen zelf, kan ook truck platooning een bijdrage leveren op het reduceren van emissies tijdens het rijden. Doordat de vrachtwagens dichter op elkaar kunnen rijden, wordt de luchtweerstand verkleind (ACEA, 2017). Afhankelijk van de colonnegrootte, snelheid en actuele verkeerssituatie, kunnen vrachtvoertuigen in een platoon 4 tot 15% besparen op brandstof (Pająk & Cyplik, 2020).

Wegbeheer

Met de systemen die truck platooning mogelijk maken, kunnen vrachtvoertuigen nauwkeuriger hun positie bepalen en behouden. Dit kan leiden tot een zwaardere belasting op het wegdek en kunstwerken, waardoor in de toekomst meer onderhoud nodig zal zijn of er andere eisen moeten worden gesteld op plekken waar truck platoons rijden (Zwijnenberg, 2018).

Economie

Naast besparingen op brandstofkosten, maakt truck platooning ook besparing op arbeidskosten mogelijk. Chauffeurs kunnen tijdens de rit in een platoon rusten en hoeven daardoor niet meer langs de weg te stoppen. Hierdoor kan men de logistieke planning efficiënter inrichten, wat leidt tot een economisch voordeel voor bedrijven (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & Kruijff, 2015).

1.2 Opdrachtgever

"Samenwerken aan een veilig, leefbaar en bereikbaar Nederland." Dat is de missie van Rijkswaterstaat, beheerder en ontwikkelaar van de Nederlandse Rijkswegen, -vaarwegen en -wateren (Rijkswaterstaat, z.d.). Om te voorkomen dat het wegennet dichtslibt door de hoge verkeersdruk, wil Rijkswaterstaat met smart mobility-innovaties mensen slimmer laten reizen (Rijkswaterstaat, z.d.). In 2018 heeft de wegbeheerder de *Plaateauplanning Smart Mobility* vastgesteld, waarin overzichtelijk is gemaakt welke kansen en ontwikkelingen op het gebied van slimme mobiliteit te wachten staan (Rijkswaterstaat, Actualisatie plateauplanning Smart Mobility, 2020). Daarbij wordt er gewerkt aan de hand van vier ontwikkelsporen:

- **Infrastructuur:** De toekomstbestendigheid van de fysieke en digitale infrastructuur;
- **Vaar- en voertuigen:** Het veilig introduceren en gebruiken van de nieuwe generatie vaar- en voertuigen;
- **Data:** Het gebruik van data welke leidt tot proactief en efficiënt verkeersmanagement, wegbeheer en verbetering van de veiligheid;
- **Gedrag:** Het optimaal en veilig gebruik van rijhulpsystemen, mobiliteits- en informatiediensten (Rijkswaterstaat, Actualisatie plateauplanning Smart Mobility, 2020).

Truck platooning valt onder de ontwikkeling van *Vaar- en voertuigen*, maar heeft tegelijkertijd een relatie met de *Infrastructuur* en *Gedrag*. Dit onderzoek richt zich met name op de infrastructuur, maar wel met oog op de raakvlakken met *Voertuigen* en *Gedrag*.

Voor de ontwikkeling van truck platooning faciliteert Rijkswaterstaat onder andere projecten die hiermee testen op de wegen. Truck platooning biedt voor Rijkswaterstaat kansen om verkeersmanagement en logistiek beter op elkaar aan te sluiten. Daarnaast werkt de

wegbeheerder samen met het RDW³ aan de veilige toelating van truck platooning. Zo wil de wegbeheerder dat truck platooning minstens zo verkeersveilig is als 'normaal' vrachtverkeer en kunnen er bepaalde voorwaarden aan de infrastructuur worden gesteld om truck platooning veilig te introduceren, het liefst tegen zo laag mogelijke kosten.

1.3 Probleemdefinitie & Opdracht

Zoals eerder aangegeven in *Hoofdstuk 1.1 Achtergrond & Aanleiding* kan truck platooning risico's opleveren voor de verkeersveiligheid op het wegennet. De korte volgafstand in een truck platoon kan hinder opleveren voor in- en uitvoegend verkeer, doordat er minder geschikte mogelijkheden zijn om tussen de colonne te voegen. Dit kan ertoe leiden dat een weggebruiker in conflict raakt met de truck platoon, met verkeersongevallen tot gevolg (Essen, Dicke-Ogenia, Sluijsmans, Bazilinsky, & Taams, z.d.). Daarnaast is het ook de vraag hoe snel een chauffeur kan ingrijpen wanneer de automatische piloot van het truck platoon-systeem onverwachts vraagt om een stuurovername. Bij korte volgafstanden en hoge snelheden kan het laat ingrijpen door de chauffeur tot veiligheidsrisico's leiden (Nes & Duivenvoorden, 2017).

Door knelpunten in kaart te brengen die een mogelijk veiligheidsrisico vormen wanneer een truck platoon op de snelweg rijdt en daarop mitigerende maatregelen te ontwikkelen, krijgt Rijkswaterstaat inzicht in de mogelijke veiligheidsrisico's die kunnen optreden als er pilots op de openbare weg worden uitgevoerd en als truck platooning in de praktijk plaats gaat vinden. Met behulp van een stappenplan kan Rijkswaterstaat maatregelen implementeren die deze veiligheidsrisico's verkleinen en tegelijkertijd zo min mogelijk aanpassingen aan de infrastructuur vereisen.

1.4 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek betreft:

“Het ontwikkelen van infrastructurele en digitale maatregelen, waarmee rekening moet worden gehouden om risico's omtrent verkeersveiligheid te mitigeren die kunnen optreden als truck platooning niveau 4 plaatsvindt in de periode 2030 – 2040.”

Het eindproduct van dit onderzoek omvat dit onderzoeksrapport, waarin de totstandkoming en analyse van de knelpunten en maatregelen is beschreven. Daarbij is er ook een casestudy bijgevoegd, waarin de knelpuntenanalyse en het maatregelenpakket zijn toegepast op twee transportroutes.

1.5 Methodologische aanpak

Afbakening

Dit onderzoek richt zich op de fysieke en digitale infrastructuur. Het kader hiervan focust zich op autosnelwegen beheerd door Rijkswaterstaat. Ten opzichte van erftoegangs- en gebiedsontsluitingswegen, kennen snelwegen (stroomwegen) een eenvoudiger ontwerp en zijn daarmee geschikter voor de huidige technologie van autonoom rijden. Truck platooning zal daarom zeer waarschijnlijk ook eerder worden toegepast op een snelweg, dan op een ander wegtype.

³ Het RDW is een publieke dienstverlener die de toelating, handhaving en registratie van gemotoriseerde voertuigen en rijbewijzen in Nederland verzorgt (RDW, z.d.).

Wat betreft de technologieën die platooning mogelijk maken, richt dit onderzoek zich op de ontwikkelingen tussen 2030 en 2040. Binnen deze tijdsperiode staat de ontwikkeling van automatiseringsniveau 4 centraal, waarbij het voertuig grotendeels de rijtaak van de bestuurder heeft overgenomen. Kijkend naar de markt legt men de focus met name op de ontwikkeling van niveau 4 en binnen deze tijdsperiode geven de verwachtingen van bepaalde technieken en ontwikkelingen meer zekerheid dan in de periode na 2040 (ACEA, 2017) (ENSEMBLE, z.d.) (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & Kruijff, 2015). Dit maakt dat het onderzoek een zo realistisch mogelijke prognose kan geven voor de komende twintig jaar.

Onderzoeksvragen

Op basis van de voorafgaande probleemdefinitie, doelstelling en afbakening luidt de hoofdvraag van dit onderzoek:

“Welke knelpunten levert het rijden in een truck platoon niveau 4 op autosnelwegen op en welke maatregelen kunnen deze gekoppelde veiligheidsrisico’s mitigeren op een wijze die zo min mogelijke aanpassingen aan de infrastructuur vereisen?”

Om deze hoofdvraag te beantwoorden is er informatie nodig. Deze zal worden verkregen uit wetenschappelijke onderzoeken, vakliteratuur en interviews met experts.

Deelvraag 1: *“Hoe ziet de werking en ontwikkeling van truck platooning eruit?”*

Onderzoek naar	Doel
De werking van truck platooning.	Een beschrijving geven hoe een colonne ontstaat, werkt en welke technieken hieraan verbonden zijn.
De ontwikkeling van truck platooning.	Een overzicht geven van de verwachte ontwikkeling van platooning met vrachtoertuigen (truck platooning).

Deelvraag 2: *“Welke wegelementen en -configuraties zijn er op het Nederlandse autosnelwegennet en hoe reageren truck platoon-systemen hierop?”*

Onderzoek naar	Doel
Wegelementen en -configuraties op het Nederlandse autosnelwegennet.	In kaart brengen welke wegkenmerken en -omgevingen er op het Nederlandse wegennet mogelijk zijn.
Prestatie van rijhulpsystemen op wegelementen.	In kaart brengen in welke wegconfiguraties rijhulpsystemen problemen kunnen ervaren.

Deelvraag 3: *“Welke risico’s voor bestuurder en overige verkeersdeelnemers zijn verbonden aan truck platooning?”*

Onderzoek naar	Doel
Risico’s voor de bestuurder verbonden aan truck platooning.	Nagaan wat de rol van een bestuurder is tijdens het rijden in een truck platoon en welke risico’s dit oplevert voor de verkeersveiligheid.
Risico’s voor overige verkeersdeelnemers verbonden aan truck platooning.	In kaart brengen welke bedreigingen voor de verkeersveiligheid de aanwezigheid van een truck platoon met zich meebrengt in het verkeersgedrag van weggebruikers.

Deelvraag 4: *“Welke data kunnen een truck platoon en wegbeheerder met elkaar uitwisselen voor het rijden in een truck platoon?”*

Onderzoek naar	Doel
De toepassing van data-uitwisseling tussen truck platoon en wegbeheerder.	In kaart brengen welke informatie een truck platoon en wegbeheerder onderling kunnen uitwisselen.

Deelvraag 5: *“Welke uitgangspunten met bijbehorende knelpunten vormen de scope voor het ontwikkelen van infrastructurele maatregelen?”*

Resultaat	Doel
Scope-uitwerking.	Vaststellen scope waar de maatregelen in de volgende stappen op worden gebaseerd.
Knelpuntenanalyse.	Overzicht van alle knelpunten die voortkomen uit de scope en beantwoording van de deelvragen 1 t/m 4.

Deelvraag 6: *“Welke maatregelen kunnen worden genomen om veiligheidsrisico's ten aanzien van de knelpunten te verkleinen?”*

Opstellen van	Doel
Mitigerende maatregelen voor de knelpunten en veiligheidsrisico's.	In kaart brengen en analyseren welke maatregelen de knelpunten en veiligheidsrisico's kunnen mitigeren.

Deelvraag 7: *“Waar en wanneer zouden de maatregelen voor truck platooning geïmplementeerd kunnen worden?”*

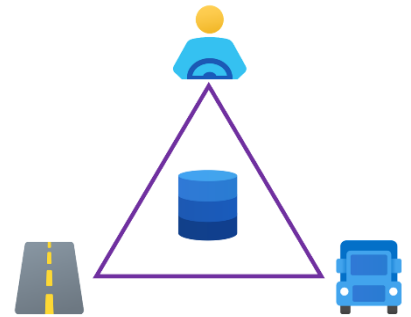
Onderzoek naar	Doel
Locaties en situaties wanneer de maatregelen geïmplementeerd kunnen worden.	Ontwikkelen stappenplan voor de implementatie van de maatregelen.

Deelvraag 8: *“Kan het maatregelpakket worden toegepast op een transportroute en welke uitkomsten levert dit op om truck platooning verkeersveilig te faciliteren op deze route?”*

Toepassing van	Doel
Knelpuntenanalyse op de trajecten A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk.	In kaart brengen welke knelpunten kunnen optreden als een truck platoon rijdt op de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk.
Maatregelpakket op de op de trajecten A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk.	In kaart brengen welke maatregelen nodig zijn om de knelpunten te mitigeren welke optreden als er een truck platoon rijdt op de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk.

Onderzoeksmethodiek

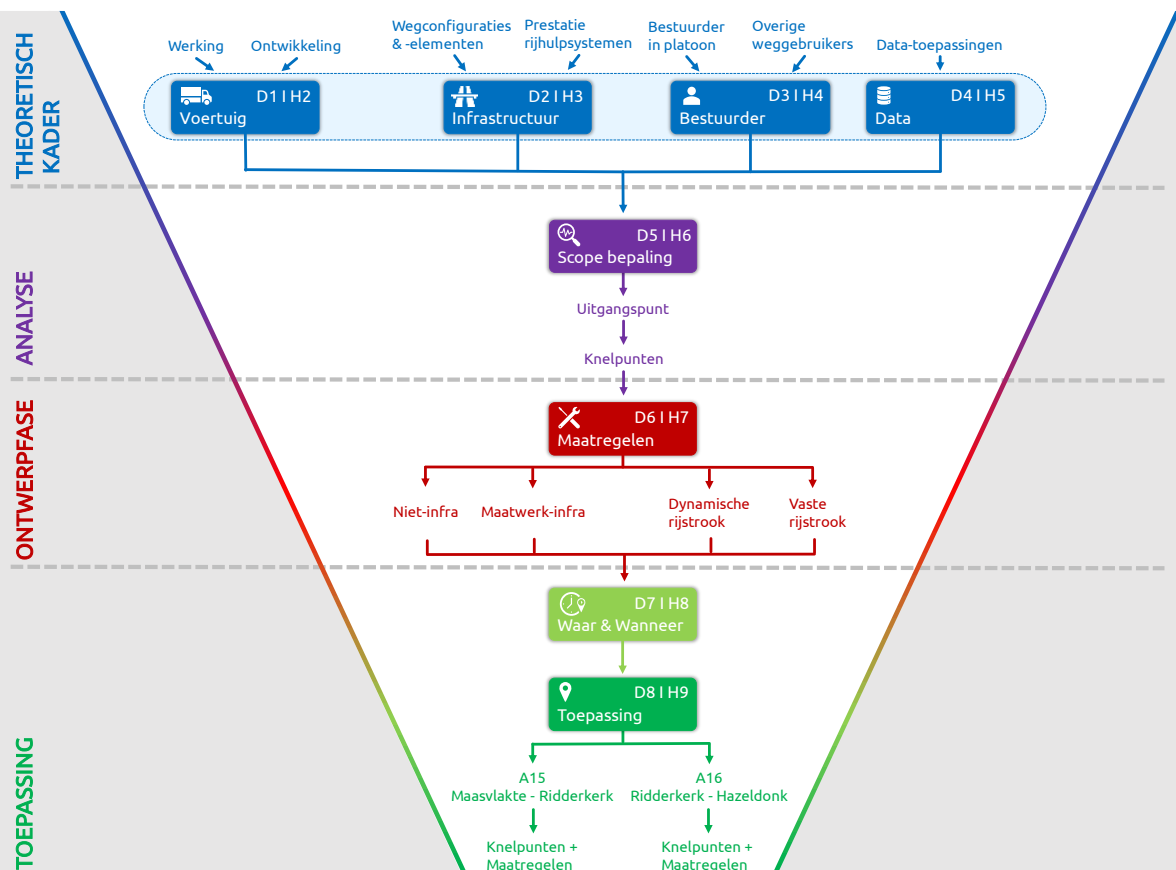
In dit onderzoek is er eerst vanuit de brede context gekeken naar truck platooning, waarna vervolgens stap voor stap dit onderwerp is gespecificeerd naar de toepassing (zie: figuur 1.4). De deelvragen 1 t/m 4 vormen de brede context en het theoretisch kader van dit onderzoek, welke vertegenwoordigen: *Voertuig*, *Infrastructuur*, *Bestuurder* en *Data*. Deze vier pijlers vormen een wisselwerking, waarin infrastructuur en het voertuig ondersteuning en bescherming bieden aan de rijvaardigheden van de bestuurder. Data vormt hierin de uitwisseling tussen infrastructuur, bestuurder en voertuig waarmee mobiliteit slim kan worden georganiseerd (zie: figuur 1.3). Binnen het theoretisch kader is er literatuuronderzoek uitgevoerd en is er een diepte-interview gehouden met een expert op het gebied van human factors.



Figuur 1.3: Mobiliteitsdriehoek met de wisselwerking tussen voertuig (rechts), infrastructuur (links), bestuurder (boven) en data (midden) (icons8, z.d.) (eigen bewerking)

Met de uitkomsten uit het theoretisch kader is door middel van bouwstenen de scope van het onderzoek bepaald. Daaruit volgt een knelpuntenanalyse van de risico's die truck platooning kan vormen op de verkeersveiligheid (deelvraag 5). Op basis daarvan zijn er mitigerende maatregelen opgesteld aan de digitale- en fysieke infrastructuur (deelvraag 6) en geanalyseerd wanneer deze kunnen worden toegepast (deelvraag 7).

Ten slotte is er een casestudy uitgevoerd voor twee transportroutes in Nederland: de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk- Hazeldonk. Met behulp van de knelpuntenanalyse, het maatregelenpakket en een observatie via Google Streetview en het zelf rijden van de route, is bepaald welke knelpunten kunnen optreden en daarop volgende maatregelen kunnen worden toegepast als truck platoons zullen rijden op beide trajecten.



Figuur 1.4: Onderzoeksmodel (eigen bewerking)

1.6 Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd uit elf hoofdstukken, waarvan hoofdstuk 2 t/m 5 het theoretisch kader vormen en waarin de mobiliteitsdriehoek uit figuur 1.3 centraal staat (zie: figuur 1.4).

Hoofdstuk 2 gaat over de werking en ontwikkeling van truck platooning (voertuig) en **hoofdstuk 3** over welke wegconfiguraties en -elementen er op het Nederlandse autosnelwegennetwerk zijn en hoe de rijhulpsystemen hierop reageren (infrastructuur).

Hoofdstuk 4 gaat in op de risico's die voor een bestuurder en de overige weggebruikers verbonden zijn aan truck platooning (bestuurder). Ten slotte geeft **hoofdstuk 5** een overzicht van de mogelijke toepassingen in de data-uitwisseling tussen wegbeheerder en truck platoon (data).

Door middel van de uitkomsten uit het theoretisch kader, is in de analysefase in **hoofdstuk 6** de scope van het onderzoek vastgesteld. Deze vormt het uitgangspunt waarop een knelpuntenanalyse is uitgevoerd als een truck platoon op de snelweg rijdt.

In de ontwerpfase in **hoofdstuk 7** zijn maatregelen opgesteld die de knelpunten en daaraan gekoppelde veiligheidsrisico's mitigeren. Per maatregel is een beschrijving geven van de functie, voor- en nadelen.

De laatste fase vormt de toepassing, waar in **hoofdstuk 8** een stappenplan is opgesteld welke uitlegt waar en wanneer de maatregelen uit hoofdstuk 7 kunnen worden toegepast. Dit stappenplan is vervolgens samen met de knelpuntenanalyse uit hoofdstuk 6 toegepast op de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk. **Hoofdstuk 9** beschrijft hierin welke knelpunten optreden en maatregelen dienen te worden toegepast om truck platooning verkeerveilig te faciliteren op deze twee transportroutes.

Het rapport wordt in **hoofdstuk 10** afgesloten met een conclusie en aantal aanbevelingen.

Aansluitend is bijgevoegd: in **bijlage 1** een onderbouwing voor de scopekeuze tussen car en truck platooning; in **bijlage 2** een overzicht van de mogelijke wegconfiguraties op het Nederlandse autosnelwegennet; in **bijlage 3** een interviewtranscriptie over de risico's voor een bestuurder en de overige weggebruikers verbonden aan truck platooning en in **bijlage 4** notulen van een kennissessie over truck platooning.

Hoofdstuk 2.0 – Theoretisch Kader HET VOERTUIG

Veel fabrikanten zijn bezig met de ontwikkeling van autonoom vervoer. De automatisering van voertuigen, en daarmee ook truck platooning, is geen doel op zich, maar een middel om de rijtaak voor de bestuurder gemakkelijker te maken. In het eerste hoofdstuk van het theoretisch kader zal onderzocht worden hoe platooning werkt en wat de verwachte ontwikkeling is. Daarmee zal de eerste deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 1: “Hoe ziet de werking en ontwikkeling van truck platooning eruit?”



Foto: Scania CV AB

2.1 De werking van truck platooning

Om de werking van platooning te begrijpen, is het eerst van belang om het onderscheid tussen de technische eigenschappen van autonoom rijden te definiëren. Hiervoor heeft de Society of Automobile Engineers (SAE)⁴ in 2016 zes niveaus van automatisering vastgesteld (SAE, 2018):

- **Niveau 0 – Géén automatisering:** betreft de ‘traditionele auto’, waarin de bestuurder alle rijtaken zelfstandig dient uit te voeren;
- **Niveau 1 – Ondersteuning bestuurder:** betreffen rijhulpsystemen die de bestuurder helpen bij het behouden van de snelheid (*Cruise Control*) en waarschuwen wanneer men van de rijbaan afwijkt (*Lane Departure Warning*);
- **Niveau 2 – Gedeeltelijke automatisering:** betreffen rijhulpsystemen die de basis rijtaken, als remmen, sturen en versnellen, overnemen van de bestuurder. Voorbeelden zijn: *Adaptive Cruise Control* (ACC) (het voertuig past de snelheid aan op basis van de afstand tot de voorligger) en *Lane Keep Assist* (LKA) (het voertuig kan zelfstandig binnen de belijning van een rijstrook rijden);
- **Niveau 3 – Voorwaardelijke automatisering:** het voertuig is in staat om de omgeving in de gaten te houden en kan onverwachte verkeerssituaties voorspellen. Echter zal in complexe situaties de bestuurder de controle over het voertuig moeten overnemen;
- **Niveau 4 – Hoog geautomatiseerd:** het voertuig kan alle rijtaken van de bestuurder overnemen, in de veronderstelling dat hij niet altijd spoedig zal reageren op een verzoek van overname;
- **Niveau 5 – Volledig geautomatiseerd:** het voertuig heeft alle rijtaken van de bestuurder overgenomen. De bestuurder hoeft niet meer in te grijpen en kan daardoor andere taken uitvoeren tijdens het rijden, zoals werken of ontspannen. Daarnaast hoeft de bestuurder niet aanwezig te zijn in het voertuig; men kan bijvoorbeeld uitstappen voor de ingang van zijn kantoor, waarna het voertuig zelfstandig naar een parkeerplek rijdt.

⁴ Society of Automobile Engineers (SAE) is een Amerikaans instituut bestaande uit voertuigdeskundigen

In tabel 2.1 wordt een overzicht gegeven van welke rijtaken onder de verantwoordelijkheid van de bestuurder of het systeem vallen.

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	
3	Voorwaardelijke automatisering	Systeem	Systeem	Bestuurder & Systeem	Bestuurder			
4	Hoog geautomatiseerd	Systeem	Systeem	Systeem	Bestuurder		UIT	UIT
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 2.1: SAE-niveaus (CROW, z.d.)

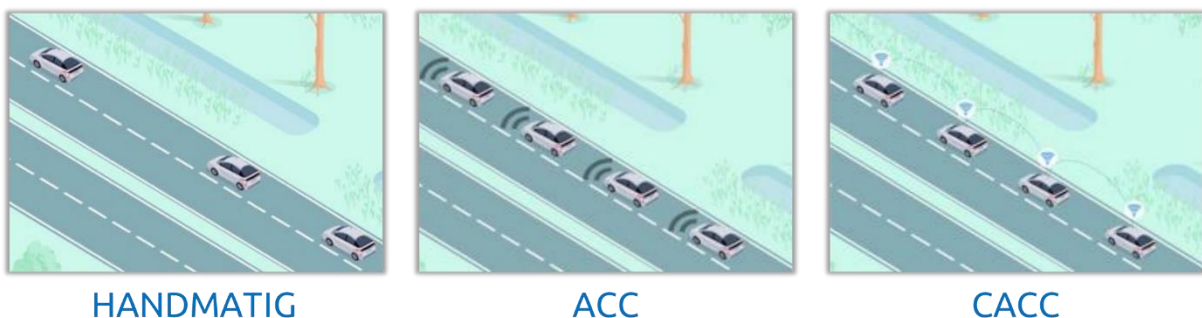
Rijhulpsystemen

Een belangrijke functionaliteit, die platooning mogelijk maakt is *Cooperative Adaptive Cruise Control* (CACC). Dit systeem is een uitgebreidere versie van ACC, waarbij het voertuig voor de longitudinale controle (snelheid) de afstand tot de voorligger meet met behulp van Radar- en LiDAR-technologie (ACC) én communiceert met andere voertuigen en infrastructuur (Cooperative) (Klunder, et al., 2019). Voor de laterale controle (het behouden van de koers) maakt de platoon gebruik van het systeem *Lane Keep Assist* (LKA). Op basis van de herkenning van markeringen en digitale kaarten kunnen voertuigen zelfstandig hun koers behouden op de rijstrook (Morsink & Gorter, 2019).

Het voordeel van CACC ten opzichte van ACC is dat het voertuig in staat is nauwkeuriger het afstands- en tijdsverschil te berekenen en daarmee kan anticiperen op de snelheidsverandering van de voorganger. Voor deze communicatie wordt gebruik gemaakt van *Vehicle-to Everything Communicatie* (V2X), waarin de volgende componenten van belang zijn voor de werking van CACC:

- **Vehicle-to-Vehicle Communicatie (V2V)** maakt draadloze communicatie tussen voertuigen mogelijk door middel van korte afstand communicatie. Met een bereik van 100 tot 800 meter is het mogelijk om voertuiggegevens, zoals snelheid, locatie en remstatus, onderling uit te wisselen (NHTSA, 2014). Met deze informatie kunnen voertuigen hun snelheid op elkaar aanpassen en daarmee anticiperen op veranderende verkeerssituaties en ongelukken voorkomen (Shladover, Nowakowski, Lu, & Ferlis, 2015).
- **Infrastructure-to-Vehicle Communicatie (I2V)** maakt draadloze communicatie over dynamische omstandigheden tussen voertuigen en infrastructuur mogelijk (Aries, 2020). Hiermee kan informatie over congestie, weersomstandigheden en groentijden van verkeerslichten worden gecommuniceerd naar de voertuigen. De voertuigen kunnen hierop vervolgens de snelheid en volgafstand van de colonne aanpassen (Shladover, Nowakowski, Lu, & Ferlis, 2015). In *hoofdstuk 5 Data* zal er verder worden ingegaan op de rol van I2V in platooning.

Met behulp van (C)ACC en LKA kunnen voertuigen rijden in een platoon. Het voorste voertuig bepaalt de snelheid en richting, waar de andere voertuigen in de colonne deze informatie overnemen en het leidende voertuig volgen. Met de huidige technieken wordt het leidende voertuig bestuurd door een fysieke bestuurder (niveau 2) en kunnen de bestuurders in de colonne de controle aan het voertuig overlaten. In de toekomst zal het zelfs mogelijk worden dat ook het leidende voertuig zelf rijdt (niveau 5) (Klunder, et al., 2019). Daarbij wordt het mogelijk om met volgtijden tot 0,3 seconden veilig te rijden, waar niet-automatische voertuigen gemiddeld met een volgtijd van meer dan 2 seconden rijden (Shladover, Nowakowski, Lu, & Ferlis, 2015) (Dirkzwager, 2020). In paragraaf 2.2 zal de ontwikkeling hiervan verder worden beschreven.



Figuur 2.2: Verschil tussen rijden handmatig, met ACC en CACC (Klunder, et al., 2019)

Het koppelingsproces

Het ontstaan van een platoon, ofwel het koppelingsproces, kan plaatsvinden op meerdere wijzen. TNO voorziet twee scenario's voor het koppelingsproces:

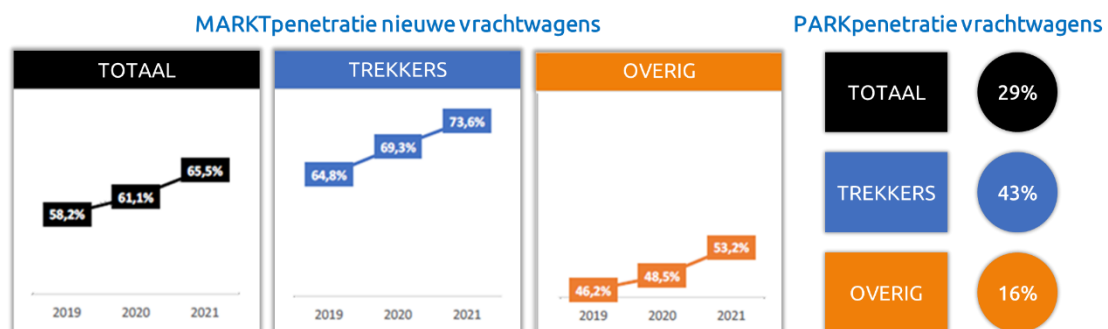
1. **'On-the-fly-match':** als een voertuig een ander voertuig tegenkomt tijdens de rit met ongeveer dezelfde bestemming, kunnen ze aan elkaar koppelen (TNO, z.d.). Het voertuig dat wil aansluiten stuurt een verzoek tot koppeling naar de leidende bestuurder die akkoord dient te geven. Wanneer één van de voertuigen de colonne wil verlaten, geeft deze een verzoek tot ontkoppeling, neemt de bestuurder de controle over en vervolgt zijn rit op de aangrenzende rijstrook (Hyundai, 2019);
2. **Op basis van bestaande planning:** de voertuigen wachten elkaar op een bedrijfslocatie of verzorgingsplaats. Vanaf deze opstelplaats rijden ze in een platoon naar de plaats van bestemming (Vosters, Amerlrooij, Vries, & Mierden, 2017). Dit scenario heeft met name betrekking op vrachtverkeer, aangezien routeplanning vanuit de logistieke sector gebruikelijk is (TNO, z.d.).

Het verlaten van een colonne kan op meerdere wijzen plaatsvinden. Zo kunnen voertuigen ontkoppelen door te vertragen of een manoeuvre uitvoeren naar een andere rijstrook, waarna de achterligger het gat dicht. Voor dit laatste dient er wel voldoende ruimte beschikbaar te zijn op de aangrenzende rijstrook. Verder is op dit moment truck platooning alleen nog mogelijk met dezelfde type voertuigen/merken, maar zal dit in de toekomst (vanaf 2030) ook mogelijk worden tussen verschillende types/merken (Tiernan, Richardson, Azeredo, Najm, & Lochrane, 2017).

2.2 De verwachte ontwikkeling van truck platooning

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft marketingbureau VMS | Insight inzichtelijk gemaakt wat de penetratiegraad van rijhulpsystemen (ADAS) in het Nederlandse vrachtwagenpark in 2020 was. Daarbij is onderscheid gemaakt in de *markt*- (nieuwe vrachtwagens) en *parkpenetratie* (huidige wagenpark), met daarbij *trekkers* en *overige voertuigen*. Een trekker betreft de cabine op een kort chassis die een oplegger trekt. Onder overige voertuigen vallen bakwagens (vrachtwagens met de cabine en laadvloer op 1 chassis) en speciale voertuigen, zoals bouw-, kraan-, bergings- en brandweervoertuigen (VMS | Insight, 2020). In deze monitor is CACC niet meegenomen, maar door te kijken naar de ontwikkeling van ACC, welke een basis vormt van CACC, kan er wel een indicatie worden geschetst over de ontwikkeling van truck platooning.

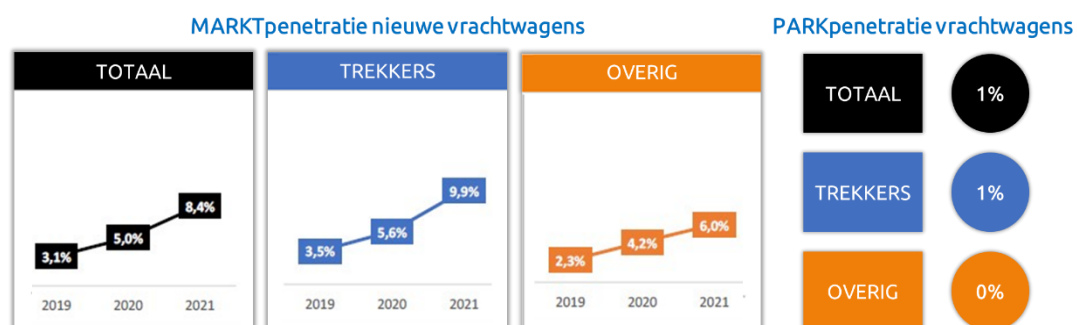
ADAPTIVE CRUISE CONTROL (ACC)



Figuur 2.3: Markt- en parkpenetratie van ACC in vrachtwagens 2019-2021 (VMS | Insight, 2020)

In 2020 was 69,3% van de nieuwe trekkers en 43% van de totale trekkers voorzien van ACC (zie: figuur 2.3). Ter vergelijking, bij personenauto's lag dit aandeel op 33,3% nieuwe personenauto's en 5% totale personenauto's. De hogere penetratiegraad bij vrachtwagens is deels te verklaren aan de hoge roulatiesnelheid: vrachtwagens worden gemiddeld om de 5-6 jaar vervangen, terwijl personenauto's een gemiddelde vervangingsfrequentie van 11 jaar kennen. Hierdoor wordt de invoer en -groei van rijhulpsystemen binnen deze sector versneld (Rijkswaterstaat, 2021). Importeurs en specialisten verwachten daarbij dat na 2021 deze trend sterk zal doorontwikkelen. Europese regelgeving stelt daarbij een verplichting van intelligente snelheidsondersteunende systemen in nieuwe (vracht)auto's vanaf 2022 (VMS | Insight, 2020).

LANE KEEPING ASSIST (LKA)



Figuur 2.4: Markt- en parkpenetratie LKA in vrachtwagens 2019-2021 (VMS | Insight, 2020)

De aanwezigheid van LKA in het vrachtwagenpark is in vergelijking met ACC beperkt (zie: figuur 2.4). Er is wel een groei te zien, maar op dit moment wordt LKA door slechts enkele merken geleverd (VMS | Insight, 2020).

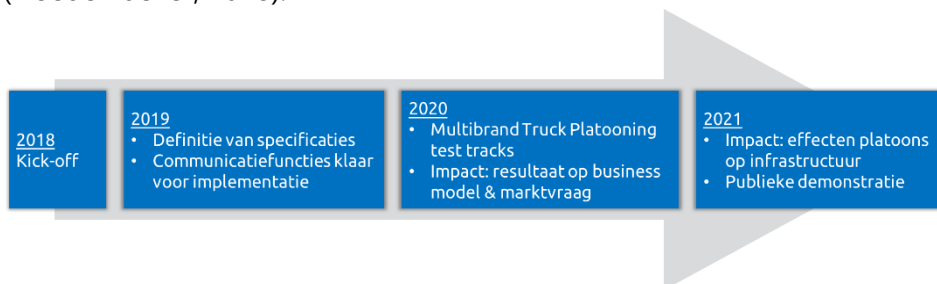
Op dit moment wordt er door verschillende partijen gewerkt aan de ontwikkeling van truck platooning, door middel van simulaties, pilots op afgesloten en openbare wegen en standaardisatie van de specificaties. In Europa en Nederland zijn TNO, ENSEMBLE en ACEA de grootste (samenwerkings)partijen in de ontwikkeling ervan en verwachten het volgende:

- **TNO** verwacht in Nederland dat tussen 2020 en 2030 de eerste commerciële toepassing van truck platooning zal plaatsvinden met een fysieke bestuurder (niveau 2/3). Pas vanaf 2030 verwacht de onderzoeksorganisatie een bredere toepassing van truck platooning, met daarbij een verdere ontwikkeling naar automatisch rijden zonder bestuurder (niveau 4/5) (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & Kruijff, 2015).



Figuur 2.5: Tijdlijn TNO ontwikkeling Truck Platooning in Nederland (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & Kruijff, 2015)

- **ENSEMBLE** is een Europees samenwerkingsproject om multi-brand truck platooning te ontwikkelen. Dit betreft de standaardisatie van specificaties om communicatie tussen vrachtwagens van verschillende merken mogelijk te maken. Het project wordt geleid door TNO, waaraan verschillende vrachtwagenmerken, leveranciers en kennisinstituten deelnemen (ENSEMBLE, z.d.). In de periode 2018 – 2021 is er gewerkt aan de ontwikkeling, verificatie en validatie van multi-brand truck platooning. Na verschillende simulaties en experimenten op testtrajecten, heeft ENSEMBLE het doel om in het najaar van 2021 het project te voltooien door middel van een uitvoering op de openbare weg (Hoedemaeker, 2018).



