



Logistiek algemeen

Autonoom transport op de Yard

Inzichten voor
logistieke partijen

Evelot Westerink-Duijzer

HZ University of Applied Sciences

Gijs van Stekelenburg

HAN University of Applied Sciences

Elisah van Kempen

TNO

Samenvatting

Connected Automated Transport (CAT) kan helpen om uitdagingen in de transportsector te verminderen, zoals het chauffeurstekort en de verwachte toename in transportvolume. Toch zijn veel logistieke partijen terughoudend, omdat de verwachte inspanningen en effecten van CAT onduidelijk zijn. Dit artikel bespreekt een methode om deze onduidelijkheid te verminderen. We laten zien dat CAT een verandering op systeemniveau vereist en identificeren de thema's waarop keuzes gemaakt moeten worden. Op basis van een toepassing in drie logistieke cases leiden we af in welke situaties het economisch potentieel van CAT het best gerealiseerd wordt. De inzichten helpen logistieke bedrijven te verkennen of en hoe CAT voor hen van meerwaarde kan zijn.

Inleiding

De transportsector staat voor meerdere uitdagingen, zoals een tekort aan chauffeurs, en de noodzaak om de uitstoot van broeikasgassen en het aantal verkeersdoden te verminderen. Daarnaast wordt verwacht dat de vraag naar transportvolume alleen maar zal toenemen. Connected Automated Transport (CAT) kan naar verwachting helpen deze uitdagingen te verminderen en daarmee bij te dragen aan veilig, efficiënt en duurzaam wegtransport (Dong, Akram, Andersson, Arnäs, & Stefansson, 2021; ETRAC, 2022).

Ondanks het potentieel en de verwachte voordelen van CAT, zijn logistieke partijen terughoudend om verdere stappen richting implementatie te zetten. Logistieke bedrijven ervaren onzekerheden over de inspanningen, vereisten en gevolgen van het integreren van autonome voertuigen in hun operaties. Hierdoor zijn zelfs partijen die bereid zijn om praktijkproeven te doen of te starten met implementatie vaak terughoudend. Aan de andere kant zijn Original Equipment Manufacturers (OEM's) terughoudend met het versnellen van ontwikkelingen zolang er nog geen duidelijke vraag is vanuit de logistieke markt. Zowel logistieke bedrijven als OEM's hebben dus behoefte aan het verminderen van onzekerheden om de ontwikkeling en acceptatie van Connected Automated Transport te stimuleren.

Om deze impasse te doorbreken is het project CAT4Yards opgezet, met als doel om een integrale aanpak te ontwikkelen die voor logistieke partijen inzichtelijk maakt wat de noodzakelijke veranderingen en bijbehorende effecten zouden zijn van de integratie van CAT op hun terrein (yard). Yards zijn relatief beheersbare omgevingen vergeleken met openbare wegen, zowel in verkeerssituaties en de interactie met andere (kwetsbare) weggebruikers. Daarom zal dit naar verwachting één van de eerste toepassingsgebieden voor CAT zijn in Nederland.

In dit artikel bespreken we de resultaten van het project CAT4Yards. We lichten de methode toe die in het project is ontwikkeld om de vereisten en verwachte effecten van CAT op yards te bepalen. Deze methode is gevalideerd met drie logistieke cases, in samenwerking met betrokken bedrijven. We presenteren de overkoepelende inzichten uit deze drie cases en trekken hieruit lessen voor andere partijen die het potentieel van CAT willen verkennen. De methode richt zich op toepassingen op het eigen terrein, maar in aanvulling daarop doen we een eerste verkenning voor toepassingen in de industriële zone.

