



In 2016 is in het kader van het Sia Raak Pro INTRALOG (intelligent Truck Application in Logistics) onderzoek gedaan naar de praktische toepassingsmogelijkheden van zelfrijdende vrachtvoertuigen (Automatic Guided Trucks/AGT) op de zogenaamde interne baan (CER) tussen de terminal op de 2e Maasvlakte onderzocht.

Intralog

Naar een autonoom rijdend vervoersysteem voor de afhandeling van het inter-terminal container transport

Adrie Spruijt, Hogeschool Rotterdam
 Ron van Duin, Hogeschool Rotterdam
 Frank Rieck, Hogeschool Rotterdam
 Lejo Buning, Hogeschool Arnhem Nijmegen
 Frans Tillema, Hogeschool Arnhem Nijmegen

SAMENVATTING

In 2016 is in het kader van het Sia Raak Pro INTRALOG (intelligent Truck Application in Logistics) onderzoek gedaan naar de praktische toepassingsmogelijkheden van zelfrijdende vrachtvoertuigen (Automatic Guided Trucks/AGT) op de zogenaamde interne baan (CER) tussen de terminal op de 2e Maasvlakte onderzocht. Analyse van terminal wijst uit dat door deze verbeterde connectiviteit tussen de verschillende terminals niet alleen de havenverblijftijd voor de containers verlaagd wordt, maar ook de kosten verlaagd kunnen worden bij toepassing van AGTs. Qua innovatieve technologie staan alle seinen op groen voor daadwerkelijk implementatie. De belangrijkste uitdaging die nu voor het havenbedrijf Rotterdam naar voren komt is op welke wijze de organisatie van de belangrijkste stakeholders kan organiseren, zodat de geschatte kosten en prestaties van een dergelijk autonoom systeem ook daadwerkelijk gaan renderen in de praktijk.

1. Aanleiding voor verbetering van de toekomstpositie Rotterdamse haven

De Rotterdamse haven is de grootste haven van Europa. De haven, als groot logistiek en industrieel knooppunt, is van groot belang voor de economie en werkgelegenheid, zowel op nationaal als regionaal niveau. Door grensverleggend te opereren, onder andere met de ontwikkeling van Maasvlakte 2, wil de Rotterdamse haven vooroplopen in duurzaamheid en bereikbaarheid.

Op dit moment is een aantal ontwikkelingen gaande die van grote invloed zullen zijn op de concurrentiepositie van de haven van Rotterdam. Te denken valt aan toenemende congestie in het HIC (Haven Industrie Cluster) van Rotterdam, de groeiende milieubelasting, en de veranderende logistieke stromen. Voorts is er de toenemende concurrentie van andere West-Europese havens, vooral op het gebied van containerafhandeling. Om de concurrentiepositie in containerafhandeling te behouden, wil het Havenbedrijf het interne transport in het HIC en het achterlandvervoer beter en goedkoper organiseren en daarmee tegelijkertijd de milieubelasting van dit vervoer drastisch verlagen. Het Havenbedrijf heeft als kwantitatieve doelstelling voor bereikbaarheid gesteld dat in 2030 maximaal 35% van de containers van en naar de Maasvlakte over de weg wordt vervoerd. Uitgaande van de containerstroom van 225 miljoen ton in 2030 en dat hiervan 35% over de weg moet, betekent dat er ruim 78 miljoen ton over de weg zal gaan in 2030 (Havenbedrijf Rotterdam, 2015).

Met de groei van de nieuwe grote Mega (>18K TEU) schepen zal Rotterdam nog meer als voorheen als transitiehaven gaan functioneren. Deze grote schepen doen immers maar een beperkt aantal havens in Europa aan en gaan zo snel mogelijk weer terug naar Azië. Dit betekent een toenemend intern transport tussen de diepzee terminals en shortsea terminals in de Waal- en Eemhaven, waar kleinere zeeschepen de containers verder brengen naar andere havens in Europa. Omgekeerd vindt hetzelfde proces plaats. Het spreekt voor zich dat hierdoor de belasting van de infrastructuur aanzienlijk zal toenemen.

De laatste jaren zijn door terminal operators enorme investeringen gedaan in nieuwe innovatieve terminals om de bezoekende Mega schepen (> 18K TEU) efficiënt, snel en duurzaam te kunnen ontvangen. Het is daarom voor de terminals ook van het grootste belang dat de afhandeling tussen de terminals onderling op eenzelfde wijze volgt. Ook voor transportondernemingen en distributiecentra is deze verbetering van belang. Men moet hierbij denken aan het verkorten van de rijtijden, het voorkomen van verspilling van wachttijden door chauffeurs, het sneller en nauwkeuriger kunnen aandocken bij distributiecentra en het kunnen voldoen aan toekomstige milieueisen.