Figuur 2.6: Tijdlijn ENSEMBLE ontwikkeling multi-brand Truck Platooning (ENSEMBLE, 2019)

- **ACEA**, vertegenwoordiger van 16 Europese voertuigproducenten, voorziet vanaf 2023 de mogelijkheid dat er op het Europese autosnelwegennetwerk gereden wordt in colonnes met vrachtwagens van meerdere merken (niveau 2). Om dit te bereiken is er vóór 2023 vanuit de technologie een standaard systeem ontwikkeld voor multi-brand truck platooning en zijn er vanuit de Europese en nationale overheden beleid en regelgeving opgesteld voor de 'legale' toepassing. De ACEA ziet truck platooning van niveau 4 en 5 pas op de langere termijn (na 2030) (ACEA, 2017).

2.3 Deelconclusie

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

Deelvraag 1: *"Hoe ziet de werking en ontwikkeling van truck platooning eruit?"*

Onderzoek naar	Conclusie
De werking van truck platooning.	Platooning wordt grotendeels mogelijk gemaakt met behulp van het rijhulpsysteem CACC, waarbij het voertuig door middel van Radar- en LiDAR-technologie en communicatie met andere voertuigen en infrastructuur, de snelheid en volgafstand zelfstandig bepaalt. Op deze wijze volgen voertuigen een leidend voertuig, die de snelheid en route bepaalt. Het koppelingsproces vindt plaats op basis van 'On-the-fly-match' of een bestaande planning en is op termijn mogelijk met verschillende type voertuigen en merken.
De ontwikkeling van truck platooning.	Verschillende partijen werken aan de standaardisatie van de specificaties en het uitvoeren van simulatie- en praktijktesten. TNO, ENSEMBLE en ACEA verwachten tussen 2020 – 2030 de introductie van truck platooning niveau 2/3 op het Europese wegennet en na 2030 een bredere commerciële uitrol en ontwikkeling naar niveau 4/5.

Hoofdstuk 3.0 - Theoretisch Kader DE INFRASTRUCTUUR

Als een truck platoon op de snelweg rijdt, kan het een situatie tegenkomen waarin de rijhulpsystemen, die truck platooning mogelijk maken, niet optimaal functioneren. In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gemaakt van alle wegelementen en -configuraties die op het Nederlandse autosnelwegennet voorkomen en hoe de rijhulpsystemen hierop functioneren. Daarmee wordt, met de focus op de dimensie infrastructuur van de mobiliteitsdriehoek, de volgende deelvraag beantwoord:

Deelvraag 2: “Welke wegelementen en -configuraties zijn er op het Nederlandse autosnelwegennet en hoe reageren truck platoon-systemen hierop?”



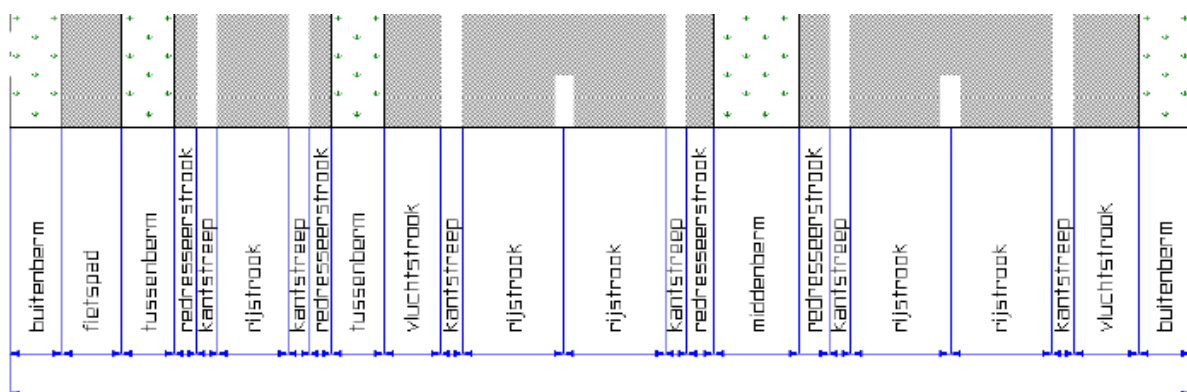
Foto: ANP

3.1 Wegelementen en -configuraties

Voor de vormgeving van autosnelwegen geldt de *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen* (ROA). Deze richtlijnen zijn gebaseerd op de traditionele auto, waarbij de weggebruiker zelfstandig alle rijtaken uitvoert en het voertuig samen met infrastructuur ondersteuning en bescherming biedt aan de rijvaardigheden van de mens. Binnen deze richtlijnen wordt er onderscheid gemaakt in twee typen autosnelwegen:

- **Autosnelweg:** standaardtype snelweg, met een functie voor hoofdzakelijk lange afstandsverkeer;
- **Stadsautosnelweg:** type snelweg met een belangrijke functie voor het lokale en regionale verkeer, gekenmerkt door een grote aansluitingsdichtheid en een duidelijk stedelijk karakter. In Nederland betreffen dit de A2 Maastricht, A9 Gaasperdammerweg, A10 Ring Amsterdam, A12 Den Haag Utrechtsebaan en A20 Ring-noord Rotterdam (Rijkswaterstaat, 2019).

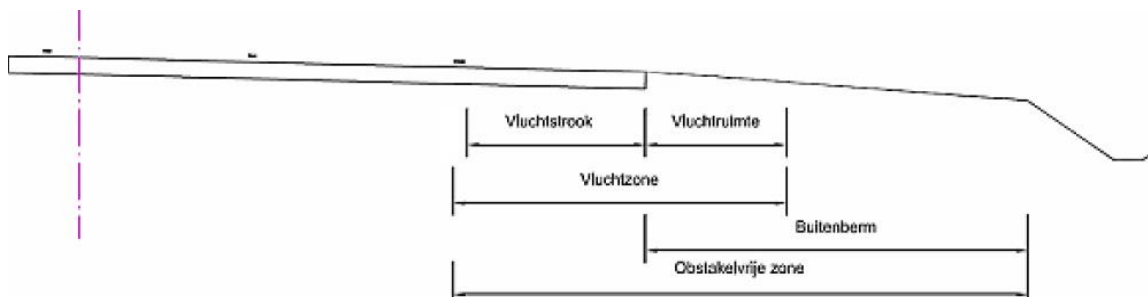
De opbouw van het dwarsprofiel van een stroomweg is weergegeven in figuur 3.1 met bijbehorende maatvoering in bijlage 2.



Figuur 3.1: Dwarsprofiel stroomweg (Rijkswaterstaat, 2019)

Naast de fysieke ruimte die nodig is om een voertuig te laten rijden, dient een voertuig zich ook veilig te kunnen bewegen zonder in aanraking te komen met objecten en tegenliggers. Aansluitend op deze ruimte zit er een veiligheidsmarge in de maatvoering van de richtlijnen verwerkt om de beperkingen van de bestuurder en het voertuig op te vangen, zoals koersafwijkingen. Daarbij geldt hoe sneller de ontwerpsnelheid, des te groter deze marge. In een dwarsprofiel zijn de volgende veiligheidsruimtes te onderscheiden (zie: figuur 3.2):

- **De verkeersruimte (minimumruimte):** betreft de benodigde bewegingsruimte van een voertuig 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 de aanraking met een object te voorkomen;
- **De veiligheidszone (obstakelvrije zone):** betreft de gereserveerde ruimte waarbinnen geen onbeschermd object geplaatst mogen worden (Rijkswaterstaat, 2019).



Figuur 3.2: Veiligheidszones (Rijkswaterstaat, 2019)

In bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van alle mogelijke wegomgevingen en -configuraties op het Nederlandse snelwegennetwerk. Dit overzicht is nodig om in de knelpuntenanalyse (hoofdstuk 6.2) te kunnen bepalen welke verkeerssituaties een mogelijk knelpunt vormen voor een truck platoon en/of de interactie met het overige verkeer.

3.2 Prestatie van rijhulpsystemen op verschillende elementen

De werking van de systemen die truck platooning mogelijk maken, is deels afhankelijk van het *Operational Design Domain* (ODD). Dit toepassingsgebied omvat alle fysieke, operationele en externe factoren die bepalen in hoeverre rijhulpsystemen kunnen functioneren. Het huidige LKA-systeem functioneert op basis van markeringen op het wegdek en ACC maakt gebruik van informatie uit sensoren (Morsink, Tsapi & Linde, 2021). Het Landelijk VerkeersManagement Beraad (LVMB)⁵ heeft onderzoek gedaan naar de relatie van rijhulpsystemen per infrastructuurelement. Voor de volgende elementen werden de volgende aandachtspunten/knelpunten opgemerkt:

Element	Aandachtspunt/knelpunt
Afrit  <i>Figuur 3.4: Afrit waarbij gewenst wordt de snelheid aan te passen, wegens de naderende bocht (Morsink, Tsapi & Linde, 2021)</i>	In sommige gevallen weet het voertuig niet dat hij op de uitvoegstrook rijdt en denkt met dezelfde snelheidslimiet van de hoofdrijbaan te kunnen rijden. Het anticiperen op de snelheidsverandering vindt hierdoor verkeerd plaats, waardoor het voertuig met een te hoge snelheid over de afrit rijdt (Morsink, Tsapi & Linde, 2021).
Horizontale boogstraal  <i>Figuur 3.5: Boogstraal (Morsink, Tsapi & Linde, 2021)</i>	Huidige LKA-systemen hebben moeite om de koers van het voertuig te behouden bij opeenvolgende bochten. Wanneer de boogstraal onder een bepaalde grenswaarde ligt, kan het voertuig niet veilig gebruik maken van het rijhulpsysteem. Echter verwacht het LVMB dat LKA-systemen in 5 tot 10 jaar op basis van digitale kaarten kunnen omgaan met boogstralen (Morsink & Gorter, 2019).
Spitsstrook  <i>Figuur 3.6: Taartpunt spitsstrook (Morsink & Gorter, 2019)</i>	Sommige spitsstroken hebben een smallere breedte dan 2,80m, wat door sommige LKA-systemen als te smal bevonden wordt voor een veilige werking. Daarnaast zijn spitsstroken aan de rechterzijde anders vormgegeven dan andere rijstroken. De in- en uitvoegstrook loopt over de spitsstrook heen, waardoor het LKA-systeem de neiging heeft om in de taartpunten (figuur 3.6) uit de rijstrook te rijden (Morsink & Gorter, 2019).
Markering  <i>Figuur 3.7: Afwijkende markering bij wegwerkzaamheden (ANWB, z.d.)</i>	Veel rijhulpsystemen maken gebruik van de markering om de positie op de weg te bepalen, waardoor het van belang is dat markering waarneembaar is onder alle omstandigheden (Morsink & Gorter, 2019). Dit betekent dat deze systemen matig of niet zullen werken bij slechte weersomstandigheden of achterstallig onderhoud. Ook is op veel plaatsen de markering niet aangebracht volgens de richtlijnen, is deze slecht zichtbaar door slijtage of wijkt deze af bij werkzaamheden (figuur 3.7) (Morsink, Tsapi & Linde, 2021).

Tabel 3.3: Aandachtspunten/knelpunten in de prestatie van rijhulpsystemen

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

Bovenstaande obstakels spelen vooral een rol indien de LKA-systemen van truck platooning zullen werken op basis van de markeringen. De kans is groot dat deze knelpunten op termijn (gedeeltelijk) zullen verdwijnen, als digitale kaarten voorzien zijn van data over de rijstrookconfiguratie, verkeersregels en adviessnelheden. Het voertuig weet dan bijvoorbeeld met welke snelheid gewenst wordt om door een bocht te rijden of dat de spitsstrook geopend is. In *hoofdstuk 5 Data* zal er dieper worden ingegaan op de uitwisseling en toepassing van deze data.

Naast de infrastructuurelementen uit het LVMB-rapport, zijn er ook risico's in de werking van rijhulpsystemen in **tunnels**. Uit een studie van de *Onderzoeksraad voor de Veiligheid* naar de werking van rijhulpsystemen blijkt dat de huidige systemen tot verkeersonveilige situaties kunnen leiden onder niet ideale omstandigheden (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019). Zo kan het voorkomen dat het ACC-systeem onverwachts een noodstop maakt in een tunnel (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2019). Uitgaande van de huidige systemen zou dit dus kunnen betekenen dat een chauffeur in een platoon voorbereid moet zijn op de mogelijkheid dat het platoon-systeem onverwachts (foutief) kan reageren.



Figuur 3.8: Waarschuwborden om ACC uit te schakelen voor de Westerschelde- en Sluiskiltunnel (Westerscheldetunnel NV, 2021)

3.3 Deelconclusie

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

Deelvraag 2: “Welke wegelementen en -configuraties zijn er op het Nederlandse autosnelwegennet en hoe reageren truck platoon-systemen hierop?”

Onderzoek naar	Conclusie
Wegelementen en -configuraties op het Nederlandse autosnelwegennet.	Het dwarsprofiel van een (stads)autosnelweg is opgebouwd uit een rijstrook, redresseerstrook, markering, vluchtstrook, berm, vluchtruimte en obstakelvrije zone. In Nederland zijn er variaties mogelijk van invoegingen, uitvoegingen, samenvoegingen, splitsingen, spitsstroken en weefvakken.
Prestatie van rijhulpsystemen op wegelementen.	Op dit moment ondervinden rijhulpsystemen, die gebruik maken van informatie uit sensoren en markeringen, in de volgende situaties problemen: • Afrit: Verkeerd anticiperen op de snelheidsverandering; • Horizontale boogstraal: Onder een bepaalde grenswaarde werkt het systeem niet meer; • Spitsstrook: LKA-systeem heeft de neiging om over het puntstuk heen te rijden; • Spitstrook smaller dan 2,80m: De rijstrook wordt als te smal bevonden voor een veilige werking; • Markering: Systeem interpreteert verkeerd of herkent de markering niet, door slechte zichtbaarheid of slijtage; • Tunnel: ACC-systeem maakt onverwachts een noodstop. Mogelijk verdwijnen bovenstaande knelpunten (gedeeltelijk) op termijn, als rijstrookconfiguraties, (advies)snelheden en verkeersregels worden opgenomen in digitale kaarten.

Hoofdstuk 4.0 – Theoretisch Kader DE BESTUURDER

De derde dimensie van de mobiliteitsdriehoek is de bestuurder. In een truck platoon heeft het voertuig verschillende rijtaken overgenomen van de chauffeur, maar wordt er in sommige situaties nog wel van hem verwacht dat hij deze weer kan overnemen. Is hij hiertoe wel in staat, zonder dat dit gevolgen heeft voor de verkeersveiligheid? Daarnaast is truck platooning relatief nieuw en is het de vraag welk gedrag overige verkeersdeelnemers gaan tonen bij het tegenkomen van een platoon op de weg. In dit hoofdstuk zal de volgende deelvraag beantwoord worden:

Deelvraag 3: “Welke risico’s voor bestuurder en overige verkeersdeelnemers zijn verbonden aan truck platooning?”



Foto: Peripass

4.1 De cyclus van het informatieverwerkend systeem

Om het verkeersgedrag van een bestuurder te begrijpen, moet er eerst kunnen worden verplaatst in de weggebruiker. Tijdens het rijden verwerkt een bestuurder continu informatie. Deze is uit te leggen door middel van de cyclus in figuur 4.1, welke bestaat uit de stappen **waarnemen** > **beslissen** > **handelen** en zich continu herhaalt. Hierin 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 ertoe leiden dat de bestuurder overbelast raakt, waardoor de kwaliteit van de rijtaak verslechtert. Het is daarom van belang dat de vormgeving van de weg de bestuurder uitlegt wat er van hem verwacht wordt. Informatiedragers, zoals verkeersborden, belijning en voertuigsignalering, dienen zichtbaar, opvallend, herkenbaar, leesbaar, begrijpelijk en uniform te zijn (Wildervanck & Brookhuis, 2014).

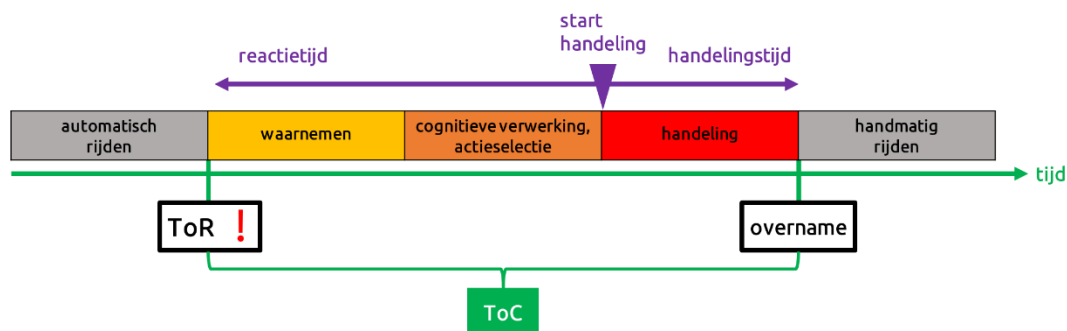


Figuur 4.1: Het proces van waarnemen, beslissen en handelen (Wildervanck & Brookhuis, 2014)

4.2 Controleovername door vrachtwagenchauffeur in een platoon

De rol van een vrachtwagenchauffeur in een platoon is afhankelijk van de positie in de colonne en het automatiseringsniveau. De chauffeur in het leidende voertuig bepaalt hierbij de snelheid van de platoon, waar de chauffeurs in de volgende voertuigen géén operationele rijtaken hoeven uit te voeren. Echter dient de chauffeur tot en met niveau 2 te allen tijde de omgeving van het voertuig te monitoren, waarna in steeds geavanceerdere niveaus steeds meer rijtaken van de chauffeur worden overgenomen, tot er in niveau 5 in theorie andere taken kunnen worden uitgevoerd door de chauffeur (CROW, z.d.). Echter, totdat niveau 5 bereikt is, zal de chauffeur altijd gereed moeten zijn wanneer het systeem vraagt om een stuurovername. Dit wordt ook wel *Transfer of Control* (ToC) genoemd, waar een *Take-Over-Request* (ToR) aan vooraf gaat. Een ToR vindt plaats wanneer een bepaalde verkeerssituatie buiten het *Operational Design Domain* (ODD) valt (zie: hoofdstuk 3.1).

Wanneer er een ToR plaatsvindt, vinden de volgende fases plaats bij de chauffeur: het ToR waarnemen > verwerken > handelen (besturing overnemen) (zie: figuur 4.2). Deze fases vormen samen de ToC en duurt normaal gesproken 1 tot 4 seconden. Echter tonen verschillende onderzoeken aan dat dit proces 4 tot 20 seconden kan duren, wanneer er wordt gereden met niveau 2 tot 4 (Bo, Wilschut, Dehlia, & Martens, 2017). Daarbij zijn er zelfs situaties dat er meer dan 25 seconden nodig is om het stuur over te nemen (Eriksson & Stanton, 2017). Omdat de benodigde tijd voor een ToC sterk afhangt van de context, zijn er geen vaste waarden te geven wat betreft de benodigde tijd voor een transitie (Shaw, Large, & Burnett, 2020). Als bestuurders zich veilig voelen, doordat hun voertuig voorzien is van veiligheidssystemen en in staat is zelfstandig te rijden, zullen ze (onbewust) bereid zijn om meer risico te nemen in het verkeer. Bestuurders kunnen zich bijvoorbeeld gaan richten op andere taken dan de rijtaak, omdat ze het systeem vertrouwen (Nes & Duivenvoorden, 2017). Daarnaast kost het de bestuurder mentale kracht om te blijven opletten als het systeem een deel van de rijtaken heeft overgenomen. Het is daarom aannemelijk dat naarmate de tijd vordert, een bestuurder vanzelf afgeleid zal raken als de wegsituatie stabiel blijft. Dit kan vervolgens tot veiligheidsrisico's leiden indien het systeem onverwachts om een stuurovername vraagt. De chauffeur moet dan in een hele korte tijdsspanne van taak wisselen en de vraag is of hij daar technisch en mentaal toe in staat is (Waterschoot, 2021). En bij hoge snelheden en korte volgfstanden kan dit leiden tot veiligheidsrisico's.



Figuur 4.2: Transfer of Control (Bo, Wilschut, Dehlia, & Martens, 2017)

4.3 Gedrag van andere verkeersdeelnemers

Een truck platoon kan ertoe leiden dat het overig verkeer hinder ondervindt bij het in- en uitvoegen. Het proces van in- en uitvoegen kan worden uitgelegd door middel van een conceptueel raamwerk (zie: figuur 4.3). Het invoeggedrag is grotendeels afhankelijk van het hiaat waarin een voertuig zich moet samenvoegen en de snelheid(sverandering) van het verkeer op de rechterrijstrook. Een bestuurder zal pas invoegen wanneer het hiaat groot genoeg is om in te voegen, anders zal hij het hiaat afwijzen en een ander geschikt moment zoeken (Maarseveen, 2017).



Figuur 4.3: Conceptueel raamwerk in-/uitvoeggedrag (Maarseveen, 2017)

Als in een truck platoon de volgafstand klein is, kan invoegend verkeer het mogelijk niet aandurven om in te voegen met gevolgen voor de verkeersveiligheid. Om het invoeggedrag van weggebruikers met een platoon te achterhalen, wordt er in deze paragraaf gebruik gemaakt van een praktijkonderzoek van Goudappel en SD-Insights. Gezamenlijk hebben zij onderzoek gedaan naar het gedrag van vrachtautochauffeurs en overige weggebruikers rondom in- en uitvoegstroken op Nederlandse autosnelwegen⁶ bij de aanwezigheid van één of meerdere vrachtauto's op de rechterrijstrook. Deze vrachtauto's reden in een (niet-automatische) colonne van maximaal 3 voertuigen. Echter stellen de onderzoekers dat het verschil tussen een niet-automatische colonne en truck platoon nauwelijks waarneembaar is. De weggebruiker kan een colonne en truck platoon niet van elkaar onderscheiden, waardoor de informatieverwerking hetzelfde verloopt (Essen, Dicke-Ogenia, Sluijsmans, Bazilinskyy, & Taams, z.d.).

In het onderzoek kwam naar voren dat het invoegen door automobilisten grotendeels probleemloos verloopt. Een groot deel van de invoegbewegingen vindt plaats op de eerste 200 meter van de invoegstrook (zie: tabel 4.4). Wel gaven automobilisten aan in sommige gevallen hinder te ondervinden bij het invoegen, door de hogere taakbelasting bij een hogere verkeersdruk en de aanwezigheid van een colonne. Dit probleem vond vooral plaats wanneer er meer dan twee voertuigen op de invoegstrook reden en een colonne vrachtauto's op de rechterrijstrook. Als één van de voertuigen invoegt in een colonne met korte volgtijden, worden de invoegmogelijkheden voor de andere volgende voertuigen verkleind. Het in een korte tijd keuzes maken kan leiden tot verkeersonveilige situaties: volgens respondenten reden sommige automobilisten op de vluchtstrook door of gingen ze gedeeltelijk op de rechterrijstrook rijden om ruimte af te dwingen (Essen, Dicke-Ogenia, Sluijsmans, Bazilinskyy, & Taams, z.d.). Dit verkeersgedrag wordt ook getoond in verschillende simulatieonderzoeken, van onder andere van Van Maarseveen (2017), Pentinnen et al. (2019) en Dane & Sande (2018).

Verder kwam ook naar voren dat automobilisten bereid zijn om tussen twee vrachtauto's in te voegen, ook al is de volgafstand kort (zie: tabel 4.5). In sommige gevallen kan dit tot onveilige situaties leiden, zoals wanneer een automobilist krap invoegt en niet direct naar de linkerrijstrook kan rijden door inhalend verkeer. De vrachtauto achter de ingevoegde auto moet hierdoor mogelijk remmen, met het risico dat de remweg te kort is om niet in botsing te raken.

Positie op invoegstrook	0-50 m	0-100 m	100-150 m	>150 m
Auto voegt voor auto in	10%	33%	33%	33%
Auto voegt voor vrachtauto in	42%	69%	18%	13%
Auto voegt tussen twee vrachtauto's in	7%	42%	31%	27%

Tabel 4.4: Locaties waar ingevoegd wordt op de rechterrijstrook. De invoegstroken bedragen 300 m of kleiner. De maximale volgafstand tussen twee vrachtauto's is 75-95m (4 seconden) (Essen, Dicke-Ogenia, Sluijsmans, Bazilinskyy, & Taams, z.d.)

Afstand tot voertuig dat volgt na invoegen	0-50 m	0-100 m	100-150 m	>150 m
Auto voegt voor auto in	27%	66%	28%	5%
Auto voegt voor vrachtauto in	62%	84%	13%	5%
Auto voegt tussen twee vrachtauto's in	93%	100%	0%	0%

Tabel 4.5: Afstand tot voertuig dat volgt na invoegen op de rechterrijstrook. De invoegstroken bedragen 300 m of kleiner. De maximale volgafstand tussen twee vrachtauto's is 75-95m (4 seconden) (Essen, Dicke-Ogenia, Sluijsmans, Bazilinskyy, & Taams, z.d.)

⁶ In dit onderzoek is gemeten op 25 meetlocaties, gelegen op de trajecten A1 Stroe – Amersfoort, A15 Gorinchem – Alblasserdam en A59 Hooipolder – Vlijmen

Een truck platoon kan de volgfstand aanpassen op basis van de verkeersdrukke. Echter vragen de onderzoekers zich af of andere weggebruikers tijdens de rijtaak zullen begrijpen dat een truck platoon ruimte maakt om andere weggebruikers de gelegenheid te geven in- en uit te voegen. Vooral als truck platoons langer worden en de volgtijden korter, zullen weggebruikers een hogere taakbelasting ondervinden (Essen, Dicke-Ogenia, Sluijsmans, Bazilinskyy, & Taams, z.d.). De crux hierin zit dat de weggebruikers duidelijk moet worden gemaakt welk gewenst gedrag van hem/haar wordt gevraagd in een situatie dat ze een platoon tegenkomen. Op basis van dit gewenste gedrag kan door middel van maatregelen de gelegenheid worden gegeven aan de weggebruikers, zodat ze zich hierop kunnen anticiperen (Waterschoot, 2021).

4.4 Conclusie

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

Deelvraag 3: “Welke risico’s voor bestuurder en overige verkeersdeelnemers zijn verbonden aan truck platooning?”

Dit geeft het volgende overzicht van mogelijke risico’s in het verkeersgedrag van de bestuurder in een platoon en andere weggebruikers:

Situatie	Veiligheidsrisico
Het systeem komt in een situatie die buiten het <i>Operational Design Domain</i> ligt.	Er is (te) weinig tijd beschikbaar voor een ToC. De chauffeur in een platoon kan hierdoor niet tijdig handelen, waardoor het voertuig in botsing komt met andere voertuigen of obstakels.
Op de invoegstrook rijden er een of meerdere voertuigen en op de rechterrijstrook een truck platoon.	Invoegmogelijkheden worden kleiner voor het invoegend verkeer, met als gevolg dat bestuurders ongewenst verkeersgedrag tonen. Hierbij kan worden gedacht aan het doorrijden op de vluchtstrook, stoppen op de invoegstrook of gedeeltelijk op de rechterrijstrook rijden om ruimte af te dwingen.
Op de invoegstrook rijdt een vrachtwagen en op de rechterrijstrook een truck platoon.	Invoegmogelijkheden verkleinen doordat de invoegende vrachtwagen weinig acceleratielengte heeft om voor de platoon te voegen. Hij zal hierdoor op de rem moeten, met het risico in conflict te raken met andere weggebruikers.
Voertuig voegt tussen de truck platoon in met een korte volgfstand en met de intentie om direct verder te voegen op de linkerrijstrook. Het voertuig kan dit echter niet doen, omdat de linkerrijstrook bezet is met ander verkeer.	De vrachtauto achter het ingevoegd voertuig moet mogelijk remmen, met het risico dat de remweg te lang is om niet in botsing te raken.
Een verkeersdeelnemer wil uitvoegen, maar ziet geen geschikt hiaat om tussen de platoon te voegen.	Verkeersdeelnemer versnelt om vóór de platoon uit te voegen, met het risico de afrit net wel of niet te halen (rijden over puntstrook). Dit kan ertoe leiden dat de platoon op de rem moet, om het voertuig de ruimte te geven uit te voegen.
Korte in-/uitvoegstrook en truck platoon op de rechterrijstrook.	Overig verkeer kan niet invoegen op de rechterrijbaan of uitvoegen op de afrit doordat deze kort is en er een platoon op de rechterrijstrook rijdt. Verkeer zal afremmen op de toerit of met een korte volgfstand in-/uitvoegen.

Hoofdstuk 5.0 – Theoretisch Kader DATA

De komende jaren gaat data een belangrijke rol spelen in de uitwisseling tussen voertuig, mens en infrastructuur. Ook voor truck platooning, kan de communicatie tussen wegbeheerder en de platoon van belang zijn. Een platoon zal moeten weten waar hij in een colonne mag rijden en hoe hij zich het best kan aanpassen aan de actuele verkeerssituatie. In dit hoofdstuk zal de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 4: “Welke data kunnen een truck platoon en wegbeheerder met elkaar uitwisselen voor het rijden in een truck platoon?”

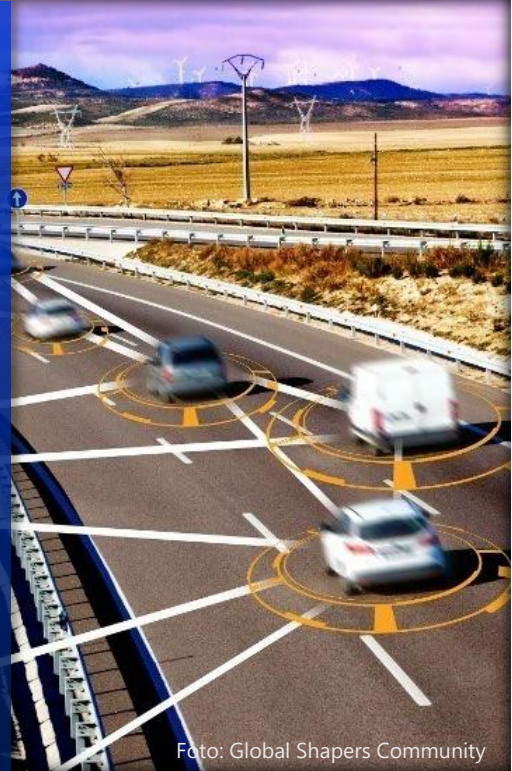


Foto: Global Shapers Community

5.1 De communicatie tussen wegbeheerder en logistiek dienstverlener

Een wegbeheerder kan via I2V data leveren over hoe en waar een truck platoon dient te rijden op de snelweg. Een logistieke dienstverlener kan daarbij informatie aanleveren, zoals planning, locatie en snelheid, waardoor de wegbeheerder inzicht krijgt in de actuele en toekomstige situatie van de logistieke keten (AT Osborne, 2019). Op deze wijze kunnen verkeersmanagement en logistiek beter op elkaar worden afgestemd (zie: figuur 5.1).



Figuur 5.1: Keten van data-uitwisseling tussen wegbeheerder en logistiek dienstverlener (AT Osborne, 2019)

Connected Transport Corridors⁷ heeft inzichtelijk gemaakt voor welke toepassingen data-uitwisseling tussen wegbeheerders en logistieke dienstverleners kan worden gebruikt (Swaak & Cristofaro, 2019). Met deze uitkomsten kan een vertaling worden gemaakt naar welke data van een wegbeheerder van waardevolle toepassing is voor een truck platoon:

- **(Advies)snelheid:** De maximumsnelheid haalt een truck platoon uit systemen die de verkeersborden herkennen en data van digitale kaarten. Daarnaast kan een wegbeheerder een snelheidsadvies geven aan een platoon wanneer er verder op de route verkeersdrukke, file of een ongeval is, de weersomstandigheden slecht zijn of het wegdek in slechte staat is;
- **Volgafstand:** Een wegbeheerder kan een truck platoon vragen om zijn volgafstand te vergroten, wanneer de verkeersdrukke hoger wordt of bij hellingen. Dit kan bijvoorbeeld op locaties met veel aansluitingen waar veel turbulentie plaatsvindt. Om het in- en uitvoegen voor het overig verkeer te vergemakkelijken, kan een platoon zijn volgafstand(en) vergroten;



⁷ Connected Transport Corridors (CTC) is een samenwerkingsverband tussen het Rijk, regio's en marktpartijen om oplossingsrichtingen te bieden om logistiek duurzamer, veiliger en efficiënter te laten verlopen (Mureau, 2020).

- **Rijstrookconfiguratie:** Een platoon dient te weten of een rijstrook geopend, gesloten, samenvoegt of wordt beëindigd. Uit het LVMB-rapport, over hoe de fysieke en digitale infrastructuur kunnen bijdragen aan het optimaal functioneren van rijhulpsystemen, kwam naar voren dat rijhulpsystemen in verschillende rijstrookconfiguraties nog niet optimaal functioneren. Zo wordt de betekenis van belijning in sommige gevallen verkeerd begrepen of komt het systeem buiten het ODD te vallen (Morsink, Tsapi & Linde, 2021). Volgens de onderzoekers kan dit deels worden opgelost als een wegbeheerder informatie over de rijstrookconfiguratie naar een platoon uitzendt.
- **Wel of niet rijden in een platoon:** Een wegbeheerder kan locaties aanwijzen waar het wel of niet gewenst is om in een truck platoon te rijden. Hierbij kan worden gedacht aan locaties met een hoge verkeersdruk of tunnels.
- **Adviesroutes:** Een wegbeheerder kan ook adviesroutes stellen waar gereden kan worden in een truck platoon. Zo kunnen bijvoorbeeld wegwerkzaamheden worden vermeden.
- **Prioriteit bij VRI's:** Truck platoons kunnen prioriteit krijgen bij kruispunten met verkeerslichten, de groentijd kan worden verlengd wanneer er een platoon aankomt, of de platoon kan zijn snelheid aanpassen op de groentijd.



Figuur 5.2: Illustraties toepassing data-uitwisseling (eigen bewerking)

Het is van belang dat deze informatie ruim vóór het 'handel-moment' wordt uitgezonden naar een truck platoon, zodat deze zich tijdig kan anticiperen. Zo kan het tijd kosten voor een platoon om bijvoorbeeld van rijstrook te wisselen, wanneer de verkeersdrukte hoog is.

Dit principe kan ook andersom werken: truck platoons kunnen aan een wegbeheerder en andere weggebruikers laten weten waar ze rijden (Partnership Talking Traffic, 2020). Zo kunnen weggebruikers gewaarschuwd worden door een platoon met het advies om alvast achter de colonne te rijden als ze later willen uitvoegen of kan het verkeer bij opritten worden tegengehouden met verkeerslichten, totdat de platoon voorbij de invoegstrook is.



Figuur 5.3: Illustratie toepassing data-uitwisseling (eigen bewerking)

5.2 Deelconclusie

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

Deelvraag 4: "Welke data kunnen een truck platoon en wegbeheerder met elkaar uitwisselen voor het rijden in een truck platoon?"

Onderzoek naar	Conclusie
De toepassing van data-uitwisseling tussen wegbeheerder en platoon.	Een wegbeheerder kan advies en informatie zenden naar een truck platoon over de (advies)snelheid, volgafstand, rijstrookconfiguratie, het wel of niet rijden in een platoon, adviesroutes en prioriteit bij VRI's. Een platoon kan een wegbeheerder en weggebruikers laten weten waar ze rijden, waarmee weggebruikers gewaarschuwd kunnen worden of dat verkeer bij geregelde kruispunten wordt tegengehouden. Op deze wijze kunnen verkeersmanagement en logistiek beter op elkaar worden aangesloten.

Hoofdstuk 6.0 – Analyse SCOPE BEPALING & KNELPUNTEN

Op basis van de literatuur uit het theoretisch kader (hoofdstuk 2 t/m 5) zijn er bouwstenen ontwikkeld die de scope voor de ontwerp- en toepassingsfase vormen van dit onderzoek. Op basis daarvan is er een overzicht en analyse opgesteld van knelpunten die voortkomen als een truck platoon op de snelweg zal rijden. Hiermee wordt in dit hoofdstuk de volgende deelvraag beantwoord:

Deelvraag 5: “Welke uitgangspunten met bijbehorende knelpunten vormen de scope voor het ontwikkelen van infrastructurele maatregelen?”



Foto: Cardiff University

6.1 Scope-opbouw

Uit het theoretisch kader is naar voren gekomen dat truck platooning in meerdere varianten kan plaatsvinden. Om te kunnen anticiperen op de ontwikkeling van truck platooning en een realistisch overzicht te geven van welke knelpunten en uiteindelijke maatregelen verbonden zijn aan truck platooning, is een scope-keuze nodig. In deze paragraaf zal de scope voor dit onderzoek worden opgebouwd aan de hand van negen bouwstenen:

- | | | |
|--------------------------|---------------------|------------------------|
| 1) Automatiseringsniveau | 4) Databron | 7) Wegtype |
| 2) Voertuigsamenstelling | 5) Koppelingsproces | 8) Verkeerssituatie |
| 3) Volgtijd | 6) Penetratie | 9) Weersomstandigheden |

Deze bouwstenen representeren een variant die het meest aannemelijk is op de middellange termijn (2030-2040) en voortkomt uit het theoretisch kader.

