

**VERDUURZAMEN MET CONNECTED AUTOMATED TRANSPORT: RESULTATEN UIT HET CATALYST LIVING LAB EN VOORUITBLIK**

Kempen, van. E., TNO (Sustainable Transport and Logistics Den Haag)

Meijeren, van, J., TNO (Sustainable Transport and Logistics Den Haag)

## **Samenvatting**

De Nederlandse transportsector staat voor een grote duurzaamheidsopgave om voor 2030 de CO<sub>2</sub> uitstoot van logistiek met 3,7 Mton te verminderen. Er is een combinatie van maatregelen nodig om dit doel te bereiken. In dit paper gaan we in op de bijdrage van nieuwe technologie – en dan specifiek Connected Automated Transport (CAT) innovaties – aan verduurzaming van wegtransport in Nederland. Een thema dat vooralsnog niet veel aandacht heeft in de actieagenda van de Topsector Logistiek.

Middels een Living Lab aanpak is in het CATALYST programma op basis van real-world driving data in kaart gebracht dat er brandstof – en CO<sub>2</sub> besparing gerealiseerd kan worden met behulp van CAT innovaties zoals het rijden met Adaptive Cruise Control (ACC) en het gebruik van iVRI's.

CATALYST werkt in de lopende activiteiten verder aan het in kaart brengen van de real-world impact van de Super EcoCombi en C-ACC rijden – als voorloper op truck platooning. Daarnaast onderzoekt CATALYST het verduurzamingspotentieel van smart dollies (autonome voertuigen op yards) door simulatieonderzoek en metingen aan huidige terminalvoertuigen te combineren.

Voor het succesvol implementeren van Connected Automated Transport innovaties is een multidisciplinaire aanpak nodig die kijkt naar zowel de impact (bijv. op verduurzaming, veiligheid, efficiëntie en doorstroming) als verschillende randvoorwaarden. Connected Automated Transport gaat om meer dan de voertuigtechnologie: alleen als er rekening wordt gehouden met organisatorische en sociale innovatie is integratie in de logistieke keten mogelijk.

### **1. Introductie**

#### **1.1. Verduurzaming transportsector grote maatschappelijke opgave**

Het verminderen van de negatieve gevolgen van klimaatverandering en het reduceren van schadelijke emissies zijn grote maatschappelijke opgaven. In navolging van het VN Klimaatakkoord (Parijs 2015) heeft Europa het doel gesteld om broeikasgassen in 2030 met tenminste 40% terug te dringen ten opzichte van 1990<sup>1</sup> (European Commission, 2015). Meer recentelijk (september 2020) is binnen het actieplan van de Europese Green Deal voorgesteld om de reductie aan te scherpen tot een besparing van uitstoot met tenminste 55% in 2030 (European Commission, 2020).

Deze doelstellingen hebben ook een grote impact op de transportsector. Binnen alle modaliteiten – spoor, binnenvaart, wegvervoer – dienen de emissies van CO<sub>2</sub> te worden gereduceerd. In het

---

<sup>1</sup> Voertuigen met een gewicht van meer dan 3.5ton: Vrachtauto's, trekker-opleggers, speciale voertuigen licht en zwaar, exclusief bussen.

Nederlandse klimaatakkoord is de ambitie uitgesproken om de CO<sub>2</sub> uitstoot van logistiek met 30% ofwel 3,7 Mton te verminderen (Topsector Logistiek, 2019). Zwaar wegtransport vormt ~ 5% van alle CO<sub>2</sub>-emissies in Europa en ~ 25% van alle verkeersemisies (ERTRAC, 2019); in Nederland is dit respectievelijk ~ 3% en ~ 22% van alle verkeersemisies (PBL, CBS, TNO, RIVM, RVO, 2020). Met een verwachte volumetoename in transport is emissiereductie een grote opgave.