INTRALOG (INTElligent TRuck Application in LOGistics) is een onderzoeksproject voor de ontwikkeling van Automated Guided Trucks dat op initiatief van de HAN in september 2015 is gestart. Het onderzoeksproject is ingegeven door het feit dat geautomatiseerde systemen de operationele taken meestal uitvoeren met minder variabiliteit (vergeleken met menselijke werknemers) en leidt tot meer efficiëntie in de logistieke activiteiten hetgeen zich vertaalt in :

- betere benutting van materialen, lagere emissies en minder energie / brandstofverbruik (Planet);
- betere veiligheid en lagere fysieke werkbelasting. (People);
- hogere betrouwbaarheid en lagere loonkosten. (Profit).

Het Nationaal Regieorgaan Praktijkgericht Onderzoek SIA heeft subsidie verleend voor het onderzoek. De geplande einddatum is 2019. Het onderzoek wordt uitgevoerd door verschillende belanghebbende partijen:

1. Zakelijke partners: DAF (OEM), Havenbedrijf Rotterdam, Rotra (Logistiek Party) en TERBERG (OEM);
2. Wetenschappelijke Kenniscentra: Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) en de Universiteit van Twente;
3. Toegepaste kennis Centra: Hogeschool Rotterdam (HR), Hogeschool Arnhem Nijmegen (HAN), TNO
4. Branche Partners: Carrosserie NL & Automotive Centre of Expertise (ACE).

Om de toekomstige containerstromen op de terminals voldoende snel en adequaat te kunnen afhandelen, is het van cruciaal belang om niet de alleen de terminals goed geëquipeerd te ontwikkelen, maar vooral ook aandacht te besteden aan de toeleverende/afleverende verbindingen naar andere terminals en achterland distributiecentra. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvraag:

“Op welke wijze zou de inrichting van een autonoom vervoersysteem tussen terminals en grote distributie centra een duurzaam antwoord kunnen zijn op de toekomstige containerstromen?”

Doelstelling

Het doel van het werkpakket 1 zoals beschreven in INTRALOG project (Ivo Schrijer, 2014) is om aan de hand van de PPP-waarden (People, Planet, Profit) na te gaan op welke wijze autonoom en duurzaam vervoer kan worden ingezet voor de logistieke operaties op de distributiecentra en het inter-terminal verkeer.

Methodologie

Het onderzoek kent een aantal onderzoekactiviteiten die voor dit werkpakket doorlopen zijn:

- In eerste instantie is een verkeer en vervoersanalyse uitgevoerd in het Haven Industrie Cluster (HIC). Hiermee zijn de belangrijkste vervoersbewegingen die over de weg gaan in kaart gebracht en gekarakteriseerd in termen van beladen/onbeladen ritten. Vervolgens is de infrastructuurvernieuwing in het HIC besproken.
- Vervolgens zijn de belangrijkste innovatieve ontwikkelingen rondom Intralog in kaart gebracht die een invloed kunnen hebben op het uiteindelijk functioneren van het automatische vervoerssysteem. Met behulp van literatuuronderzoek en praktijkervaringen uit andere studies is een zo reëel mogelijk beeld van beïnvloedende ontwikkelingen neergezet en beschouwd op haar implementatie consequenties.
- Om uiteindelijk meer te kunnen zeggen over de mogelijke inzet van het geautomatiseerde systeem in het HIC-gebied is gebruik gemaakt van een tweetal simulatiestudies, waardoor een cross validatie van de simulatie-uitkomsten mogelijk bleek. Op basis de toekomstige containervervoersvraag gedefinieerd in het meest realistische scenario 3 is de exacte inzet van de verschillende transportmodaliteiten precies bepaald. Belangrijkste indicatoren hierbij zijn de kostenimplicaties, doorlooptijden, bezettingsgraden van de vervoersmiddelen en het op tijd kunnen afleveren van de containers conform service specificaties.

Aansluitend op de methodologie wordt in dit artikel in sectie 2 ingegaan op de analyse van het inter-terminal verkeer. In sectie 3 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste innovaties die van belang zijn bij toepassing van het project Intralog. Vervolgens bevat sectie 4 een kwantitatieve analyse van de kosten en de logistieke prestaties als gevolg van verschillende voertuigconfiguraties. Sectie 5 bevat de belangrijkste conclusies ten aanzien van dit deel van het project Intralog.

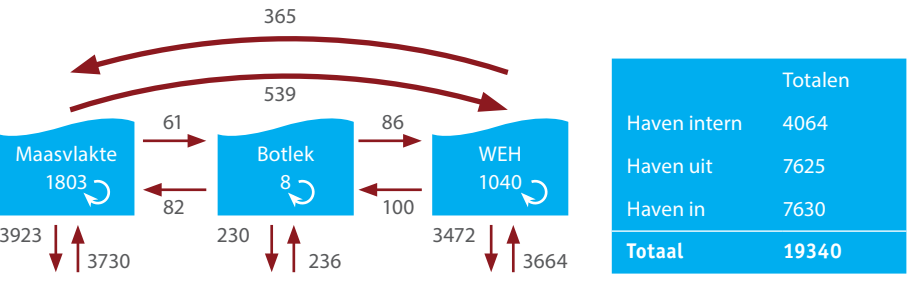
2. Analyse van het inter-terminal verkeer

In deze sectie zal eerst inzicht worden gegeven in de huidige vervoersbewegingen (paragraaf 2.1). Daarna zal in paragraaf 2.2 ingaan op verdere infrastructurele ontwikkelingen in het havengebied.