Ons onderzoek brengt interessante inzichten naar voren. Ten eerste concluderen we dat CAT niet een opzichzelfstaande technologische innovatie is, maar een transformatie op systeemniveau vereist. Het gaat niet alleen om het aanschaffen van een ander type voertuig, maar bedrijven moeten ook nadenken over de inpassing van deze nieuwe technologie in de hele organisatie. Ten tweede leiden we af in welke situaties het economisch potentieel van CAT het best gerealiseerd wordt. Op basis van de cases is dat het geval wanneer er meerdere voertuigen worden ingezet, een hoge bezettingsgraad kan worden gerealiseerd en logistieke processen voldoende aangepast en gedigitaliseerd zijn. Tenslotte adviseren we bedrijven hoe ze zich nu al kunnen voorbereiden op een toekomstige inzet van autonome voertuigen buiten de yard. De keuzes die een partij maakt bij de implementatie van CAT, bijvoorbeeld op het gebied van logistieke integratie en digitale infrastructuur, kunnen de toekomstige uitbreiding naar de industriële zone versoepelen.

Het vervolg van dit artikel is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 starten we met een verkenning van voorgaande projecten op het gebied van autonoom transport in de logistiek en een literatuuronderzoek. Hoofdstuk 3 beschrijft de methode en in Hoofdstuk 4 presenteren we de overkoepelende resultaten vanuit de verschillende cases. Hoofdstuk 5 richt zich op de uitbreiding naar de industriële zone. We sluiten het artikel af met een conclusie en discussie in Hoofdstuk 6.

Theoretisch kader

Er zijn de afgelopen jaren in Nederland diverse onderzoeksprojecten uitgevoerd die zich richten op de implementatie van CAT in de logistiek. Om de inzichten vanuit deze projecten in kaart te brengen, hebben we partners van deze projecten geïnterviewd. In totaal zijn zes verschillende interviews uitgevoerd, met vertegenwoordigers van de projecten 5G-Blueprint, ANITA, AUTOSUP, Living Lab Autonomous Transport Zeeland, MAGPIE, MODI en SAVED. Deze interviews hadden tot doel om in kaart te brengen welke aspecten een rol spelen bij het toepassen van CAT en wat de uitdagingen hierbij zijn. Naast deze interviews is er ook een literatuuronderzoek gedaan om de inzichten uit de interviews te valideren en aan te vullen. Een volledige beschrijving van de resultaten is te vinden in (Muthukana, Westerink-Duijzer, & Van Stekelenburg, 2026), we delen hier de belangrijkste inzichten.

Interviews

Vanuit de interviews werd duidelijk dat de integratie van CAT-voertuigen in de logistieke processen van een bedrijf één van de grootste uitdagingen vormt bij implementatie. Een belangrijke randvoorwaarde hiervoor is dat de processen in kaart worden gebracht en, waar mogelijk, gedigitaliseerd. Wanneer processen al in hoge mate gedigitaliseerd zijn en er een goed functionerend yard management systeem is, bleek de integratie van autonome voertuigen makkelijker dan wanneer dit niet het geval was. Een tweede thema dat in veel interviews ter sprake kwam is het belang van standaardisatie. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan standaardisatie van processen op de yard, waarmee de integratie van CAT-oplossingen wordt versoepeld. Daarnaast zorgt standaardisatie van processen, communicatie en fysieke infrastructuur ook voor een grotere generaliseerbaarheid van CAT-oplossingen en vergemakkelijkt dit de inzet van CAT tussen verschillende yards. Tenslotte gaven veel respondenten aan dat de menselijke factor cruciaal is voor het succes van CAT. Hoewel CAT vaak wordt gepresenteerd als een oplossing voor personeelstekorten en de technologie zeker de afhankelijkheid van personeel kan verminderen, is de betrokkenheid van personeel bij deze innovatie cruciaal om ten volle te kunnen profiteren van de voordelen van CAT. Het informeren en instrueren van het personeel is niet alleen nodig voor de efficiënte inzet van CAT, maar ook om een veilige werkomgeving te garanderen waarbij mensen en machines naast elkaar werken.

Literatuur

Op basis van de interviews en het aanvullend literatuuronderzoek (zie Muthukana, Westerink-Duijzer, & Van Stekelenburg (2026)), komen we tot een raamwerk van thema's die van belang zijn bij de implementatie van CAT. Hierbij zijn de volgende viert thema's geïdentificeerd:

Voertuig en aansturing: Bij de inzet van CAT moeten keuzes gemaakt worden over het type voertuig, de vorm van aansturing en digitale infrastructuur die hiervoor nodig is. Ook in de fysieke infrastructuur zijn mogelijk aanpassingen nodig, al is het een onderwerp van blijvend gesprek tussen OEMs en infrastructuurmanagers in hoeverre CAT-voertuigen met hun (onaangepaste) omgeving moeten kunnen omgaan (Westerink-Duijzer & Van Kempen, 2026).