## 1.2 Combinatie van maatregelen nodig in zwaar wegtransport

Er is niet één maatregel die de uitstoot in het (weg)transport reduceert naar nul in 2050 (Van Zyl, Kok, Smokers, Wilkins, & Spreen, 2017). Er is een combinatie van verschillende maatregelen nodig – zowel op het vlak van technische als organisatorische en sociale innovaties – om te komen tot de vereiste reductie. Het is hierbij mogelijk om onderscheid te maken tussen de volgende categorieën maatregelen (Van Zyl et al., 2017; Topsector Logistiek, 2019):

- **Alternatieve brandstoffen en aandrijflijnen** – bijvoorbeeld hybride vrachtwagens of aandrijving op basis van elektriciteit, (bio)LNG of waterstof. In het buitenland (o.a. Duitsland) wordt ook geëxperimenteerd met bovenleidingen voor hybride trucks.;
- **Toepassing van nieuwe technologieën in voertuigen** – bijvoorbeeld Connected Automated Transport innovaties zoals Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) die chauffeurs ondersteunen bij de rijtaak of geavanceerde rij coaching-technologie voor het optimaliseren van rijgedrag (en daarmee verminderen van brandstofverbruik). Daarnaast kunnen zonnepanelen op trailers – verantwoordelijk voor genereren van energie voor alle elektrische functionaliteiten van het voertuig – bijdragen aan verminderen van brandstofverbruik.;
- **Logistieke optimalisatie, organisatie** – en gedragsverandering – bundelen van transporten en verminderen van 'lege kilometers' door datadeling, samenwerking, het gebruik van ontkoppelpunten, modal shift en ketenintegratie. Deze thema's zijn onderdeel van de actieagenda van de Topsector Logistiek.

Bovenstaande laat zien dat er zeer uiteenlopende maatregelen zijn die gezamenlijk kunnen bijdragen aan de benodigde reductie in emissies in het zware transport. In dit paper gaan we in op de bijdrage van nieuwe technologie – en dan specifiek *Connected Automated Transport* (CAT) innovaties – aan verduurzaming van wegtransport in Nederland. Een thema dat vooralsnog niet veel aandacht heeft in de actieagenda van de Topsector Logistiek (Topsector Logistiek, 2019). Daarom heeft dit paper de volgende doelen:

- Presenteren van de onderzoeksresultaten van het Living Lab CATALYST ten aanzien van de bijdrage van CAT aan verduurzaming;
- Vooruitblikken op lopende en toekomstige activiteiten die bijdragen aan het in kaart brengen van het verduurzamingspotentieel van *Connected Automated Transport*.

### 1.3 Connected Automated Transport op yards en corridors

Digitalisering en automatisering gaan snel in transport en logistiek. Technische ontwikkelingen maken hogere niveaus van automatisering en autonomie van voertuigen mogelijk. *Connected Automated Transport* is een overkoepelende term voor diverse innovaties die de connectiviteit en de mate van automatisering in het goederenvervoer verhogen (Voegel, et al., 2018). SAE International (2019) heeft internationale normen ontwikkeld om de automatiseringsniveaus van voertuigen te onderscheiden; van *level 0* (geen automatisering) tot *level 5* (volledig autonoom). De meeste huidige voertuigen met rijtaakondersteunende systemen (ADAS) vallen onder SAE level 1-2. Naast de toenemende automatisering worden voertuigen ook steeds meer met elkaar verbonden door voertuig-voertuig (V2V) en voertuig-infrastructuur (V2I) communicatie (Schladover S. , 2018).

Er zijn CAT toepassingen voor zowel de openbare weg als afgesloten terreinen – zoals havengebieden en distributiecentra. CAT innovaties zullen eerder worden geïmplementeerd in contexten met lagere complexiteit. Het is dan ook de verwachting dat CAT – zoals autonome voertuigen (AV's) – eerder op yards ingezet worden dan voor of hub-hub transport of op de openbare weg (ERTRAC, 2019).