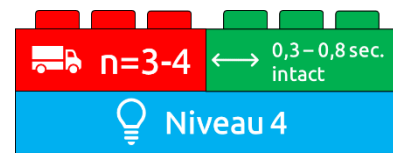
Bouwsteen 1: Automatiseringsniveau

De huidige systemen van truck platooning behoren tot automatiseringsniveau 2. Verschillende partijen, waaronder TNO, verwachten dat vanaf 2030 de systemen zodanig zijn ontwikkeld dat truck platooning mogelijk wordt in niveau 4. Omdat dit onderzoek zich focust op de middellange termijn (2030 – 2040), zal er voor de verdere uitwerking van de maatregelen worden uitgegaan dat de truck platoon voorzien is van automatiseringsniveau 4. Hierbij bepaalt de leidende chauffeur de snelheid en monitort de wegsituatie, waarbij de operationele rijtaken van de volgende chauffeurs zijn overgenomen door het systeem.

Bouwsteen 2: Voertuigsamenstelling

De praktijktesten met truck platooning worden tot op heden veelal uitgevoerd met een konvoogrootte van 2 tot 3 voertuigen. Op de lange termijn zou het mogelijk kunnen worden om met meer dan 3 voertuigen in een truck platoon te rijden. Echter zijn de veiligheidsrisico's en effecten op doorstroming minder duidelijk als er met meerdere voertuigen wordt gereden, dan met 2-3 voertuigen. Om een mogelijke groei van de voertuigsamenstelling wel mee te kunnen nemen in het onderzoek, zal er in de verdere uitwerking worden uitgegaan van een voertuigsamenstelling van 3 tot 4 voertuigen.



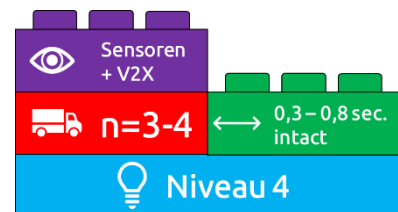


Bouwsteen 3: Voltijd

Over het algemeen houden vrachtwagens een volgtijd tussen de 1 en 3 seconden (Essen, Dicke-Ogenia, Sluijsmans, Bazilinsky, & Taams, z.d.). Met niveau 4 wordt het mogelijk om een volgtijd van 0,3 tot 0,8 seconden te hanteren, waardoor dit onderzoek zich zal richten op een gehanteerde volgtijd van 0,3 tot 0,8 seconden. Waar het tot en met niveau 2 nog grotendeels mogelijk is om een colonne te doorsnijden, wordt dit in niveau 4 al gauw moeilijk, omdat de volgafstanden korter zijn en het daardoor langer duurt voordat er een geschikt hiaat is gevormd voor invoegend verkeer. In principe blijft het wel mogelijk om een platoon te doorsnijden, alleen is het de vraag of dit wenselijk is. Vooral op trajecten met veel aansluitingen zou het kunnen betekenen dat een platoon vaak zijn volgafstand zou moeten aanpassen, waardoor de winst van truck platooning afneemt in vergelijking met wanneer je de hele tijd gekoppeld zou rijden. Daarom zal er ook in de verdere uitwerking worden uitgegaan dat de platoon zoveel mogelijk intact wordt gehouden.

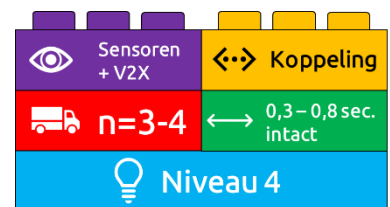
Bouwsteen 4: Databron

Veel rijhulpsystemen, zoals ACC en LKA, maken gebruik van informatie uit sensoren voor controle van het voertuig. Met truck platooning gaat V2V-communicatie van belang zijn om 'connected' te kunnen rijden. Daarnaast zal ook I2V-communicatie een rol spelen in de communicatie van adviessnelheid en routes vanuit de wegbeheerder. In de verdere uitwerking van dit onderzoek zal er daarom van worden uitgegaan dat een truck platoon zijn informatie gaat halen uit sensoren en V2X-communicatie.



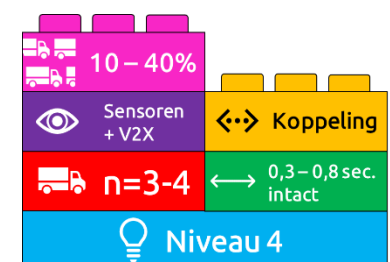
Bouwsteen 5: Koppelingsproces

Het koppelingsproces van een truck platoon is mogelijk op basis van 'fly-on-the-match' of op bestaande planning. Omdat het nog onzeker is welke variant het meest zal plaatsvinden in de toekomst, zal er van beide koppelingsvarianten worden uitgegaan in deze scope. Dit betekent dat het koppelen kan plaats vinden tijdens het rijden of door het opwachten op een bedrijfslocatie of verzorgingsplaats.



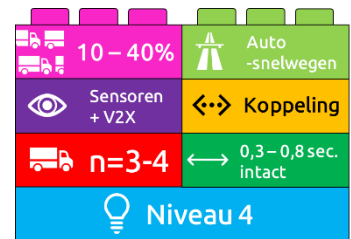
Bouwsteen 6: Penetratie

Het is lastig om te voorspellen wat de penetratie zal zijn van truck platooning in 2030 – 2040. In hoofdstuk 2 kwam naar voren dat de penetratie van rijhulpsystemen in vrachtwagens relatief snel stijgt, dankzij de vervangingsfrequentie van 5-6 jaar. Echter betekent een hoge penetratie van rijhulpsystemen niet dat er ook direct truck platooning plaatsvindt. Wel verwachten verschillende partijen, zoals ACEA, ESEMBLE en TNO, dat vanaf 2030 truck platooning een 'bredere' praktische toepassing zal kennen, maar zijn precieze cijfers onbekend. Om toch een (ruwe) voorspelling te kunnen doen van de penetratie truck platooning, wordt er in dit onderzoek (op basis van de literatuur) uitgegaan dat 10 tot 40% van het vrachtverkeer in een platoon niveau 4 rijdt.



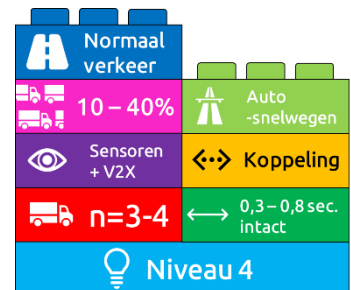
Bouwsteen 7: Wegtype

Autosnelwegen kennen een andere vormgeving en daarmee een ander Operational Design Domain dan gebiedsontsluitings- en erftoegangswegen. Zoals aangegeven in *Hoofdstuk 1.3 Probleemdefinitie & Afbakening*, richt dit onderzoek zich op de Nederlandse autosnelwegen in beheer van Rijkswaterstaat, waardoor de scope zich ook richt op dit wegtype.



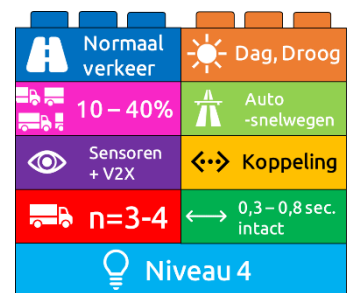
Bouwsteen 8: Verkeerssituatie

Het is nog onzeker hoe een truck platoon in de praktijk reageert bij dynamische verkeerssituaties, zoals files en werkzaamheden. Op dit moment worden praktijktests voornamelijk uitgevoerd tijdens normale verkeersomstandigheden, wat ook het uitgangspunt wordt voor dit onderzoek.



Bouwsteen 9: Weersomstandigheden

Op dit moment worden de meeste tests met truck platooning uitgevoerd in stabiele weersomstandigheden (overdag en droog). Omdat de prestatie van de systemen tijdens slechte en donkere weersomstandigheden nog onzeker zijn, zal er in deze scope worden uitgegaan dat truck platooning alleen plaatsvindt overdag tijdens droge weersomstandigheden.



Figuur 6.1: Illustraties bouwstenen (eigen bewerking)

Scope-keuze

Bovenstaande bouwstenen vormen de scope voor de ontwerp- en toepassingsfase van dit onderzoek. Dit betekent samengevat dat er in de komende fases wordt uitgegaan van truck platooning:

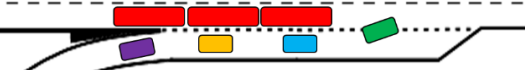
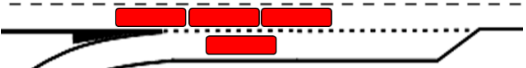
- Automatiseringsniveau 4;
- Een voertuigsamenstelling van 3 tot 4 voertuigen;
- Een scenario waarbij er wordt gereden met volgafstanden van 0,3 – 0,8 seconden en gewenst wordt om de platoon intact te houden;
- De colonne zijn informatie haalt uit sensoren en V2X-communicatie;
- Het koppelingsproces plaatsvindt op basis van planning en 'on-the-fly-match';
- Een penetratiegraad van 10 – 40%;
- Toepassing op de Nederlandse autosnelwegen beheerd door Rijkswaterstaat;
- Er tijdens normale verkeersomstandigheden gereden wordt;
- Er tijdens stabiele weersomstandigheden (overdag en droog) gereden wordt.

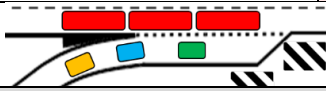
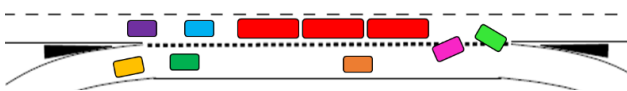
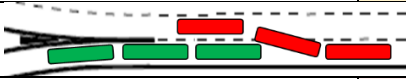
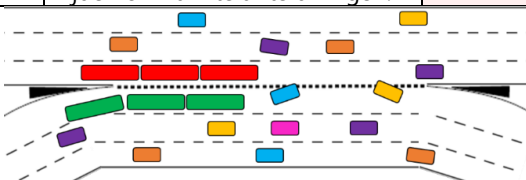
6.2 Knelpuntenanalyse

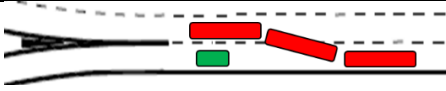
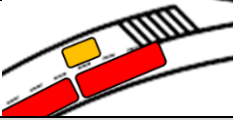
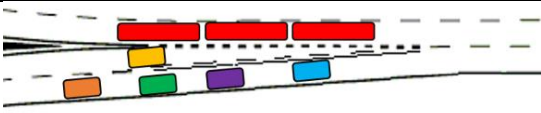
Op basis van de scope-keuze uit hoofdstuk 6.1, kan er een knelpuntenanalyse worden opgesteld. Vanuit het theoretisch kader zijn verschillende situaties naar voren gekomen wanneer de rijhulpsystemen problemen ervaren of hinder opleveren voor overige weggebruikers. In tabel 6.2 is een overzicht gegeven van alle situaties die een knelpunt vormen bij de gekozen scope, gekoppeld aan het veiligheidsrisico.

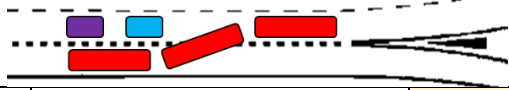
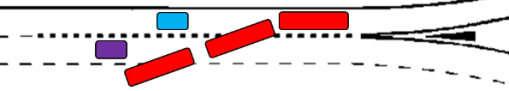
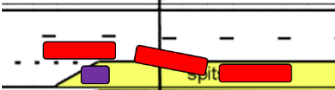
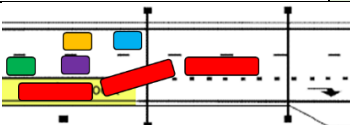
Het veiligheidsrisico is bepaald door middel van het subjectieve risico. Truck platooning wordt nauwelijks in de praktijk toegepast, waardoor het nog onbekend is hoe vaak en met welke impact een platoon een onveilige situatie kan veroorzaken (objectieve onveiligheid). Wel kan op basis van de scope de ingeschatte kans met het verwachte gevolg worden bepaald, ook wel het subjectief risico genoemd (Wildervanck & Brookhuis, 2014). Dit is gedaan door middel van de literatuur uit het theoretisch kader en een kennissessie met verschillende experts op het gebied van Verkeerskundig *Wegontwerp*, *Human Factors*, *Verkeersmanagement* en *Smart Mobility* (zie bijlage 4). Hierbij is het subjectief risico:

- **Groot:** indien de verwachte gevolgen ernstig zijn (ongeval met letsel of dodelijke afloop) en de ingeschatte kans klein of groot is;
- **Gemiddeld:** als de verwachte gevolgen klein zijn (ongeval zonder letsel), maar de inschatte kans groot;
- **Klein:** als zowel de verwachte gevolgen (ongeval zonder letsel) als de ingeschatte kans klein is.

Element	Situatie	Knelpunt	Veiligheidsrisico
Invoegstrook	Eén of meerdere voertuigen op de invoegstrook en een truck platoon op de rechterrijstrook.	Verkleinde invoegmogelijkheden → Weggebruikers tonen ongewenst gedrag, zoals doorrijden op de vluchtstrook, stoppen op de invoegstrook of gedeeltelijk op de rechterrijstrook rijden om ruimte af te dwingen.	Groot: Met name bij locaties waar in groepen veel verkeer tegelijkertijd de snelweg oprijdt (VRI-geregelde kruispunten). Hierdoor kunnen weggebruikers in conflict raken met de platoon of elkaar.
			
	De toerit ligt op een stijgende helling, waardoor invoegend verkeer niet op de maximale snelheid ligt bij het puntstuk.	Verkleinde invoegmogelijkheden → Er is te weinig snelheid om vóór de platoon in te voegen.	Groot: Door de helling is het snelheidsverschil tussen de platoon en invoegend verkeer klein, waardoor het met elkaar in conflict kan raken.
	Vrachtwagen op de invoegstrook en een truck platoon op de rechterrijstrook.	Verkleinde invoegmogelijkheden → De invoegende vrachtwagen heeft weinig acceleratielengte en kan niet invoegen.	Groot: Door het kleine snelheidsverschil kunnen de platoon en invoeger in conflict raken.
			

Element	Situatie	Knelpunt	Veiligheidsrisico
Uitvoegstrook	Een weggebruiker wil uitvoegen, maar ziet geen geschikt hiaat om tussen de platoon te voegen.	Verkleinde uitvoegmogelijkheden → Weggebruiker versnelt om vóór de platoon uit te voegen, met het risico de afrit net wel of niet te halen. Dit kan ertoe leiden dat de platoon op de rem moet om het voertuig de ruimte te geven.	Klein: Weggebruikers anticiperen op de verkeerssituatie bij het naderen van een afrit. In dat geval kunnen ze achter de platoon rijden en zullen ze hiermee niet in conflict raken.
			
In-/uitvoegstrook < 200 m	Korte in-/uitvoegstrook en truck platoon op de rechterrijstrook.	Geén invoegmogelijkheden → Verkeer zal afremmen op de toerit of met een korte volgfstand in-/uitvoegen.	Groot: Er zijn weinig invoegmogelijkheden en de invoeger kan niet op de vluchtstrook rijden. Het zal daardoor in conflict raken met de platoon of andere weggebruikers.
			
Weefvak	Op de rechterrijstrook van de hoofdrijbaan rijdt een truck platoon. Verkeer van de hoofdrijbaan wil uitvoegen naar de afrit en verkeer van de toerit wil invoegen naar de hoofdrijbaan.	Verkleinde mogelijkheid voor in- en uitvoegen en turbulentie → Overige weggebruikers tonen ongewenst gedrag, zoals doorrijden over de puntstrook, afremmen op de rijbaan of gedeeltelijk op de rechterrijstrook of het wegvak rijden om ruimte af te dwingen.	Groot: Er zijn minder in- en uitvoegmogelijkheden en er treedt turbulentie op, met het risico dat men in conflict raakt met de platoon of andere weggebruikers.
			
	Twee truck platoons willen elkaar kruisen.	Turbulentie → Zowel de platoon als overige weggebruikers moeten mogelijk op de rem om het weven tussen de platoon mogelijk te maken.	Gemiddeld: Truck platoons kunnen hierop anticiperen. Echter treden er wel snelheidsverschillen op, waardoor ander verkeer mogelijk op de rem moet.
			
3+3 weven met de aanwezigheid van 1 of 2 platoons.		Verkleinde mogelijkheid voor in- en uitvoegen & turbulentie → Overige weggebruikers tonen ongewenst gedrag, zoals doorrijden over de puntstrook, afremmen op de rijbaan of gedeeltelijk op de rechterrijstrook of het wegvak rijden om ruimte af te dwingen.	Groot: Er zijn minder in- en uitvoegmogelijkheden en er treedt turbulentie op, met het risico dat men in conflict raakt met de platoon of andere weggebruikers.
			

Element	Situatie	Knelpunt	Veiligheidsrisico
Samenvoeging	Standaard (zuivere) samenvoeging → Truck platoon rijdt op de rechterrijstrook van de hoofdrijbaan naar de 'nieuwe' rechterrijstrook.	Turbulentie → Overige weggebruikers moeten afremmen om achter de platoon te rijden.	Klein: Een platoon mag op de middelste rijstrook blijven rijden bij een wegconfiguratie van minimaal 3 rijstroken, waardoor een platoon pas van rijstrook zal wisselen wanneer deze vrij is en daardoor weggebruikers géén hinder zullen ondervinden.
			
	Samenvoeging met rijstrookbeëindiging voor convergentiepunt → Weggebruiker dient te ritsen naar de rechterrijstrook, waar een truck platoon rijdt.	Verkleinde ritsmogelijkheden → Weggebruikers tonen ongewenst gedrag, zoals doorrijden op het verdrijvingsvlak of stoppen op de invoegstrook.	Groot: Weggebruiker raakt in conflict met de platoon of de andere weggebruikers.
			
Taper	Tapersamenvoeging	Verkleinde invoegmogelijkheden → Invoeger op de taper kan niet naar de hoofdrijbaan, wegens de aanwezigheid van een platoon, en naar de rechterinvoegstrook, wegens de aanwezigheid van verkeer.	Groot: Weggebruiker raakt in conflict met de platoon of de andere weggebruikers
			
	Taperauitvoeging	Verkleinde uitvoegmogelijkheden → Weggebruiker versnelt om vóór de platoon uit te voegen, met het risico de afrit net wel of niet te halen. Dit kan ertoe leiden dat de platoon op de rem moet om het voertuig de ruimte te geven.	Klein: Weggebruikers anticiperen op de verkeerssituatie bij het naderen van een afrit. Taperauitvoerders zijn daarbij duidelijker aangegeven sinds de invoering van de Nieuwe Bewegwijzering Autosnelwegen (NBA). De kans dat een weggebruiker in conflict raakt met de platoon is daarom klein.
			

Element	Situatie	Knelpunt	Veiligheidsrisico
Splitsing	Standardsplitsing → Truck platoon wil op de hoofdrijbaan blijven rijden en dient te verplaatsen naar de middelste rijstrook.	Turbulentie → Overige weggebruikers moeten afremmen om achter de platoon te rijden.	Gemiddeld: Vrachtwagenverkeer anticipeert hier al honderden meters op. Echter treden er wel snelheidsverschillen op, waardoor ander verkeer mogelijk op de rem moet.
			
	Splitsing naar 1+2 rijstroken → Truck platoon wil naar de linkerrijstrook.	Turbulentie → Overige weggebruikers moeten afremmen om achter de platoon te rijden.	Gemiddeld: Vrachtwagenverkeer anticipeert hier al honderden meters op. Echter treden er wel snelheidsverschillen op, waardoor ander verkeer mogelijk op de rem moet.
			
Spitsstrook	Begin spitsstrook → Truck platoon rijdt van de hoofdrijbaan naar de spitsstrook.	Turbulentie op spitsstrook → Overige weggebruikers moeten afremmen om achter de platoon te rijden.	Klein: Vrachtwagenverkeer hoeft niet op de spitsstrook te rijden, waardoor weggebruikers géén hinder zullen ondervinden van de platoon.
			
	Spitsstrook is smaller dan 2,80 m.	Systeem komt buiten het ODD → Er is (te) weinig tijd beschikbaar voor een ToC. De chauffeur in een platoon kan hierdoor niet tijdig handelen.	Klein: Vrachtwagenverkeer hoeft niet op de spitsstrook te rijden, waardoor de chauffeur niet in deze situatie zal belanden en het voertuig niet in botsing raakt met andere voertuigen of obstakels.
	Einde spitsstrook → Truck platoon rijdt terug naar rechterrijstrook van hoofdrijbaan.	Turbulentie op hoofdrijbaan → Verkeer op de hoofdrijbaan moet afremmen om achter de platoon te rijden.	Klein: Vrachtwagenverkeer hoeft niet op de spitsstrook te rijden, waardoor weggebruikers géén hinder zullen ondervinden van de platoon.
			
	Spitsstrook langs afrit.	Zie <i>uitvoegstrook</i>	
	Spitsstrook langs af- en toerit (voldoende acceleratielengte).	Zie <i>invoegstrook</i> en <i>uitvoegstrook</i>	
	Spitsstrook langs toerit (onvoldoende acceleratielengte).	Zie <i>korte invoegstrook</i>	
	Spitsstrook langs weefvak.	Zie <i>weefvak</i>	
	Spitsstrook langs samenvoeging en afrit.	Zie <i>weefvak</i>	
Wegdek	Eentonige belasting op de verharding van kunstwerken.	Spoorvorming → met als gevolg gladheid/aquaplanning.	Groot: LKA-systemen hebben een nauwkeurigere positiebepaling, waardoor de druk op het wegdek groter is. Echter geldt dit probleem ook voor 'normaal' vrachtwagenverkeer.

Element	Situatie	Knelpunt	Veiligheidsrisico
Brug	GPS- en Shortrange-communicatie valt weg	Platooning niet mogelijk → Chauffeur moet het stuur overnemen, met het risico dat er (te) weinig tijd beschikbaar is voor een ToC.	Groot: De chauffeur in een platoon kan mogelijk niet tijdig handelen, waardoor het voertuig in botsing komt met andere voertuigen of obstakels.
Tunnel	Door een hoger niveau aan ruis door slechte lichtomstandigheden, zien de sensoren onterecht obstakels.	Systemen gaan onverwachts op de rem → Chauffeurs en overige weggebruikers worden verrast.	Groot: De chauffeur in een platoon kan mogelijk niet tijdig handelen, waardoor het voertuig in botsing komt met andere voertuigen of obstakels.
	GPS- en Shortrange-communicatie valt weg.	Platooning niet mogelijk → Chauffeur moet het stuur overnemen, met het risico dat er (te) weinig tijd beschikbaar is voor een ToC.	Groot: De chauffeur in een platoon kan mogelijk niet tijdig handelen, waardoor het voertuig in botsing komt met andere voertuigen of obstakels.

Tabel 6.2 Knelpuntenanalyse Truck Platooning

6.3 Deelconclusie

Op basis van de scope-bepaling en de knelpuntenanalyse kan de vijfde deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 5: “Welke uitgangspunten met bijbehorende knelpunten vormen de scope voor het ontwikkelen van infrastructurele maatregelen?”

Resultaat	Deelconclusie
Scope-bepaling	De komende fases wordt uitgegaan van truck platooning: • Automatiseringsniveau 4; • Een voertuigsamenstelling van 3 tot 4 voertuigen; • Een scenario waarbij er wordt gereden met volgafstanden van 0,3 – 0,8 seconden en gewenst wordt om de platoon intact te houden; • De colonne zijn informatie haalt uit sensoren en V2X-communicatie; • Het koppelingsproces plaatsvindt op basis van planning en ‘on-the-fly-match’; • Een penetratiegraad van 10 – 40%; • Toepassing op de Nederlandse autosnelwegen beheerd door Rijkswaterstaat; • Er tijdens normale verkeersomstandigheden gereden wordt; • Er tijdens stabiele weersomstandigheden (overdag en droog) gereden wordt.
Knelpunten analyse	Er gelden grote veiligheidsrisico's bij: • Invoegstroken; • In- en uitvoegstroken met een lengte korter dan 200m; • Weefvakken; • Samenvoegingen met rijstrookbeëindiging voor het convergentiepunt; • Tapersamenvoegingen; • Wegdek; • Bruggen; • Tunnels. Er gelden gemiddelde veiligheidsrisico's bij: • Weefvakken waar twee platoons elkaar kruisen; • Splitsingen. Er gelden kleine veiligheidsrisico's bij: • Uitvoegstroken; • Standaard (zuivere) samenvoegingen; • Taperuitvoegingen; • Spitsstroken.

Hoofdstuk 7.0 - Ontwerpfase MAATREGELEN

Op basis van de knelpuntenanalyse kunnen mitigerende maatregelen worden ontwikkeld voor de knelpunten waar truck platooning een mogelijk veiligheidsrisico oplevert. In dit hoofdstuk zal de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 6: “Welke maatregelen kunnen worden genomen om veiligheidsrisico’s ten aanzien van de knelpunten te verkleinen?”



Foto: Shell

7.1 De maatregelen

Alle maatregelen zijn onderverdeeld in vier pakketten: het niet-infrapakket, maatwerk-infrapakket, dynamische rijstrook en vaste rijstrook. Per maatregel is een beschrijving gegeven van de eigenschappen en bijbehorend voor- en nadelen.

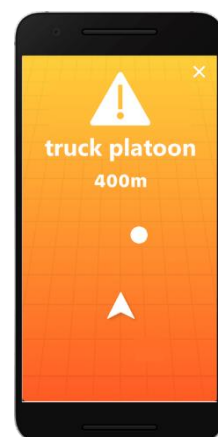
M.1: Niet-infrapakket

Het niet-infrapakket betreft maatregelen die geen aanpassingen van de infrastructuur vereisen. De knelpunten worden zoveel mogelijk aangepakt op basis van smart mobility- en gedragsmaatregelen:

M.1.a Waarschuwen/informereren weggebruiker via melding: Een weggebruiker ontvangt een melding in-car of op zijn smartphone over de nabije aanwezigheid van een truck platoon. Aanvullend kan hij bij het naderen van de afrit het advies krijgen om alvast achter de truck platoon te rijden, zodat hij zonder problemen de snelweg kan verlaten.

- Benodigd: Communicatie tussen truck platoon en weggebruiker.
- Toepassing: In alle verkeerssituaties.

Voordeel	Nadeel
✓ Geen aanpassingen aan de infrastructuur (kosten).	✗ Je leidt de weggebruiker af van de rijtaak.
✓ Weggebruikers kunnen zich beter anticiperen op de aanwezigheid van de platoon en hun rijgedrag hierop aanpassen.	✗ In de <i>Monitoring Informatiediensten</i> (Rijkswaterstaat) geeft ongeveer 20% van de weggebruikers aan soms of nooit routeinformatie op te volgen on-trip (Haaijer, Wuite, & Maaskant, 2018). Dit laat zien dat er rekening te worden gehouden dat een waarschuwing niet altijd zal worden opgevolgd door de weggebruiker.



Figuur 7.1:
Waarschuwing
weggebruiker
(Flitsmeister, 2020)
(eigen bewerking)

M.1.b Campagne/verkeerseducatie: Via een online en fysieke campagne en/of educatie wordt weggebruikers geleerd hoe zij zich moeten gedragen wanneer er een truck platoon op de weg rijdt. Ook worden vrachtwagenchauffeurs opgeleid om te rijden in een truck platoon, zoals de werking van het systeem en welke problemen tijdens de rit mogelijk kunnen optreden.

- Benodigd: Campagne/educatiestrategie.
- Toepassing: In alle verkeerssituaties.

Voordeel	Nadeel
✓ Weggebruikers en chauffeurs weten door campagne/educatie hoe zij hun rijgedrag kunnen aanpassen.	✗ Weggebruikers zullen vooral moeten leren van eigen ervaring. Formeel leren legt de basis voor het verdere informele leerproces (Slinger, 2014).
	✗ Sommige mensen maken meer fouten dan anderen. Door bijvoorbeeld leeftijd of medicatie is niet iedereen even goed in staat om een taak goed uit te voeren. Educatie kan nog een rol spelen, maar niet de taakuitvoering verbeteren (Slinger, 2014).

M.1.c Doseerlichten/afstelling iVRI's bij aansluitingen: Verkeer wordt bij een toerit of geregeld kruispunt tegengehouden als er in de nabijheid een platoon op de hoofdrijbaan rijdt. Het invoegend verkeer wordt hierdoor tijdelijk tegengehouden, om te voorkomen dat deze in conflict raakt met de platoon.



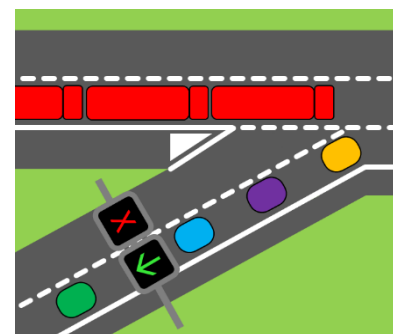
Figuur 7.2: Toeritdosering (Chris, 2012)

- Benodigd: Intelligente doseerlichtinstallatie of iVRI.
- Toepassing: Bij toeritten met een doseerlichtinstallatie, toeritten met een zeker mate van belasting of geregelde kruispunten kan worden voorkomend dat verkeer in conflict raakt met de truck platoon bij het invoegen op de hoofdrijbaan.

Voordeel	Nadeel
✓ Geen hinder voor invoegend verkeer bij het naderen van een platoon.	✗ Onderhoudskosten.
	✗ Mogelijke verkeersbelasting op het weggennetwerk van de toerit.

M.1.d Afkruising taperinvoeger: De taperinvoeger wordt afgesloten wanneer een truck platoon op de hoofdrijbaan de samenvoeging nadert.

- Benodigd: Matrixsignaalgevers.
- Toepassing: Bij taperaansluitingen, in het geval dat de rechterinvoegstrook voldoende capaciteit heeft om het verkeer af te wikkelen. Hiermee wordt voorkomen dat weggebruikers ingesloten en in conflict raken met een platoon of andere weggebruikers op een taperinvoeger.



Figuur 7.3: Afkruising taperinvoeger (eigen bewerking)

Voordeel	Nadeel
✓ Weggebruikers wordt ruimer gelegenheid gegeven in te voegen en voorkomt dat ze in conflict raken met de platoon of voertuig op de rechterinvoegstrook.	✗ De capaciteit van de invoegende rijbaan wordt beperkt, waardoor er een hogere belasting komt op de invoegstrook.

M.1.e Installatie landmarks bij tunnels en bruggen: Landmarks maken het mogelijk dat GPS- en DSRC-signalen ook te ontvangen zijn in tunnels/niet verstoren bij bruggen.

- Benodigd: Landmarks.
- Toepassing: In tunnels en bij bruggen, zodat voorkomen wordt dat de communicatie onverwacht wegvalt tussen de platoon en/of infrastructuur.

Voordeel
✓ Op deze wijze blijven GPS- en draadloze signalen werken in tunnels en bij bruggen (Ven, 2019) (Habibovic, Amanuel, Chen, & Englund, 2014).

M.1.f Aanpassing truck platoon: Een truck platoon wordt gevraagd zijn snelheid, rijstrookkeuze en volgafstand aan te passen op basis van de actuele verkeerssituatie.

- Benodigd: Communicatie tussen wegbeheerder en truck platoon.
- Toepassingen: Op locaties met een hoge verkeersdruk, korte in-/uitvoegstrook, splitsingen, samenvoegingen en wegdekken/kunstwerken met een beperkte capaciteit van asbelasting.

Voordeel	Nadeel
✓ Geen aanpassingen aan de infrastructuur (kosten).	✗ In niveau 4 kost het meer tijd om de volgafstand naar een geschikt hiaat aan te passen. Indien dit vaak zal moeten plaatsvinden, wordt truck platooning niet meer aantrekkelijk.
✓ Andere weggebruikers wordt het vergemakkelijkt om in- en uit te voegen.	✗ Moment van verzoek dient ver voor het actiepoint te worden uitgezonden, om de bestuurder de gelegenheid te geven zich aan te passen.
✓ Betere verdeling van de wegbelasting.	

M.1.g Intelligente toegang: Een truck platoon krijgt het advies om te rijden via een andere route of wordt gevraagd zijn platoon te onderbreken.

- Benodigd: Communicatie tussen wegbeheerder en truck platoon.
- Toepassing: Locaties waarin een truck platoon in complexe verkeerssituaties belandt met andere weggebruikers en/of kritische verkeerssituaties die tot een hoger risico kunnen leiden dat het systeem onverwachts buiten het ODD valt.

Voordeel	Nadeel
✓ Bestuurder heeft volledige controle over het voertuig, waarbij wordt voorkomen dat een situatie onverwachts buiten het ODD valt.	✗ Moment van verzoek dient ver voor het actiepoint te worden uitgezonden, om de bestuurder de gelegenheid te geven zich aan te passen.
✓ Geen aanpassingen aan de infrastructuur (kosten).	✗ Routeadvies dient ver voor het beslipspunt worden uitgezonden om te voorkomen dat er niet meer van route gewijzigd kan worden.
✓ Er kan dynamisch worden ingespeeld op actuele verkeerssituaties.	✗ Dynamische gebeurtenissen kunnen altijd onverwachts plaatsvinden.
✓ Betere verdeling van de wegbelasting.	✗ Een andere route zal niet altijd de beste route zijn.

M.2: Maatwerk-Infrapakket

Het tweede pakket betreft het maatwerk-infrapakket. Dit zijn maatregelen die op bepaalde locaties kleine aanpassingen aan de infrastructuur vereisen en/of efficiënt gebruik maken van de beschikbare ruimte. Dit betreffen:

M.2.a Verlengen invoegstroken: het verlengen van invoegstroken.

- Benodigd: Infrastructurele aanpassing.
- Toepassing: Op belaste en/of korte invoegstroken, zodat de invoegmogelijkheden voor weggebruikers vergroot worden.

Voordeel	Nadeel
✓ Weggebruikers wordt meer ruimte gegeven om in te voegen.	✗ Infrastructurele aanpassing (kosten).

M.2.b Ombouw tapersamenvoegingen: het vervangen van de tapersamenvoegingen in een volwaardige invoegstrook.

- Benodigd: Infrastructurele aanpassing.
- Toepassing: Op taperaansluitingen, zodat voorkomen wordt dat weggebruikers ingesloten en in conflict raken met een platoon of andere weggebruikers op een taperinvoeger.

Voordeel	Nadeel
✓ Weggebruikers wordt ruimer gelegenheid gegeven in te voegen en voorkomt dat ze in conflict raken met de platoon of voertuig op de rechterinvoegstrook.	✗ Infrastructurele aanpassing (kosten).

M.2.c Verbreden spitsstroken naar een minimale breedte van 2,80m: het verbreden van spitsstroken naar een minimale lengte van 2,80m.

- Benodigd: Infrastructurele aanpassing.
- Toepassing: Op spitsstroken met een breedte korter dan 2,80m, zodat een truck platoon probleemloos op een spitsstrook kan rijden die binnen het ODD valt.

Voordeel	Nadeel
✓ Alle spitsstroken komen binnen het ODD te vallen.	✗ Infrastructurele aanpassing (kosten). ✗ Mogelijk overbodig omdat vrachtwagens niet op de spitsstrook hoeven te rijden.

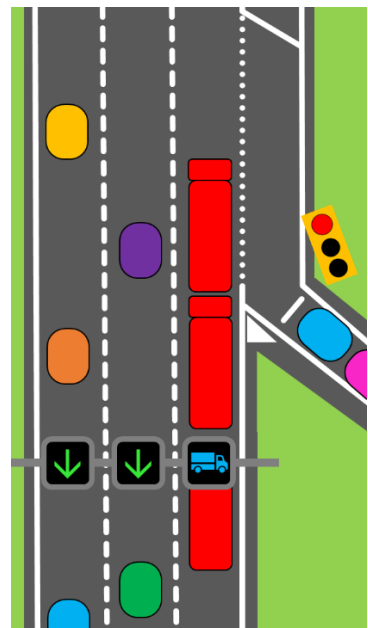
M.3: Dynamische doelgroepstrook

Binnen dit concept wordt er een rijstrook tijdelijk (dynamisch) gereserveerd voor een truck platoon. Wanneer er een platoon aankomt, wordt een rijstrook afgesloten voor het overige verkeer totdat de platoon een specifiek punt voorbij is, waarna de rijstrook weer volledig opengaat. Op deze wijze wordt het verkeer gehomogeniseerd: de dynamische strook is dan alleen toegankelijk voor een truck platoon, zodat het overige verkeer op de hoofdrijbaan geen last hiervan heeft.