Logistieke processen en personeel: De inzet van CAT vereist een goede inpassing in de logistieke processen en heeft impact op het personeel. Enerzijds komen er (rij) taken te vervallen, maar er ontstaan nieuwe taken op het gebied van monitoring, supervisie en ondersteuning.

Organisatie: Het is nog vaak onduidelijk hoe de verschillende verantwoordelijkheden die horen bij de implementatie van CAT worden verdeeld. Partijen als de OEM, de technologieprovider, de netwerkprovider en de transporteur spelen elk hun rol, die per toepassing kan verschillen.

Wet- en regelgeving: De geldende wet- en regelgeving bepaalt sterk wat mogelijk is op het gebied van CAT. Bij toepassingen op eigen terrein gelden andere regels en is vaak meer mogelijk dan op de openbare weg. Onduidelijkheden op het gebied van aansprakelijkheid en verzekering vormen uitdagingen voor CAT en moeten verder worden uitgezocht voordat implementatie mogelijk is.

Vanuit het literatuuronderzoek concluderen we dat CAT niet een opzichzelfstaande technologische innovatie is, maar een transformatie op systeemniveau vereist. Om deze transformatie succesvol te laten verlopen is een goede afstemming op de bovenstaande vier thema's noodzakelijk. Partijen die inzichten wil krijgen in de randvoorwaarden en effecten van CAT in hun operatie, zullen deze vier thema's dus ook in samenhang moeten adresseren.

Methode

Uit het literatuuronderzoek kwamen vier hoofdthema's naar voren die van belang zijn bij de implementatie van CAT. Op basis hiervan heeft TNO een methode ontwikkeld om bedrijven te helpen in kaart te brengen wat de randvoorwaarden voor hen zijn om CAT op hun terrein te implementeren en wat de impact hiervan zou zijn. We bespreken de methode hier in hoofdlijnen en verwijzen naar (Van Kempen, Onverwagt, & Santing, 2026) voor een gedetailleerde beschrijving.

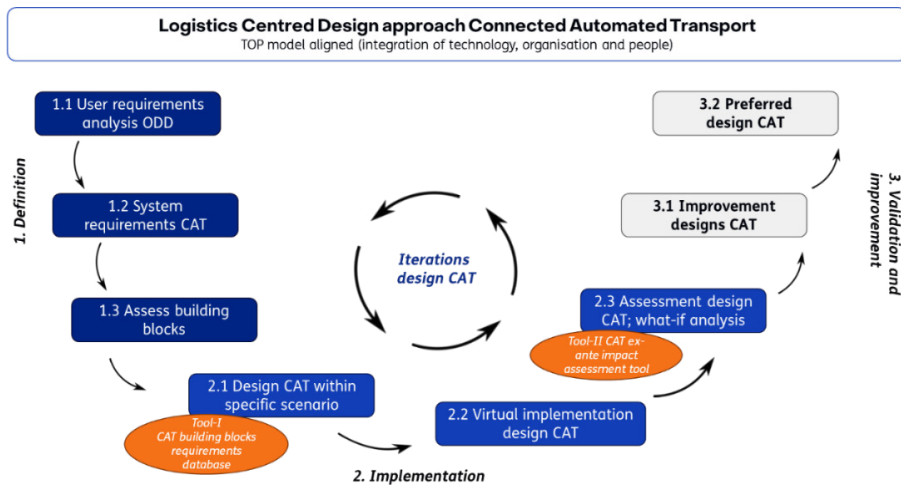
Logistics Centred Design Approach

Om gestructureerd aan de slag te gaan met een CAT-ontwerp voor een logistieke yard is binnen het project CAT4Yards de Logistics Centred Design Approach Connected Automated Transport ontwikkeld (zie Figuur 1). Dit is een stapsgewijze, iteratieve aanpak die logistieke partijen begeleidt in het ontwerpproces. In verschillende workshopsessies worden de volgende fases doorlopen:

Verkenning en definitie – In deze fase staat het in kaart brengen van de huidige logistieke situatie (AS-IS) centraal. Daarnaast stelt deze fase de randvoorwaarden en wensen vast voor de toekomstige situatie waarin CAT is toegepast (TO-BE).