#### Yards en hub-hub transport

Op afgesloten (terminal) terreinen in havens is al langere tijd sprake van hogere mate van automatisering met onder andere de inzet van Automated Guided Vehicles (AGV's). Onbemande autonome voertuigen (in de transportcontext ookwel smart dollies genoemd) gaan nog een stuk verder. Waar AGV's volgens voorgeprogrammeerde software en paden opereren, zijn AV's adaptiever en in staat om zonder vooraf gedefinieerde scripts ook in nieuwe situaties veilig te rijden. Wij onderscheiden verschillende typen smart dollies:

- Rigid-body smart dolly – een elektrische en onbemande bakwagen of rijdend platform waar lading op geplaatst wordt (bijv. het Einride T-Pod concept)
- Articulated smart dolly – een dolly die het mogelijk maakt om trailers en opleggers vanaf een logistiek ontkoppelpunt elektrisch en autonoom te vervoeren over de first en last mile (bijv. Volvo Vera concept)
- High Capacity Transport dolly – trailers in langere voertuigcombinaties (waaronder LZV Type D, Super EcoCombi) worden gekoppeld door gebruik te maken van een dolly. Door deze dolly te voorzien van elektrische aandrijving en remote control/automated driving-functies kan deze dolly zelfstandig de first en last mile rijden en automatisch docken bij een logistiek ontkoppelpunt zoals een distributiecentrum of terminal (AEROFLEX, sd).

Tijdens proeftesten op het traject van een distributiecentrum van DFDS naar een APM-terminal in de haven van Göteborg heeft Volvo de smart dolly robot Volvo Vera al succesvol ingezet (Leonard, 2019). Ook de eerste modellen van de Einride T-Pod – die in 2021 aan klanten worden geleverd – zijn ontworpen voor afgesloten gebieden en voor hub-hub transport naar bestemmingen op korte afstanden (Randall, 2020).

## Corridors

De uitvinding van Cruise Control is de start geweest van het verder ontwikkelen van systemen die de bestuurder ondersteunen in de uitvoering van de rijtaak: zogenaamde *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS). Vanuit het oogpunt van veiligheid worden steeds meer systemen verplicht gesteld door de Europese Commissie. *Cooperative Adaptive Cruise Control* (C-ACC) en *Truck Platooning* worden gezien als opvolgende systemen van het huidige Adaptive Cruise Control en als opmaat naar volledig autonome voertuigen. Truck platooning kan worden omschreven als een groep van twee of meer geautomatiseerde coöperatieve voertuigen die gebruikmaken van voertuig-voertuig communicatie (V2V) (Janssen, Zwijnenberg, Blankers, & de Kruijff, 2015). Hierbij is onderscheid te maken tussen *supported platooning* (chauffeur verantwoordelijke voor de rijtaak) en *autonomous platooning* (systeem voert de rijtaak uit binnen het gespecificeerde Operational Design Domain (ODD)) (Willemsen, et al., 2020).

Binnen het Europese project ENSEMBLE heeft in september 2021 een succesvolle demonstratie plaatsgevonden van een multi-brand platoon (ENSEMBLE, 2021). Daarnaast zijn er ook in onder andere Amerika vergevorderde experimenten en pilots met truck platooning (o.a. Peleton) en autonoom rijden (o.a. UPS en TuSimple met SAE L4 hub-hub transport). Ook test TuSimple samen met Scania in Zweden een SAE L4 voertuig op de openbare weg (Scania, 2021). Dit zijn enkele van de voorbeelden die laten zien dat de techniek steeds verder gevorderd is en in praktische experimenten wordt ingezet.

Daarnaast zijn er ook ontwikkelingen rondom een toenemende mate van connectiviteit op de corridor: in-truck informatie en de Super EcoCombi. In-truck informatie is een verzamelnaam voor verschillende technologieën die het voertuig verbinden met de omgeving door actuele informatie in de truck te brengen (bijvoorbeeld tijd-tot-groen/rood of prioriteitsverlening bij verkeerslicht (IVRI), nadering van hulpdiensten, wegsensordata, wegwerkzaamheden en snelheidsadviezen. Het Connected Transport Corridors programma houdt zich in Nederland bezig met de uitrol van deze technologieën. In paragraaf 0 wordt verder ingegaan op het gebruik van IVRI's (intelligente VerkeersRegelInstallatie); hierbij kan (via een app op de telefoon van de vrachtwagenchauffeur) automatisch gecommuniceerd worden met een verkeerslicht. Als de verkeerssituatie het toelaat, kan het voertuig prioriteit krijgen en daarmee letterlijk groen licht krijgen.