Binnen dit concept zijn twee varianten mogelijk met de bijbehorende maatregelen:

M.3.a Dynamische rechterrijstrook:

- Benodigd:
 - Signalering via matrixsignaalgever en/of berichten in-car of op smartphone: Via matrixborden en/of een melding in het voertuig/op de smartphone worden weggebruikers geïnformeerd dat de rechterrijstrook gesloten is voor al het verkeer, met uitzondering een truck platoon;
 - Doseerlichten/afstelling VRI's bij aansluitingen: verkeer wordt bij een toerit tegengehouden als er een platoon voorbij rijdt, om te voorkomen dat zij in conflict raken;
 - Tijdelijke opschorting van het verbod voor overig verkeer bij afritten, zodat verkeer de snelweg kan verlaten;
 - Aangepaste snelheidslimiet van 80 km per uur, zodat er géén snelheidsverschil ontstaat met het overig verkeer;
 - Camerasystemen.
- Toepassing: Op trajecten met een hoge verkeersdruk op een transportroute en waar vrachtverkeer een nabije bestemming (logistieke hubs, havens, etc.) heeft.

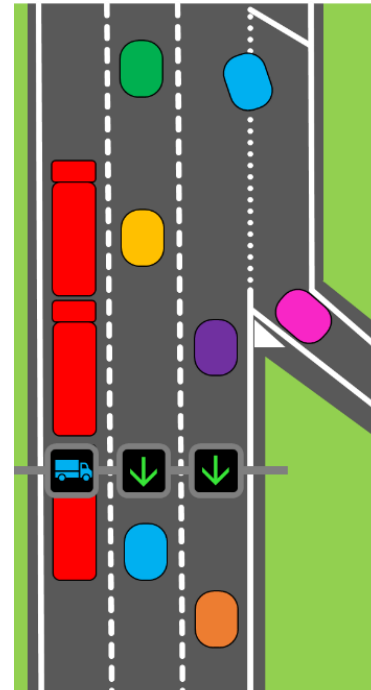


Figuur 7.4: Dynamische rechterrijstrook (eigen bewerking)

Voordeel	Nadeel
✓Er treedt op de hoofdrijbaan géén verstoring op van in- en uitvoegend vrachtverkeer.	✗ Hinder voor overig verkeer vanuit aansluitingen die niet VRI-geregeld zijn (samenvoeging).
✓Truck platoon kan op drukke trajecten intact blijven, zonder infrastructurele aanpassingen.	✗ Conflict bij splitsingen en samenvoegingen (platoon moet onderbroken worden).
✓In- en uitvoegend verkeer raakt niet in conflict met truck platoon.	✗ Het reserveren van een rijstrook voor een truck platoon vergt aandacht. Het aanpassen van de rijbaanindeling, terwijl het verkeer nog gebruik maakt van de rijbaan, vereist een zorgvuldige procedure om te voorkomen dat er onduidelijke of gevaarlijke verkeerssituaties ontstaan (CROW, 2015).

M.3.b: Dynamische linkerrijstrook:

- Benodigd:
 - Signalering via matrixsignaalgever en/of berichten in-car of op smartphone: Via matrixborden en/of een melding in het voertuig/op de smartphone worden weggebruikers geïnformeerd dat de rechterrijstrook gesloten is voor al het verkeer, met uitzondering een truck platoon;
 - Aangepaste snelheidslimiet van 80 km per uur, zodat er géén snelheidsverschil ontstaat met het overig verkeer;
 - Camerasystemen.
- Toepassing: Op trajecten met een hoge verkeersdruk op een transportroute en waar vrachtverkeer géén nabije bestemming heeft.



Figuur 7.5: Dynamische linkerrijstrook (eigen bewerking)

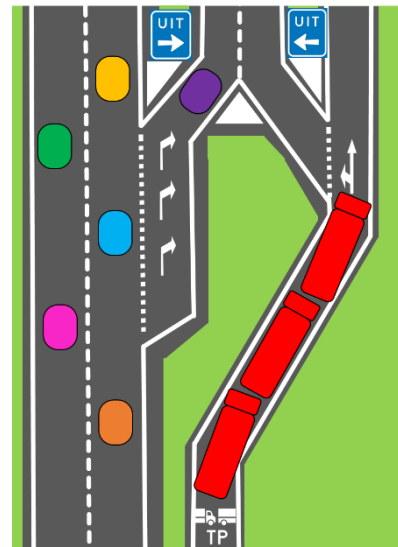
Voordeel	Nadeel
✓ Er treedt op de hoofdrijbaan géén verstoring van in- en uitvoegend vrachtverkeer.	✗ Wanneer een platoon van richting wil veranderen, treedt er turbulentie op de hoofdrijbaan.
✓ In- en uitvoegend verkeer raakt niet in conflict met truck platoon.	✗ Conflict bij splitsingen en samenvoegingen (platoon moet mogelijk onderbroken worden).
✓ Vrachtverkeer legt langere afstanden af en zal minder vaak van richting veranderen, en daardoor dus ook minder turbulentie op de hoofdrijbaan opleveren.	✗ Het reserveren van een rijstrook voor een truck platoon vergt aandacht. Het aanpassen van de rijbaanindeling, terwijl het verkeer nog gebruik maakt van de rijbaan, vereist een zorgvuldige procedure om te voorkomen dat er onduidelijke of gevaarlijke verkeerssituaties ontstaan (CROW, 2015).
✓ Truck platoon kan op drukke trajecten intact blijven, zonder infrastructurele aanpassingen.	

M.4: Vaste doelgroepstrook

Binnen dit concept wordt er een aparte rijstrook gefaciliteerd voor een truck platoon. Op deze wijze wordt het verkeer gehomogeniseerd: de strook is dan alleen toegankelijk voor een truck platoon. Hierin zijn twee concepten mogelijk:

M.4.a: Doelgroepstrook aan de buitenzijde van de hoofdrijbaan:

- Benodigd:
 - Rijbaan van 3,05 meter met barrière tussen de hoofdrijbaan en plusstrook (Rijkswaterstaat, 2019);
 - Bebording die aangeeft dat de rijstrook alleen toegankelijk is voor truck platooning (Farah, Rad, Taale, Arem, & Hoogendoorn, 2020);
 - Aansluitingen naar de op- en afritten.
- Toepassing: Op routes met een hoge verkeersdruk en waar veel truck platoons rijden.

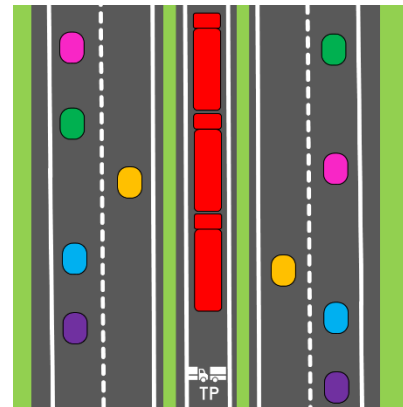


Figuur 7.6: Vaste doelgroepstrook aan de buitenzijde (eigen bewerking)

Voordeel	Nadeel
✓ Er treedt op de hoofdrijbaan géén verstoring op van in- en uitvoegend vrachtverkeer.	✗ Grote infrastructurele aanpassingen (kosten).
✓ In- en uitvoegend verkeer raakt niet in conflict met truck platoon.	✗ Bij een penetratiegraad van lager dan 70% blijft de rijstrook onbenut.
✓ Rijbaan kan ook toegankelijk worden gemaakt voor niet-automatisch vrachtverkeer of in de toekomst voor car platooning.	✗ Conflict bij tunnels en bruggen.
	✗ Impact op ruimtebeslag (milieu).

M.4.b: Doelgroepstrook aan de binnenzijde van de hoofdrijbaan:

- Benodigd:
 - Rijbaan van 3,05 meter met barrière tussen de hoofdrijbaan en plusstrook (Rijkswaterstaat, 2019);
 - Bebording die aangeeft dat de rijstrook alleen toegankelijk is voor truck platooning (Farah, Rad, Taale, Arem & Hoogendoorn, 2020);
 - Aansluitingen naar op- en afritten bij logistieke hubs.
- Toepassing: Op routes met een hoge verkeersdruk en waar veel truck platoons rijden.



Figuur 7.7: Vaste doelgroepstrook aan de binnenzijde (eigen bewerking)

Voordeel	Nadeel
✓ Er treedt op de hoofdrijbaan géén verstoring op van in- en uitvoegend vrachtverkeer.	✗ Grote infrastructurele aanpassingen (kosten).
✓ In- en uitvoegend verkeer raakt niet in conflict met truck platoon.	✗ Bij een penetratiegraad van lager dan 70% blijft de rijstrook onbenut.
✓ Minder ruimtebeslag benodigd dan M.4.a.	✗ Conflict bij tunnels en bruggen.
✓ Rijbaan kan ook toegankelijk worden gemaakt voor niet-automatisch vrachtverkeer of in de toekomst voor car platooning.	✗ De rijbaan kan maar in één richting tegelijkertijd gebruikt worden.

7.2 Deelconclusie

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

Deelvraag 6: “Welke maatregelen kunnen worden genomen om veiligheidsrisico’s ten aanzien van de knelpunten te verkleinen?”

Om de knelpunten die truck platooning met zich meebrengt aan te pakken zijn de volgende maatregelen mogelijk, onderverdeeld in de volgende pakketten:

M.1 Niet-infrapakket	M.2 Maatwerk-infrapakket
a. Waarschuwen/informeren weggebruiker via melding b. Campagne/verkeerseducatie c. Doseerlichten/afstelling iVRI d. Afkruisen taper-invoeger e. Installatie landmarks bij tunnels en bruggen f. Aanpassing truck platoon g. Intelligente toegang	a. Verlengen invoegstroken b. Ombouw tapersamenvoegingen c. Verbreden spitsstroken naar een minimale breedte van 2,80m
M.3. Dynamische doelgroepstrook	M.4 Vaste doelgroepstrook
a. Dynamische rechterrijstrook b. Dynamische linkerrijstrook	a. Doelgroepstrook aan de buitenzijde van de hoofdrijbaan b. Doelgroepstrook aan de binnenzijde van de hoofdrijbaan



Hoofdstuk 8.0 – Toepassing WAAR & WANNEER

De toepassing van de maatregelen uit hoofdstuk 7 zijn afhankelijk van de locatie, aantal knelpunten op een traject, de verkeerssituatie en penetratiegraad van truck platooning. In dit hoofdstuk zal door middel van een stappenplan worden beschreven waar en wanneer een maatregel kan worden toegepast. Hiermee wordt de volgende deelvraag beantwoord:

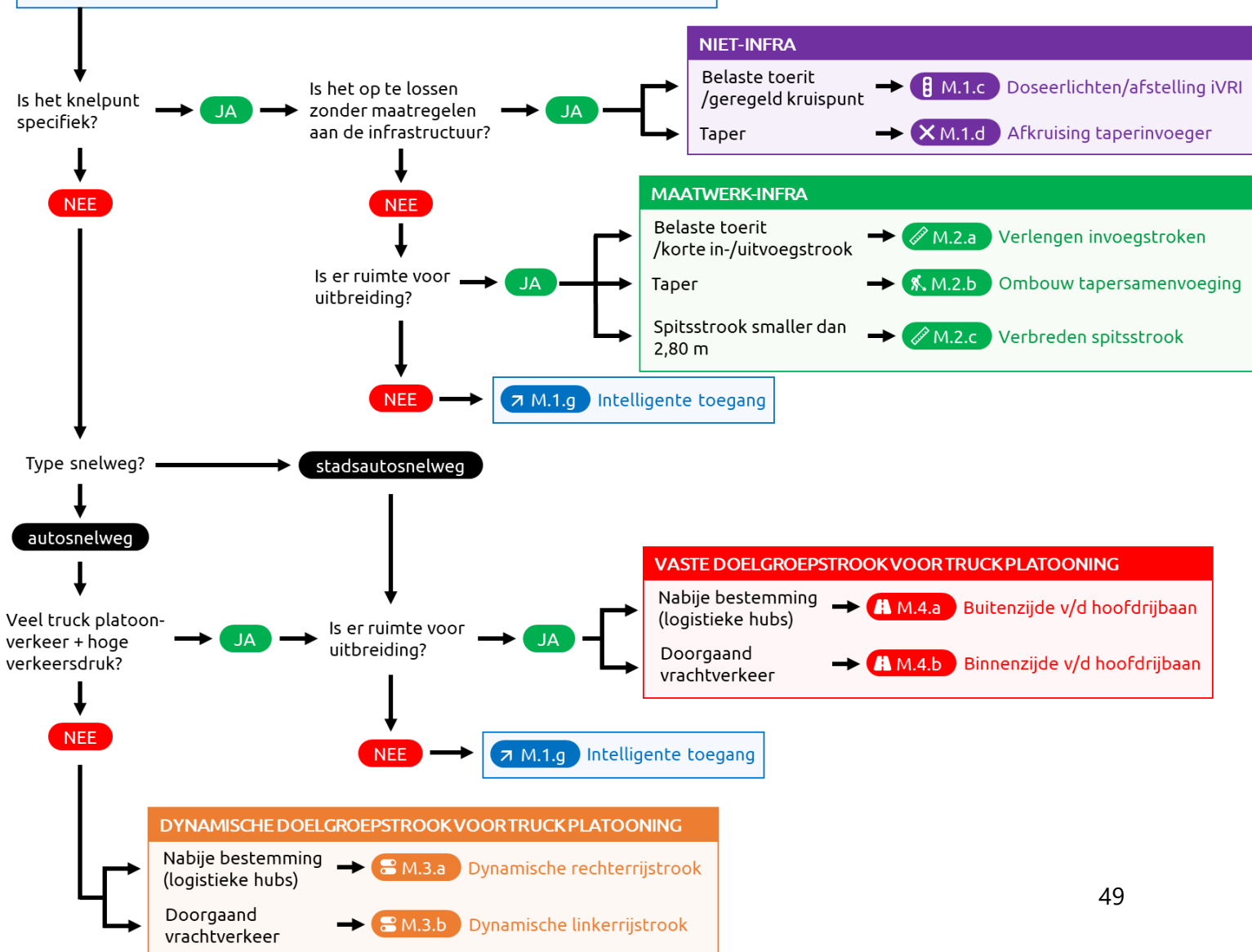
Deelvraag 7: "Waar en wanneer zouden de maatregelen voor truck platooning geïmplementeerd kunnen worden?"



Foto: Rijkswaterstaat

BASISMAATREGELEN TRUCK PLATOONEN OP DE WEG (NIET-INFRA)

- ! M.1.a Waarschuwen/informereren weggebruiker via melding
- M.1.b Campagne/verkeerseducatie
- M.1.e Installatie landmarks bij tunnels en bruggen
- M.1.f Aanpassing truck platoon
- M.1.g Intelligente toegang



8.1 Stappenplan voor de implementatie van mitigerende maatregelen

De basismaatregelen, welke uit het niet-infrapakket komen, zullen altijd nodig zijn om een truck platooning veilig te laten rijden op de snelweg en vereisen géén tot weinig aanpassingen aan de infrastructuur. De maatregelen *M.1.a Waarschuwen/infomeren weggebruiker via melding* en *M.1.b Campagne/verkeerseducatie* kunnen in alle situaties worden toegepast, waarbij ze ervoor zorgen dat weggebruikers kunnen/leren anticiperen op de interactie met een truck platoon bij het in- en uitvoegen of weven. Ook is het nodig om vrachtwagenchauffeurs op te leiden voor het rijden in een truck platoon, zodat zij weten hoe het systeem werkt en welke problemen tijdens de rit mogelijk kunnen optreden. Dit vergroot de kans dat een vrachtwagenchauffeur tijdig en correct kan ingrijpen, wanneer verwacht wordt om het stuur over te nemen.

De maatregelen *M.1.e Installatie landmarks bij tunnels en bruggen*, *M.1.f Aanpassing truck platoon* en *M.1.g Intelligente toegang* zorgen ervoor dat een platoon zoveel mogelijk intact kan worden gehouden, zonder dat deze in complexe situaties raakt of dat andere weggebruikers hinder van de platoon ondervinden. Echter zullen er altijd nog situaties ontstaan, waarbij een truck platoon een veiligheidsrisico kan vormen, waarvoor aanvullende maatregelen nodig zijn. De toepassing van deze maatregelen kan worden herleid door het volgen van de stappen zoals beschreven in figuur 8.1.

Stap 1: Is het een specifiek knelpunt?

De eerste stap gaat in op de aard van het knelpunt. Als het knelpunt maar op een specifieke locatie een veiligheidsrisico vormt en er voor de rest zonder problemen in een platoon gereden kan worden, kan er worden gekeken of het dit knelpunt op te lossen is met een maatregel zonder aanpassing aan de infrastructuur. Hierbij gaat het om:

- M.1.c Doseerlichten/afstelling iVRI, mits dit niet tot overbelasting leidt van het aansluitende wegennetwerk;
- M.1.d Afkruising taperinvoeger, mits de rechterinvoegstrook voldoende capaciteit heeft om het verkeer af te wikkelen en een truck platoon zijn volgafstand en snelheid aanpast (M.1.f Aanpassing truck platoon).

Indien een knelpunt niet met een niet-infrastructurele maatregel op te lossen is, kan er worden gekeken of deze te mitigeren is met behulp van een kleine aanpassing aan de infrastructuur:

- M.2.a Verlengen invoegstroken;
- M.2.b Ombouw tapersamenvoeging;
- M.2.c Verbreden spitsstrook.

Aanpassingen aan de infrastructuur vereisen benodigde ruimte en dienen voor een wegbeheerder financieel rendabel te zijn. Indien dit bij de implementatie van bovengenoemde de maatregelen M.2.a, M.2.b en M.2.c niet het geval is, dan kan er worden gekozen voor *M.1.g Intelligente toegang* (het omleiden of onderbreken van een truck platoon).

Stap 2: Type snelweg?

Wanneer één of meerdere knelpunten tot veiligheidsrisico's leiden op korte afstanden, zal er eerst moeten worden gekeken om wat voor type snelweg het gaat: een autosnelweg of stadsautosnelweg. Stadsautosnelwegen kennen, in vergelijking met autosnelwegen, een hogere dichtheid aan aansluitingen en turbulentie tussen wevend verkeer. Indien er ruimte is voor uitbreiding kan daar worden gekeken naar *M.4 Vaste doelgroepstrook voor truck platooning*. Door de truck platoon te scheiden van de hoofdrijbaan, treedt er op de hoofdbaan géén verstoring op van verkeer dat in conflict raakt met de truck platoon. *M.3 Dynamische doelgroepstrook voor truck platooning*, waarbij een rijstrook wordt vrijgesteld, kan in zo'n situatie ertoe leiden dat de verkeersdruk hoger wordt op de stadsautosnelweg, wat ook kan leiden tot belasting op de toeleidende wegen van het stedelijk netwerk.

Stap 3: Veel truck platoon-verkeer en/of hoge verkeersdruk?

Indien het om een autosnelweg gaat, kan er worden gekeken of er veel truck platoons op het traject rijden en/of de verkeersdruk hoog is. Indien dit niet het geval is, kan *M.3 Dynamische doelgroepstrook voor truck platooning* voldoende zijn om een platoon conflictvrij over de weg te laten rijden. Indien er wel veel truck platoons op het traject rijden en/of de verkeersdruk hoog is, kan er worden gekeken of er ruimte is voor de aanleg *M.4 Vaste doelgroepstrook voor truck platooning*. Indien de ruimte er niet is en/of de kosten veel hoger zijn dan de baten, wordt geadviseerd om *M.1.g Intelligente toegang* (het omleiden of onderbreken van een truck platoon) toe te passen.

Toetsing op doorstroming, kosten en verkeersveiligheid

Ter aanvulling van het stappenplan in figuur 8.1 dient er nog per maatregel onderzoek te worden gedaan naar de effecten op doorstroming, kosten en verkeersveiligheid. Op deze wijze kan worden onderbouwd of een maatregel na implementatie daadwerkelijk de verkeerssituatie verbetert, financieel rendabel is en/of er géén ongewenste neveneffecten ontstaan op een specifieke locatie.

8.2 Deelconclusie

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

Deelvraag 7: "Waar en wanneer zouden de maatregelen voor truck platooning geïmplementeerd kunnen worden?"

Onderzoek naar	Doel
Locaties en situaties wanneer de maatregelen geïmplementeerd kunnen worden.	De basismaatregelen zullen altijd nodig zijn om een truck platoon veilig te laten rijden op de snelweg en vereisen geen tot weinig aanpassingen aan de infrastructuur. De maatregelen <i>Waarschuwen/informereren weggebruiker via melding (M.1.a)</i> en <i>Campagne/verkeerseducatie (M.1.b)</i> kunnen in alle situaties worden toegepast, waarbij ze ervoor zorgen dat weggebruikers kunnen/leren anticiperen op de interactie met een truck platoon. De maatregelen <i>Installatie landmarks bij tunnels en bruggen (M.1.e)</i> , <i>Aanpassing truck platoon (M.1.f)</i> en <i>Intelligente toegang (M.1.g)</i> zorgen ervoor dat een platoon zoveel mogelijk in tact kan worden gehouden, zonder dat deze in complexe situaties raakt of dat andere weggebruikers hinder van de platoon ondervinden. Echter zullen er altijd nog situaties ontstaan, waarbij een truck platoon een veiligheidsrisico vormt waarvoor aanvullende maatregelen nodig zijn. De toepassing van deze maatregelen kan worden herleid door het volgen van een stappenplan, zoals beschreven in figuur 8.1

Hoofdstuk 9.0 – Toepassing TRUCK PLATOONING OP DE A15 & A16

De A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk maken beiden onderdeel uit van het *Trans-European Transport Network* (TEN-T)⁸ en zijn daarmee belangrijke routes richting de havens van Rotterdam, Antwerpen en het Ruhrgebied. Hierdoor is de verwachting dat er in de toekomst veel truck platoons zullen rijden van en naar logistieke hubs. In dit hoofdstuk zal de knelpuntenanalyse uit hoofdstuk 6.2 en het maatregelpakket uit hoofdstuk 7 worden toegepast op beiden trajecten, zodat inzichtelijk kan worden gemaakt welke knelpunten aangepakt dienen te worden als er een truck platoon rijdt op de A15 en A16, uitgaande van de scope uit hoofdstuk 6.1. Hiermee wordt de volgende deelvraag beantwoord:

Deelvraag 8: *“Kan het maatregelpakket worden toegepast op een transportroute en welke uitkomsten levert dit op om truck platooning verkeersveilig te faciliteren op deze route?”*



Foto: Ministerie van
Infrastructuur en Waterstaat

9.1 Methode Casestudy

Het bepalen van de knelpunten en daarop opstellen van mitigerende maatregelen voor de A15 en A16 is gedaan op de volgende wijze:

- **Stap 1 In kaart brengen route:** Allereerst zijn van de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk de rijstrookconfiguraties, maximumsnelheid, kunstwerken en afstand tussen aansluitingen in kaart gebracht. Op deze wijze wordt inzichtelijk hoe de infrastructuur er op beide trajecten uit ziet en welke locaties een mogelijk knelpunt kunnen vormen. Omdat dit onderzoek zich richt op de middellange termijn (2030-2040), is er op deze trajecten ook gekeken naar toekomstige infrastructurele projecten. Dit zorgt ervoor dat er bij de opstelling van de knelpunten en maatregelen rekening kan worden gehouden met de toekomstige verkeerssituatie.
- **Stap 2 Knelpuntenanalyse:** Vervolgens is met behulp van de knelpuntenanalyse uit hoofdstuk 6.1, Google Streetview en het zelf rijden van de trajecten, bepaald welke knelpunten er op de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk kunnen optreden als er een truck platoon niveau 4 rijdt tijdens normale verkeersomstandigheden. Hierbij is ervan uitgegaan dat de maatregelen uit het basispakket al geïmplementeerd zijn, welke zijn:
 - Maatregel M.1.a: Weggebruikers worden geïnformeerd/gewaarschuwd voor de aanwezigheid van een truck platoon door middel van een melding in-car of op een smartphone;
 - Maatregel M.1.b: Weggebruikers weten hoe zij hun rijgedrag kunnen aanpassen bij de aanwezigheid van een truck platoon en vrachtwagenchauffeurs zijn opgeleid om te rijden in een truck platoon door campagne/verkeerseducatie;

⁸ Het *Trans-European Transport Network* (TEN-T) is een Europees netwerk, bestaande uit spoorlijnen, wegen, vaarroutes, havens, luchthavens en spoorwegterminals (European Commission, z.d.).

- Maatregel M.1.e: Draadloze signalen blijven behouden in tunnels en bij bruggen;
- Maatregel M.1.f: Een truck platoon wordt gevraagd zijn snelheid, rijstrookkeuze en volgafstand aan te passen op basis van de actuele verkeerssituatie;
- Maatregel M.1.g: Een truck platoon krijgt het advies om te rijden via een andere route of wordt gevraagd zijn platoon te onderbreken.

- **Stap 3 Opstellen mitigerende maatregelen**: Met behulp van het stappenplan uit Hoofdstuk 8 zijn mitigerende maatregelen opgesteld voor de knelpunten.

9.2 A15 Maasvlakte - Ridderkerk

Stap 1: De Rijksweg A15 is een 204 kilometerlange snelweg en loopt van de Maasvlakte via Rotterdam, Gorinchem en Tiel, en sluit bij Bemmelen aan op de A325 (Arnhem – Nijmegen) (Rijkswaterstaat, z.d.). Het traject Maasvlakte – Ridderkerk is 45 kilometer lang en kent de volgende kenmerken:

Traject	Rijstroken	Max. snelheid	Lengte	Bijzonderheden
Havens 8100-9000 (12) Brielle (N57)	2x2	100	17 km	Suurhoffbrug (0,223m)
(12) Brielle (N57) (14) Rozenbrug-Centrum	2x3	100	4 km	Thomassentunnel (1,102 km) Toekomstige aansluiting naar A24
(14) Rozenburg-Centrum (15) Havens 4100-5200	2x2+1 spitsstrook per richting	100 SPITSSTROOK DICT 80 SPITSSTROOK OPEN	3 km	Spitsstrook aan de linkerzijde
(15) Havens 4100-5200 knp. Benelux (A4)	2x3	100	8 km	Botlektunnel (0,539 km)
knp. Benelux (A4) knp. Vaanplein (A29)	2+3+3+2	100	10 km	
knp. Vaanplein (A29) knp. Ridderkerk-Noord (A16, A38)	2+4+4+2	100	3 km	

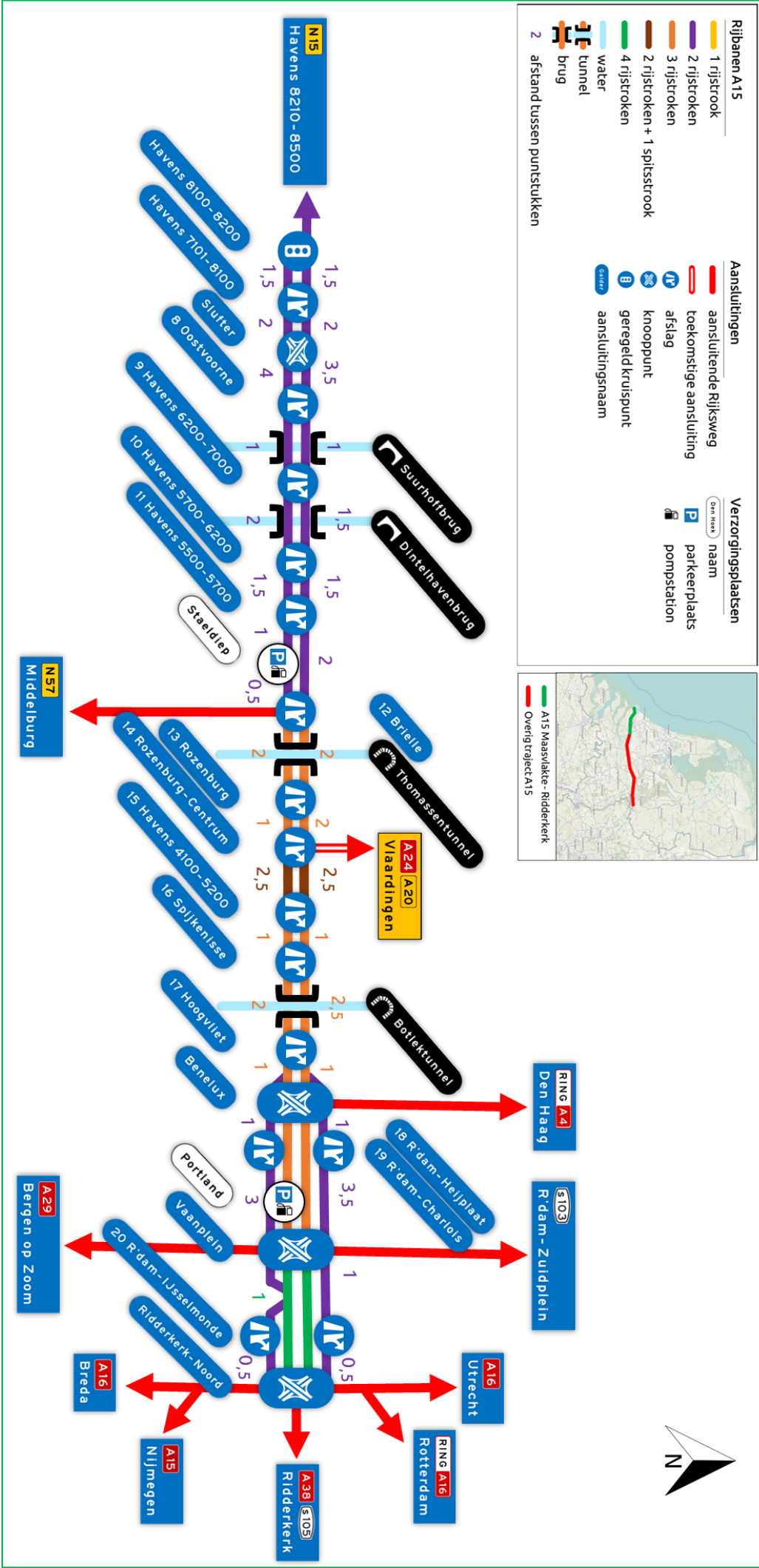
Tabel 9.1: Kenmerken A15 Maasvlakte – Ridderkerk (Rijkswaterstaat, 2021) (Rijkswaterstaat, z.d.) (Rijkswaterstaat, z.d.)

Op het traject A15 Maasvlakte – Ridderkerk staan een aantal infrastructuurprojecten gepland voor het komende decennium:

- **Blankenburgverbinding (A24)**: De Rijksweg A24 vormt een nieuwe verbinding tussen de A15 bij Rozenburg en A20 bij Vlaardingen. De nieuwe snelweg moet in 2024 gereed zijn (Blankenburgverbinding, z.d.);
- **Vervanging Suurhoffbrug**: De Suurhoffbrug is aan het einde van haar levensduur. Vanaf het najaar van 2021 komt er een tijdelijke brug om de belasting van het verkeer te verspreiden, waarna in de toekomst de gehele brug wordt vervangen door een nieuwe oeververbinding (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.).

In figuur 9.2 is een schematisch overzicht gegeven van de A15 tussen de Maasvlakte en Ridderkerk.

A15 MAASVLAKTE - RIDDERKERK



Figuur 9.2: Schematisch overzicht A15 Maasvlakte – Ridderkerk (OpenStreetMap, 2021) (eigen bewerking)

Stap 2 & 3: route Maasvlakte (West) → Ridderkerk (Oost)

Op de route vanaf de aansluiting Maasvlakte Havens 8100-8200 naar knooppunt Ridderkerk-Noord, treden de volgende knelpunten op en zijn hierop de volgende maatregelen toe te passen:

Locatie	Knelpunt	Maatregel
1) traject (8) Oostvoorne → (9) Havens 6200-7000	S-bocht, Wegversmalling, Géén vluchtstrook, Adviesnelheid van 80 km/u en brug (Suurhoffbrug) → Door het krappere wegontwerp is er bij kritische situaties weinig ruimte voor koerscorrecties. Daarbij is het snelheidsverschil tussen de platoon en invoegend verkeer vanuit (8) Oostvoorne laag, waardoor men in conflict kan raken bij het invoegen.	M.1.c Doseerlichten → Het knelpunt komt voor in een omgeving zonder aangrenzende knelpunten. Het instellen van doseerlichten op de toerit van (8) Oostvoorne kan ervoor zorgen dat verkeer niet in conflict raakt met een truck platoon, zonder dat er hiervoor infrastructurele maatregelen nodig zijn. Knelpuntvrij-ontwerp nieuwe oeververbinding → Voor de nieuwe oeververbinding wordt geadviseerd om deze knelpuntvrij te ontwerpen. Dit kan worden gedaan door in de ontwerpfase ermee rekening te houden dat in- en uitvoegstroken zo zijn ontworpen dat weggebruikers de ruimte krijgen om te weven met de truck platoon.
2) Staeldiep → (12) Brielle	450 m-weefvak → Invoegend verkeer vanuit verzorgingsplaats Staeldiep raakt in conflict met de platoon en/of wevend verkeer naar de N57, richting Middelburg/North Sea Port (Vlissingen-Terneuzen-Gent).	M.1.c Doseerlichten → Er vinden 3 aangrenzende knelpunten plaats binnen een afstand van 4,5 km. Omdat de aard van deze knelpunten ligt bij het in- en uitvoegen van verkeer, kan het plaatsen van doseerlichten bij de toeritten van verzorgingsplaats Staeldiep, (12) Brielle en (13) Rozenburg ervoor zorgen dat verkeer niet in conflict raakt met een truck platoon.
3) Thomassentunnel	Weven voor/in de tunnel → Invoegstrook van (12) Brielle verandert in de nieuwe rechterrijstrook. Dit tot gevolg dat het platoon en ander verkeer wisselen van rijbaan bij de ingang van of in de tunnel.	
4) traject (13) Rozenburg → knp. Rozenburg	650 m-weefvak → Invoegend verkeer vanuit (13) Rozenburg raakt in conflict met de platoon en/of wevend verkeer naar de A24.	
5) traject knp. Benelux → knp. Vaanplein, parallelbaan	7 aansluitingen & 4 veranderingen van de rijstrookconfiguratie binnen afstand van 7 km → Door de hoge dichtheid van aansluitingen en verandering van de rijstrookconfiguratie, vindt er veel turbulentie plaats tussen verkeer. Met een truck platoon kunnen er snelheidsverschillen ontstaan, met risico op conflicten.	M.1.g Intelligente toegang → De parallelbaan van de RING A15 is bedoeld voor bestemmingsverkeer. Doordat vrachtverkeer hier verschillende bestemmingen kan hebben en er vaak geweeft moet worden door de veranderende rijstrookconfiguratie, zullen niet-infra maatregelen, een dynamische of vaste rijstrook weinig oplossingen bieden. Er wordt daarom geadviseerd om op de parallelbaan de truck platoon te onderbreken.