Ontwerp en implementatie - Deze stap ontwerpt en test mogelijke CAT-oplossingen. Door verschillende ‘wat-als-scenario’s’ te verkennen, ontstaat een concreet beeld van de gewenste toekomstige situatie. Vervolgens wordt de huidige situatie vergeleken met de toekomstige situatie om inzicht te krijgen in de verwachte effecten op logistieke prestaties.

Validatie- en verbeterfase - Tot slot selecteren de betrokken partijen de meest kansrijke CAT-oplossing en verfijnen deze. Ook stellen zij de vervolgstappen richting testen, implementeren en opschalen van de CAT-oplossing binnen een specifieke logistieke toepassing vast.



Figuur 1 Stapsgewijze iteratieve aanpak voor het ontwerp en assessment van Connected Automated Transport op de yard.

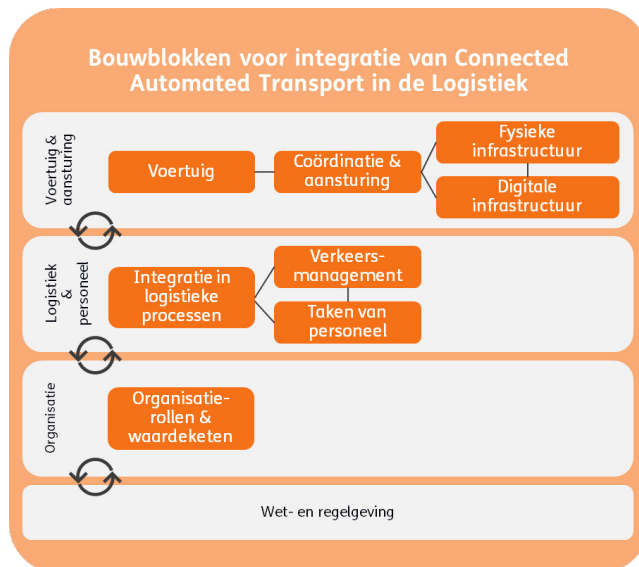
Zoals aangegeven in Figuur 1, maakt de aanpak gebruik van twee verschillende tools:

- CAT requirements database – voor het opstellen van een coherent CAT-ontwerp, gebruikmakend van alle relevante bouwblokken.
- CAT ex-ante impact analyse – voor het vergelijken van de impact van het CAT-ontwerp met de huidige logistieke situatie nog vóór de inzet van autonome voertuigen.

Deze beide tools worden hieronder verder toegelicht.

Bouwblokken

Om de randvoorwaarden voor CAT in kaart te brengen, moet een coherent CAT-ontwerp worden opgesteld. Dit ontwerp omvat alle keuzes die een logistieke partij moet maken over de manier waarop CAT geïmplementeerd wordt. Deze keuzes moeten op logische wijze met elkaar samen hangen. De vier thema's die geïdentificeerd zijn in Hoofdstuk 2 zijn verder uitgesplitst in diverse bouwblokken waarvoor keuzes gemaakt moeten worden. Figuur 2 toont het overzicht van deze bouwblokken en hun samenhang.



Figuur 2 Bouwblokken voor een coherent CAT-ontwerp.

Muthukana, Westerink-Duijzer, & Van Stekelenburg (2026) hebben uitvoerig onderzocht hoe bepaalde keuzes met elkaar samenhangen. Wanneer bijvoorbeeld wordt gekozen voor een CAT-voertuig zonder cabine, zal een passende vorm van aansturing nodig zijn, omdat in geval van nood er niemand op het voertuig kan stappen om de besturing over te nemen. Of wanneer gekozen wordt voor teleoperatie, een rechtstreekse vorm van besturing op afstand, zullen er bepaalde eisen gesteld worden aan de aanwezige connectiviteit op de yard om een betrouwbare verbinding te garanderen. Alle relaties tussen de keuzes die in verschillende bouwblokken gemaakt kunnen worden zijn opgenomen in een database die gebuikt kan worden bij het opstellen van een coherent CAT-ontwerp.