De Super EcoCombi (ookwel duo-trailer) is een voertuigconcept waarbij twee standaard trailers van 13,6 meter in één vrachtwagencombinatie worden vervoerd (trailers zijn gekoppeld met een dolly). De SEC is in totaal ongeveer 32 meter lang. Dit is de volgende schaalstap na de LZV of EcoCombi van 25,25 meter. De SEC is met deze lengte momenteel niet toegestaan op het Nederlandse wegennet. Voor het verlenen van toegang gaan – in navolging van initiatieven in het buitenland – ideeën op om te werken met intelligente toegang. Hierbij worden toegang verleend wanneer voertuigkarakteristieken *matchen* met de eigenschappen van de infrastructuur (Kural, et al., 2021). Het uitwisselen van zowel statische

als dynamische real-time data is hiervoor nodig en maakt de Super EcoCombi hiermee een *Connected transport* innovatie voor de corridor (Kural, et al., 2021).

## 2. Living Lab aanpak in CATALYST

Een Living Lab is een testomgeving en ecosysteem voor cyclische ontwikkeling en evaluatie van complexe innovatieve concepten en technologie in een real-world omgeving, waarin verschillende stakeholders samenwerken naar een gemeenschappelijk doel (Quak, Lindholm, Tavasszy, & Browne, 2016). In lijn met deze definitie is het Living Lab CATALYST in 2019 opgericht om *Connected Automated Transport* innovaties te ontwikkelen en versnellen voor duurzamer, veiliger en efficiënter zwaar wegtransport. CATALYST is een publiek-private samenwerking van meer dan 40 partners uit bedrijfsleven, overheden en kennisinstellingen en onderzoekt CAT-toepassingen die zowel maatschappelijke waarde als een economische business case creëren voor het zware wegtransport. Deze innovaties worden mogelijk door verbeterde connectiviteit en automatisering, zoals Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), truck platooning, Super EcoCombi, in-truck informatie (zoals iVRI's) en autonome voertuigen voor zowel afgesloten gebied als de openbare weg. Met de zogenoemde 'Orchestrating Innovation' aanpak (TNO, 2021) geeft CATALYST vorm aan het Living Lab. Door cyclisch te werken is het Living Lab adaptief en kan op basis van voortschrijdend inzicht de volgorde van activiteiten en de vorm van activiteiten worden aangepast om de kans op succesvolle implementatie van CAT innovaties voor verduurzaming, veiligheid en efficiëntie te waarborgen. In de volgende paragrafen worden verschillende studies beschreven die in het ecosysteem van het CATALYST Living Lab al zijn uitgevoerd (zie 0-0), voorbereid worden (zie 0), en in uitvoering zijn (zie 0), zie ook Figuur 2.



Figuur 2 - Status onderzoek in CATALYST bijdrage CAT innovaties aan verduurzaming.

## 3. Studies in CATALYST: resultaten en vooruitblik

### 3.1 Impact van ACC rijden op brandstofverbruik en emissies: 4-6% besparing

Ter verkenning (nulmeting) voor de implementatie en uitrol van truck platooning focust dit onderzoek op het meten van de impact van al bestaande technologie: Adaptive Cruise Control. Een belangrijk aspect van deze studie is dat metingen plaatsvinden in de reguliere logistieke praktijk (*Field Operational*

*Test*), in tegenstelling tot eerdere studies die voornamelijk op testbanen zijn uitgevoerd (zie Veldhuizen et al., 2019).