Tabel 9.3: Knelpunten en maatregelen route A15 Maasvlakte (West) → Ridderkerk (Oost)

Stap 2 & 3: route Ridderkerk (Oost) → Maasvlakte (West)

Op de route vanaf knooppunt Ridderkerk-Noord naar de aansluiting Maasvlakte Havens 8100-8200, treden de volgende knelpunten op en zijn hierop de volgende maatregelen toe te passen:

Locatie	Knelpunt	Maatregel
6) traject knp. Ridderkerk → knp. Vaanplein, parallelbaan	3 aansluitingen + veranderende rijbaanconfiguratie in 1,5 km → Door de hoge dichtheid van aansluitingen en verandering van de rijstrookconfiguratie, vindt er veel turbulentie plaats tussen verkeer. Met een truck platoon kunnen er snelheidsverschillen ontstaan, met risico op conflicten.	M.1.g Intelligente toegang → De parallelbaan van de RING A15 is bedoeld voor bestemmingsverkeer. Doordat vrachtverkeer hier verschillende bestemmingen kan hebben en er vaak geweefd moet worden door de veranderende rijstrookconfiguratie, zullen niet-infra maatregelen of een dynamische of vaste rijstrook weinig oplossingen bieden. Er wordt daarom geadviseerd om op de parallelbaan de truck platoon te onderbreken.
7) traject knp. Vaanplein → knp. Benelux, parallelbaan	9 aansluitingen & 5 veranderingen van de rijstrookconfiguratie binnen afstand van 7,5 km → Door de hoge dichtheid van aansluitingen en verandering van de rijstrookconfiguratie, vindt er veel turbulentie plaats tussen verkeer. Met een truck platoon kunnen er snelheidsverschillen ontstaan, met risico op conflicten.	M.1.g Intelligente toegang → De parallelbaan van de RING A15 is bedoeld voor bestemmingsverkeer. Doordat vrachtverkeer hier verschillende bestemmingen kan hebben en er vaak geweefd moet worden door de veranderende rijstrookconfiguratie, zullen niet-infra maatregelen of een dynamische of vaste rijstrook weinig oplossingen bieden. Er wordt daarom geadviseerd om op de parallelbaan de truck platoon te onderbreken.
8) traject knp. Rozenburg (A24) → (13) Rozenburg	Weefvak van 1 km + bocht met snelheidsadvies van 80 km/u → Invoegend verkeer vanuit A24 raakt in conflict met de platoon en/of wevend verkeer naar afrit (13) Rozenburg.	M.1.g Intelligente toegang → Er vinden 2 aangrenzende knelpunten plaats binnen een afstand van 2,5 km. Daarbij vindt er voor/in de tunnel weving plaats tussen verkeer van en naar de A15, A24 en N57. Door de beperkte ruimte en aanwezigheid van een tunnel is het niet mogelijk om de infrastructuur uit te breiden. Het advies is dan ook om op dit traject de truck platoon te onderbreken.
9) traject Thomassentunnel → (13) Brielle (N57)	Rechterrijstrook verandert in uitvoegstrook met splitsing na de tunnel → Truck platoon en overig verkeer moet verplaatsen naar een andere rijstrook om op de A15 te blijven rijden. Het weven vindt plaats bij de ingang en in de tunnel, met risico tot conflicten.	
10) (10) Havens 5700 – 6200, oprit	Invoegstrook + S-bocht + snelheidsadvies van 80 km/u → Doordat de invoegstrook in een bocht ligt en het snelheidsverschil lager is door het snelheidsadvies, verkleinen de invoegmogelijkheden. Invoegend verkeer kan in conflict raken met de platoon.	M.1.c Doseerlichten → Het knelpunt komt voor in een omgeving zonder aangrenzende knelpunten. Het instellen van doseerlichten op de toerit van (10) Havens 5700-6200 kan ervoor zorgen dat verkeer niet in conflict raakt met een truck platoon, zonder dat er hiervoor infrastructurele maatregelen nodig zijn.
11) traject (9) Havens 6200-7000 → (8) Oostvoorne	S-bocht, Wegversmalling, Géén vluchtstrook, Adviesnelheid van 70 km/u en brug (Suurhoffbrug) → Door het krappere wegontwerp is er bij kritische situaties weinig ruimte voor koerscorrecties. Daarbij is het snelheidsverschil tussen de platoon en andere weggebruikers lager, waardoor weggebruikers mogelijk hinder ondervinden bij invoegen vanaf (9) Havens 6200-7000.	M.1.c Doseerlichten → Het knelpunt komt voor in een omgeving zonder aangrenzende knelpunten. Het instellen van doseerlichten op de toerit van (9) Havens 6200-7000 kan ervoor zorgen dat verkeer niet in conflict raakt met een truck platoon, zonder dat er hiervoor infrastructurele maatregelen nodig zijn. Knelpuntvrij-ontwerp nieuwe oeververbinding → Zie maatregel 1)

Tabel 9.4: Knelpunten en maatregelen route A15 Ridderkerk (Oost) → Maasvlakte (West)

1) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

2) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

3) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

4) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

5) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

6) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

7) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

8) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

9) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)

10) ~~Vaanplein~~ → ~~Vaanplein~~ (parallelbaan)



9.3 A16 Ridderkerk - Hazeldonk

Stap 1: De Rijksweg A16/E19 is een 58 kilometerlange snelweg en loopt van Rotterdam via Dordrecht en Breda naar de Belgische grens bij Hazeldonk (Rijkswaterstaat, z.d.). Het traject Ridderkerk – Hazeldonk (Belgische grens) is 47 kilometer lang en kent de volgende kenmerken:

Traject	Rijstroken	Max. snelheid	Lengte	Bijzonderheden
knp. Ridderkerk-Noord (A15, A38) knp. Ridderkerk-Zuid (A15)	4x4	100	2 km	-
knp. Ridderkerk-Zuid (A15) (22) Zwijndrecht	2x4	100	5 km	-
(22) Zwijndrecht (21) Dordrecht-Centrum	4x2	100	3 km	Drechtunnel (0,823 km) Hoofdrijbaan afgesloten voor vrachtverkeer
(21) Dordrecht-Centrum (20) Dordrecht (N3)	2x3	100	3 km	-
(20) Dordrecht (N3) Moerdijkbrug	2x3 + 1 parallelstrook in zuidelijke richting	100 ⁶⁻¹⁹ 120 ¹⁹⁻⁶	5 km	-
Moerdijkbrug knp. Galder (A58)	2x3	100 ⁶⁻¹⁹ 130 ¹⁹⁻⁶	25 km	Moerdijkbrug (1,040 km)
knp. Galder (A58) Hazeldonk/Belgische grens	2x2	100 ⁶⁻¹⁹ 130 ¹⁹⁻⁶	4 km	-

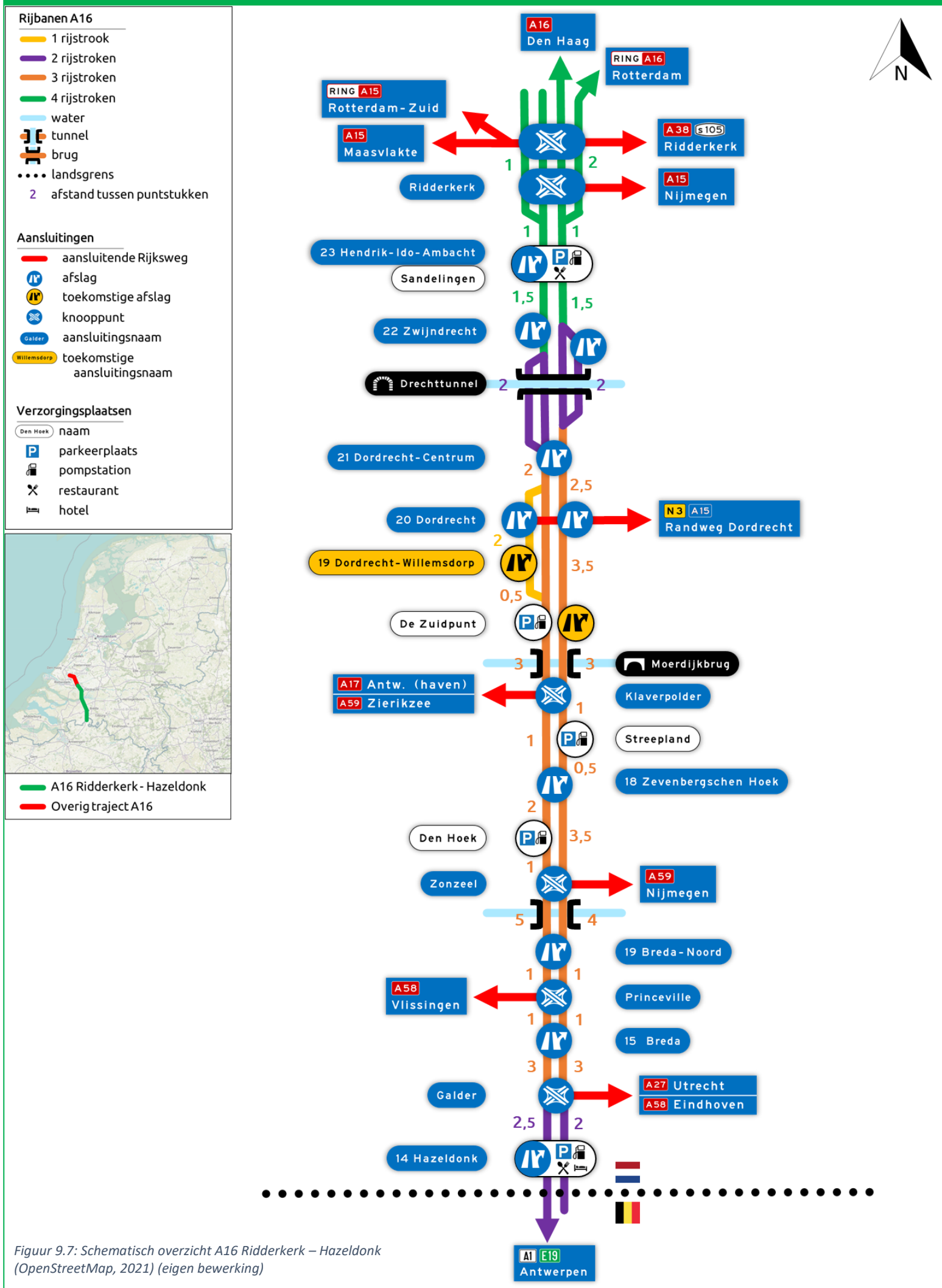
Tabel 9.6: Kenmerken A16 Ridderkerk – Hazeldonk (Rijkswaterstaat, 2021) (Rijkswaterstaat, z.d.)

Op het traject A16 Ridderkerk – Hazeldonk staan een aantal infrastructuurprojecten gepland voor het komende decennium:

- **Aansluitingen rondom Dordrecht:** Om de bereikbaarheid van/naar de Drechtsteden te verbeteren is tussen 2019 en 2020 de aansluiting met de N3 en A16 (afslag 20 Dordrecht) aangepast en een parallelrijbaan in zuidelijke richting aangelegd. Vanaf 2021 wordt ook in beide richtingen een nieuwe aansluiting geopend naar het bedrijfsterrein Dordtse Kil IV (afslag 19 Dordrecht-Willemsdorp) (Boskalis, z.d.);
- **Knooppunt Galder:** Om de doorstroming te verbeteren wordt in de toekomst de A58 tussen het knooppunt Galder en Eindhoven verbreed. Hiervoor zal ook knooppunt Galder worden aangepast (Rijkswaterstaat, z.d.).

In figuur 9.7 is een schematisch overzicht gegeven van de A16 tussen Ridderkerk en Hazeldonk.

A16 RIDDERKERK - HAZELDONK



Stap 2/3: route Hazeldonk (Zuid) → Ridderkerk (Noord)

Op de route vanaf Hazeldonk (Belgische grens) naar knooppunt Ridderkerk-Noord, treden de volgende knelpunten op en zijn hierop de volgende maatregelen toe te passen:

Locatie	Knelpunt	Maatregel
1) knp. Galder, samenvoeging A16 met A58	Tapersamenvoeging → Invoeger op de taper kan niet naar de hoofdrijbaan, wegens de aanwezigheid van een platoon, en naar de rechterinvoegstrook, wegens de aanwezigheid van verkeer. Daarbij bestaat vanuit de A58 ongeveer 20% van het verkeer uit vrachtverkeer, afkomstig uit het Ruhrgebied (Pater, Visser, & Knibbe, 2015), waardoor de invoegmogelijkheden nog meer verkleind worden en de kans groter wordt dat men in conflict raakt met de platoon of ander verkeer.	M.2.d Ombouw taper → Het knelpunt vindt plaats in een omgeving zonder aangrenzende knelpunten. Omdat er relatief veel (vracht)verkeer vanuit de A58 komt, zal het afkruisen van de taper (M.1.d) ertoe kunnen leiden dat de invoegstrook overbelast raakt, met gevolg tot congestie op de A58 en conflicten verderop de invoegstrook. Het advies is daarom om de taper om te bouwen naar volwaardige invoegstrook, zodat invoegend verkeer meer ruimte krijgt om in te voegen.
2) (17) Breda-Noord, oprit naar A16	Verkleinde invoegmogelijkheden → 'Groepen' verkeer vanuit de Noordelijke Rondweg (regionale functie) rijdt de A16 op en raakt in conflict met de platoon tijdens het invoegen.	M.1.c Afstelling iVRI → Het kruispunt op (17) Breda-Noord is voorzien van een iVRI (Siemens Mobility B.V., 2021). De afstelling van de iVRI, waarbij er langer rood wordt gegeven wanneer een platoon voorbij komt rijden, zorgt ervoor dat invoegend verkeer niet in conflict raakt met de platoon, zonder dat hiervoor infrastructurele maatregelen nodig zijn.
3) traject (18) Zevenbergschen Hoek → knp. Klaverpolder	500 m-weefvak → Invoegend verkeer vanuit (18) Zevenbergschen Hoek raakt in conflict met de platoon en/of wevend verkeer naar verzorgingsplaats Streepland	M.1.c Doseerlichten → Het instellen van doseerlichten op de toerit van (18) Zevenbergschen Hoek en verzorgingsplaats Streepland kan ervoor zorgen dat verkeer niet in conflict raakt met een truck platoon, zonder dat er hiervoor infrastructurele maatregelen nodig zijn.
	750 m-weefvak → Invoegend verkeer vanuit verzorgingsplaats Streepland raakt in conflict met de platoon en/of wevend verkeer naar de A17, richting de haven van Moerdijk.	
4) knp. Klaverpolder, samenvoeging A16 met A17	Verkleinde invoegmogelijkheden → Er komt veel vrachtverkeer vanuit A17, o.a. afkomstig uit de havens van Moerdijk en Antwerpen, met gevolg dat invoegend vrachtverkeer in conflict raakt met de platoon.	M.2.a Verlengen invoegstrook → Door de invoegstrook vanuit de A17 te verlengen, wordt invoegend verkeer meer ruimte gegeven om voor of achter de platoon te voegen op de hoofdrijbaan.
5) traject (21) Dordrecht-Centrum → Drechtunnel	Tapersamenvoeging + Turbulentie → De platoon moet naar parallelrijbaan verplaatsen, omdat de hoofdrijbaan gesloten is voor vrachtverkeer. Tegelijkertijd wordt er ook nog geweeft met verkeer vanuit de oprit (21) Dordrecht-Centrum en A16 naar de hoofd- en parallelrijbaan. Deze turbulentie kan leiden tot een conflict tussen de platoon en andere weggebruikers.	M.1.c Afstelling iVRI → Het kruispunt op (21) Dordrecht-Centrum is voorzien van een VRI. De ombouw naar en het afstellen van de iVRI (Siemens Mobility B.V., 2021), waarbij er langer rood wordt gegeven wanneer een platoon voorbij komt rijden, zorgt ervoor dat invoegend verkeer niet in conflict raakt met de platoon, zonder dat hiervoor infrastructurele maatregelen nodig zijn.

Tabel 9.8: Knelpunten en maatregelen route A16 Hazeldonk (Zuid) → Ridderkerk (Noord)

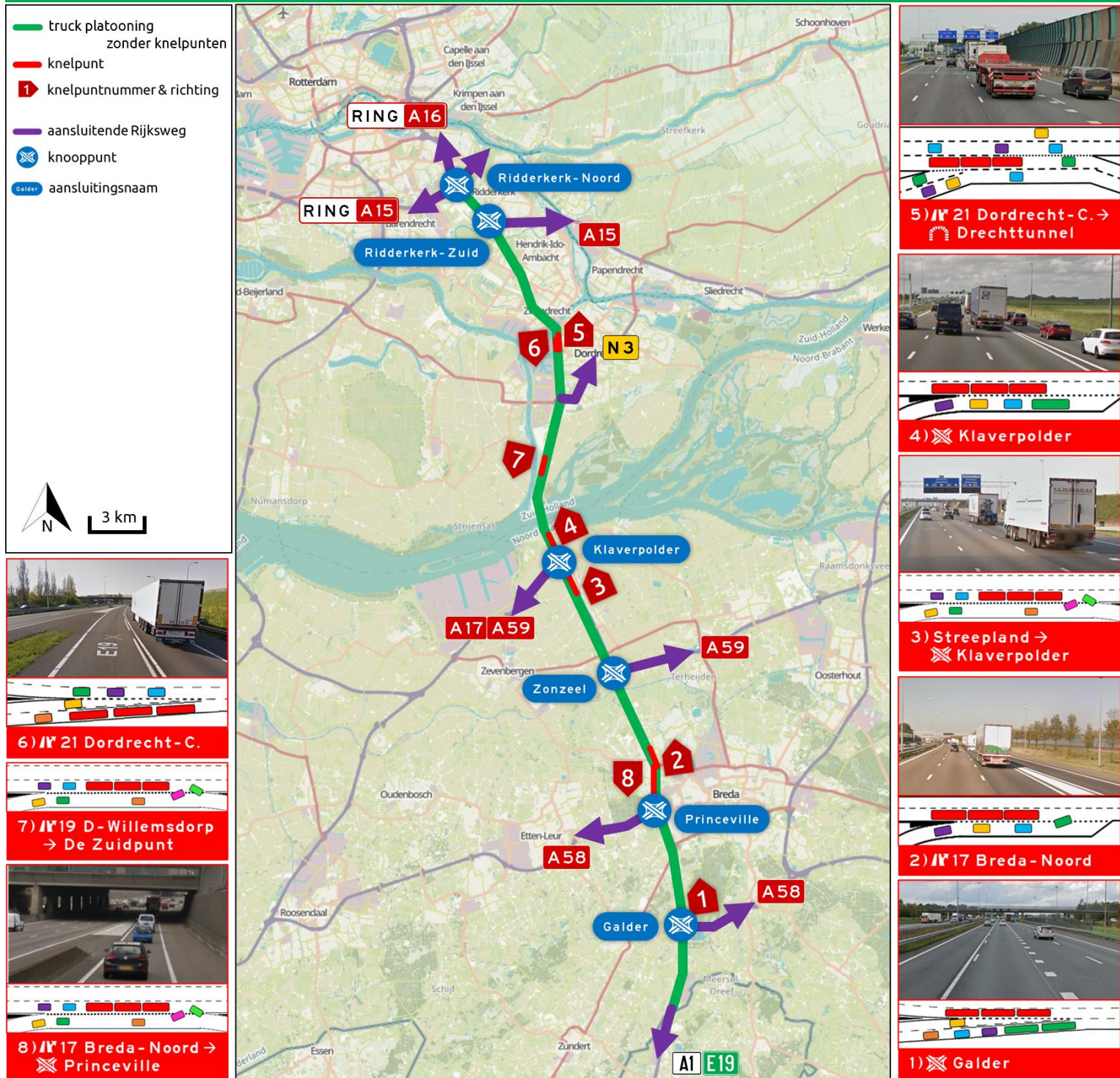
Stap 2/3: Ridderkerk (Noord) → Hazeldonk (Zuid)

Op de route vanaf knooppunt Ridderkerk-Noord naar Hazeldonk (Belgische grens), treden de volgende knelpunten op en zijn hierop de volgende maatregelen toe te passen:

Locatie	Knelpunt	Oplossing
6) (21) Dordrecht-Centrum, toerit en samenvoeging hoofd- en parallelbaan	350m-Invoegstrook zonder vluchtstrook → Invoegend verkeer vanuit (21) Dordrecht-Centrum raakt in conflict met de platoon en heeft géén mogelijkheid om af te wijken naar de vluchtstrook.	M.1.g Intelligente toegang → Op deze locatie zijn er 2 verschillende knelpunten binnen 1 km. Hierbij zal het afkruisen van de tapersamenvoeging niet mogelijk zijn, omdat de invoeger mogelijk overbelast kan raken. Het verlengen van de invoegstrook en/of ombouwen van de tapersamenvoeging naar een volwaardige invoegstrook is ook niet mogelijk, door de nabije aanwezigheid van een talud en parallelbaan. Daarom wordt geadviseerd om rondom (21) Dordrecht-Centrum de truck platoon te onderbreken.
	Tapersamenvoeging → Invoeger op de taper kan niet naar de hoofdrijbaan, wegens de aanwezigheid verkeer, en naar de rechterinvoegstrook, wegens de aanwezigheid van een truck platoon. Dit kan ertoe leiden dat de invoeger in conflict raakt met de platoon of andere weggebruikers.	
7) traject (19) Dordrecht-Willemsdorp → De Zuidpunt	500 m-weefvak → Turbulentie tussen invoegend verkeer vanuit Dordrecht en uitvoegend verkeer naar verzorgingsplaats De Zuidpunt. Het weefvak is relatief kort, wat ertoe kan leiden dat in- en uitvoegend verkeer kan conflicteren bij de aanwezigheid van een truck platoon op de rechterrijstrook van de hoofdrijbaan.	M.1.c Doseerlichten → Het knelpunt op het traject (19) Dordrecht-Willemsdorp komt voor in een omgeving zonder aangrenzende knelpunten. Het instellen van doseerlichten op de samenvoeging van de parallelbaan afkomstig van Dordrecht-Willemsdorp, kan ervoor zorgen dat verkeer niet in conflict raakt met een truck platoon, zonder dat er hiervoor infrastructurele maatregelen voor nodig zijn.
8) traject (17) Breda-Noord → knp. Princeville	1,2 km weefvak → Turbulentie tussen wevend verkeer vanuit (17) Breda-Noord, Noordelijke Rondweg (regionale functie), en verkeer naar de A58 met gevolg dat weggebruikers met de platoon in conflict raken.	M.1.c Afstelling iVRI → Het kruispunt op (17) Breda-Noord is voorzien van een iVRI (Siemens Mobility B.V., 2021). Het afstellen van de iVRI, waarbij er langer rood wordt gegeven wanneer een platoon voorbij komt rijden, zorgt ervoor dat invoegend verkeer niet in conflict raakt met de platoon, zonder dat hiervoor infrastructurele maatregelen nodig zijn. Daarnaast krijgt uitvoegend verkeer, meer ruimte om naar de A58 te voegen.

Tabel 9.9: Knelpunten en maatregelen route A16 Ridderkerk (Noord) → Hazeldonk (Zuid)

KNELPUNTEN TRUCK PLATOONING A16 RIDDERKERK - HAZELDONK



Figuur 9.10: Kaart overzicht knelpunten truck platooning op de A16 Ridderkerk – Hazeldonk (OpenStreetMap, 2021) (Google StreetView, 2020) (eigen bewerking)

9.4 Deelconclusie

Op basis van de knelpuntenanalyse en opstelling van de mitigerende maatregelen op de A15 en A16, kan de volgende deelvraag worden beantwoord:

Deelvraag 8: *"Kan het maatregelpakket worden toegepast op een transportroute en welke uitkomsten levert dit op om truck platooning verkeersveilig te faciliteren op deze route?"*

De toepassing van het maatregelpakket laat zien dat het grotendeels mogelijk is om, met maatregelen die géén aanpassingen aan de infrastructuur vereisen, truck platooning verkeersveilig te faciliteren op de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk. Echter moet er nog wel onderzocht worden welk effect de maatregelen hebben op doorstroming, kosten en verkeersveiligheid. Op deze wijze kan worden onderbouwd of een maatregel na implementatie daadwerkelijk de verkeerssituatie verbetert, financieel rendabel is en/of er géén ongewenste neveneffecten ontstaan op een specifieke locatie.

Hoofdstuk 10.0 - Conclusie

CONCLUSIE & 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.



10.1 Conclusie

In dit onderzoek luidt de hoofdvraag:

“Welke knelpunten levert het rijden in een truck platoon niveau 4 op autosnelwegen op en welke maatregelen kunnen deze gekoppelde veiligheidsrisico's mitigeren op een wijze die zo min mogelijk aanpassingen aan de infrastructuur vereisen?”

De volgende verwachte knelpunten met gekoppelde veiligheidsrisico's kunnen optreden wanneer er op de middellange termijn (2030-2040) een truck platoon niveau 4 op autosnelwegen komt te rijden, tijdens normale verkeers- en weersomstandigheden:

- **Verkleinde in- en uitvoegmogelijkheden:** Doordat een truck platoon met volgfstanden van 0,3 tot 0,8 seconden rijdt, wordt het voor in- en uitvoegend verkeer moeilijker om de snelweg op of af te rijden als er een truck platoon op de rechterrijstrook van de hoofdrijbaan rijdt. Bij het naderen van een afrit, kan een weggebruiker anticiperen door achter de truck platoon te rijden en zullen er ook géén grote veiligheidsrisico's plaatsvinden. Echter zijn er voor invoegend verkeer wel grote veiligheidsrisico's, omdat zij maar een bepaalde afstand hebben om in te voegen op de hoofdrijbaan (tot het einde van de invoegstrook). Bij de aanwezigheid van een truck platoon op de hoofdrijbaan kan dit ertoe leiden dat een weggebruiker géén geschikt hiaat vindt om in te voegen, waardoor deze in conflict raakt met de truck platoon of andere weggebruikers.
- **Turbulentie tussen de truck platoon en andere weggebruikers:** Bij splitsingen en samenvoegingen van snelwegen en op weefvakken vindt er turbulentie plaats tussen verkeer. Zo kan het zijn dat een truck platoon of andere weggebruikers van rijbaan willen wisselen, waardoor er snelheidsverschillen kunnen ontstaan. Andere weggebruikers moeten hierdoor mogelijk op de rem, met het risico dat men in botsing raakt met de truck platoon of andere weggebruikers.
- **Systeem komt buiten het *Operational Design Domain* (ODD):** Het kan voorkomen dat het truck platoon-systeem in onverwachte situaties en/of in tunnels en op bruggen niet kan functioneren en vraagt om een stuurovername. Als een chauffeur niet mentaal en technisch in staat is om binnen een bepaalde tijdspanne in te grijpen, kan een truck platoon in botsing raken met obstakels of andere voertuigen.

Deze knelpunten en de daaraan gekoppelde veiligheidsrisico's zijn grotendeels te mitigeren met behulp van een vijftal basismaatregelen, die truck platooning verkeersveilig kunnen faciliteren zonder dat er kostbare aanpassingen nodig zijn aan de infrastructuur. De basismaatregelen betreffen:

- **Waarschuwen/informereren weggebruiker via melding (M.1.a):** Een weggebruiker ontvangt een melding in-car of op zijn smartphone over de nabije aanwezigheid van een truck platoon, zodat men zich kan anticiperen en zijn rijgedrag aanpassen.
- **Campagne/verkeerseducatie (M.1.b):** Via een online en fysieke campagne en/of verkeerseducatie wordt weggebruikers geleerd hoe zij zich moeten gedragen wanneer er een truck platoon op de weg rijdt. Vrachtwagenchauffeurs worden opgeleid om te rijden in een truck platoon, zodat ze tijdig en correct kunnen handelen bij een stuurovername.
- **Installatie landmarks bij tunnels en bruggen (M.1.e):** Landmarks maken het mogelijk dat GPS- en DSRC-signalen ook te ontvangen zijn in tunnels/niet verstoren bij bruggen en dat de truck platoon intact kan blijven.
- **Aanpassing truck platoon (M.1.f):** Een truck platoon wordt gevraagd zijn snelheid, rijstrookkeuze en volgafstand aan te passen op basis van de actuele verkeerssituatie, zodat weggebruikers de ruimte krijgen om in en uit te voegen op de hoofdrijbaan.
- **Intelligente toegang (M.1.g):** Een truck platoon krijgt het advies om te rijden via een andere route of wordt gevraagd zijn platoon te onderbreken.

Echter kunnen er dan altijd nog situaties ontstaan waarbij een truck platoon een veiligheidsrisico vormt en waarvoor aanvullende maatregelen nodig zijn. De implementatie van deze maatregelen kan worden herleid door het volgen van een stappenplan, waaruit de volgende aanvullende maatregelen kunnen worden genomen:

- **Aanvullende niet-inframaatregelen (M.1):** Verkeer wordt bij een toerit of geregeld kruispunt door verkeerslichten tegengehouden als er in de nabijheid een platoon op de hoofdrijbaan rijdt (*M.1.c Doseerlichten/afstelling iVRI's bij aansluitingen*) of een taperinvoeger wordt afgesloten (*M.1.d Afkruising taperinvoeger*).
- **Maatwerk-inframaatregelen (M.2):** Indien digitale maatregelen géén oplossing bieden, kunnen er kleine aanpassingen aan de infrastructuur worden uitgevoerd die ervoor zorgen dat invoegend verkeer meer ruimte krijgt om in te voegen of dat de truck platoon intact kan worden gehouden. Dit betreffen *Verlengen invoegstroken (M.2.a)*, *Ombouw tapersamenvoegingen (M.2.b)* en *Verbreiden spitsstroken naar een minimale breedte van 2,80m (M.2.c)*.
- **Dynamische doelgroepstrook (M.3):** Op trajecten waar veel knelpunten en veiligheidsrisico's zijn, kan een rijstrook (dynamisch) worden afgesloten voor het overige verkeer totdat de truck platoon een specifiek punt voorbij is, waarna de rijstrook weer volledig opengaat. Het verkeer wordt op deze wijze gehomogeniseerd, waarbij het géén hinder ondervindt van de truck platoon bij invoegen naar de hoofdrijbaan.

- **Vaste doelgroepstrook (M.4):** Op drukke trajecten met veel aansluitingen en knelpunten kan er ook worden gekozen om een aparte permanente rijstrook aan te leggen voor truck platoons. Het verkeer wordt op deze wijze gehomogeniseerd, waarbij het géén hinder ondervindt van de truck platoon bij invoegen naar de hoofdrijbaan.

De bovenstaande conclusie is gebaseerd op de beantwoording van onderstaande deelvragen:

Het Voertuig

Deelvraag 1: *“Hoe ziet de werking en ontwikkeling van truck platooning eruit?”*

Truck platooning wordt grotendeels mogelijk gemaakt met behulp van het rijhulpsysteem *Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC)*, waarbij het voertuig door middel van Radar- en LiDAR-technologie en communicatie met andere voertuigen en infrastructuur, de snelheid en volgafstand zelfstandig bepaalt. Op deze wijze kunnen meerdere vrachtauto's digitaal aan elkaar koppelen, waarbij het leidende voertuig de snelheid en route van de colonne bepaalt en chauffeurs in de volgende vrachtauto's géén rijstaken hoeven uit te voeren. Het koppelen van de vrachtauto's kan plaatsvinden 'on-the-fly-match' en op bestaande planning. De Europese organisaties TNO, ENSEMBLE en ACEA, die betrokken zijn bij de ontwikkeling en standaardisatie van specificaties voor truck platooning, verwachten tussen 2020 en 2030 de introductie van truck platooning niveau 2/3 op het Europese wegennet en na 2030 een bredere commerciële uitrol en ontwikkeling naar niveau 4/5.

De Infrastructuur

Deelvraag 2: *“Welke wegelementen en -configuraties zijn er op het Nederlandse autosnelwegennet en hoe reageren truck platoon-systemen hierop?”*

Het dwarsprofiel van een (stads)autosnelweg is opgebouwd uit een rijstrook, redresseerstrook, markering, vluchtstrook, berm, vluchtruimte en obstakelvrije zone. In Nederland zijn er variaties mogelijk van invoegingen, uitvoegingen, samenvoegingen, splitsingen, spitsstroken en weefvakken, waarvan een overzicht is gegeven in bijlage 2. Op dit moment ondervinden rijhulpsystemen, die gebruik maken van informatie uit sensoren en markeringen, problemen bij afritten, horizontale boogstralen, spitsstroken (smaller dan 2,80 m), markeringen en tunnels. Mogelijk verdwijnen deze knelpunten (gedeeltelijk) op termijn, als rijstrookconfiguraties, (advies)snelheden en verkeersregels worden opgenomen in digitale kaarten.

De Bestuurder

Deelvraag 3: *“Welke risico's voor bestuurder en overige verkeersdeelnemers zijn verbonden aan truck platooning?”*

Er treden veiligheidsrisico's op in situaties wanneer het truck platoon-systeem in een situatie komt die buiten het *Operational Design Domain (ODD)* valt. Er is dan (te) weinig tijd beschikbaar voor Transfer of Control (ToC): de chauffeur kan niet tijdig handelen en het voertuig komt daardoor mogelijk in botsing met andere voertuigen of obstakels. Ook treden er veiligheidsrisico's op als overige weggebruikers willen in- of uitvoegen tussen een truck platoon. Doordat een platoon met korte volgafstanden rijdt, worden de in- en uitvoegmogelijkheden verkleind, met het gevolg dat overige weggebruikers ongewenst verkeersgedrag tonen of in conflict raken met de platoon.

Data

Deelvraag 4: *“Welke data kunnen een truck platoon en wegbeheerder met elkaar uitwisselen voor het rijden in een truck platoon?”*

Een wegbeheerder kan advies en informatie zenden naar een truck platoon over:

- (Advies)snelheid
- Volgafstand
- Rijstrookconfiguratie
- Het wel of niet rijden in een platoon
- Adviesroutes
- Prioriteit bij VRI's

Een platoon kan een wegbeheerder en weggebruikers laten weten waar ze rijden, waarmee weggebruikers gewaarschuwd kunnen worden of dat verkeer bij geregelde kruispunten wordt tegengehouden.

Scope & Knelpunten

Deelvraag 5: *“Welke uitgangspunten met bijbehorende knelpunten vormen de scope voor het ontwikkelen van infrastructurele maatregelen?”*

In de ontwerp- en toepassingsfase is uitgegaan van een scope die uit de volgende uitgangspunten bestaat:

- Automatiseringsniveau 4;
- Een voertuigsamenstelling van 3 tot 4 voertuigen;
- Een scenario waarbij er wordt gereden met volgafstanden van 0,3 – 0,8 seconden en gewenst wordt om de platoon intact te houden;
- De colonne zijn informatie haalt uit sensoren en V2X-communicatie;
- Het koppelingsproces plaatsvindt op basis van planning en 'on-the-fly-match';
- Een penetratiegraad van 10 – 40%;
- Toepassing op de Nederlandse autosnelwegen beheerd door Rijkswaterstaat;
- Er tijdens normale verkeersomstandigheden gereden wordt;
- Er tijdens stabiele weersomstandigheden (overdag en droog) gereden wordt.

Op basis van deze uitgangspunten, de uitkomsten uit het theoretisch kader (deelvragen 1 t/m 4) en de uitkomsten uit een kennissessie met verschillende experts is er een knelpuntenanalyse opgesteld op basis van het subjectief veiligheidsrisico. Hierin gelden er:

- Grote veiligheidsrisico's bij:
 - Invoegstroken;
 - In- en uitvoegstroken met een lengte korter dan 200m;
 - Weefvakken;
 - Samenvoegingen met rijstrookbeëindiging voor het convergentiepunt;
 - Tapersamenvoegingen;
 - Wegdek;
 - Bruggen;
 - Tunnels.
- Gemiddelde veiligheidsrisico's bij:
 - Weefvakken waar twee platoons elkaar kruisen;
 - Splitsingen.

- Kleine veiligheidsrisico's bij:
 - Uitvoegstroken;
 - Standaard (zuivere) samenvoegingen;
 - Tapersamenvoegingen;
 - Spitsstroken.

Maatregelen

Deelvraag 6: *"Welke maatregelen kunnen worden genomen om veiligheidsrisico's ten aanzien van de knelpunten te verkleinen?"*

Om de knelpunten die truck platooning met zich meebrengt aan te pakken zijn de volgende maatregelen mogelijk, onderverdeeld in de volgende pakketten:

- **M.1 Niet-infrapakket:** Maatregelen die géén aanpassing aan de infrastructuur vereisen.
 - a. Waarschuwen/informereren weggebruiker via melding;
 - b. Campagne/verkeerseducatie;
 - c. Doseerlichten/afstelling iVRI;
 - d. Afkruisen taper-invoeger;
 - e. Installatie landmarks bij tunnels en bruggen;
 - f. Aanpassing truck platoon;
 - g. Intelligente toegang.
- **M.2 Maatwerk-infrapakket:** Maatregelen die op bepaalde locaties kleine aanpassingen aan de infrastructuur vereisen en/of efficiënt gebruik maken van de beschikbare ruimte.
 - a. Verlengen invoegstroken;
 - b. Ombouw tapersamenvoegingen;
 - c. Verbreden spitsstroken naar een minimale breedte van 2,80 m.
- **M.3 Dynamische doelgroepstrook:** Tijdelijke afsluiting van een rijstrook voor het verkeer met uitzondering van de truck platoon.
 - a. Dynamische rechterrijstrook;
 - b. Dynamische linkerrijstrook.
- **M.4 Vaste doelgroepstrook:** Aparte rijstrook welke alleen toegankelijk is voor een truck platoon.
 - a. Doelgroepstrook aan de buitenzijde van de hoofdrijbaan;
 - b. Doelgroepstrook aan de binnenzijde van de hoofdrijbaan.