Impact assessment

Als er een coherent CAT-ontwerp is opgesteld, kan de impact van dit CAT-ontwerp worden geanalyseerd. Hierbij wordt een ex-ante impact analyse gedaan waarin het CAT-ontwerp wordt vergeleken met de huidige logistieke situatie nog vóór de inzet van autonome voertuigen. De impact assessment tool gebruikt verschillende gegevens. Allereerst is de specificatie van het gekozen CAT-ontwerp nodig, aangevuld met data zoals de voertuigprijs, de rijnsnelheid van het voertuig en de kosten voor digitale infrastructuur. Deze aanvullende data is verzameld in (Muthukana, Westerink-Duijzer, & Van Stekelenburg, 2026). Ten tweede is een nauwkeurige beschrijving van de huidige logistieke operatie nodig, met onder andere gegevens over de hoeveelheid trips die wordt uitgevoerd, de afstand per trip en de operationele uren.

De impact assessment brengt vervolgens het effect van autonoom rijden in beeld op meerdere terreinen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de economische impact, de milieu-impact en de maatschappelijke impact. De economische impact wordt berekend aan de hand van de Total Cost of Ownership (TCO), benutting en het benodigde aantal voertuigen. De milieu-impact wordt berekend in termen van CO₂-uitstoot. Voor de maatschappelijke impact wordt gekeken naar de hoeveelheid personeel die nodig is. Ook wordt de impact op veiligheid bepaald en de inspanningen die nodig zijn om CAT te implementeren. De resultaten bestaan uit een combinatie van kwantitatieve en kwalitatieve inzichten. De impactanalyse geeft inzicht in de orde-grootte van effecten. Hoe nauwkeuriger de ingevoerde gegevens, des te nauwkeuriger de uitkomsten. De impactanalyse is bewust geen real-time simulatiemodel omdat kennis over CAT op dit moment nog niet zo gedetailleerd is (Van Kempen, Onverwagt, & Santing, 2026).

Resultaten vanuit de cases

De methode die in het vorige hoofdstuk is beschreven, is toegepast op drie verschillende cases (Figuur 3). Allereerst is gekeken naar een distributiecentrum met een groot aantal transportbewegingen en verplaatsingen per dag. De tweede case richt zich op het transport tussen de twee aaneengesloten bedrijventerreinen van een logistiek dienstverlener en een productiebedrijf. Hierbij gaat het om een beperkt transportvolume. Tenslotte onderzoeken we het transport op een containerterminal, waarbij met een aantal voertuigen een vaste route wordt gereden.



Figuur 3 De Logistics Centred Design Approach is toegepast in drie verschillende cases.

Voor elk van de cases zijn meerdere CAT-ontwerpen opgesteld met behulp van de bouwblokken uit Figuur 2. Deze CAT-ontwerpen zijn vervolgens geanalyseerd met de impact assessment tool. Vanwege de bedrijfsgevoelige informatie bespreken we hier niet de resultaten van de individuele cases, maar trekken we overkoepelende conclusies. Deze gegeneraliseerde resultaten bieden ook inzichten voor andere bedrijven die de mogelijkheden van CAT willen verkennen.

Het eerste resultaat dat duidelijk naar voren kwam in de verschillende cases, is dat CAT een zekere schaalgrootte nodig heeft om economisch aantrekkelijk te zijn. De onderzochte CAT-ontwerpen waarbij slechts één autonoom voertuig werd ingezet, hadden substantieel hogere kosten dan de reguliere operatie met bemande voertuigen. Om autonoom transport in te passen in de operatie moet er aan allerlei randvoorwaarden worden voldaan waarvoor investeringen nodig zijn. Hierbij kan gedacht worden aan het aanleggen van benodigde connectiviteit op de yard, het digitaliseren van communicatie en processen of het inrichten van een control tower van waaruit de autonome voertuigen kunnen worden aangestuurd. Schaalvoordelen treden pas op wanneer deze kosten gespreid kunnen worden over meerdere voertuigen.