Voor het bepalen van brandstofverbruik en emissies zijn 6 voertuigen geïnstrumenteerd met het Smart Emissions Measurement System (SEMS) (Sprenen, et al., 2016). Gedurende 15 weken worden de voertuigen met professionele beroepschauffeurs en logistieke lading gemonitord tijdens verschillende rijcampagnes. Voertuigen rijden gedurende periodes van 2 weken (volgens instructie) zonder ACC, met ACC in stand 3 (+/- 50m. volgafstand bij 80 km/uur), met ACC in stand 1 (+/- 33m. volgafstand bij 80 km/uur), of in vooraf geplande konvooien met ACC 3 of ACC 1 (Van Kempen, et al., 2021). Tijdens deze studie zijn impact van real-world ACC rijden op brandstofverbruik, chauffeur en logistiek in kaart gebracht. In dit paper beschouwen we alleen de aanpak en resultaten ten aanzien van brandstofverbruik. In totaal zijn er in deze studie (in een periode van 25 weken) 15 weken aan data gelogd van 11 chauffeurs en 9 voertuigen. In deze periode is er ~353.000 kilometer gelogd waarvan ~274.000 kilometer op hoofdwegen waarbij de snelheid van de voertuigen hoger was dan 75 km/uur. In de data analyse zijn alleen de gegevens meegenomen van ritten die hebben plaatsgevonden op snelwegen (of wanneer wegtype niet bekend was op snelheden hoger dan 75 km/uur). Dit omdat in eerste instantie het toepassingsgebied van truck platooning ook op snelwegen zal zijn.

Uit de analyse volgt dat de gemiddelde brandstofbesparing voor een volgafstand van 50 meter (ACC 3) 4% bedraagt; en dat de gemiddelde brandstofbesparing voor een volgafstand van 33 meter (ACC 1) 6% is. De brandstofbesparing is gecorrigeerd voor rijdynamiek en belading. Voor deze voertuigen werd zonder ACC geen significant lager brandstofverbruik vastgesteld bij volgafstanden minder dan 33 meter dan bij een volgafstand van 33 meter met ACC. De gegevens uit de praktijk laten een spreiding zien in de resultaten tussen de verschillende vrachtwagens (zie Van Kempen et al., 2021 voor uitgebreide beschrijving van resultaten en vergelijking met eerdere studies).

### **3.2 Impact vermeden stop bij iVRI's op brandstofverbruik: 16% op traject voor en na verkeerslicht**

In eerder onderzoek zien we dat het gebruik van iVRI's bij *traffic control* potentie heeft om bij te dragen aan de verduurzaming van wegtransport (zie voor een overzicht van eerder onderzoek Deschle et al., 2021). Deze studie heeft als doel om op basis van *real-world* data een inschatting te maken van de bijdrage van iVRI's aan het reduceren van brandstofverbruik en emissies. Hiervoor is gebruik gemaakt van fysieke metingen aan de 5 voertuigen uit de studie in paragraaf 0. Specifiek is data geselecteerd omtrent emissies, brandstofverbruik, snelheid en positie (op basis van GPS). Nadat de locatie van de verkeerslichten was bepaald werden de voertuiggegevens rond kruispunten geselecteerd (met behulp van Map Matching). Voor het analyseren van de verschillende snelheids- en emissieprofielen werd gebruik gemaakt van drie scenario's (voertuig stopt, voertuig remt af, voertuig rijdt door).

De eerste resultaten laten zien dat als een vrachtwagen niet hoeft te stoppen bij een regulier verkeerslicht, er 0,12 liter diesel oftewel 0,32 kg CO<sub>2</sub> en 1.8g NO<sub>x</sub> wordt bespaard per vermeden stop. Dit komt neer op 16% brandstofbesparing op het afgelegde traject voor en na een verkeerslicht (Deschle et al., 2021). Dit is een voorzichtige schatting, want bij nieuwe iVRI's kan er mogelijk nog meer brandstof bespaard worden door betere in-truck informatie (bijvoorbeeld tijd-tot-groen/tijd-tot-rood).

### **3.3 Voorbereiding real-life testen C-ACC rijden en Super EcoCombi**

Innovaties zoals C-ACC (platooning) en de Super EcoCombi zijn (voor Nederland) respectievelijk een nieuwe voertuigtechnologie – en concept. De C-ACC technologie is al wel aanwezig in prototypes (bijvoorbeeld de DAF-TNO EcoTwins). Daarnaast kan een Super EcoCombi samengesteld worden met behulp van bestaand materieel. Toch kan er nog geen praktijkproef plaatsvinden met deze concepten omdat deze eerst bij de Rijkdienst Wegverkeer (RDW) ontheffing moeten krijgen voor toegang tot het Nederlandse wegennet. Momenteel doorloopt CATALYST samen met betrokken stakeholders dit proces. Wanneer ontheffing wordt verleend zullen brandstofverbruik en emissies van zowel de C-ACC voertuigen als de SEC worden gemonitord met behulp van SEMS (zie ook 0). Met dit monitoringssysteem kan de brandstofimpact in het Nederlandse verkeersbeeld worden bepaald<sup>2</sup>.