Waar en Wanneer

Deelvraag 7: *"Waar en wanneer zouden de maatregelen voor truck platooning geïmplementeerd kunnen worden?"*

De basismaatregelen zullen altijd nodig zijn om een truck platooning veilig te laten rijden op de snelweg en vereisen weinig tot géén aanpassingen aan de fysieke infrastructuur. De maatregelen *Waarschuwen/informereren weggebruiker via melding (M.1.a)* en *Campagne/verkeerseducatie (M.1.b)* kunnen in alle situaties worden toegepast, waarbij ze

ervoor zorgen dat weggebruikers kunnen/leren anticiperen op de interactie met een truck platoon. De maatregelen *Installatie landmarks bij tunnels en bruggen (M.1.e)*, *Aanpassing truck platoon (M.1.f)* en *Intelligente toegang (M.1.g)* zorgen ervoor dat een platoon zoveel mogelijk intact kan worden gehouden, zonder dat deze in complexe situaties raakt of dat andere weggebruikers hinder van de platoon ondervinden. Echter zullen er altijd nog situaties ontstaan, waarbij een truck platoon een veiligheidsrisico vormt waarvoor aanvullende maatregelen nodig zijn. De toepassing van deze maatregelen kan worden herleid door het volgen van een stappenplan, zoals beschreven in figuur 8.1 (*hoofdstuk 8 Waar en Wanneer*).

Truck Platooning op de A15 & A16

Deelvraag 8: “Kan het maatregelpakket worden toegepast op een transportroute en welke uitkomsten levert dit op om truck platooning verkeersveilig te faciliteren op deze route?”

De toepassing van het maatregelpakket laat zien dat het grotendeels mogelijk is om met maatregelen die géén aanpassingen aan de infrastructuur vereisen om truck platooning verkeersveilig te faciliteren op de A15 Maasvlakte – Ridderkerk en A16 Ridderkerk – Hazeldonk. Echter moet er nog wel onderzocht worden welk effect de maatregelen hebben op doorstroming, kosten en verkeersveiligheid. Op deze wijze kan worden onderbouwd of een maatregel na implementatie daadwerkelijk de verkeerssituatie verbetert, financieel rendabel is en/of er géén ongewenste neveneffecten ontstaan op een specifieke locatie.

10.2 Aanbevelingen

Rijkswaterstaat wordt aanbevolen om op korte termijn al te starten met de verdere uitwerking van de maatregelen die de knelpunten voor truck platooning mitigeren. Truck platooning zal in de komende 10 jaar geïntroduceerd worden op de openbare weg, met in het begin automatiseringsniveau 2 en een beperkte commerciële toepassing, waarna het zich zal ontwikkelen naar automatiseringsniveau 4 en een bredere commerciële toegankelijkheid. Door met de maatregelen nu al de te anticiperen op de komst van truck platooning, kunnen risico's met betrekking tot de verkeersveiligheid op het autosnelwegennet van de wegbeheerder voorkomen worden en kan truck platooning verkeersveilig worden geïntroduceerd. Voor de uitwerking van de maatregelen wordt Rijkswaterstaat het volgende geadviseerd:

- **Onderzoek naar effect van maatregelen op doorstroming, kosten en verkeersveiligheid:** Onderzoek per maatregel de effecten op doorstroming, kosten en verkeersveiligheid. Op deze wijze kan worden onderbouwd en getoetst of een maatregel na implementatie daadwerkelijk de verkeerssituatie verbetert, financieel rendabel is en/of er géén ongewenste neveneffecten ontstaan op een specifieke locatie.
- **Opstellen kaders die bepalen wanneer wel en niet gewenst wordt om een truck platoon intact te houden (intelligente toegang) of op welke wijze deze zich aanpast:** Wijs trajecten aan waar wel of niet gewenst wordt om in een truck platoon te rijden, locaties waar gewenst wordt om met een aangepaste snelheid of volgafstand te rijden en stel adviesroutes op. Voorkom hiermee dat er een lappendeken ontstaat van kleine stukjes waar truck platooning niet mogelijk is en daardoor de platoon steeds ontkoppeld moet worden. Hierdoor kan er een 'accordeon-effect' ontstaan van telkens koppelen en ontkoppelen van de platoon, wat ervoor zorgt dat de winst van truck platooning minimaal wordt of verdwijnt.

- **Onderzoek naar de tunnelveiligheid van truck platooning:** Op dit moment zijn er nog géén eenduidige oorzaken gevonden waarom rijhulpsystemen problemen kunnen ondervinden in tunnels. Omdat Rijkswaterstaat op het moment 20 tunnels, en met op de planning 4 andere tunnels, beheerd (Rijkswaterstaat, z.d.) en een truck platoon een tunnel op zijn route kan tegenkomen, wordt geadviseerd om onderzoek te doen naar de veiligheid van truck platooning in tunnels.
- **Uitvoeren knelpuntenanalyse voor truck platooning tijdens andere verkeers-, weers- en lichtomstandigheden:** De knelpuntenanalyse in dit onderzoek gaat ervan uit dat truck platooning alleen plaatsvindt tijdens normale verkeersomstandigheden, bij droog weer en overdag. Het kan zijn dat er andere knelpunten optreden bij andere omstandigheden, waardoor geadviseerd wordt om ook te onderzoeken welke knelpunten met bijbehorende veiligheidsrisico's kunnen optreden als truck platooning plaatsvindt tijdens andere:
 - Verkeersomstandigheden: spits, file, ongeval en wegwerkzaamheden;
 - Weersomstandigheden: regen, mist, sneeuw en noodweer;
 - Lichtomstandigheden: schemering, tegenlicht, nacht.



LITERATUURLIJST



- ACEA. (2017). *What is truck platooning?* Geraadpleegd op 3 februari 2021, https://www.acea.be/uploads/publications/Platooning_roadmap.pdf
- ANP. (2019, september 27). *Rijkswaterstaat stelt werkzaamheden Prins Clausplein uit vanwege slechte weersverwachting*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.omroepwest.nl/nieuws/3945170/Rijkswaterstaat-stelt-werkzaamheden-Prins-Clausplein-uit-vanwege-slechte-weersverwachting>
- ANWB. (z.d.). *Strepen op de weg, wat betekenen ze?* Geraadpleegd op 18 mei 2021, <https://www.anwb.nl/verkeer/veiligheid/strepen-op-de-weg>
- ANWB. (z.d.). *Veilig tussen de vrachtwagens door. Maar hoe?* Geraadpleegd op 3 februari 2021, <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 19 februari 2021, <https://www.verizonconnect.com/resources/article/connected-vehicle-technology-v2v-v2i-v2x/>
- Aron, R. (2016, maart 18). *Trucks op Europese tournee voor platooning*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.volvogroup.com/be-nl/news-and-media/news/2016/mar/news-151620.html>
- AT Osborne. (2019, augustus 13). *Talking Logistics: Connected Transport*. Geraadpleegd op 8 maart 2021, <https://atosborne.nl/artikel/talking-logistics-connected-transport/>
- Blankenburgverbinding. (z.d.). *Blankenburgverbinding*. Geraadpleegd op 28 april 2021, <https://www.blankenburgverbinding.nl/project1/default.aspx>
- Bo, Z., Wilschut, E., Dehli, W., & Martens, M. (2017). *Driver Response Times when Resuming Manual Control from Highly Automated Driving in Truck Platooning Scenarios*. Geraadpleegd op 4 maart 2021, <https://login.proxy1.dom1.nhtv.nl/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsn&AN=edsn.oai.ris.utwente.nl.publications.50eb0f3f.9acc.4d24.b9eb.cadf58b64f0e&site=eds-live>
- Boskalis. (z.d.). *Project*. Geraadpleegd op 28 april 2021, <https://www.a16n3.nl/project/>
- Cardiff University. (2018, oktober 23). *Truck Platooning*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.cardiff.ac.uk/news/view/1336015-truck-platooning>
- CBS. (2020, april 28). *Mobiliteitstrend; per rit, vervoerwijzen, reismotief, leeftijd en geslacht*. Geraadpleegd op 19 februari 2021, <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84755NED/table?searchKeywords=passagiers>
- Chris. (2012, augustus 23). *Een toeritdoseerinstallatie op de A28 bij De Uithof*. Geraadpleegd op 18 april 2021, https://www.wegenwiki.nl/Bestand:Toeritdosering_A28_De_Uithof.jpg
- Condoluci, M., Gallo, L., Mussot, L., Kousaridas, A., Spapis, P., Mahlouji, M., & Mahmoodi, T. (2019). *5G V2X System-Niveau Architecture of 5GCAR Project*. Geraadpleegd op 25 februari 2021, <https://login.proxy1.dom1.nhtv.nl/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.4afa522abe9a42e5be34ac684c45b5dc&site=eds-live>
- CROW. (2015, maart 3). *Handboek Verkeersmanagement*. Geraadpleegd op 8 april 2021, <https://kennisbank-crow-nl.proxy1.dom1.nhtv.nl/kennismodule/detail/18872#18829>
- CROW. (z.d.). *Niveaus van automatisering*. Geraadpleegd op 4 maart 2021, <https://www.crow.nl/testenzelfrijdendeauto/zelfrijdende-auto-s/niveaus-van-automatisering>

- Dirkzwager, L. (2020). *Colonnevorming van vrachtverkeer: onderzoek naar de effecten van colonnevorming op 2x2 autosnelwegen*. Geraadpleegd op 22 maart 2021, https://documents.nhtv.nl/login.aspx?doc=%5cthesis%5c2019_2020%5cABEL%5cDirkzwagerLarsMOBjuni2020.pdf
- Duan, D. (2017, november 23). *Truck Platooning: The Band of Semi-Trailers*. Geraadpleegd op 3 februari 2021, <https://www.labroots.com/trending/chemistry-and-physics/7405/band-semi-trailers-truck-platooning>
- ENSEMBLE. (z.d.). *Who We Are*. Geraadpleegd op 17 februari 2021, <https://platooningensemble.eu/who-we-are>
- Eriksson, A., & Stanton, N. A. (2017, januari 26). *Takeover Time in Highly Automated Vehicles: Noncritical Transitions to and From Manual Control*. Geraadpleegd op 13 april 2021, <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0018720816685832>
- Essen, M. v., Dicke-Ogenia, M., Sluijsmans, G., Bazilinskyy, P., & Taams, M. (z.d.). *Vooronderzoek Truck Platooning*. Goudappel Coffeng, SD-Insights.
- European Commission. (z.d.). *Trans-European Transport Network (TEN-T)*. Geraadpleegd op 19 april 2021, https://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/ten-t_en
- European Parliament. (2019, april 18). *CO2 emissions from cars: facts and figures (infographics)*. Geraadpleegd op 4 februari 2021, <https://login.proxy1.dom1.nhtv.nl/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e-dselp&AN=S0968090X20305799&site=eds-live>
- Farah, H., Rad, S. R., Taale, H., Arem, B. v., Hoogendoorn, S. P. (2020, juni 4). *Design and operation of dedicated lanes for connected and automated vehicles on motorways: A conceptual framework and research agenda*. Geraadpleegd op 3 februari 2021, <https://login.proxy1.dom1.nhtv.nl/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=>
- Flitsmeister. (2020, oktober 9). *Flitsmeister weet nu locatie naderende ambulances en waarschuwt auto's*. Geraadpleegd op 8 april 2021, <https://androidworld.nl/apps/flitsmeister-locatie-ambulances>
- Global Shapers Community. (z.d.). *Smart Road Infrastructure*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.globalshapers.org/impact/smart-road-infrastructure>
- Google StreetView. (2020). Geraadpleegd op 3 mei 2021, <https://www.google.nl/maps>
- Haaijer, R., Wuite, W., & Maaskant, A. (2018). *Monitoring wegverkeer gerelateerde informatiediensten en rijtaakondersteunde systemen 2018*. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.
- Habibovic, A., Amanuel, M., Chen, L., & Englund, C. (2014, november 17). *Cooperative ITS for Safer Road Tunnels: Recommendations and Strategies*. Geraadpleegd op 16 april 2021, https://www.trafikverket.se/contentassets/f0fcda028678458bbb86c78f30f3f910/cooperative_its_for_safer_road_tunnels_final_report.pdf
- Hoedemaeker, M. (2018, september). *Enabling Safe Multi-Brand Platooning for Europe: ENSEMBLE*. Geraadpleegd op 17 februari 2021, https://platooningensemble.eu/storage/uploads/documents/2018/11/06/Ms._Marika_Hoedenmaeker,_Enabling_Safe_Multi-Brand_Platooning_for_Europe....pptx
- Horlings, J. (2019, juli 13). *Communicerende auto's*. Geraadpleegd op 25 februari, <https://tweakers.net/reviews/6986/4/communicerende-autos-veiliger-sneller-en-op-weg-naar-autonoom-strijd-om-de-standaard-c-v2x-vs-dsrc.html>
- Hyundai. (2019, november 13). *VIDEO: geslaagde test met truck platooning*. Geraadpleegd op 15 februari, <https://imotion.hyundai.nl/geslaagde-test-hyundai-met-truck-platooning/>
- Icons8. (z.d.). *Icons, illustrations, photos, music, and design tools*. Geraadpleegd op 28 mei 2021, <https://icons8.com>

- IRU. (2018, juli 27). *MAN connects the trucks*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.iru.org/resources/newsroom/man-connects-trucks>
- Janssen, R., Zwijnenberg, H., Blankers, I., & Kruijff, J. d. (2015, februari). *Truck Platooning driving the Future of Transportation*. Geraadpleegd op 16 februari 2021, <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/mobiliteit-logistiek/roadmaps/smart-and-safe-traffic-and-transport/smart-vehicles/platooning-is-positief-voor-verkeer-milieu-en-portemonnee/>
- Klunder, G., Legius, M., Boonman, H., Wouters, R., Calvert, S., Hamers, P., Welten, J. (2019, februari 15). *CACC Proef Noord-Holland*. Geraadpleegd op 11 februari 2021, https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwILjKS5s-HuAhUJaBoKHWOqCOsQFjAlegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.noord-holland.nl%2FOnderwerpen%2FVerkeer_vervoer%2FSmart_Mobility%2FDocumenten%2FCACC_proef_Noord-Holland.org&usg=AOvVaw
- Knoope, M., & Francke, J. (2020, april). *Trendprognose wegverkeer 2020-2025 met daarbij de mogelijke gevolgen van de coronacrisis*. Geraadpleegd op 5 februari 2021, <https://www.kimnet.nl/binaries/kimnet/documenten/notities/2020/04/15/trendprognose-wegverkeer-2020-2025-met-daarbij-de-mogelijke-gevolgen-van-de-coronacrisis/KiM+publicatie.+Trendprognose+wegverkeer+2020-2025+met+daarbij+de+mogelijke+gevolgen+van+de+coron>
- Kok, R., Visser, W., Mulder, H., Duurkoop, T., Langevelde, C. v., & Ginkel, M. v. (2020, juni 30). *Tendrapport Nederlandse markt personenauto's*. Geraadpleegd op 16 februari 2021, <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/11/Tendrapport%20Nederlandse%20markt%20personenauto's%20tot%20en%20met%202019.pdf>
- Kusters, M. (2021). *Monitor ADAS*. Rijkswaterstaat.
- Maarseveen, S. v. (2017, december 12). *Impacts of Truck Platooning at Motorway On-ramps*. Geraadpleegd op 3 maart 2021, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:dd8ee414-bddc-435b-90fe-21480cbd9187/datastream/OBJ/download>
- Microsoft. (z.d.)
- Microsoft. (2021, april 28). *Beyond Calibri: Finding Microsoft's next default font*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/blog/2021/04/28/beyond-calibri-finding-microsofts-next-default-font/>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020, mei). *Connected Transport Corridors*. Geraadpleegd op 19 april 2021, <https://www.smartwayz.nl/media/1754/folder-connected-transport-corridors-mei-2020.pdf>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020, april 2). *Digitale participatiesessies Verkenning A58 Tilburg-Breda*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.a58tilburgbreda.nl/bijeenkomsten/1620989.aspx>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Achtergrond van de Suurhoffbrug*. Geraadpleegd op 2 mei 2021, <https://www.suurhoffbrug.nl/achtergrondinformatie>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *De newsroom van het ministerie van IenW*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.nieuwsienw.nl/beeldbank/wegen/default.aspx>
- Morsink, P., & Gorter, M. (2019). *Aanpassen fysieke infrastructuur a.g.v. slimme auto's*. Landelijk VerkeersManagement Beraad.
- Morsink, P., Tsapi, A., & Linde, M. v. (2021). *Fysiek en digitale infrastructuur voor optimaal functioneren van ADAS*. Royal HaskoningDHV.

- Mureau, F. (2020, december 7). *Startersgids Connected Transport Corridors*. Geraadpleegd op 17 februari 2021, <https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/1168/connected-transport-corridors/files/32602/startersgids-ctc-2-pdf>
- Nes, C. v., & Duivenvoorden, C. (2017). *Veilig naar het verkeer van de toekomst*. Geraadpleegd op 4 maart 2021, https://www.swov.nl/file/16380/download?token=_uwigtVv
- NHTSA. (2014, februari 3). *Vehicle-to-Vehicle Communication Technology*. Geraadpleegd op 11 februari 2021, https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/v2v_fact_sheet_101414_v2a.pdf
- Onderzoeksraad voor Veiligheid. (2019, november 28). *Wie stuurt? Verkeersveiligheid en automatisering in het wegverkeer*. Geraadpleegd op 24 februari 2021, https://www.onderzoeksraad.nl/nl/media/attachment/2019/11/28/wie_stuurt_verkeersveiligheid_en_automatisering_in_het_wegverkeer.pdf
- OpenStreetMap. (2021). Geraadpleegd op 22 maart 2021, <https://www.openstreetmap.org>
- Pająk, M., & Cyplik, P. (2020). *Truck platooning in the context of sustainable development's targets defined in European Union's strategies*. Geraadpleegd op 16 maart 2021, <https://login.proxy1.dom1.nhtv.nl/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=su&AN=142587029&site=eds-live>
- Partnership Talking Traffic. (2020, september). *Publieke verkeers- en transportdata*. Geraadpleegd op 10 maart 2021, <https://www.talking-traffic.com/images/Documenten/DASHBOARD-NL.pdf>
- Pater, M. d., Visser, S., & Knibbe, R. (2015, oktober 9). *MIRT Verkenning A58 MKBA St. Annabosch - Galder*. Geraadpleegd op 3 mei 2021, <https://www.innova58.nl/bibliotheek/documenten/default.aspx#folder=606069>
- Penttinen, M., Tuin, M. v., Farah, H., Almeida Correia, G. H., Wadud, Z., Carsten, O., & Kulmala, R. (2019). *Impacts of connected and automated vehicles – State of the art*. CEDR.
- Peripass. (2018, september). *6 manieren om het werk van een truckchauffeur te verbeteren*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.peripass.com/nl/blog/6-manieren-om-het-werk-van-een-truckchauffeur-te-verbeteren>
- Raad van de Europese Unie. (2019, juni 13). *Terugdringen van uitstoot: Raad keurt CO2-normen voor vrachtwagens goed*. Geraadpleegd op 4 februari 2021, <https://www.consilium.europa.eu/nl/press/press-releases/2019/06/13/cutting-emissions-council-adopts-co2-standards-for-trucks/>
- RDW. (z.d.). *Organisatie*. Geraadpleegd op 18 mei 2021, <https://www.rdw.nl/over-rdw/organisatie>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *A67: verbeteren veiligheid en doorstroming Leenderheide - Zaarderheiken*. Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/projectenoverzicht/a67-verbeteren-veiligheid-en-doorstroming-leenderheide-zaarderheiken#&gid=1&pid=3>
- Rijkswaterstaat. (2017, maart 1). *Ontwerp en Inrichting Spitsstroken*. Geraadpleegd op 29 april 2021, https://puc.overheid.nl/PUC/Handlers/DownloadDocument.ashx?identifier=PUC_153641_31&versienummer=1
- Rijkswaterstaat. (2017, april). *Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK)*. Geraadpleegd op 17 maart 2021, <https://standaarden.rws.nl/index.html>
- Rijkswaterstaat. (2017, april 30). *Rijkswaterstaat waarschuwt voor nieuwe situatie A1 bij Muiderberg*. Geraadpleegd op 25 februari 2021, <https://nos.nl/artikel/2170868-rijkswaterstaat-waarschuwt-voor-nieuwe-situatie-a1-bij-muiderberg>
- Rijkswaterstaat. (2019). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2019*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2020). *Actualisatie plateau planning Smart Mobility*. Rijkswaterstaat.

- Rijkswaterstaat. (2020, maart 10). *Rapportage Rijkswegennet 3e periode 2019, 1 september - 31 december*. Geraadpleegd op 4 februari 2021, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/03/10/bijlage-1-rapportage-rijkswegennet-t3-2019>
- Rijkswaterstaat. (2021, januari 13). *Het Intelligent Wegkantsysteem: meer dan een computerkastje langs de weg*. Geraadpleegd 25 februari 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/2021/01/het-intelligent-wegkantsysteem-meer-dan-een-computerkastje-langs-de-weg.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2021). *Oplegnotitie Ontwikkeling ADAS in vrachtwagens en bestelauto's 2020*. Rijswijk: Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2021, februari 26). *Wegenkaart maximumsnelheden op rijkswegen Nederland in de avond/nacht per 16 maart 2020 (update 26 februari 2021)*. Geraadpleegd op 28 april 2021, <http://publicaties.minienm.nl/documenten/wegenkaart-maximumsnelheden-op-rijkswegen-in-nederland-per-1-oktober-2019-wegenkaart-en-tekstversie-update-16-oktober-2019>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Botlektunnel (A15)*. Geraadpleegd op 28 april 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegenoverzicht/a15/botlektunnel-a15>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Doelen en resultaten*. Geraadpleegd op 28 april 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/projectenoverzicht/a58-verbreiding-sint-annabosch-galder/doelen-en-resultaten>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Drechtunnel (A16)*. Geraadpleegd op 28 april 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegenoverzicht/a16/drechtunnel-a16>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Missie Rijkswaterstaat*. Geraadpleegd op 5 februari 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onze-organisatie/onze-missie/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Smart mobility*. Geraadpleegd op 5 februari 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie/smart-mobility/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Snelweg A15*. Geraadpleegd op 26 april 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegenoverzicht/a15>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Snelweg A16*. Geraadpleegd op 26 april 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegenoverzicht/a16>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Thomassentunnel (A15)*. Geraadpleegd op 28 april 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegenoverzicht/a15/thomassentunnel-a15>
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Tunnels*. Geraadpleegd op 17 mei 2021, <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/tunnels#:~:text=Rijkswaterstaat%20speelt%20als%20tunnelbeheerder%20een,andere%20tunnels%20op%20de%20planning.>
- SAE. (2018, december 11). *SAE International Releases Updated Visual Chart for Its "Niveaus of Driving Automation" Standard for Self-Driving Vehicles*. Geraadpleegd op 3 februari 2021, <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Cniveaus-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>
- Scania CV AB. (2017, maart 21). *Wat is platooning?* Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.logistiek.nl/distributie/artikel/2017/03/wat-is-platooning-101153746>
- Shaw, E., Large, D. R., & Burnett, G. (2020, april). *Towards Future Driver Training: Analysing Human Behaviour in Niveau 3 Automated Cars*. Geraadpleegd op 13 april 2021, https://www.researchgate.net/publication/338067403_Towards_Future_Driver_Training_Analysing_Human_Behaviour_in_Niveau_3_Automated_Cars

- Shell. (2019, april 17). *What could the roads of the future look like?* Geraadpleegd op 25 mei 2021, <https://www.shell.com/inside-energy/what-will-the-roads-of-the-future-look-like.html>
- Shladover, S. E., Nowakowski, C., Lu, X.-Y., & Ferlis, R. (2015, januari). *Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC) definitions and operating concepts*. Geraadpleegd op 11 februari 2021, https://www.researchgate.net/publication/273204405_COOPERATIVE_ADAPTIVE_CRUISE_CONTROL_CAC_C_DEFINITIONS_AND_OPERATING_CONCEPTS
- Siemens Mobility B.V. (2021, maart 11). *Productie iVRI's*. Geraadpleegd op 3 mei 2021, <https://ivriportaal.nl/actieve-ivris/>
- Slinger, W. (2014, december 19). *Verkeerseducatie (Mobiliteit en Gedrag)*. Geraadpleegd op 3 mei 2021, <https://kennisbank-crow-nl.proxy1.dom1.nhtv.nl/kennismodule#28588>
- Swaak, P., & Cristofaro, C. D. (2019, mei 26). *Connected Transport Corridors Functionaliteiten*. Geraadpleegd op 8 maart 2021, <https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/1168/connected-transport-corridors/files/27273/functionaliteiten-talking-logistics-v1-0-pdf>
- Talking Traffic. (z.d.). *Intelligente VRI's*. Geraadpleegd op 25 februari 2021, <https://www.talking-traffic.com/nl/partner-worden-bij-talking-traffic/clusters-en-expertise/intelligente-vri-s>
- Tiernan, T. A., Richardson, N., Azeredo, P., Najm, W. G., & Lochrane, T. (2017, april). *Test and Evaluation of Vehicle Platooning Proof-of-Concept Based on Cooperative Adaptive Cruise Control*. Geraadpleegd op 15 februari 2021, <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/1038>
- Tillema, T., Gelauff, G., Waard, J. v., Berveling, J., & Moorman, S. (2017, maart 27). *Paden naar een zelfrijdende toekomst*. Geraadpleegd op 16 februari 2021, <https://www.kimnet.nl/binaries/kimnet/documenten/rapporten/2017/03/27/paden-naar-een-zelfrijdende-toekomst/paden+naar+een+zelfrijdende+toekomst.pdf>
- TNO. (z.d.). *Truck Platooning Matching maakt groener vrachtovervoer mogelijk*. Geraadpleegd op 16 februari 2021, <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/mobiliteit-logistiek/roadmaps/smart-and-safe-traffic-and-transport/smart-vehicles/truck-platooning-matching-maakt-groener-vrachtovervoer-mogelijk/>
- Transport en Logistiek Nederland. (2015). *Transport in cijfers*. Geraadpleegd op 19 februari 2021, https://www.kennisclogistiek.nl/system/downloads/attachments/000/000/010/original/Transport_in_Cijfers_2015.pdf?1436175517
- Ven, M. v. (2019, april 9). *Bluetoothkastjes in Vlaamse tunnels moeten wegvallen navigatiesignaal voorkomen*. Geraadpleegd op 21 april 2021, <https://tweakers.net/nieuws/151320/bluetoothkastjes-in-vlaamse-tunnels-moeten-wegvallen-navigatiesignaal-voorkomen.html>
- Vlakveld, W., Nes, N. v., Bruijn, J. d., Vissers, L., & Kroft, M. v. (2018). *Situation awareness increases when drivers have more time to take over the wheel in a Niveau 3 automated car: A simulator study*. Geraadpleegd op 4 maart 2021, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.025>
- VMS | Insight. (2020). *Ontwikkeling ADAS in personenauto's 2020*. Rijkswaterstaat.
- VMS | Insight. (2020). *Ontwikkeling van ADAS in vrachtwagens en bestelauto's 2020*. VMS | Insight.
- Vosters, C., Amerlrooij, M. v., Vries, F. d., & Mierden, M. v. (2017, oktober 31). *Verzorgingsplaatsen 2.0 InnovA58*. Geraadpleegd op 15 februari 2021, <https://www.innova58.nl/bibliotheek/documenten/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=974641>
- Waterschoot, B. v., Senior Adviseur Human Factors, Rijkswaterstaat, 18 maart 2021
- Westerscheldetunnel NV. (2021, februari 19). *Adaptive Cruise Control uit in de tunnel*. Geraadpleegd op 24 februari 2021, <https://www.westerscheldetunnel.nl/nl/actueel/adaptive-cruise-control-uit-in-de-tunnel/>

- Wildervanck, C., & Brookhuis, K. (2014, december 19). *Mobiliteit en Gedrag*. Geraadpleegd op 3 maart 2021, <https://kennisbank-crow-nl.proxy1.dom1.nhtv.nl/kennismodule#28414>
- Yang, D., Kuijpers, A., Dane, G., & Sande, T. v. (2018). *Impacts of large-scale truck platooning on Dutch highways*. Geraadpleegd op 2 maart 2021, <https://login.proxy1.dom1.nhtv.nl/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S2352146518306288&site=eds-live>
- Zwijnenberg, H. (2018). *Infrastructuur gereedmaken voor automatisch rijden*. Goudappel Coffeng.



Truck Platooning op de snelweg

Bijlagen



Inhoudsopgave

Bijlage 1 Scopekeuze tussen car- en truck platooning.....	79
B1.1 De verwachte ontwikkeling van car platooning.....	80
B1.2 De verwachte ontwikkeling van truck platooning.....	82
B1.3 Scopekeuze tussen car- en truck platooning.....	84
Bijlage 2 Infrastructurele elementen.....	85
B2.1 Dwarsprofiel stroomweg.....	85
B2.2 Knooppuntconfiguraties.....	86
B2.3 Aansluitingen.....	87
B2.4 Spitsstroken.....	90
B2.5 Kunstwerken.....	92
Bijlage 3 Interview met Boris van Waterschoot.....	93
Bijlage 4 Notulen Kennissessie.....	99



Bijlage 1

SCOPEKEUZE TUSSEN CAR- EN TRUCK PLATOONING

Platooning is mogelijk tussen personenauto's (car platooning) en vrachtauto's (truck platooning). Aan het begin van dit onderzoek is, in samenspraak met de opdrachtgever, besloten het onderzoek te focussen op truck platooning. Ter onderbouwing van dit besluit is er een analyse gemaakt van de verwachte ontwikkeling van zowel car- als truck platooning. In deze bijlage zijn deze analyse en argumenten voor de scopekeuze beschreven.



Foto: Scania CV AB

Voor platooning kan er onderscheid worden gemaakt in *car platooning* (personenauto's) en *truck platooning* (vrachtverkeer). Ondanks dat de werking grotendeels gelijk is, zijn er verschillen in de ontwikkeling ervan. Om dit verschil te laten zien wordt er gebruikt gemaakt van:

- **Penetratie van Adaptive Cruise Control (ACC) en Lane Keeping Assist (LKA):** In opdracht van Rijkswaterstaat heeft marketingbureau VMS | Insight inzichtelijk gemaakt wat de penetratiegraad van rijhulpsystemen (ADAS) in het Nederlandse wagenpark in 2020 was. Hierin is er onder andere naar ACC (aanpassen van de snelheid op basis van de afstand tot de voorganger) en LKA (binnen de belijning van de rijstrook rijden) gekeken, welke een basis vormen voor platooning. De aanwezigheid van deze systemen in voertuigen betekent dus niet dat er ook daadwerkelijk truck platooning plaatsvindt, maar kan wel een ruwe indicatie geven over hoe snel voertuigautomatisering zich ontwikkelt en platooning uiteindelijk zal plaatsvinden;
- **Ontwikkeling van platooning:** Verschillende partijen werken aan de ontwikkeling van car- en truck platooning. Onderzoeksresultaten, strategieën en tijdlijnen kunnen een indicatie geven over de voortgang van de ontwikkeling van platooning door de industrie.

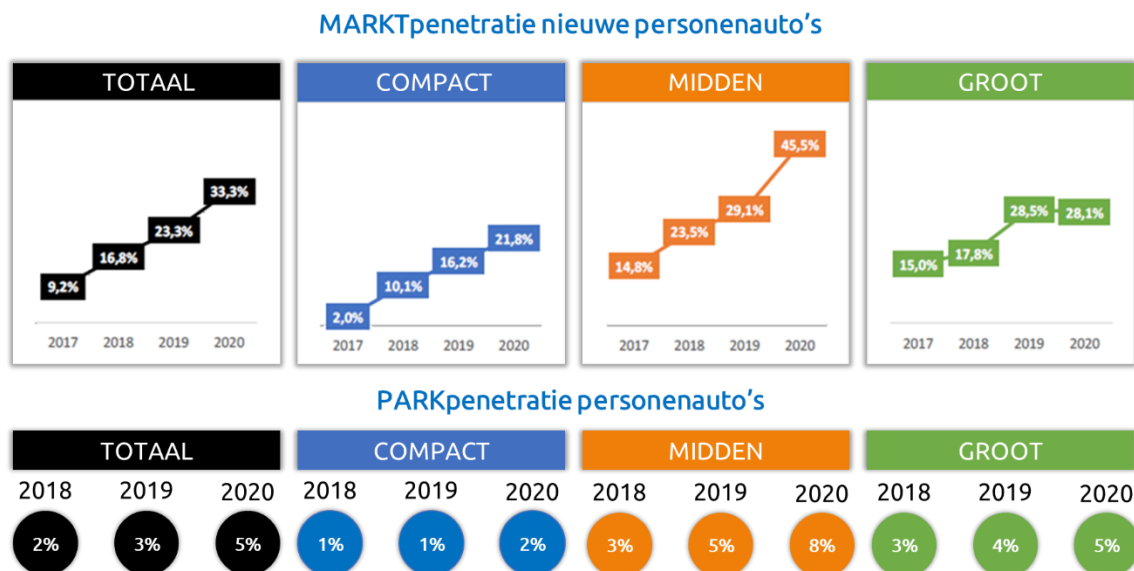
B1.1 De verwachte ontwikkeling van car platooning

Penetratie van ACC en LKA in personenauto's

VMS | Insight heeft onderscheid gemaakt in de *markt-* (nieuwe personenauto's) en *parkpenetratie* (huidige wagenpark), met daarbij het *compact-* (kleine- en stadsauto's), *midden-* (kleine en grote gezinsauto's) en *grootsegment* (grote en luxe auto's) (VMS | Insight, 2020).

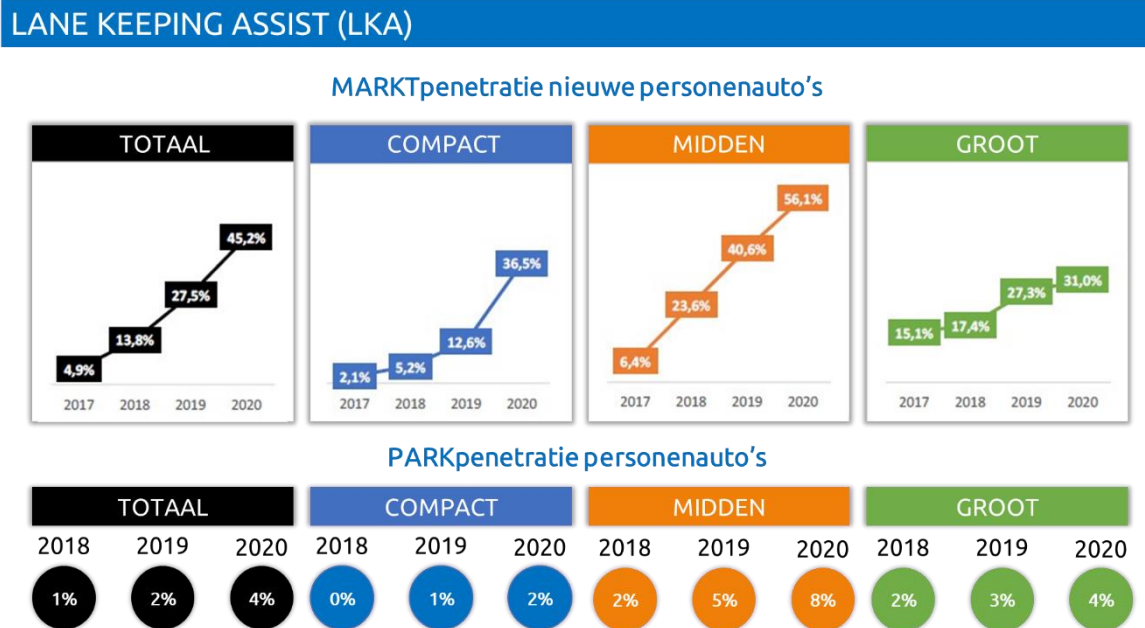
Kijkend in figuur B1.1 naar de ontwikkeling van ACC in het Nederlandse wagenpark, is er tussen 2017 en 2020 een groei te zien in zowel de markt- als parkpenetratie. Vooral in het middensegment is er een grote groei te zien, waarbij in 2020 bijna de helft van de nieuwe personenauto's voorzien was van ACC. Echter dient hierbij wel te worden opgemerkt dat de systemen verschillen in gradaties. Zo zijn er ACC-systemen die alleen boven een bepaalde snelheid werken tot systemen die volledig als assistent functioneren.

ADAPTIVE CRUISE CONTROL (ACC)



Figuur B1.1: Markt- en parkpenetratie ACC in personenauto's 2017-2020 (VMS | Insight, 2020)

Ook de penetratie van LKA is de afgelopen jaren gegroeid, waarbij deze vooral in het middensegment sterk is (zie: figuur B1.2).