2.1 Container stromen binnen het HIC

Het Havenbedrijf is weliswaar eigenaar van de grond, maar krijgt beperkt informatie toegespeeld van de concurrerende terminals en transportbedrijven. In de maand december 2011 is er door studenten van de Hogeschool Rotterdam een onderzoek naar de container stromen in het Haven Industrie Cluster (HIC) uitgevoerd (Moving@Rotterdam, 2012). Zo werden op geselecteerde terminals en distributiecentra langs de A15 de kentekens van trucks met containers genoteerd. Op basis hiervan is gebleken dat in die periode circa 40% van het containertransport in het HIC blijft, een afstand van circa 30km. De gemeten aantallen waren op deze route beduidend hoger dan tot dan toe werd aangenomen.

Een analyse van Verdoorn & de Roo (2014) laat zien dat tussen de Maasvlakte, Botlekgebied en de Waal en Eemhaven (WEH) op een gemiddelde werkdag 19.340 containerritten werden uitgevoerd. In Figuur 2 is een onderverdeling van de verschillende stromen weergegeven. Van deze ritten vertrekken ruim 7.600 naar een bestemming buiten de haven en komen er ook ruim 7.600 binnen vanuit het achterland. Ongeveer 4.100 ritten worden in de haven intern uitgevoerd.



Figuur 2. Aantal containerritten per werkdag beladen en onbeladen (Verdoorn & de Roo, 2014)

Het aantal onbeladen ritten bedraagt 5.921 per dag. De beladingsgraad van de vrachtwagens ligt hierbij op ongeveer 70%. De vervoersbewegingen van en naar de haven zijn overwegend beladen, namelijk 79%.

Het vervoer tussen de containerterminals in de Rotterdamse haven wordt voornamelijk uitgevoerd door vrachtwagens. Van het totale containervrachtverkeer (ruim 19.000 ritten per dag) is vastgelegd dat 21% (4.084 ritten) het havengebied niet verlaat (intern gebied, zie Figuur 3). Ongeveer 70% (2.850 ritten) van deze interne verplaatsingen blijft binnen hetzelfde deelgebied van de haven, 30% (1.234 ritten) is een verplaatsing tussen de deelgebieden onderling. Van deze 4.084 ritten is maar liefst 72% (2.925) onbeladen. Wat opvalt is, dat

de onbeladen vervoersbewegingen binnen de haven hoofdzakelijk uit korte ritten bestaan. Het lijkt erop, dat vrachtverkeer vanuit het achterland een container aflevert op een locatie en daarna een container ophaalt bij een andere havenlocatie, vermoedelijk een empty depot. Het is zeer waarschijnlijk dat met de veranderende rol van de haven van Rotterdam als transitiehaven het aantal verplaatsingen van containers binnen het HIC naar verwachting aanzienlijk zal gaan toenemen.

	Totalen
Intern gebied	2850
Tussen gebieden	1234
Totaal	4084

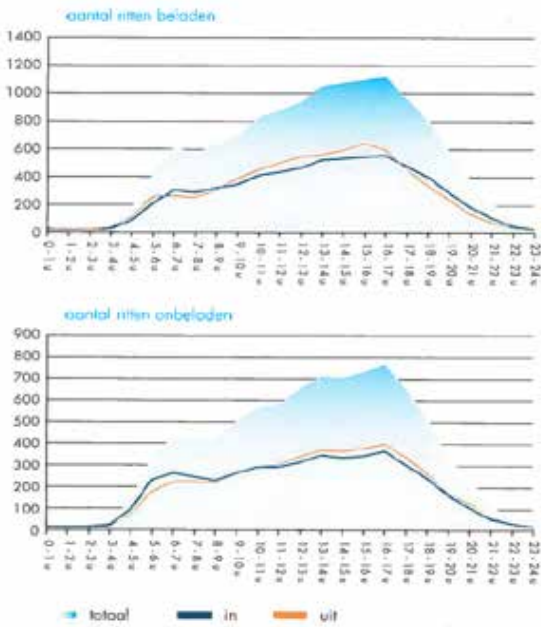
Figuur 3. Havengebied interne verplaatsingen (Verdoorn & de Roo, 2014))

Beladen en onbeladen ritten

Wanneer we verder inzoomen op de ritten binnen het HIC en kijken naar de beladen en onbeladen ritten, dan krijgen we het volgende beeld zoals in Figuur 4 weergegeven. Ongeveer 1.100 ritten per dag zijn beladen, terwijl ruim 700 ritten onbeladen plaatsvinden. Dit betekent dat de nodige efficiëntie verbeteringen te behalen zijn door het reduceren van het leegrijden.