Ten tweede zagen we dat het economisch potentieel van CAT voornamelijk gerealiseerd wordt als de voertuigen efficiënt worden ingezet. In één van de cases onderzochten we een CAT-ontwerp waarbij de autonome voertuigen acht uur per dag werden ingezet en alleen tijdens weekdagen. Aangezien autonome voertuigen een hoge aanschafprijs hebben, bleek het onvoordelig om ze het grootste deel van de tijd stil te laten staan. Bij een andere case zagen we een vergelijkbaar resultaat, als autonome voertuigen worden ingezet om piekbelastingen over het jaar op te vangen. Grote variatie in de vraag resulteert eveneens in stilstaande voertuigen tijdens rustige periodes. Een voldoende hoge bezettingsgraad is nodig om de hoge aanschafprijs van de autonome voertuigen te compenseren. Uit de cases bleek dat de bezettingsgraad van groter invloed is op het economisch potentieel van CAT dan het aantal voertuigen. In één van de cases was een specifiek CAT-ontwerp met meerdere voertuigen, ondanks de schaalvoordelen van een grotere vloot, niet financieel voordelig vanwege de lage bezettingsgraad van de voertuigen.

Ten derde toonden de cases aan dat het logistieke proces van grote invloed is op het succes van CAT. Autonome technologie richt zich op het vervangen van de chauffeur. Hierbij is het goed om te realiseren dat een chauffeur vaak meerdere taken uitvoert dan alleen het besturen van het voertuig (Deckers, Verduijn, & Madadi, 2021). In de cases waarbij de overige taken van de chauffeur heel beperkt waren, zagen we een groter potentieel voor CAT. Bij de andere cases bleven er cruciale taken over, zoals het aan- en ontkoppelen van trailers of het openen van trailerdeuren, waarvoor een oplossing gevonden moet worden als er niet langer een chauffeur op het voertuig aanwezig is. De inzet van CAT is erop gericht om de afhankelijkheid van personeel te verminderen. Het is dan ook niet logisch, én niet rendabel, als er juist nieuwe repetitieve taken worden geïntroduceerd waarvoor personeel moet worden ingezet. Digitaliseren of aanpassen van dergelijke processen is nodig om CAT in zulke situaties succesvol te laten zijn. Het standaardiseren en digitaliseren van processen is een belangrijke randvoorwaarde voor het integreren van CAT in de logistiek. Ook als een logistieke organisatie niet op korte termijn CAT-voertuigen kan of wil implementeren, kan het kritisch evalueren van de huidige processen al leiden tot efficiëntiewinst.

Tot slot bleek uit de cases dat coördinatie en aansturing een essentieel bouwblok is bij het integreren van CAT in de logistiek. Dit onderdeel moet goed aansluiten op de voertuigspecificaties, de digitale infrastructuur – met name de eisen voor connectiviteit – en de eventuele aanpassingen aan de fysieke infrastructuur. Deze keuzes hebben op hun beurt weer direct invloed op de verkeersstromen en veiligheid. Ook zijn ze nauw verbonden met de taken van het personeel. Ter illustratie: in sommige situaties is het nodig dat een voertuig in real-time op afstand wordt bestuurd. Dat vraagt om zeer betrouwbare systemen en een sterke, continue

verbinding. In andere gevallen is het voldoende dat de operator op afstand meekijkt en alleen ingrijpt of goedkeuring geeft wanneer dat nodig is. De gekozen vorm van aansturing bepaalt de benodigde verhouding tussen het aantal operators en voertuigen. Dit is een belangrijke ontwerpparameter die grote invloed heeft op het systeem ontwerp en op de totale kosten.