Figuur B1.2: Markt- en parkpenetratie LKA in personenauto's 2017-2020 (VMS | Insight, 2020)

Echter blijft over het geheel de penetratie van ACC en LKA relatief klein, wat te verklaren is aan het relatief oude wagenpark (VMS | Insight, 2020). In 2019 was een groot deel van de automobilisten in bezit van een auto met een bouwjaar tot 13 jaar oud (tot 2006) (Kok, et al., 2020). Kijkend naar de geringe aanwezigheid van ACC en LKA in nieuwe voertuigen en de gemiddelde vervangingsfrequentie van 11 jaar van personenauto's, kan de ingroei van ACC en LKA op het Nederlandse wegennet lang duren (Kusters, 2021). Wel verwacht VMS | Insight de komende jaren een groei, omdat de Europese regelgeving stelt dat vanaf 2022 nieuw ontworpen personenauto's en vanaf 2024 nieuw geregistreerde personenauto's verplicht dienen te worden voorzien van meerdere rijhulp- en veiligheidssystemen, waar intelligente snelheidsondersteuning onder valt (VMS | Insight, 2020).

Ontwikkeling car platooning

Op dit moment worden er door verschillende partijen simulaties en pilots uitgevoerd met car platooning. Zo heeft TNO in 2018 een praktijktest uitgevoerd met ACC en CACC in personenauto's op de N205 tussen Haarlem en Hoofddorp. Daarbij is op de openbare weg gekeken wat de invloed is van het rijden van car platooning op de doorstroming en verkeersveiligheid. Hieruit kwam naar voren dat er minstens een penetratiegraad van 50% nodig is om een positief effect te merken op de doorstroming door CACC (Klunder, et al., 2019).

Echter blijft het aantal praktijktesten op de openbare weg relatief beperkt en lijken partijen zich meer te richten op truck platooning. Zo werkt car platooning momenteel alleen nog met dezelfde voertuigtypen en lijken partijen nog niet actief te werken aan een standaard systeem. Daarnaast kan de langzame intrede van ACC, en daarmee ook CACC, leiden dat car platooning pas op de langere termijn in de praktijk zal worden toegepast.

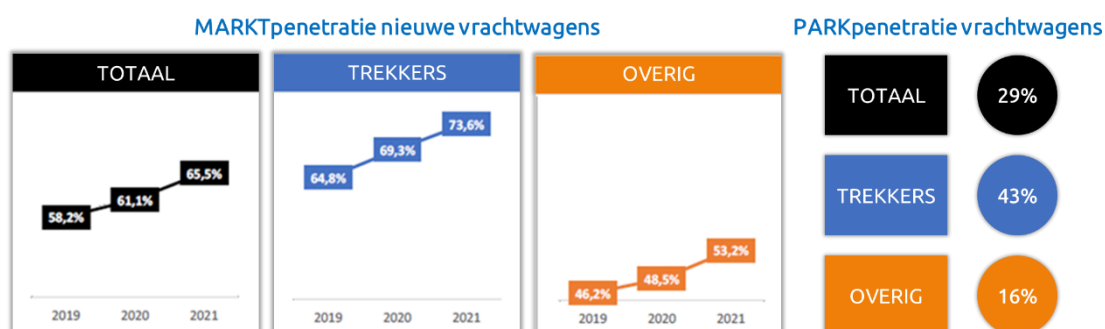
B1.2 De verwachte ontwikkeling van truck platooning

Penetratie van ACC en LKA in vrachtwagens

VMS | Insight heeft ook de penetratiegraad van rijhulpsystemen in vrachtwagens inzichtelijk gemaakt. Naast de *markt-* en *parkpenetratie*, wordt er ook onderscheid gemaakt in *trekkers* en *overige voertuigen*. Een trekker betreft de cabine op een kort chassis die een oplegger trekt. Onder overige voertuigen vallen bakwagens (vrachtwagens met de cabine en laadvloer op 1 chassis) en speciale voertuigen, zoals bouw-, kraan-, bergings- en brandweervoertuigen (VMS | Insight, 2020).

In 2020 was 69,3% van de nieuwe trekkers en 43% van de totale trekkers voorzien van ACC (zie: figuur B1.3). Ter vergelijking, bij personenauto's lag dit aandeel op 33,3% nieuwe personenauto's en 5% totale personenauto's. De hogere penetratiegraad bij vrachtwagens is deels te verklaren aan de hoge roulatiesnelheid: vrachtwagens worden gemiddeld om de 5-6 jaar vervangen, terwijl personenauto's een gemiddelde vervangingsfrequentie van 11 jaar kennen. Hierdoor wordt de invoer en -groei van rijhulpsystemen binnen deze sector versneld (Rijkswaterstaat, 2021). Importeurs en specialisten verwachten daarbij dat na 2021 deze trend sterk zal doorontwikkelen. Europese regelgeving stelt daarbij een verplichting van intelligente snelheid ondersteunende systemen in nieuwe (vracht)auto's vanaf 2022 (VMS | Insight, 2020).

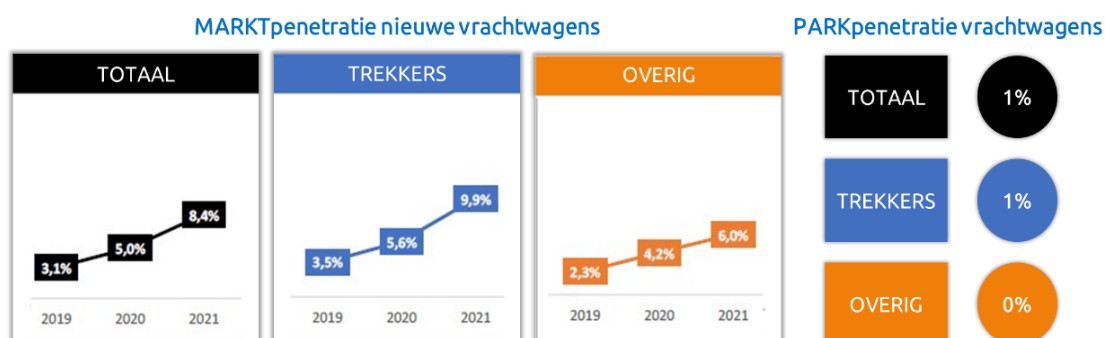
ADAPTIVE CRUISE CONTROL (ACC)



Figuur B1.3: Markt- en parkpenetratie van ACC in vrachtwagens 2019-2021 (VMS | Insight, 2020)

De aanwezigheid van LKA in het vrachtwagenpark is in vergelijking met ACC beperkt (zie: figuur B1.4). Er is wel een groei te zien, maar op dit moment wordt LKA door slechts enkele merken geleverd (VMS | Insight, 2020).

LANE KEEPING ASSIST (LKA)



Figuur B1.4: Markt- en parkpenetratie LKA in vrachtwagens 2019-2021 (VMS | Insight, 2020)

Ontwikkeling truck platooning

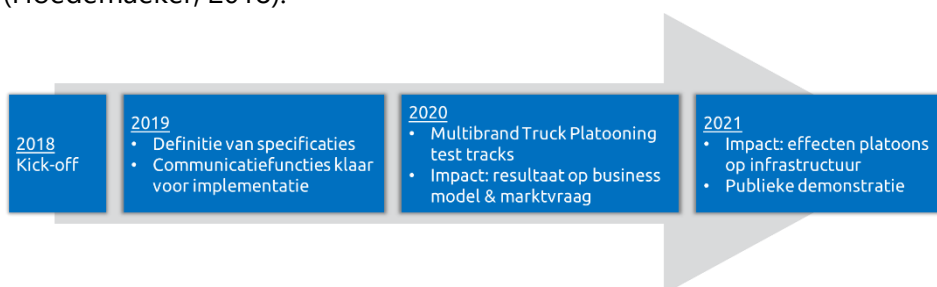
Op dit moment wordt er door verschillende partijen gewerkt aan de ontwikkeling van truck platooning, door middel van simulaties, pilots op afgesloten en openbare wegen en standaardisatie van de specificaties. In Europa en Nederland zijn TNO, ENSEMBLE en ACEA de grootste (samenwerkings)partijen in de ontwikkeling ervan en verwachten het volgende:

- **TNO** verwacht in Nederland dat tussen 2020 en 2030 de eerste commerciële toepassing van truck platooning zal plaatsvinden met een fysieke bestuurder (niveau 2/3). Pas vanaf 2030 verwacht de onderzoeksorganisatie een bredere toepassing van truck platooning, met daarbij een verdere ontwikkeling naar automatisch rijden zonder bestuurder (niveau 4/5) (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & Kruijff, 2015).



Figuur B1.5: Tijdlijn TNO ontwikkeling Truck Platooning in Nederland (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & Kruijff, 2015)

- **ENSEMBLE** is een Europees samenwerkingsproject om multi-brand truck platooning te ontwikkelen. Dit betreft de standaardisatie van specificaties om communicatie tussen vrachtwagens van verschillende merken mogelijk te maken. Het project wordt geleid door TNO, waaraan verschillende vrachtwagenmerken, leveranciers en kennisinstituten deelnemen (ENSEMBLE, z.d.). In de periode 2018 – 2021 is er gewerkt aan de ontwikkeling, verificatie en validatie van multi-brand truck platooning. Na verschillende simulaties en experimenten op test tracks, heeft ENSEMBLE het doel om in het najaar van 2021 het project te voltooien door middel van een uitvoering op de openbare weg (Hoedemaeker, 2018).



Figuur B1.6: Tijdlijn ENSEMBLE ontwikkeling multi-brand Truck Platooning (ENSEMBLE, 2019)

- **ACEA**, vertegenwoordiger van 16 Europese voertuigproducenten, voorziet vanaf 2023 de mogelijkheid dat er op het Europese autosnelwegennetwerk gereden wordt in pelotons met vrachtwagens van meerdere merken (niveau 2). Om dit te bereiken is er vóór 2023 vanuit de technologie een standaard systeem ontwikkeld voor multi-brand truck platooning en zijn er vanuit de Europese en nationale overheden beleid en regelgeving opgesteld voor de 'legale' toepassing. De ACEA ziet truck platooning van niveau 4 en 5 pas op de langere termijn (na 2030) (ACEA, 2017).

B1.3 Scopekeuze tussen car en truck platooning

De kans is groter dat truck platooning sneller geïmplementeerd zal worden in de praktijk dan car platooning. De scope van dit onderzoek richt zich daarom ook op truck platooning met daarop aansluitend de volgende argumenten:

- **Truck platooning zal op termijn een snellere ingroei kennen:** Vrachtwagens kennen een snellere vervangingsfrequentie dan personenauto's, mede door de kostenbesparingen op brandstofefficiency. Dit leidt ertoe dat naar grote waarschijnlijkheid truck platooning eerder zal worden toegepast op de snelwegen dan car platooning (Tillema, Gelauff, Waard, Berveling, & Moorman, 2017).
- **Actieve multi-brand implementatie van truck platooning door verschillende marktpartijen:** De snellere intrede van truck platooning wordt ook mede mogelijk gemaakt door de actieve samenwerking van marktpartijen, kennisinstituten en overheden. Op het gebied van truck platooning vindt er momenteel meer ontwikkeling plaats met betrekking tot standaardisatie van specificaties en regelgeving dan bij car platooning. Daarnaast is er voor truck platooning een businessmodel opgesteld, waaruit wordt herleid dat truck platooning kostenbesparingen oplevert voor de logistieke sector. Dit draagt bij aan de motivatie van partijen om te investeren in de ontwikkeling ervan (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & Kruijff, 2015).
- **Duidelijke scenario's van uitvoering:** Ondanks dat personenverkeer in totaal meer kilometers aflegt, legt vrachtverkeer gemiddeld per rit langere afstanden af. Zo legde in 2011 een autobestuurder gemiddeld 17,48 km per rit af (CBS, 2020) en een vrachtwagenbestuurder 104,2 km (Transport en Logistiek Nederland, 2015). Daarnaast kent vrachtverkeer een eenduidiger patroon in bestemmingen (bedrijventerreinen, havens, etc.) en vindt routeplanning veelal organisatorisch plaats (TNO, z.d.). Vanuit het perspectief van de wegbeheerder biedt het hierdoor meer zekerheid en eenvoudigheid om te kunnen anticiperen op scenario's hoe truck platooning zal worden uitgevoerd.



Bijlage 2 INFRASTRUCTURELE ELEMENTEN

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de mogelijke configuraties van knooppunten, aansluitingen, spitstroken en kunstwerken op het Nederlandse autosnelwegennet.



Foto: ANP

B2.1 Dwarsprofiel stroomweg

RICHTLIJN: ROA 2019 (Rijkswaterstaat, 2019)

Indien er in de maatvoering onderscheid wordt gemaakt in autosnelweg en stadsautosnelweg, wordt dit met de hoofdletter 'A' (autosnelweg) en 'S' (stadsautosnelweg) aangegeven.

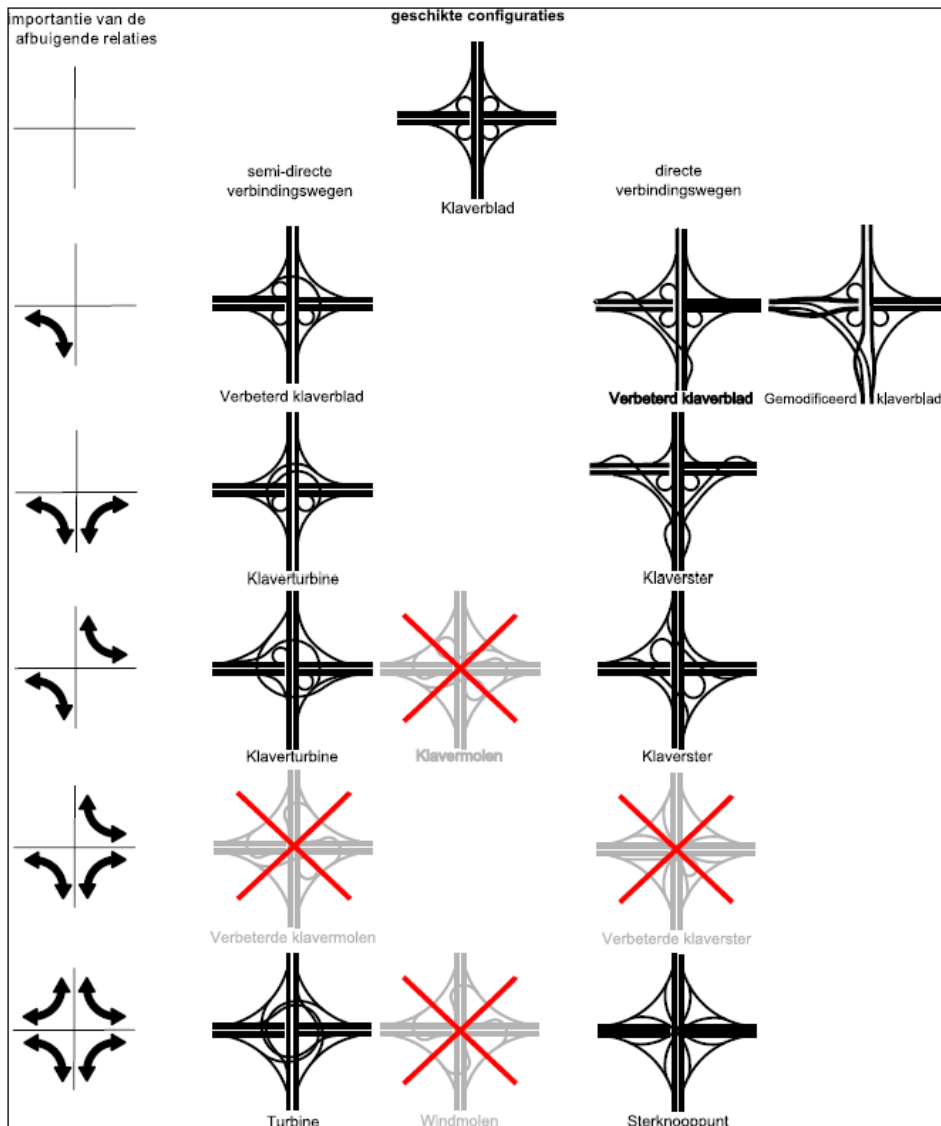
Element	Maat	Functie
Rijstrook	3,50 m	Bestemd voor rijdend verkeer.
Vluchtstrook	3,50 m	Bestemd voor noodgevallen.
Redresseerstrook	0,60 m	Bestemd om weggebruikers de gelegenheid te geven voor koerscorrecties.
In-, uitrij- en weefstrook	3,50 m	De invoegstrook geeft aanrijdend verkeer de ruimte om in te voegen met het doorgaande verkeer. De uitrijstrook geeft verkeer de mogelijkheid om uit te voegen met het doorgaand verkeer. 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 beïden 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 vluchtstrook vrij te houden. Dit verkleint het risico op ongevallen op de vluchtstrook.
Bergingszone	2,50 m	Een aparte ruimte in de middenberm voor gestrande voertuigen, om te voorkomen dat zij een negatieve invloed hebben op de verkeersafwikkeling.
Middenberm	-	De ruimte die twee hoofdbanen met tegengestelde richtingen scheidt, het ongevalsrisico reduceert, als bergingszone dient voor gestrande voertuigen en ruimte biedt voor objecten (zoals bebording en portalen).
Obstakelvrije middenberm	25,00 m (A) 20,00 m (S)	Beperkt/voorkomt risico's voor derden en inzittenden van het voertuig dat uit de koers is geraakt.
Buitenberm	-	Gesitueerd aan de buitenzijde van de autosnelweg, waarbij gekozen kan worden voor een obstakelvrije inrichting, inrichting met botsvriendelijke objecten of voor een inrichting met een afschermingsvoorziening. De buitenberm functioneert als vluchtruimte, voorziening voor objecten, geleidelijke overgang naar wegomgeving, infiltratie van hemelwater en onderhoudsruimte.
Obstakelvrije buitenberm	-	Beperkt/voorkomt risico's voor derden (min. 20,00 m) en inzittenden van het voertuig (min. 13,00 m) dat uit de koers is geraakt.
Buitenberm met obstakels	-	Indien het niet mogelijk is om obstakels buiten de obstakelvrijezone te situeren, dienen obstakels in de buitenberm afgeschermd te worden. Hierbij dient de afscherming buiten de vluchtruimte en -zone te worden geplaatst.
Tussenberm	-	Gesitueerd tussen twee rijbanen of wegen met dezelfde rijrichting en dient als rijbaanscheiding en onderhoudsruimte.

B2.2 Knooppuntconfiguraties

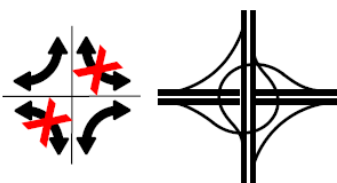
RICHTLIJN: ROA 2019 (Rijkswaterstaat, 2019)

BEGRIJ: Knooppunt = ongelijkvloers kruispunt van stroomwegen, waartussen ongelijkvloerse uitwisseling mogelijk is.

VIERARMIGE KNOOPPUNTCONFIGURATIES



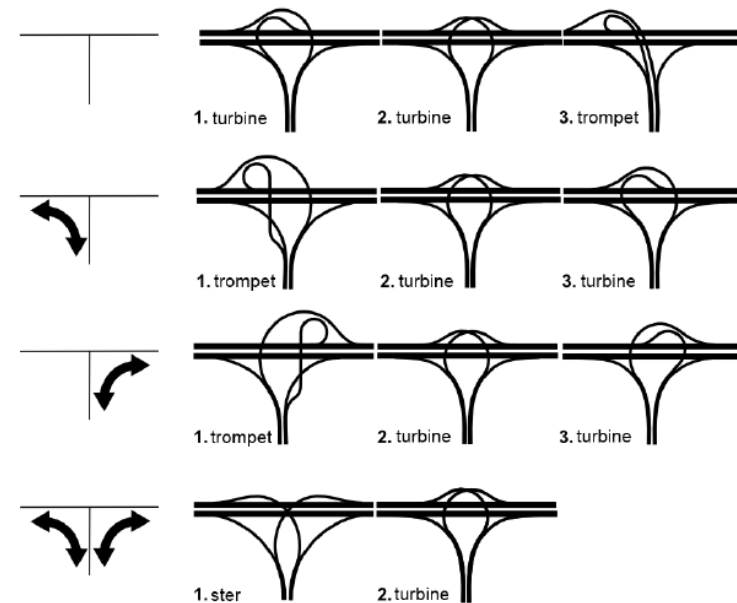
ONVOLLEDIGE VIERARMIGE KNOOPPUNTCONFIGURATIES



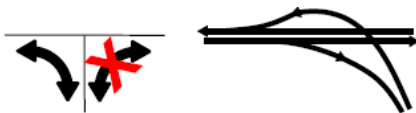
DRIEARMIGE KNOOPPUNTCONFIGURATIES

importantie van de afbuigende stroom

geschikte configuraties



ONVOLLEDIGE DRIEARMIGE KNOOPPUNTCONFIGURATIES



B2.3 Aansluitingen

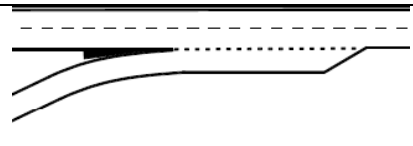
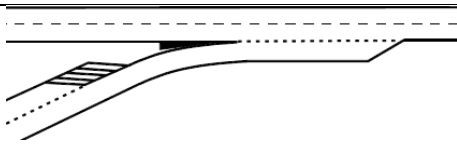
RICHTLIJN: ROA 2019 (Rijkswaterstaat, 2019)

BEGRIIP: Aansluiting = ongelijkvloers kruispunt van een stroomweg en een weg van een lagere hoofdcategorie, waartussen uitwisseling mogelijk is.

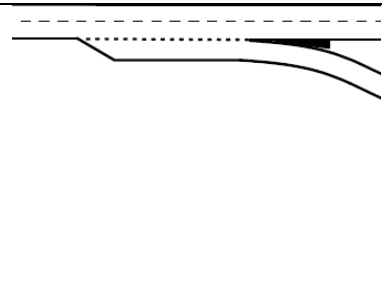
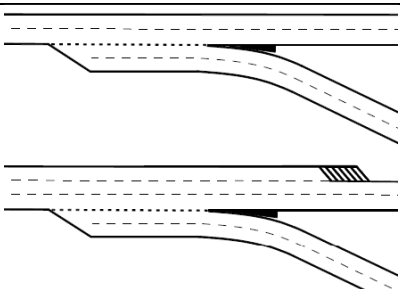
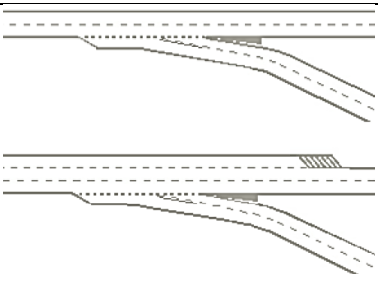
AANSLUITINGEN

Haarlemmermeeraansluiting	Halfklaverbladaansluiting	Gecombineerde oplossing

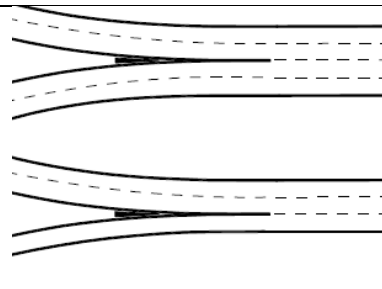
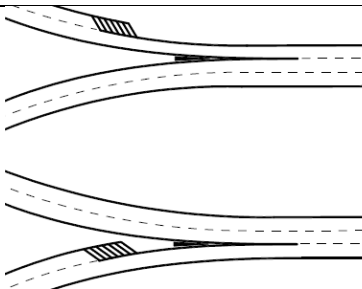
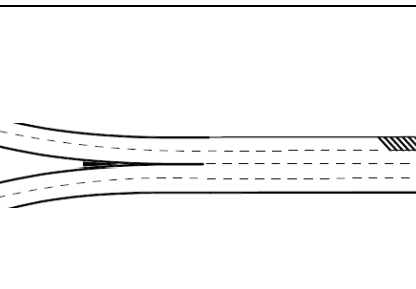
INVOEGING

	
Enkelstrooks toeleidende rijbaan	Tweestrooks toeleidende rijbaan

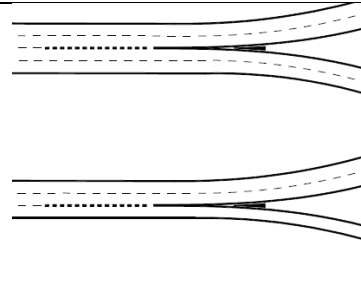
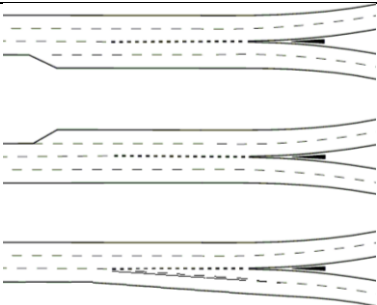
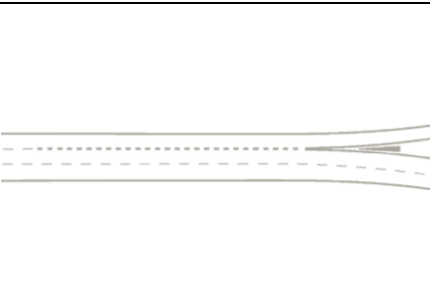
UITVOEGING

		
Enkelstrookse uitvoeging	Tweestrookse uitvoeging	Taperuitvoeging

SAMENVOEGING

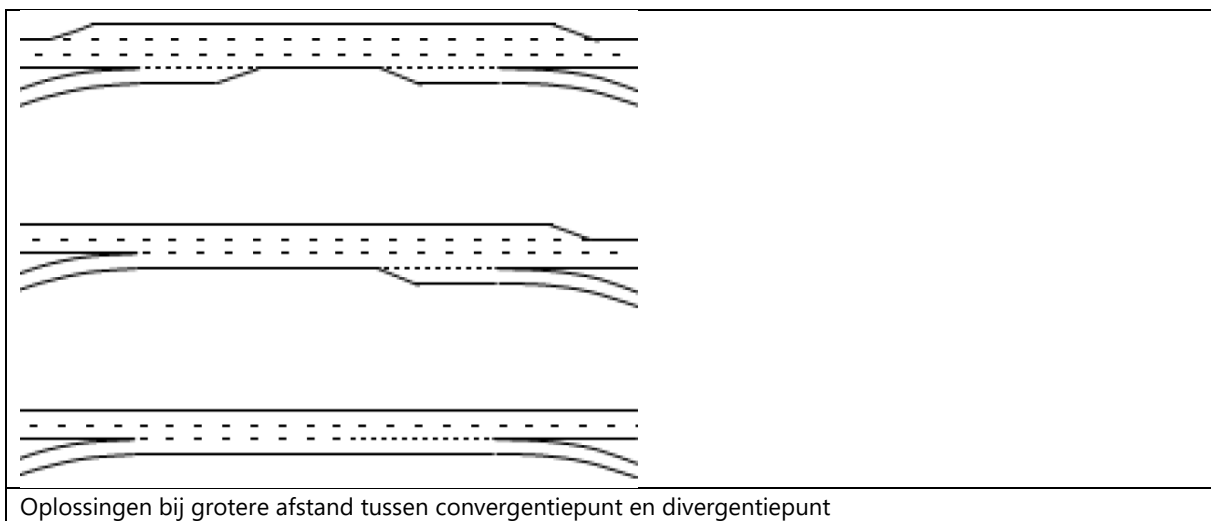
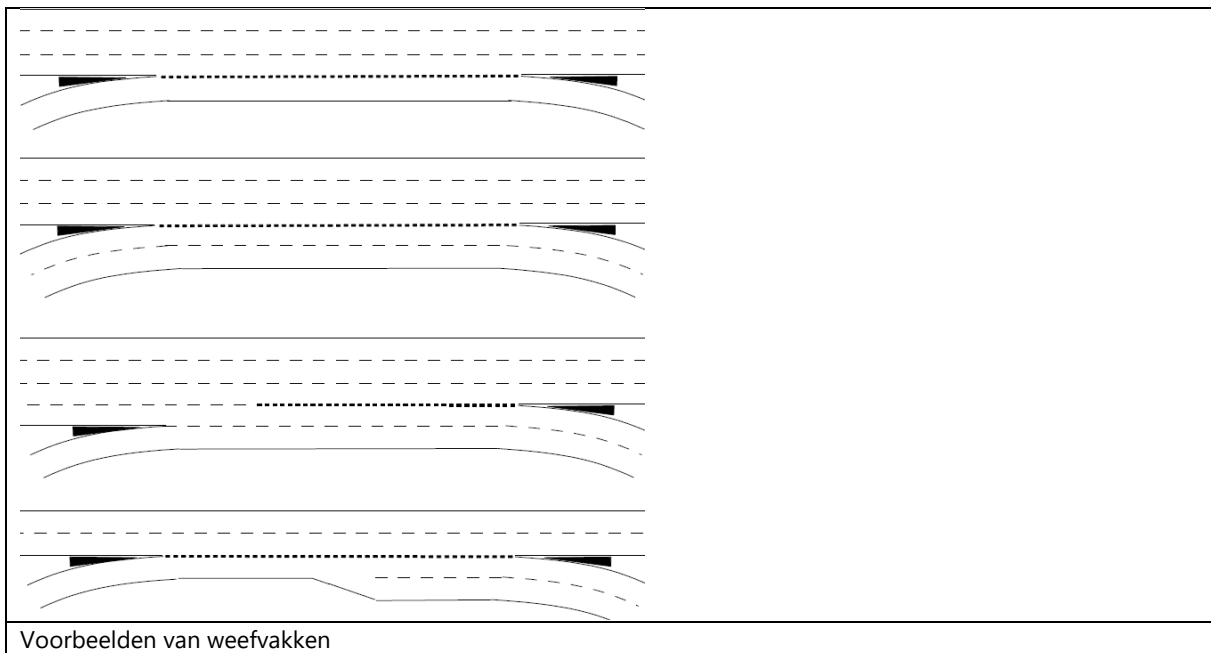
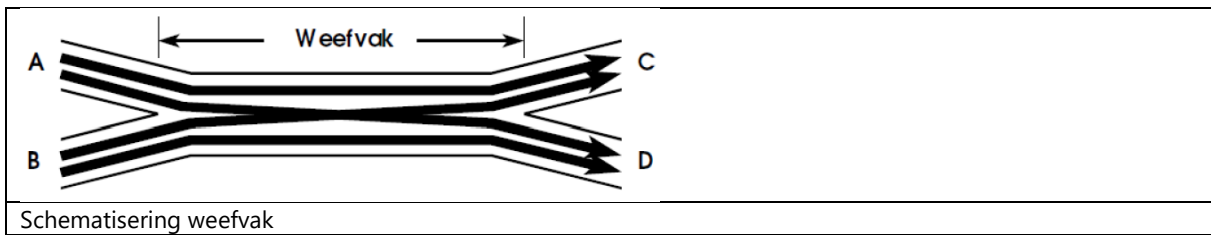
		
Standaard (zuivere) samenvoeging	Samenvoeging met rijstrookbeëindiging voor convergentiepunt	Samenvoeging met rijstrookbeëindiging na convergentiepunt
		
Tapersamenvoeging		

SPLITSING

		
Standaard splitsing	Splitsing met toenemend aantal rijstroken	Splitsing naar 1+2 rijstroken

WEEFVAK

BEGRIIP: Weefvak = rijbaangedeelte van beperkte lengte tussen convergentiepunt en divergentiepunt, dat bedoeld is om te weven.

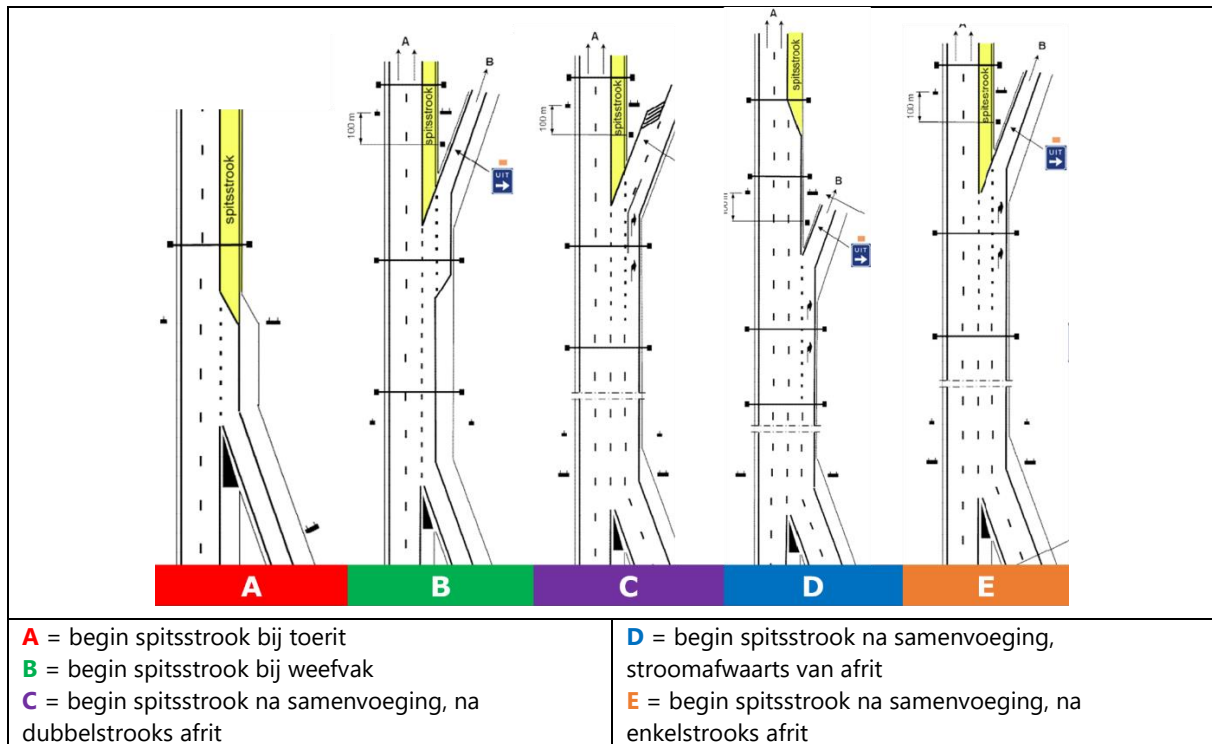


B2.4 Spitsstroken

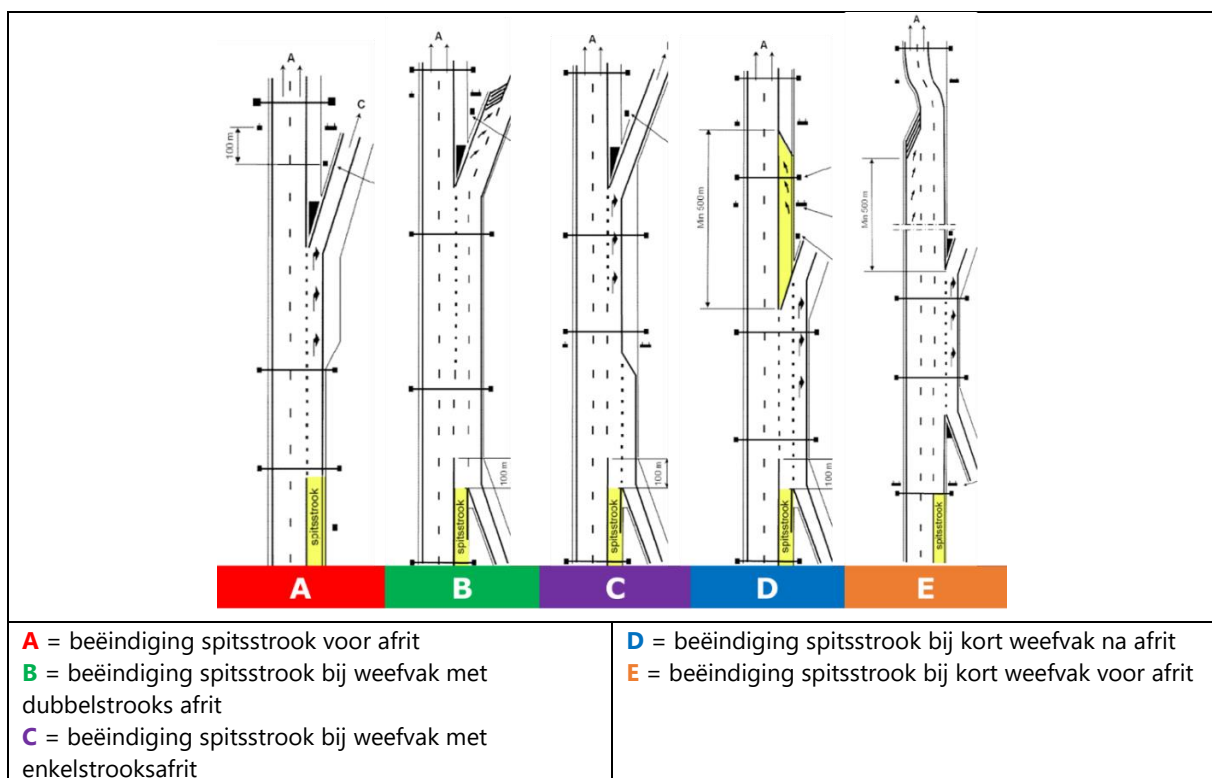
RICHTLIJN: Ontwerp en Inrichting Spitsstroken (Rijkswaterstaat, 2017)

BEGRIJ: Spitsstrook = een vluchtstrook aan de rechterkant of extra rijstrook aan de linkerkant van de snelweg, die alleen tijdens drukke momenten open is voor verkeer.