Voorwaarde is dat in de toekomst met vervoerders meer moet worden samengewerkt bij het beter benutten van de vervoerscapaciteit en meer informatie wordt uitgewisseld.

Voorwaarde is dat in de toekomst met vervoerders meer moet worden samengewerkt bij het beter benutten van de vervoerscapaciteit en meer informatie wordt uitgewisseld.



Figuur 4. Aantal (on) beladen ritten Havengebied (Verdoorn & de Roo, 2014)

2.2 Aanpassingen infrastructuur t.b.v. containervervoer

Om de congestie in het HIC tegen te gaan, is een aantal infrastructurele maatregelen genomen. Zo zijn inmiddels de fysieke knelpunten op de A 15 grotendeels opgelost en is ook de A4 in 2016 opengesteld (zie Figuur 5).



Figuur 5. Aanpassingen infrastructuur in het HIC (source, Havenvisie Havenbedrijf Rotterdam)

In de toekomst staan het Blankenburgtunnel-project, het Theemsweg-spoortracé, verbreding van het Breeddiep, de verdieping van de Nieuwe Waterweg en de Suurhoffbrug op de rol.

De potentie van de Betuwe route is tot nu toe onvoldoende benut. Vooral ook door het ontbreken van een voldoende rail capaciteit na de grens bij Zevenaar. Lange tijd was hier sprake van een enkel spoor voor personen en goederen treinen. Inmiddels is er een tweede spoor. Het aantal treinen dat gebruik maakt van de Betuweroute is de afgelopen jaren gegroeid en zal naar verwachting verder toenemen. (source)

Gezien de toekomstige groei van de haven en de wens van de diepzee terminals wordt gestart met de aanleg van de Container Exchange route (CER) op de Maasvlakten 1 en 2. De baan zal in 2019 in gebruik worden genomen. Het belangrijkste doel hiervan is om het interne transport tussen de terminals op de Maasvlakte 1 en 2 snel en veilig plaats te laten vinden. Door de betere connectiviteit tussen de verschillende terminals wordt niet alleen de havenverblijftijd voor de containers verlaagd, maar ook de kosten verlaagd. De CER wordt een baan van 14 kilometer lang, waarop ook de binnenvaart terminal aan de Hartelhaven, het spoor, douane en fytosanitaire diensten zijn aangesloten. Zoals op figuur 6 te zien is, zullen verscheidene containerterminals op de Eerste en Tweede Maasvlakte worden aangesloten op de CER. De terminals die zullen worden aangesloten zijn:

- Euromax;
- ECT Delta Terminal;
- APMT 1;
- Rotterdam Container Terminal (Kramer group);
- Van Doorn empty container depot;
- Kramer depot;
- APMT 2;
- Rotterdam World Gate (RWG);
- Douane;
- Kloosterboer fytosanitair;
- Eurofrigo fytosanitair.



Figuur 6. CER (Havenbedrijf Rotterdam, 2016).

Bij de start van de CER in 2019 zullen naar schatting 500.000 containers per jaar worden vervoerd. Het Havenbedrijf voorziet in een groei naar uiteindelijk 1.200.000 containers per jaar in 2030.

Er is voor gekozen om van de CER een afgesloten baan te maken, omdat men het transport op de langere termijn autonoom uit wil laten voeren. Dat wil zeggen dat de voertuigen zelf kunnen rijden, zonder hulp van een chauffeur. De reden dat het transport niet gelijk autonoom zal worden uitgevoerd, komt doordat de vakbond dit niet toestaat. Zij hebben afgedwongen dat het transport de eerste vijf jaar bemand zal plaatsvinden. Na die vijf jaar vervalt deze eis en ligt de weg open voor autonoom transport.

Door het verbieden van ander verkeer op de baan kan het proces van autonoom transport veel sneller en gemakkelijk worden doorgevoerd, aangezien de veiligheidsrisico's en -eisen niet zo hoog zijn als op een openbare weg. Het is op deze baan niet noodzakelijk dat voertuigen rekening houden met willekeurige voertuigen die door mensen bestuurd worden. De enige plaats waar de CER-baan zal kruisen met ander vervoer, is op de gelijkvloerse spoorwegovergang. Op dit moment zijn er nog geen regels bekend over de voorrangregels op dit kruispunt en wordt hierover met Pro Rail overlegd.

3. Innovatieve ontwikkelingen rondom Intralog

In paragraaf 3.1 zal eerst de innovatie met betrekking tot autonoom rijden nader worden toegelicht. Paragraaf 3.2 gaat specifiek in op de geleide voertuigen. Paragraaf 3.3 geeft een status-quo overzicht van terminals met autonoom geleide voertuigen. Paragraaf 3.4 behandelt de automatische afhandeling van de voertuigen op de distributiecentra, het zogenaamde autodocken. Paragraaf 3.5 gaat in op ontwikkelingen in de batterijtechnologie.