### **3.4 Smart yards simulatie en yard emissie monitoring voor inschatten duurzaamheids-potentieel**

Door de inzet van AV's of smart dollies op yards te combineren met logistieke concepten zoals bijvoorbeeld een ontkoppelpunt is de verwachting dat op verschillende vlakken een bijdrage kan worden geleverd aan duurzaamheidsdoelstellingen:

- Verminderen van congestie van in-en uitgaande stromen bij yards. (Diesel)vrachtwagens en hun chauffeurs hoeven niet meer onnodig te wachten en smart dollies voeren het transport uit op het juiste moment in tijd. Dit bespaart brandstofverbruik en daarmee CO<sub>2</sub>-uitstoot naast vermindering van NO<sub>x</sub>-uitstoot.
- Elektrificatie van smart dollies kunnen een mogelijke vervanging zijn van diesel/-hybride terminal trekkers en/of AGV's op yards. In dit geval zorgt dit concept ook bij de hub voor een reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot.

In CATALYST worden verschillende 'smart yard' simulatiestudies uitgevoerd (o.a. in samenwerking met Universiteit Twente, Distribute, North Sea Port, Port of Moerdijk) om de impact van de inzet van autonome voertuigen op verschillende prestatie indicatoren – waaronder doorstroming, efficiëntie,

---

<sup>2</sup> In Zweden is vastgesteld dat de SEC ongeveer 25% (Scania Transport Lab) -27% (Cider L, Larsson L, HCT DUO2-project Gothenburg-Malmö in Zweden, 2019) brandstof bespaart.



vermeden kilometers, duurzaamheid – in kaart te brengen. Deze simulaties zijn een voorbereiding op praktijkproeven in de doorontwikkeling van CATALYST mits de verschillende scenario's de beoogde positieve effecten laten zien.

Daarnaast blijkt dat op dit moment de huidige uitstoot van terminalvoertuigen een 'blinde vlek' is; er zijn geen recente *real-world* emissiegegevens bekend (schattingen en niet recente gegevens in Oonk, 2006; Soriano, 2006). Daarom rolt CATALYST een monitoringsprogramma uit waarbij gedurende 2 maanden verschillende (diesel) terminaltrekkers in de logistieke operatie van Vepco en DPD gevolgd worden met behulp van het SEMS emissiemeetsysteem. Op basis hiervan kan in kaart worden gebracht wat de huidige emissies bij yards zijn (nulmeting). Vervolgens onderzoekt CATALYST in hoeverre toekomstige autonome yard voertuigen elektrisch (of zero-emissie) zijn. De inzichten hiervan worden gecombineerd en geschaald om een inschatting te maken van het verduurzamingspotentieel van autonoom rijden op afgesloten terreinen.

#### **4. Discussie**

Dit paper beschrijft de duurzaamheidsuitdagingen van de logistieke sector en de mogelijke bijdrage van Connected Automated Transport innovaties in het verminderen van brandstofverbruik en emissies. Er is een grote verscheidenheid aan CAT innovaties en de technologische maturiteit van de verschillende technologieën. In het Living Lab CATALYST zijn verschillende studies uitgevoerd op basis van al bestaande technieken (respectievelijk ACC en iVRI's) om zo de *real-world* impact in kaart te brengen. Beide studies laten een besparing in brandstof en emissies zien. Daarnaast worden voorbereidingen getroffen voor het monitoren van CAT innovaties in een experimentele praktijkcontext – afhankelijk van RDW goedkeuring. Tot slot is CATALYST ook bezig om de impact van – (in Nederland) nog niet beschikbare CAT toepassingen – in kaart te brengen: smart dollies op afgesloten yards. Door middel van simulatiestudies kan een eerste inschatting gemaakt worden van de effecten van de inzet van autonome voertuigen in havengebieden in combinatie met logistieke concepten zoals ontkoppelpunten. Deze studie wordt aangevuld met een nulmeting van de *real-world* emissies van huidige terminalvoertuigen; momenteel nog een 'blinde vlek'.