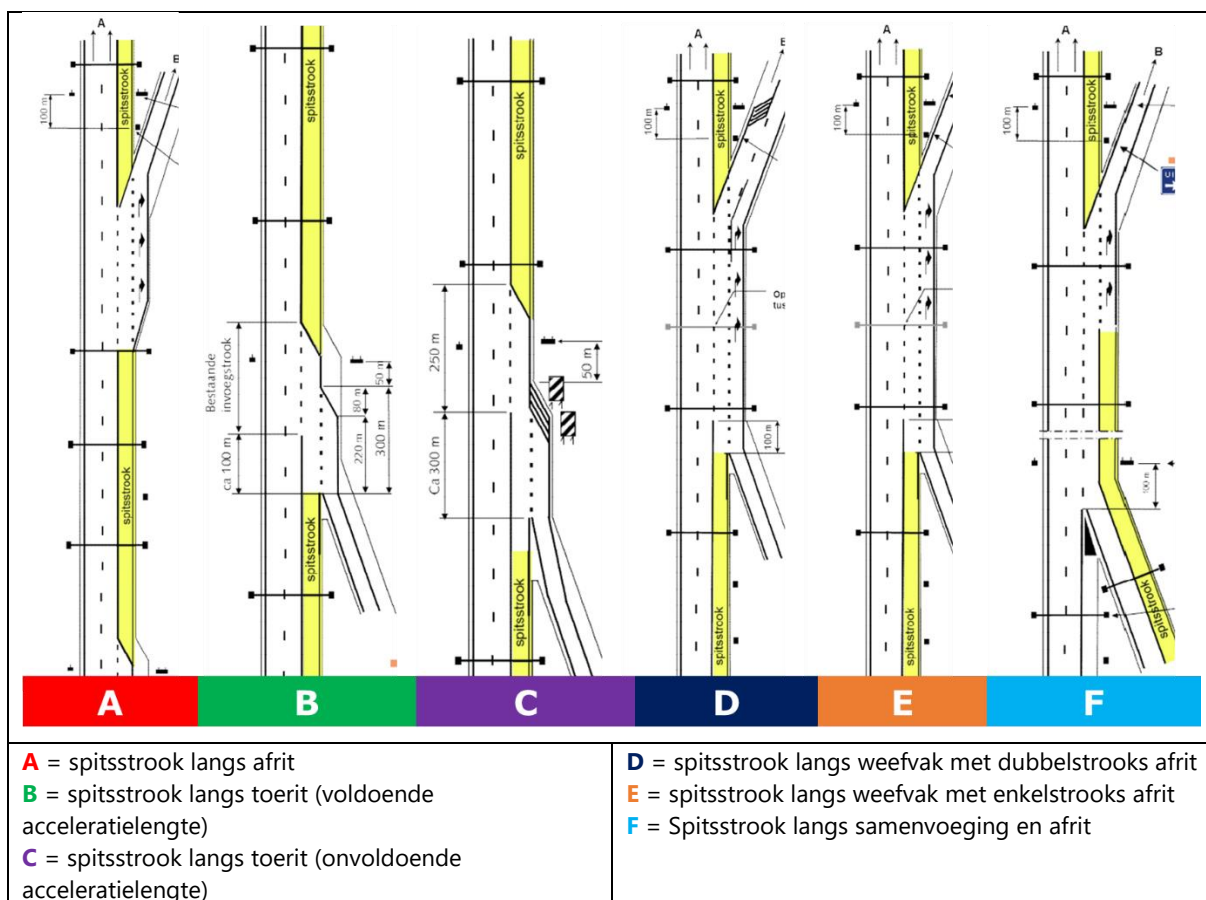
BEGIN SPITSSTROOK RECHTS



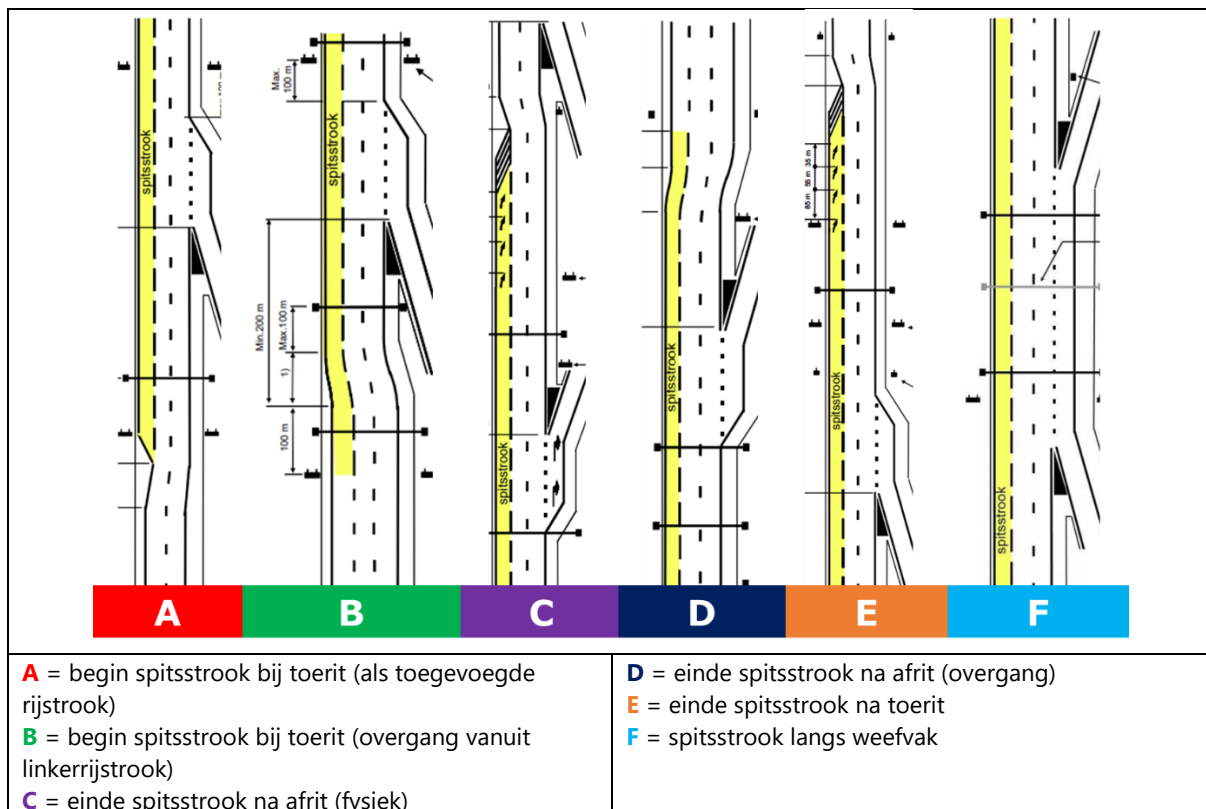
BEËINDIGING SPITSSTROOK RECHTS



ONDERBREKING SPITSSTROOK RECHTS



SPITSSTROOK LINKS



B2.5 Kunstwerken

RICHTLIJN: ROK (Rijkswaterstaat, 2017)

BEGRIJF: Kunstwerk = een civiel-bouwkundige constructie met bijbehorende installaties.

Voor het ontwerp van kunstwerken geldt de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK). In de onderstaande tabel is een overzicht weergegeven van mogelijke kunstwerken die voorkomen op het Nederlandse autosnelwegennet.

Categorie	Kunstwerknaam	Omschrijving
Bruggen	Brug (vast)	Kunstwerk over een waterweg, -gang of -loop, bestaande uit een brugdek gesteund door pijlers en/of landhoofden.
	Viaduct	Kunstwerk over een weg, spoorweg of terreinverdieping, bestaande uit een dek gesteund door pijlers en landhoofden.
	Fly-over	Kunstwerk in de vorm van een viaduct dat deel uitmaakt van een verkeersbaan en waarmee een verkeerstroom over twee of meer ongelijkvloerse verkeerstromen wordt geleid.
	Ecoduct	Wildwissel in de vorm van een viaduct voor passages van dieren over een (spoor)weg.
Beweegbare bruggen	Brug (beweegbaar)	Gedeelte van een brug die voor het kruisende verkeer geopend kan worden inclusief de daarvoor benodigde bewegingswerken.
	Basculebrug	Beweegbare brug waarbij val en staartstuk in elkaars verlengde liggen en het geheel draait om een vaste horizontale as.
	Draaibrug	Om een verticale as draaibare brug.
	Hefbrug	Beweegbare brug waarbij een brugdeel rechtstandig verticaal langs heftorens wordt bewogen.
	Ophaalbrug	Beweegbare brug waarbij de val over de volle breedte draaiend om horizontale assen opengaat met behulp van de balans met contragewicht, die is opgelegd op de hameistijlen of hameipoort en met het val is verbonden door hangstaven.
Tunnels	Tunnel	Kokervormig kunstwerk onder een of meer wegen, spoorwegen, waterwegen en/of andere hindernissen, als ondergrondse doorgang voor verkeer, leidingen of dieren.
	Open tunnelbak	Open bakconstructie welke onder maaiveld ligt.
	Aquaduct	Kunstwerk waarmee een watergang door een bakvormige constructie over een weg, een spoorweg, een andere watergang, een leiding of een terrein wordt geleid.
	Onderdoorgang	Kruising van (spoor)wegen waarbij de onderdoorgaande (spoor)weg ligt onder maaiveldniveau.
	(Half) verdiepte ligging	Weg onder maaiveldniveau (o.a. bakconstructie, folieconstructies, weg tussen keerwanden of damwanden, etc.).

Bijlage 3

INTERVIEW MET BORIS VAN WATERSCHOOT

Foto: Peripass

Geïnterviewde (Itee)	Boris van Waterschoot <i>Senior adviseur Human Factors bij Rijkswaterstaat</i>
Interviewer (Iter)	Daniël Meeusen <i>Student aan Breda University of Applied Sciences</i>
Doel van interview	Verdieping gedrag van een chauffeur van een truck platoon en de reactie van overige weggebruikers wanneer zij een platoon tegenkomen op de weg.
Datum	Donderdag 18 maart 2021
Tijdstip	11:00 – 12:00 uur
Locatie	Online via Microsoft Teams

Over de geïnterviewde:

Boris van Waterschoot is *Senior adviseur Human Factors* en houdt zich bij Rijkswaterstaat onder andere bezig met cognitieve supportsystemen, de gedeelde rijtaak, de samenwerking tussen mens en machine en het ontwerp en de evaluatie van ADAS.

Interviewvragen:

Onderwerp	Vraag
Bestuurder van een platoon	1. In wat voor mental state moet een bestuurder van een platoon zijn? Kan hij andere dingen doen tijdens het rijden, of verwachten we dat hij alert moet zijn?
	1a. Maakt het daarbij uit of de bestuurder in het leidend voertuig of in het volgend voertuig zit?
	2. Hoe reageert een platoon bij cut-ins?
	3. Welke oplossingsrichtingen kunnen bijdragen aan het verkorten van de overnametijd?
Andere weggebruikers	4. Verschillende onderzoeken tonen aan dat het in- en uitvoegen met een truck platoon op de rechterrijstrook onder weggebruikers grotendeels probleemloos verloopt. Echter zien zij wel verschillende risico's, zoals invoegers die doorrijden op de vluchtstrook, stoppen op de invoegstrook of gedeeltelijk op de rechterrijstrook rijden om ruimte af te dwingen. Hoe kijkt u tegen deze risico's aan?
Truck platooning algemeen	5. Hoe kijkt u tegen de ontwikkeling van truck platooning?

Interviewschema

*Geel gemarkeerde stukken (bijvoorbeeld **Truck platooning**) betreffen belangrijke passages uit het interview.*

Opening

Iter: Goedendag Boris, fijn en bedankt dat u beschikbaar bent om deel te nemen aan dit interview over truck platooning en gedrag. Op dit moment ben ik bezig met het uitvoeren van literatuuronderzoek naar truck platooning, met behulp van de dimensies voertuig, infrastructuur, bestuurder en data. Vandaag wil ik het graag hebben over de bestuurder en dan met name over de veiligheidsrisico's voor de bestuurder van een platoon en de overige verkeersdeelnemers.

Itee: Geen probleem! Met een beetje gezond verstand kom je al een heel eind.

De bestuurder in een platoon

Iter: Allereerst wil ik het hebben over de chauffeur in een platoon. In wat voor mental state moet een bestuurder van een platoon zijn? Kan hij andere dingen doen tijdens het rijden, of verwachten we dat hij alert moet zijn?

Itee: Als je inzoomt op die bestuurder, dan zie ik een platoon waarbij de eerste vrachtwagen manueel bestuurd wordt en de rest er als een treintje aan hangt met een korte volgfstand en handen en voeten los. Je kunt dus voorstellen dat na een verloop van tijd het voor mij heel vermoeiend wordt als ik mij de hele tijd moet concentreren op de weg, met het gevolg dat ik iets anders ga doen achter het stuur. En dan komen denk ik alle kwesties bij elkaar op het moment dat het voertuig zegt: "Neem het alsjeblieft van mij over." **De crux van het verhaal zit eigenlijk in de overdracht of het moeten ingrijpen van voertuig naar bestuurder. Daar kunnen issues plaatsvinden.**

Iter: U heeft het over de situatie wanneer het voertuig vraagt om een stuurovername. Bedoelt u hiermee het moment wanneer een bepaalde verkeerssituatie buiten het ODD valt?

Itee: Inderdaad en dat kan plotseling zijn. Het voertuig zegt dat een bepaalde verkeerssituatie buiten zijn ODD ligt en vraagt het snel over te nemen, of je daar nou klaar voor bent of niet. En de grote vraag is of je daartoe in staat bent. Kun je remmen met zo'n korte volgfstand?

Iter: Welke oplossingsrichtingen kunnen hierbij aan bijdragen?

Itee: De oplossingsrichtingen kunnen pas worden ontwikkeld als je een overzicht hebt van wanneer het systeem buiten het ODD valt. Het houden van de aandacht van de bestuurder is misschien helemaal niet het probleem. Het probleem is wat ik moet doen op het moment dat er van mij iets verwacht wordt. Op het moment dat je die situaties in beeld hebt en je weet wat er van de bestuurder verwacht wordt, kun je vervolgens inzicht krijgen in wat de problemen zijn. Namelijk dat ik niet bij de les was en dus te laat kon ingrijpen, of dat er een manoeuvre van mij verwacht wordt die ik technisch als mens niet kan uitvoeren in een korte tijdsspanne. Dan kun je kijken hoe je de bestuurder bij de les houdt of dat deze situaties voorkomen worden.

Iter: Die situaties waarin het systeem buiten het ODD valt, is eerder onderzocht door Royal Haskoning DHV. Zij hebben een overzicht gemaakt van alle wegelementen die buiten het ODD vallen van rijhulpsystemen als LKA en ACC. Kunnen deze punten worden vertaald naar de situaties die een mogelijk risico of knelpunt vormen van truck platooning?

Itee: Ja en als dat knelpunten in de infrastructuur zijn, dan kun je zeggen, even los van of de bestuurder moet ingrijpen of niet, van dan brengen we die punten alvast in kaart. Want dan weten we dat het einde van het ODD nadert, dus weten we dat er een overdracht moet gaan plaatsvinden. Dat kun je organiseren. Maar de werkelijke issues die komen op het moment dat er in één keer een stortbui komt en het einde van het ODD wordt bereikt. Er wordt dan op een onverwachte situatie iets verwacht van de bestuurder, waarbij het een verschil is of dat gebeurt op een recht stuk zonder verkeer of in een scherpe bocht met heel veel verkeer.

Iter: Denkt u dat door de integratie van wegconfiguraties en (advies)snelheden in digitale kaarten, (een deel van) de onverwachte situaties kunnen worden voorkomen?

Itee: Zodra voertuigen niveau 5 rijden dan is het probleem opgelost, want dan kunnen zij met alle situaties omgaan. Maar zolang dat niet het geval is, zullen die problemen blijven bestaan. Als je het aan mij vraagt, is het vrij naïef om een chauffeur neer te zetten, terwijl die niks hoeft te doen. Want verwacht je dan van mij dat ik een paar uur lang met mijn handen over elkaar ga zitten en wachten totdat er iets gebeurt? Dus het is heel logisch dat de situatie heel anders wordt als je een chauffeur toestaat andere taken uit te voeren tijdens het rijden, terwijl de onverwachte situaties blijven.

Iter: Vanuit de literatuur en plannen uit de logistieke sector heb ik begrepen ze met truck platooning kostenbesparingen kunnen treffen op arbeidskosten. Zo kunnen chauffeurs tijdens het rijden in een platoon administratieve zaken uitvoeren of rusttijden pakken.

Itee: Maar dat is natuurlijk niet het uitgangspunt van truck platooning. De gedachte is dat je meer ruimte kunt innemen op de weg en het efficiënter kunt doen. Een bijkomstigheid zou dan inderdaad kunnen zijn dat je administratie kunt doen, maar die onverwachte situaties waarbij je misschien zou moeten ingrijpen blijven. En dan kun je nog zo een goed beeld hebben van de omgeving door bijvoorbeeld GPS, onverwacht blijft onverwacht. Ik denk dat je eerst in kaart moet brengen wat de kritische situaties zijn, dan kijken wat dat betekent en wat we van de bestuurder verwachten en vervolgens kijken welke oplossing mogelijk is. Dit kan bijvoorbeeld zijn dat we iets met de infrastructuur gaan doen of dat we ervoor zorgen dat we tijd winnen door extra informatie te verzamelen.

Iter: Het tijd winnen door extra informatie te verzamelen, bedoelt u daarmee bijvoorbeeld dat de chauffeur op een eerder moment wordt gewaarschuwd, zodat hij de tijd krijgt om het stuur over te nemen?"

Itee: Ja bijvoorbeeld.

Iter: In een onderzoek van Goudappel kwam naar voren dat weggebruikers bereid zijn om in een kort hiaat te voegen tussen een 'normale' colonne van vrachtverkeer. Hoe denkt u dat dit zal plaatsvinden als een voertuig tussen een platoon voegt?

Itee: Dit is een mooi voorbeeld van een situatie die je niet kunt voorspellen en dat is ook het probleem waar we het nu over hebben. Het ODD is een theoretisch verhaal, omdat wij niet weten wat deze gaat brengen voor de toekomst. Als een platoon prima met deze situatie kan omgaan en risico's kan inschatten aan de hand van de voertuigdichtheid, dan is er ook niks aan de hand. Maar de crux zit hem in het feit dat als er iets van de bestuurder verwacht wordt, dat je moet weten wat er van hem verwacht wordt en of hij dat überhaupt wel kan.

Iter: En als de bestuurder niet in staat is om in te grijpen, hoe kan zo'n dergelijke situatie worden opgelost? Bijvoorbeeld door maatregelen in de infrastructuur en/of het communiceren van data?

Itee: Ja, als er een onverwachte situatie gebeurt en de bestuurder is in staat om een onderdeel van het systeem uit te schakelen door middel van een knopje in te drukken: dan kan de oplossing van het probleem zijn dat de platoon even onderbroken wordt. Maar dat weet ik niet.

Iter: Net had u het erover dat het ODD theoretisch is en dat het moeilijk te voorspellen is hoe deze eruit komt te zien in de toekomst. Kunnen problemen die we nu zien, zichzelf op de langere termijn oplossen?

Itee: Tuurlijk, dat geldt voor truck platooning en de gehele automatisering van voertuigen. We hebben het elke keer over het ODD, maar dat is iets wat zich continu ontwikkelt. Wat we wel ongeveer weten is de performance-verloop voor mensen en dat als ik geconcentreerd met iets bezig ben, dat ik binnen een bepaalde tijdspanne heel goed kan presteren. Maar op het moment dat je mij uit de loop haalt en een andere taak laat doen, moet ik van taak wisselen. De Engelse term hiervoor is '*task switching*'. Als je bezig bent met een taak, terwijl het voertuig je aan het rijden is en hij vraagt om zijn taak over te nemen, moet je dus van taak veranderen. In het ene geval, afhankelijk van de context, is dat voor mij geen enkel probleem. In het ander geval is dat voor mij wel een probleem, want datgene wat ik moet doen past niet binnen mijn performance-verloop en de tijdsspanne. Voor jou is het dus de crux om dat in beeld te brengen. Als je naar literatuur kijkt, zou ik zoeken naar kritische situaties waarin een truck in een platoon de overdracht verlangt van de menselijke bestuurder. Want daar wringt het schoentje en hebben we een beeld van.

Andere weggebruikers

Iter: En als we kijken naar de andere weggebruikers. Verschillende onderzoeken tonen aan dat het in- en uitvoegen met een truck platoon op de rechterrijstrook onder weggebruikers grotendeels probleemloos verloopt. Echter zien zij wel verschillende risico's, zoals invoegers die doorrijden op de vluchtstrook, stoppen op de invoegstrook of gedeeltelijk op de rechterrijstrook rijden om ruimte af te dwingen. Hoe kijkt u tegen deze risico's aan?

Itee: Ik heb daar niet zoveel ervaring mee, maar wat ik wel op zo'n moment denk is van wat is het gewenste gedrag? We hebben een platoon en wat verlang je wel/niet van je overige verkeersdeelnemers? Dus als je niet wil dat er een auto in de gap gaat zitten, dan zou je kunnen afvragen hoe je ervoor zorgt dat dit niet gaat gebeuren. Hierbij geldt eigenlijk dat je een overzicht moet hebben van wat je verlangt van het wegverkeer in verschillende situaties. En als je een overzicht hebt van het ongewenst gedrag, dan kun je dat zo bijsturen dat ze dat niet

laten zien. Bijvoorbeeld wanneer overige verkeersdeelnemers een reactie geven op het feit dat ze geconfronteerd worden met een platoon. Je kunt een platoon op dat moment van vorm laten veranderen, zodat je meer ruimte geeft aan de overige verkeersdeelnemers, of je geeft de overige weggebruikers aanwijzingen hoe ze het beste met de situatie om kunnen gaan.

Iter: Bijvoorbeeld een app waarin je de weggebruiker waarschuwt voor de aanwezigheid van een platoon?

Itee: Welk medium je dan gebruikt wil ik niet te veel op voorruit lopen, want dat brengt ook weer allerlei issues met zich mee. Maar dat je de overige weggebruikers wil meegeven hoe te handelen, lijkt mij wel een goede optie. Het liefst heb je dat ze dit al bij de rijopleiding meekrijgen en niet op het moment dat ze dit moeten gaan verzinnen. Maar het 'hoe om te gaan met een platoon' is informatie die je kunt delen.

Iter: Ondanks dat dit kan worden meegegeven, bijvoorbeeld bij de rijopleiding, zullen weggebruikers alsnog niet een hogere taakbelasting ondervinden wanneer truck platooning sporadisch voorkomt?

Itee: Weet ik niet. Als ervaren bestuurder word ik soms ook geconfronteerd met situaties waarin ik iets moet doen wat ik liever niet zou doen. **De crux zit hem in het anticiperen op situaties.**

Truck platooning in het algemeen

Iter: En dan tenslotte om mee af te sluiten. Hoe kijkt u aan tegen de ontwikkeling van truck platooning?

Itee: Ik moet toegeven dat de ontwikkelingen minder hard gaan dan gedacht. En dan niet alleen truck platooning, maar sowieso ook voertuigautomatisering. In het verleden heb ik overwogen om AI te doen. Nu heb je bijvoorbeeld voetballende robots die gebruikt worden om progressie te maken in dat vakgebied. Destijds was het auto's binnen de lijnen houden en dat is heel simpel. Maar op het moment dat het voertuig iets moet doen wat onverwacht is en waarover niet is bedacht, dan wordt het ingewikkeld. Ik dacht altijd dat als je de individuele verkeersdeelnemers in een optimaal verkeersmodel giet, je iedereen heel simpel en efficiënt over de wegen kan leiden naar mijn verkeersmodel. Nou, dat bleek behoorlijk naïef, want zo ver is het nog steeds niet. Dus als je mij vraagt naar de ontwikkelingen: in theorie vind ik het fantastisch om het gedrag van de platoon af te stellen op het gedrag van de overige verkeersdeelnemers. Dat zou heel mooi en efficiënt kunnen gaan, maar die ontwikkelingen gaan gewoon niet heel hard. Het is eigenlijk heel simpel: als alles volledig geautomatiseerd zou zijn (niveau 5), dan zijn er géén problemen. Maar daar waar de mensen en machine/voertuig samen moeten werken is gewoon ingewikkeld. Wij als mensen zijn ervoor uitgerust: wij kunnen makkelijk samen een tijdje tennissen en heel makkelijk communiceren en zien wat een ander van plan is en daarop anticiperen. Wij zijn daar dialogisch gezien op elkaar afgestemd. **Maar de mix tussen mens en machine bestaat uit twee verschillende werelden waarover in designtaal over nagedacht moet worden. Als het gaat om automatisering, is er nu te veel of te weinig. We zitten in een soort van overgangsfase die best wel problematisch is.**

Iter: Is niet één van de grote obstakels dat de designtaal van deze systemen uit 'enen en nullen' bestaat, terwijl het verkeer hieruit niet bestaat?

Itee: Ja en ik denk ook dat het een beetje een denkfout is dat de menselijke factor wordt gezien als de risicofactor. Het feit is dat wij prima met een paar honderd kilometer per uur over een weg kunnen rijden en op dingen kunnen reageren. Een autonoom voertuig kijkt maar een paar honderd meter verder, en dan is hij blind. Die rijdt in feite in de dichte mist. En als je dat laatste beseft is dat nogal wat, want als hij schrikt (ik komt buiten mijn limieten, pak het alsjeblieft over) heb je daar niet op gerekend. Maar ik ben er ook niet voor uitgerust om uur bij uur bij de les te blijven om deze situatie te volgen.

Iter: Zou de transitieperiode mogelijkwijs dan eigenlijk voor onveiligere situaties kunnen leiden dat de 'traditionele' situatie?

Itee: Ja, soms wel. Ik denk het wel, maar dat heeft ook weer verschillende oorzaken. Er zijn ook extremen dat mensen in een Tesla rijden en denken dat ze op de achterbank kunnen gaan slapen tot mensen die manueel rijden en ook onveilig rijden. Het is dus een garantie voor niks. Maar ik denk wel dat de verwachtingen van de mens over wat zijn of haar voertuig allemaal kan, misschien te hooggespannen zijn in deze transitieperiode.

Iter: Onderzoeksbureau Gartner verklaart deze hooggespannen verwachtingen aan de hand van een 'hype cycle'. Wanneer er een nieuwe innovatie komt is iedereen vol verwachtingen, omdat de technologie een heleboel problemen gaat oplossen. Alleen na zijn piek, komt men erachter dat er nog veel obstakels overwonnen moeten worden, totdat de technologie veilig en winstgevend op de markt kan worden gebracht (desillusie). Pas wanneer de technologie fijner ontwikkeld wordt en het men lukt om alle kinderziektes eruit te krijgen, wordt het winstgevend en een kwalitatief product.

Itee: Ik heb ooit een verhaal gehoord van Meneer Jekel die deze cycle erbij haalde en vertelde over hoe ontwikkelingen gecommuniceerd worden. Stel een universiteit stelt dat binnen een aanzienbare tijd het mogelijk is om een voertuig autonoom te laten rijden. Dit wordt opgepakt door een adviesbureau dat de gegevens een beetje opklopt en laat zien dat autonome voertuigen een oplossing zijn op bepaalde problemen. Op die manier komt er een politicus of de media die de verwachting scheppen dat al onze problemen zijn opgelost. Maar de wetenschappers die met het nieuws kwamen, zijn tegelijkertijd met allerlei problemen aan het worstelen en kleine ingewikkelde stapjes maken. Dit maakt dat wij alleen een beetje een onrealistisch beeld hebben over wat allemaal mogelijk is. Men zou zich eens moeten realiseren hoe fijn wij in elkaar zitten: wat ik met mijn fijne motoriek allemaal kan en welke problemen ik kan oplossen. Als je iets wil programmeren dat net zo goed is, dan ben je wel even bezig. Kortom, in potentie heeft zo'n truck platoon echt wel zijn voordelen, maar het brengt ook risico's met zich mee die je niet zomaar wegbrengt.

Afsluiting

Iter: Dit waren alle vragen. Bedankt dat u wilde deelnemen aan het interview en de waardevolle input. Zou ik u op de hoogte mogen houden van de vorderingen in mijn onderzoek?

Itee: Natuurlijk. Het is een interessant onderwerp om te onderzoeken en vooral leuk dat jij vanuit verschillende invalshoeken hierna kan kijken.

Iter: Bedankt, tot ziens!



Bijlage 4 Notulen Kennissessie

Foto: Cardiff University

Organisator	Daniël Meeusen <i>Student aan Breda University of Applied Sciences</i>
Aanwezige experts	Alex van Loon <i>Senior Adviseur Verkeerskundig Ontwerp en Inrichting Hoofdwegennet bij Rijkswaterstaat</i> Boris van Waterschoot <i>Senior Adviseur Human Factors bij Rijkswaterstaat</i> Henk Schuurman <i>Coördinerend / Specialistisch Adviseur Verkeersmanagement & Smart Mobility bij Rijkswaterstaat</i> Onno Tool <i>Senior Adviseur ITS bij Rijkswaterstaat</i>
Doel van deze sessie	Bepalen knelpunten en subjectieve veiligheidsrisico's truck platooning in verschillende verkeerssituaties
Datum	Woensdag 7 april 2021
Tijdstip	13:00 – 14:00 uur
Locatie	Online via Microsoft Teams

Context

Op woensdag 7 april 2021 is er een kennissessie georganiseerd met aanwezig een viertal experts van Rijkswaterstaat. Van tevoren hebben zij een concept-knelpuntenanalyse ontvangen met de mogelijke veiligheidsrisico's per verkeerssituatie/element. Daarnaast hebben zij ook het theoretisch kader ontvangen en scope-opbouw. Tijdens deze sessie zijn de knelpunten en mogelijke veiligheidsrisico's besproken.

Notulen

Opening

- Welkomst
- Reacties op het theoretisch kader en de scope

Knelpunt-analyse

- **Invoegstrook:** Eén van de belangrijkste knelpunten. Niet alleen als er meerdere voertuigen op de invoegstrook rijden, maar ook één voertuig.
 - Interessant aspect is een invoegende vrachtwagen: Een vrachtwagen heeft weinig acceleratielengte, waardoor het weinig mogelijkheden heeft om vóór de platoon in te voegen. Als het snelheidsverschil klein is tussen de invoegende vrachtwagen en de truck platoon, kan hij er ook voor kiezen om achter de platoon in te voegen. Hij zal hierdoor op de rem moeten, met versturende effecten tot gevolg. In de praktijk, daar waar het overzichtelijk is, geven chauffeurs al vaak elkaar de ruimte door uit te wijken of vroegtijdig te remmen.

- Analyse van verkeer dat op de toerit komt: De lengte van de toerit, helling en kruispuntconfiguratie heeft invloed op of de invoegstrook een knelpunt vormt bij truck platooning. Meerdere voertuigen op de invoegstrook kan worden veroorzaakt door een VRI, waar 'plukken voertuigen worden losgelaten'. Als dit vaak voorkomt en ook nog eens op een plek met veel vrachtverkeer, dan heb je te maken met een serieus knelpunt.
- **Uitvoegstrook:** Leidt tot minder risicovolle situaties dan de invoegstrook. Als men een afrit nadert en een platoon ziet rijden, kan hij ervoor kiezen om te vertragen en erachter te rijden tot het uitvoegen. Dit gebeurt nu al vaak met pelotons van vrachtverkeer.
 - Versnellen om vóór de platoon uit te voegen: Zal niet vaak voorkomen. Echter als deze situatie zich voordoet, neemt de Time-to-Collision (die berekend wordt door het systeem) af, omdat het voertuig dat de platoon afsnijdt vertraagd. Gevolg: het systeem van de platoon gaat abrupt reageren en op de rem.
- **Korte in-/uitvoegstrook (< 200 m):** Dit is een verbijzondering van de in- en uitvoegstrook.
- **Weefvak:** Dit kan met 'gewone' pelotonvorming ook al voorkomen.
 - 3+3-situatie: Het ene truck platoon op de rechterbaan wil naar links en de andere truck platoon op de linkerbaan wil naar rechts, met de gedachte om de platoon intact te houden. Deze situatie is onmogelijk en/of instructies meegeven. Hiervoor moet je strategieën hebben.
- **Standaard (zuivere) samenvoeging:** Dit leidt tot een knelpunt onder de conditie als de platoon intact moet blijven. Op driestrooks-autosnelwegen geldt er géén inhaalverbod voor vrachtverkeer, dus een platoon zou op de middelste rijstrook mogen blijven rijden. Het mag naar rechts indien het mogelijk is.
- **Samenvoeging met rijstrookbeëindiging voor convergentiepunt:** Vergelijkbaar met de invoegstrook, alleen dan van de andere zijde (links invoegen).
- **Tapersamenvoeging:** Interessant scenario als er een platoon rijdt en men kan niet doorkruisen, omdat dit hele korte afstanden zijn.
 - Doel taper: Dit wordt toegepast wanneer twee rijbanen elkaar ontmoeten, waarbij de taper-invoeger net meer verkeer heeft dan dat dit door één rijstrook kan worden afgewikkeld en de hoofrijbaan voldoende capaciteit heeft om het verkeer vanuit de invoeger op te vangen. Dat betekent dat de hoofrijbaan altijd voldoende capaciteit moet hebben om de taper-invoeger te realiseren. Hier zit een balans in. In de praktijk zie je dat deze punten een risicovolle situatie vormen als het op één of beiden rijbanen te druk wordt. Dit resulteert in een vervelende situatie, waardoor de taperaansluiting dan niet meer voldoet. De oplossing hierop is om de taperrijstrook af te kruisen.
 - Taperuitvoeging: Minder risicovol, maar wel een worst-case scenario. Overigens kan men anticiperen op de taperuitvoeging, nadat er met de 'Nieuwe Bewegwijzering Autosnelwegen' de pijlen naar boven zijn geplaatst.

- **Standaard splitsing:** Veelal anticipeert het vrachtverkeer hierop, door al honderden meters voor de splitsing van rijbaan te wisselen.
- **Splitsing naar 1+2 rijstroken:** Veelal anticipeert het vrachtverkeer hierop. Bij een maximumsnelheid van 130 km/u kan dit wel snelheidsverschillen veroorzaken, welke ook nu met 'gewoon' vrachtverkeer al optreedt.
- **Begin spitsstrook:** Een platoon hoeft niet op de spitsstrook te rijden.
- **Spitsstrook:** Smallere uitvoering dan 2,80m vindt alleen plaats op de linkerrijstrook (plusstrook). Wel hebben zowel de rechtere- en linkere uitvoering van de spitstrook een 5 centimeterlijn, welke snel vervuult. Dit zorgt ervoor dat een platoon met LKA snel in de problemen komt (geldt alleen bij niveau 1 en 2).
- **Einde spitsstrook:** Een platoon hoeft niet op de spitsstrook te rijden.
- **Wegdek:** Spoorvorming is een algemeen verschijnsel door de ingroei van LKA-systemen.
- **Brug:** De positiebepaling kan verstoord worden door staal.
- **Tunnel:** De positiebepaling kan verstoord worden en eventueel Shortrange Communicatie kan hiervan last hebben. De verbinding met de informatie die je nodig hebt, valt hierdoor weg.
- **VRI-geregeld kruispunt:** iVRI's kunnen al prioriteit geven aan vrachtverkeer of een adviessnelheid meegeven. De vrachtwagen moet hiervoor wel aangemeld zijn.
- **Ongeval/berging:** Hoeft geen probleem te zijn. Kan zijn dat de voorste bestuurder de besturing overneemt en de andere voertuigen volgen. Dit kan alleen als de positiebepaling accuraat is.
- **Werkzaamheden:** Zelfde als ongeval/berging. Werkzaamheden hoeven niet buiten het ODD te liggen als alternatieve kaarten worden aangeleverd.
- **Afsluiting tunnel:** Dit is een worst-case scenario.
- **Brugopening:** Dit is een worst-case scenario.

Afsluiting

- Dankwoord