3.1 Autonoom rijden algemeen

De verwachting is dat met slimme autonome voertuigen een aantal huidige verkeersproblemen opgelost kan worden. Dat is voor Nederland mede aanleiding om koploper te willen zijn op het gebied van slimme mobiliteit. Als we spreken van autonoom rijden verstaan we eronder dat een voertuig zelf kan accelereren, remmen en sturen, oftewel volledig zelfstandig kan rijden. In het zelfstandig rijden heb je verschillende niveaus van autonoom rijden. In januari 2014 heeft SAE International een standaard definitie gemaakt om duidelijk te maken wat een autonoom voertuig nu eigenlijk is. SAE International (2014) heeft zes niveaus van autonoom rijden bedacht, van nul tot vijf. In Figuur 7 is te zien welke levels gedefinieerd zijn en welke functionaliteit daaronder verstaan wordt.

SAE level	Name	Narative definition	Execution of Steering an acceleration/ decelation	Monotoring of Driving Environement	Fallback Performance of dynamic Driving Task	System Capability (Driving modes)	BAST level	NHTSA level
Human driver monitors the driving environment			Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver only	0
0	No Automation	the full-time performancee by human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervaneitions systems						
1	Drive Assistance	The driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration /decelaration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaing aspects of the dynamic driving task.	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	Partial Automation	The driving mode-specific execution by one ore more driver assistance systems of both steering and acceleration / decelaration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaing aspects of the dynamic driving task.	system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partial auto-mated	2
Automated driving system ("system") monitors the driving enironement			system	system	Human driver	Some driving modes	Highly auto-mated	3
3	Conditional Automation	The driving mode specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic drving task with the expectation that the human driver will respons appropriately to a request to intervene						
4	High Automation	The driving mode specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic drving task, even if the human driver does not respons appropriately to a request to intervene	system	system	system	Some driving modes	Fully Auto-mated	3/4
5	Full Automation	The full time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental doncitions that can be managed by a human driver	system	system	system	All driving modes		

Figuur 7. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems (SAE International, 2014).

Om autonoom rijden op een hoger niveau toe te kunnen passen zijn wel stappen nodig op het gebied van wet- en regelgeving, samenwerking tussen betrokken stakeholders, en de digitale en fysieke infrastructuur. Bij de digitale infrastructuur gaat het om verkeers- en ICT systemen voor verkeersinformatie en verkeersmanagement. De fysieke infrastructuur betreft vooral het ontwerp en de inrichting van wegen.

3.2 Wetgeving

Een belangrijk punt voor de haalbaarheid van autonoom rijden is de wet- en regelgeving. Momenteel is autonoom transport op de openbare weg nog niet toegestaan. Er zijn

al verschillende pilots geweest, maar de huidige regelgeving dateert uit het jaar 1968 (BWBV0003507, 2016). Om autonoom transport mogelijk te maken zal de regelgeving aangepast moeten worden. Momenteel is de regering hiermee bezig. Op 14 April 2016 is de Declaration-of-Amsterdam afgesproken. Hierin is een aantal afspraken vastgelegd, waaronder de samenwerking voor een Europees netwerk voor de exploitatie van autonoom rijden. Deze hiervoor noodzakelijk wetswijziging moet in 2019 doorgevoerd zijn.

3.3 Uitrol van SAE niveau 3 voertuigen vanaf 2020

In een verkenning van de implicaties van zelfrijdende voertuigen op het ontwerp van wegen wordt verwacht dat in 2030 SAE niveau 3 personen- en vrachtoertuigen een penetratiegraad van 5 tot 15% zullen hebben (in een scenario met een passieve overheid). Met een actieve overheid zijn penetratiegraden van 15 tot zelfs 35% mogelijk. Overigens is het niet de verwachting dat de uitrol van automatisch rijdende voertuigen geheel volgens de SAE-levels gaat verlopen, naar alle waarschijnlijkheid zullen verschillende spelers op de markt zich gaan richten op verschillende typen voertuigen, waardoor een mix van voertuigen op de weg gaat ontstaan. In deze context wordt onder een mix verstaan zowel bemande als onbemande voertuigen maar ook uitgerust met verschillende automatiseringslevels (Morsink et al., 2017). De beschikbaarheid van alleen volledig automatische voertuigen wordt door veel experts verwacht in 2075 of misschien wel nooit (Shladover, 2015). Voor het project INTRALOG wordt uitgegaan van het hoogste niveau's van autonoom rijden, oftewel SAE-niveau 4 of 5: high of full automation. Op level 4 wordt volledig automatisch gereden op of onder beperkte routes of condities. Op level 5 is geen enkele beperking of menselijke interactie meer van toepassing met het voertuig. Het voertuig zal volledig autonoom over de openbare weg rijden op basis van de systemen op het voertuig.