Het monitoren van de duurzaamheidsimpact van *Connected Automated Transport* is van belang voor het opstellen van business en value cases van deze innovaties. Deze zijn relevant voor verschillende stakeholders in de sector voor toekomstige adoptie van de technologie. In dit paper is alleen gefocust op de duurzaamheidsimpact van CAT. CATALYST kijkt echter ook breder naar impact op het gebied van veiligheid, efficiëntie en doorstroming. Naar de visie van CATALYST is het alleen mogelijk om *Connected Automated Transport* op een verantwoorde manier te implementeren door middel van een multidisciplinaire aanpak. Randvoorwaarden met betrekking tot wet-en regelgeving, data, benodigde digitale infrastructuur, (fysieke) infrastructuurbelasting en adoptiebereidheid bij gebruikers en

transporteurs zijn factoren die hierbij van belang zijn. *Connected Automated Transport* gaat om meer dan de voertuigtechnologie: alleen als er rekening wordt gehouden met organisatorische en sociale innovatie is integratie in de logistieke keten mogelijk.

## **5. Verantwoording**

Dit paper is geschreven in het kader van Living Lab CATALYST. Het Living Lab is gestart op basis van een eerste financiering afkomstig van Topsector Logistiek, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, TKI-Dinalog, NWO, Regieorgaan SIA en TNO. Resultaten in dit paper zijn gebaseerd op onder andere het position paper Verduurzamen met Connected Automated Transport (Van Kempen, Eckartz, Van Meijeren, & Janssen, 2021) en onderzoeksrapportages: (Van Kempen, et al., 2021), (Deschle, Van Ark, Van Gijlswijk, & Janssen, 2021), en (Van Ark E. , Deschle, Janssen, & De Ruitter, 2020).

## Referenties

AEROFLEX. (n.d.). Retrieved 2020, from <https://aeroflex-project.eu/>

Deschle, N., Van Ark, E., Van Gijlswijk, R., & Janssen, R. (2021). Impact of Signalized Intersections on CO2 and NOx Emissions of Heavy Duty Vehicles.

ENSEMBLE. (2021). Retrieved from <https://platooningensemble.eu/events/23-september6054b64811568#:~:text=On%2023%20September%202021%20the,its%20multi%2Dbrand%20platooning%20technology!&text=The%20ENSEMBLE%20consortium%2C%20coordinated%20by,traffic%20safety%20on%20European%20roads>

ERTRAC. (2019). *A roadmap for System integration of Road Transport*. Brussel: ERTRAC. Retrieved from <https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id56/ERTRAC-Long-duty-Freight-Transport-Roadmap-2019.pdf>

ERTRAC. (2019). *Connected Automated Driving Roadmap*. Brussel: ERTRAC.

European Commission. (2015). *Paris Agreement*. Retrieved 2020, from [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en)

European Commission. (2020). *2030 climate & energy framework*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en)

Janssen, G. R., Zwijnenberg, J., Blankers, I. J., & de Kruijff, J. S. (2015). *Truck platooning: Driving the future of transportation*. Delft: TNO.

Kural, K., Van Kempen, E., Kraaijenhagen, B., Asp, T., Aarts, L., & Wandel, S. (2021). Intelligent Access Policy ensuring the right vehicle on the right road at the right time. *27th ITS World Congress*. Hamburg, Germany.

Leonard, M. (2019). Retrieved from <https://www.supplychaindive.com/news/vera-volvos-autonomous-vehicle-dfds-sweden/556901/>

Oonk, H. (2006). *Emissions to air due to activities on container terminals and future developments as a result of autonomous developments and additional measures. 2006-A-R0201/B*. Apeldoorn: TNO.

PBL, CBS, TNO, RIVM, RVO. (2020). *Klimaat- en Energieverkenning 2020*. Den Haag: PBL. Retrieved from <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-klimaat-en-energieverkenning-2020-3995.pdf>

Quak, H., Lindholm, M., Tavasszy, L., & Browne, M. (2016). From freight partnerships to city logistics living labs—Giving meaning to the elusive concept of living labs. *Transportation Research Procedia*, *12*, 461-473.