VooruitBlik naar de industriële zone

De verschillende cases richten zich allemaal op de toepassing van CAT op yard. Deze afgesloten terreinen vormen een natuurlijk eerste toepassingsgebied voor autonome voertuigen, vanwege de gecontroleerde omgeving, lage voertuigsnelheid en de mogelijkheid om alle weggebruikers goed te informeren. Een logische vervolgstap is de inzet van CAT in industriële zones. Hierbij kan zowel gedacht worden aan korte, eenvoudige routes, zoals het oversteken van de openbare weg om van het ene naar het andere bedrijven terrein te rijden. Maar ook wat complexere toepassingen zijn mogelijk, waarbij over enkele kilometers gereden wordt en een voertuig bijvoorbeeld kruisingen of rotondes passeert.

Om logistieke partijen voor te bereiden op een eventuele uitbreiding van hun autonome operatie naar de industriële zone, hebben we in kaart gebracht welke thema's extra aandacht behoeven. Uiteraard is het gebruik van de openbare weg het cruciale verschil tussen CAT op de yard en CAT in de industriële zone. Dit maakt dat wet- en regelgeving de randvoorwaarden vormen voor autonome toepassingen buiten het eigen terrein. We verwijzen naar (Westerink-Duijzer & Van Kempen, 2026) voor een overzicht van de wet- en regelgeving die op dit moment van toepassing is. In het verdere van dit hoofdstuk richten we ons op de thema's waarop een logistieke partij zelf invloed kan uitoefenen. Op basis van interviews met verschillende projectpartners uit het project CAT4Yards, waaronder wegbeheerders, havenautoriteiten, telecommunicatie experts en juridische partners, identificeren we de volgende drie belangrijke thema's (Westerink-Duijzer & Van Kempen, 2026):

Logistieke integratie

Bij CAT op de yard heb je als logistiek partij de processen in eigen beheer, maar bij toepassingen in de industriële zone heb je te maken met meerdere partijen. Een autonoom voertuig rijdt bijvoorbeeld van een verzendende partij naar een andere ontvangende partij. Hierbij is het noodzakelijk dat zaken als het uitwisselen van transport orders, gate-in/gate-out processen, het aanwijzen van laad/los-locaties of administratie en eventuele veiligheidsprocedures worden gedigitaliseerd. Ook moeten de betrokken partijen afspraken maken over verantwoordelijkheden rondom de niet-rijtaken van de chauffeur, de aansturing en monitoring van het voertuig op

het terrein van de ontvangende partij of het delen van kosten voor de aanpassingen die nodig zijn om CAT te implementeren.

Digitale infrastructuur

Ook de digitale infrastructuur, die een autonoom voertuig nodig heeft om aangestuurd en ondersteund te worden, wijzigt bij toepassingen in de industriële zone. Als het gaat om connectiviteit, zorgt het gebruik van een privé-netwerk op de yard voor een hand-over naar een publiek netwerk zodra de yard wordt verlaten. Dit kan vertraging in de communicatie opleveren. Er kan daarom gekozen worden voor dezelfde technologie op de yard en op de openbare weg om hand-overs te voorkomen, of er moeten goede afspraken gemaakt worden met de netwerkbeheerder om soepele hand-overs te garanderen. Naast connectiviteit is ook het delen van data met het voertuig van belang. Zo heeft een autonoom voertuig een accurate digitale kaart van de omgeving nodig evenals actuele informatie over de verkeerssituatie. Voor wegbeheerders kan het wenselijk zijn om ook informatie vanuit de autonome voertuigen te ontvangen om bijvoorbeeld de doorstroming te kunnen monitoren.

Fysieke infrastructuur

Uit de interviews bleek dat er nog geen consensus is over welke aanpassingen aan de fysieke infrastructuur nodig zijn om autonoom rijden op de openbare weg mogelijk te maken. Het debat tussen OEMs en wegbeheerders is hierover nog gaande. In principe moet een autonoom voertuig met zijn omgeving kunnen omgaan, maar het is nog onduidelijk in hoeverre (digitale) signalen vanuit de omgeving en infrastructuur hierbij nodig of wenselijk zijn.

Logistieke partijen die starten met de implementatie van CAT op de yard, maar op termijn de uitbreiding naar de industriële zone overwegen, kunnen bovenstaande inzichten nu al meenemen. Om de logistieke integratie in de toekomst te vergemakkelijken, kunnen partijen nu al beginnen met het standaardiseren en digitaliseren van processen op de eigen yard. Ook kan een bedrijf bij het kiezen van de connectiviteit voor CAT op de yard al rekening houden met een eventuele toekomstige uitbreiding naar de industriële zone.