3.4 Autonoom rijden op de diepzeeterminals

Een vergelijkbaar voertuig t.o.v. de te ontwikkelen AGT is de AGV (Automated Guided Vehicle). AGVs rijden al op nieuwste terminals van ECT en APM 2 in de Rotterdamse haven. Deze AGVs rijden op een afgesloten terrein, waardoor geen onverwachte gebeurtenissen kunnen plaatsvinden. De AGVs op de terminals van ECT zijn geproduceerd door VDL Groep, terwijl de AGVs op APM 2 terminal door Terex Gottwald zijn geleverd. De AGVs op de APM 2 terminal zijn zogenaamde Lift AGVs, die zelfstandig de door de diepzee kranen geloste con-



Figuur 8. Zero emissie lift AGV, zoals gebruikt op de APM2 terminal (Bron: APM)

ainers van de rekken naast het diepzeeschip kunnen tillen en bij de stack kunnen afleveren (zie Figuur 8). Deze SAE level 4 AGVs kunnen niet rijden op de openbare weg, omdat zij geen kenteken hebben en "blind" zijn. De controle en aansturing van de voertuigen vinden centraal plaats. De plaatsbepaling vindt plaats via transponders in het terminal wegdek. De nauwkeurigheid van de positionering van bedraagt 25 mm +/- . Deze AGVs beschikken over een elektrische aandrijflijn met batterijen. Het vervangen van de batterij gebeurt volledig automatisch in ongeveer vijf minuten in een speciale batterij-uitwisseling station.

De AGVs staan voortdurend met elkaar en het hoofdstation in contact. Door het vele staal (containers, kranen, voertuigen) dat op de terminals aanwezig is, is de kans aanzienlijk dat de WiFi-communicatie tijdelijk wegvalt. Daarom wordt op de terminals gebruik gemaakt van een draadloos WiFi netwerk met extra voorzieningen. Als een AGV geen directe verbinding heeft met het vaste WiFi-netwerk, dan gaat die op zoek naar een tweede AGV die wel met het netwerk in verbinding staat. Dat gebeurt via een zogenaamde Mesh repeater (2017), een zend- en ontvangstunit die een bericht net zolang herhaalt totdat het op de bestemming aankomt. Zo zijn alle AGVs in staat zichzelf te ondersteunen.

Voor het project Intralog wordt in eerste instantie uitgegaan van voertuigen die zijn gebaseerd op de AGVs. Dit laatste is met name ingegeven door het feit dat de eerste vraag naar volledig autonoom transport buiten de terminals is voorzien voor het vervoer van containers over de CER.

Echter, in het onderzoek onder stakeholders is gebleken, dat op dit gebied grote verschillen bestaan in de gewenste oplossingsrichtingen. Zo hebben de nieuwste terminals op de Maasvlakte een sterke voorkeur voor volledig autonoom rijdende AGV's, omdat dit past bij de huidige inrichtingen van hun afhandelingsprocessen. De overige, minder geautomatiseerde terminals hebben juist een voorkeur voor een meer traditioneel en minder geautomatiseerde afhandeling met trucks of Multi Trailer Systemen (MTS) getrokken door een terminal trekker (zie Figuur 9). Een andere betrokken partij, zoals de FNV, verdedigt uiteraard de werkgelegenheidseffecten voor werknemers in de keten. De FNV stond op het



Figuur 9. MTS Multi Trailer System

standpunt dat het vervoer over de CER havenwerk is en dat dus ook door havenwerkers moet worden gedaan. Om een staking te voorkomen is het Havenbedrijf hiermee akkoord gegaan. Afsgesproken is, dat de werkgelegenheid voor het transport over de CER tot en met 2020 wordt gegarandeerd. Daarmee werd de mogelijkheid om het transport via onbemande AGV's of AGT's van transportbedrijven te organiseren tot in ieder geval 2020 geblokkeerd.

3.5 Auto-docken bij distributiecentra

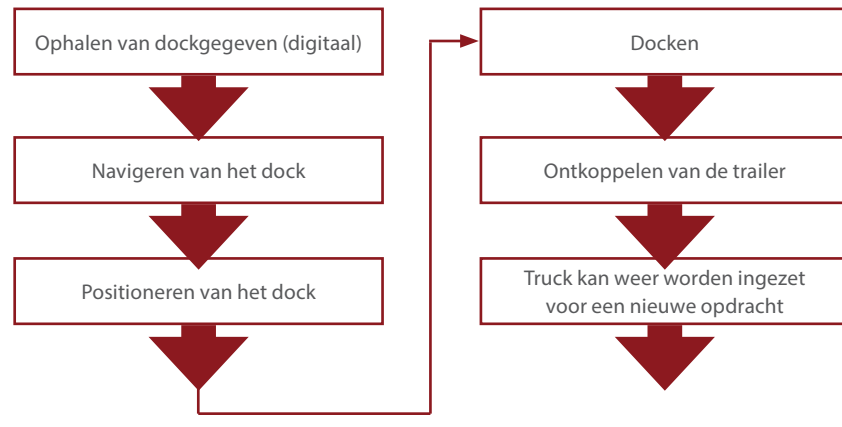
Een tweede mogelijkheid om aan het automatisch afhandelen van transporten te werken is het auto-docken bij de distributiecentra (dc's). Hierbij zijn alle manuele handeling autonoom gemaakt.