- Randall, C. (2020). Retrieved from <https://www.electrive.com/2020/10/12/einride-introduces-next-generation-electric-truck/>
- Scania. (2021). Retrieved from <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/press-releases/press-release-detail-page.html/3880923-scania-tests-self-driving-trucks-in-motorway-traffic>
- Schladover, S. (2018). Connected and Automated Vehicle Systems: Introduction and overview. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 190-200.
- Soriano, B. (2006). *Cargo Handling Equipment Yard Truck Emission Testing*. California Environmental Protection Agency: Air Resources Board. Retrieved from <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/classic/ports/cargo/documents/yttest.pdf>
- Spreen, J. S., Kadijk, G., Vermeulen, R. J., Heijne, V., ..., & Ligterink, N. (2016). *Assessment of road vehicle emissions: Methodology of the Dutch in-service testing programmes*. Delft: TNO.
- TNO. (2021). Retrieved from <https://orchestratinginnovation.nl/>
- Topsector Logistiek. (2019). *Actieagenda Topsector Logistiek 2020-2023*. Delft.
- Van Ark, E., Deschle, N., Janssen, G., & De Ruiter, J. (2020). *Fuel consumption and pollutant emissions of heavy-duty trucks traversing signalized intersections: an exploration using real-world data*. TNO report TNO 2020 P11453.
- Van Ark, E., Deschle, N., Janssen, R., & De Ruiter, J. (2020). *Fuel consumption and pollutant emissions of heavy-duty trucks traversing signalized intersections: an exploration using real-world data*. TNO 2020 P11453. Den Haag: TNO.
- Van Kempen, E., De Ruiter, J., Souman, J., Van Ark, E., Deschle, N. O., Geurts, M., . . . Janssen, R. (2021). *Real-world impacts of truck driving with Adaptive Cruise Control on fuel consumption, driver behaviour and logistics - results from a hybrid field operational test and naturalistic driving study in The Netherlands*. TNO 2021 R10516. Den Haag: TNO.
- Van Kempen, E., Eckartz, S., Van Meijeren, J., & Janssen, R. (2021). *Verduurzamen met Connected Automated Transport*. TNO 2021 P10081. Den Haag: TNO.
- Van Zyl, S., Kok, R., Smokers, R., Wilkins, S., & Spreen, J. (2017). *Great challenges lie ahead or low-carbon long-haul transport*. Den Haag: TNO.
- Veldhuizen, R., Van Raemdonck, G., & Van der Krieke, J. (2019). Fuel economy improvement by means of two European tractor semi-trailer combinations in a platooning formation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 188, 217-234.
- Verweij, K., Van Luik, C., Behkamp, B., Schroten, A., & L., V. W. (2020). *Super EcoCombi Verkenning van kansen en verwachte effecten*. Topsector Logistiek. Retrieved from <https://topsectorlogistiek.nl/wptop/wp-content/uploads/2020/07/Super-EcoCombi-20072020.pdf>

Voegelé, T., Godziejewski, B., Grand-Perret, S., Merat, N., Rødseth, Ø., & Van Schijndel-De Nooij, M. (2018). *Connected and Automated Transport. Studies and reports*. . Brussels: European Commission.

Willemsen, D., Vissers, J., Schmeitz, A., Banspach, J. L., Bidlingmaier, U., & H., N. (2020). *V2 Platooning use cases, scenario definition and Platooning Levels (Version A)*. H2020 Project ENSEMBLE. Retrieved from [https://platooningensemble.eu/storage/uploads/documents/2020/02/17/D2.3-Ver.-A---V2-Platooning-use-cases-scenario-definition-and-Platooning-Levels\\_\(Ver.-A\)\\_for-information-to-the-EC.pdf](https://platooningensemble.eu/storage/uploads/documents/2020/02/17/D2.3-Ver.-A---V2-Platooning-use-cases-scenario-definition-and-Platooning-Levels_(Ver.-A)_for-information-to-the-EC.pdf)