Conclusies en discussie

In dit artikel bespreken we een methode om logistieke bedrijven te helpen in kaart te brengen wat de randvoorwaarden en mogelijke voordelen zijn van de implementatie van Connected Automated Transport (CAT). We richten ons hierbij specifiek op de toepassing van CAT op de yard. Op basis van de analyse van drie verschillende cases

presenteren we algemene inzichten die ook andere bedrijven kunnen helpen in hun verkenning. We identificeren ten slotte de thema's die van belang zijn wanneer autonome voertuigen ook worden ingezet buiten de yard in de industriële zone en leiden af hoe bedrijven zich hierop kunnen voorbereiden.

De resultaten van de verschillende cases laten zien dat het economisch voordeel van CAT met name optreedt bij de efficiënte inzet van meerdere voertuigen. Ondanks de investeringen die nodig zijn om autonoom rijden mogelijk te maken en de hoge aanschafprijs van autonome voertuigen, zijn grote kostenbesparingen haalbaar wanneer schaalvoordelen optreden en een hoge bezettingsgraad kan worden gerealiseerd. De verschillende cases tonen ook aan dat het potentieel van CAT ten volle benut kan worden als logistieke processen worden aangepast en (digitale) oplossingen worden gevonden voor de niet-rijtaken van de chauffeur.

De inzichten vanuit dit onderzoek helpen andere bedrijven om te verkennen of CAT voor hen van meerwaarde kan zijn. De ontwikkelde methode brengt de thema's in kaart waarover beslissingen moeten worden genomen. Hierbij gaat het niet alleen om het aan te schaffen voertuig, maar ook over de bredere inpassing in de organisatie en de logistieke processen. Op basis van resultaten van de cases kunnen partijen inschatten welke routes in hun operatie het meest geschikt lijken voor CAT. Onze verkenning van de uitdagingen die optreden bij CAT in de industriële zone, helpt bedrijven om toekomstbestendige keuzes te maken bij de implementatie van CAT.

Tot slot merken we op dat de ontwikkeling van CAT niet stopt bij het hek van het eigen terrein. Vervolgonderzoek zal zich dan ook richten op het uitbreiden naar CAT op industriële zones en transport op (lange afstand) corridors. Door met behulp van de Logistics Centred Design Approach ook deze toepassingen voor CAT in kaart te brengen, kunnen stakeholders kansrijke ontwerpen selecteren die zich lenen voor real-world praktijkproeven. Zowel vanuit Nederlandse als Europese beleidsmakers wordt het opzetten van logistieke praktijkproeven met CAT in de komende jaren gestimuleerd om zo het transportsysteem efficiënt, betrouwbaar en toekomstbestendig te maken.

Erkenning

Dit onderzoek is uitgevoerd als onderdeel van het TKI HTSM project CAT4Yards. De geuite meningen zijn die van de auteurs en vertegenwoordigen niet noodzakelijk de mening en visie van het project.

Bibliografie

- Deckers, L., Verduijn, T., & Madadi, B. (2021). Meerwaarde en impact van teleoperatie in het wegvervoer. *Logistiek+*, 12, 74-91.
- Dong, C., Akram, A., Andersson, D., Arnäs, P. O., & Stefansson, G. (2021). The impact of emerging and disruptive technologies on freight transportation in the digital era: current state and future trends. *The International Journal of Logistics Management*, 32(2), 386-412.
- ERTRAC. (2022). *Connected, Cooperative and Automated Mobility Roadmap*. Brussels: ERTRAC.
- Muthukana, N., Westerink-Duijzer, E., & Van Stekelenburg, G. (2026). *Status of CAT in public and private areas*. Den Haag: TNO.
- Van Kempen, E., Onverwagt, H., & Santing, M. (2026). *Connected Automated Transport at Yards: Requirements and impacts for logistics*. Den Haag: TNO.
- Westerink-Duijzer, E., & Van Kempen, E. (2026). *Connected Automated Transport in industriële zones*. Den Haag: TNO.