Figuur 10. Voorbeeld van docks op een distributiecentrum

Een Automated Guided Truck (AGT) is vertrokken met een containerlading van een terminal naar een distributiecentrum. De AGT zal de bestemming digitaal door hebben gekregen van de beheerder van de AGT. De AGT zal de meest optimale route bepalen en richting het distributiecentrum gaan. De AGT zal aankomen op plaats van bestemming. De digitale vrachtbrief zal gelezen worden door het distributiecentrum. Er zal door het aanwezige dockingsysteem op het distributiecentrum een draadloze opdracht gestuurd worden naar de AGT, waarin wordt aangegeven naar welk dock de AGT kan rijden. De AGT zal vervolgens navigeren naar het juiste dock. Tijdens de rit naar het juiste dock zal de AGT continu de omgeving scannen door middel van de radar en sensoren op de truck, zodat geen ongelukken kunnen gebeuren op het terrein. De truck zal de oplegger maximaal 20 centimeter van het dock parkeren. Hydraulische of elektrische steunpoten schuiven onder de oplegger uit. De truck zal zich vervolgens automatisch loskoppelen van de trailer en kan meteen wegrijden naar een andere bestemming. In het distributiecentrum zal de container geopend kunnen worden. Wel zal eerst de zegel van de douane moeten worden doorgeknipt door een medewerker van het distributiecentrum. Als de zegel is doorgeknipt, zal het losproces in gang gezet kunnen worden. De AGT zal aan de container gekoppeld kunnen blijven staan. Maar het is ook mogelijk dat de truck zich autonoom ontkoppelt van de oplegger. De AGT zal dan

een signaal doorgeven aan de beheerder dat de truck weer inzetbaar is. Er zal nu weer een nieuwe opdracht doorgestuurd kunnen worden naar de AGT. De volgende processen worden uitgevoerd als een AGT op het terrein komt van een distributiecentrum (zie Figuur 11).



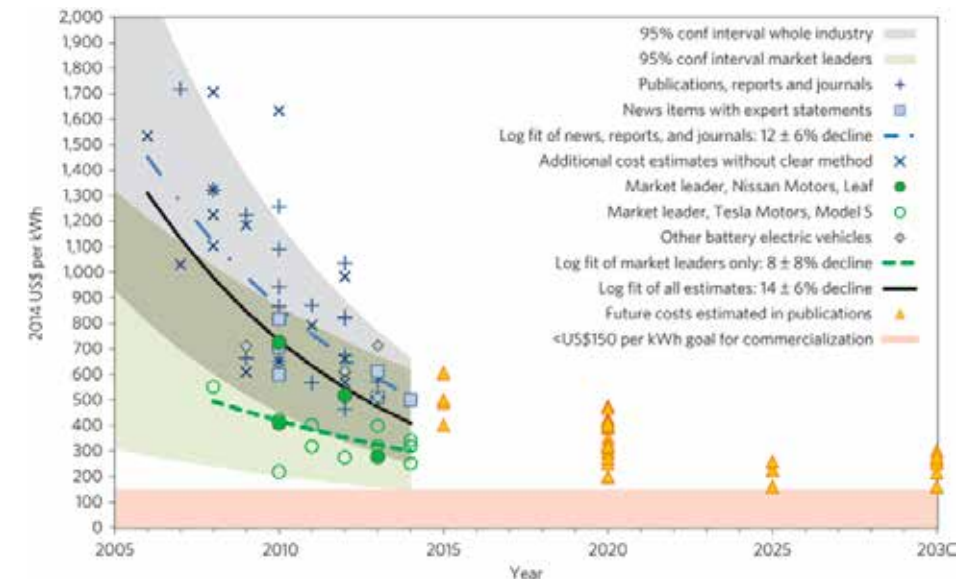
Figuur 11. Idealbeeld autodocking (Aytaar, 2016)

128

Met de komst van de AGT in het proces, worden de manuele handelingen van de chauffeur volledig vervangen. Daarnaast wordt wel rekening gehouden met personen die voor de docks lopen, die bijvoorbeeld een bok of een keg onder de oplegger plaatsen.

3.6 Batterijtechnologie

De laatste jaren zijn enorme investeringen gedaan in de productie van batterijen. Dit heeft een aanzienlijke invloed op de prijsontwikkeling van batterijen. Nykvist & Nilsson (2015) hebben een vergelijking van de verschillende studies over de ontwikkeling van de kosten voor batterijen opgesteld. In Figuur 12 is aangegeven dat de kosten in de VS geleidelijk dalen tot ongeveer US \$ 230 per kWh in 2017-2018. Dit is beduidend lager dan elders opgenomen in peer-reviewed wetenschappelijke literatuur, en is daarmee op gelijke voet met de meest optimistische toekomst schatting onder analisten buiten de academische wereld (McKinsey, 2012), die verklaarden in 2012 dat in de VS \$ 200 per kWh kan worden bereikt in 2020, en \$ 160 per kWh in 2025. Dit impliceert wel dat van de eerdergenoemde US \$ 230 per kWh, de kosten nog een derde moeten dalen om de US \$ 150 per kWh te bereiken. Pas bij dat niveau zullen batterij gedreven bedrijfsvoertuigen concurrerend worden met verbrandingsmotor voertuigen (Gaines & Cuenca, 2000). Als de kosten dalen tot US \$ 150 per kWh, betekent dit dat het gebruik van elektrische voertuigen waarschijnlijk verder zal gaan dan niche toepassingen, en dus de markt op grote schaal zal gaan domineren, wat zal leiden tot een potentiële paradigmaverschuiving in autotechnologie.



Figuur 12. Inschatting van de prijsontwikkeling voor batterijen (Nykvist & Nilsson, 2015).

129

Op het 28ste Internationale Electric Vehicle Symposium and Exhibition in Korea was Tien Q. Duong één van de keynote-sprekers. Tien is een Senior Technical Advisor en Manager van de Batterijen voor Advanced Transportation Technologies (BATT) Program (BATT, 2017). De focus van het BATT programma is het uitvoeren van onderzoek en ontwikkeling van de volgende generatie accu-technologie voor toepassingen in de automobielsector. Tijdens zijn lezing noemde hij de volgende doelstellingen als realistisch:

- 2022 US \$ 125 per kWh op basis van lithium;
- 2025 US \$ 100 per kWh op basis van lithium metaal.

Deze kostenontwikkeling laat de positieve kant van de batterijtechnologie zien. Anderzijds kent deze technologie in vergelijking met diesel of waterstofgas een aantal belangrijke nadelen die een snelle acceptatie door de markt in de weg zouden kunnen staan:

- Laadtijden van batterijen zijn te lang. Ter vergelijking: in dezelfde tijd dat batterijen: 50-600kW bijladen kun je 6.800-16.000kW H2 of diesel tanken;
- Batterijen zijn zwaar, hetgeen bij vrachtvervoer ten koste gaat van de laadcapaciteit. Batterijgewicht per km 12,0 kg versus 0,4 kg voor diesel;
- Koude weerscondities hebben vaak een grote negatieve invloed op de prestaties van de batterijen.

Voor korte afstanden kan worden gedacht aan het wisselen van batterijen of als er frequent wordt gestopt op vaste routes aan laden tijdens lossen. Inductie laden via het wegdek is ideaal maar de investeringen in de infrastructuur zijn erg hoog. Om toch nul emissie te behalen is energievoorziening via pantografen zoals bij trolleybussen een oplossing. In Duitsland is Siemens actief om e-Highways voor de hoofdroutes te introduceren. Deze oplossing is beduidend voordeliger dan het toepassen van H2 en kan prima gecombineerd worden met batterijen of H2. De kosten per kilometer voor H2 zijn ruim twee maal zo hoog als de kosten met de eHighway of batterijen. (Akkerman 2016). Helaas is de mogelijkheid om de CER als e-Highway uit te voeren niet mogelijk, omdat in dit systeem de containers bij calamiteiten niet van de voertuigen kunnen worden getild.

3.7 Verschuiving van aandacht voor goederen- naar informatiestroom

De efficiëntie in logistieke stromen is al op een hoog niveau ontwikkeld. Verdere verbetering is te realiseren door het beschikbaar maken van real-time data vanuit terminals, voertuigen, infrastructuur en bedrijfssystemen. Dit kan alleen worden gerealiseerd als informatie digitaal wordt gedeeld tussen verschillende partijen in de keten. Dit vereist dus naast een geschikte infrastructuur, standaardisatie van gegevens en vooral de bereidheid van de betrokken partijen om data te delen. Met het openstellen van de eigen organisatie zijn ondernemers echter vaak terughoudend. De rol van het nu in de haven gebruikte Port Base (port community systeem) is in het kader hiervan nog niet duidelijk. Om niet van één systeem afhankelijk te zijn, heeft het Havenbedrijf Rotterdam als faciliterende partij het initiatief genomen tot het opzetten van een Rotterdam Logistics Lab, dat erop is gericht om nieuwe informatieservices voor klanten te realiseren.

Er zijn nieuwe ontwikkelingen op Europees niveau waarbij nieuwe standaarden worden ontwikkeld voor:

Connectiviteit

Vrachtauto's zijn al via 3 of 4G verbonden met een centrale server van de fabrikant en/of de eigenaar. De routers die vrachtwagens aan boord hebben zijn meestal ook uitgerust met GPS, zodat de GPS-coördinaten beschikbaar zijn. Bij het platoonen, in treintjes rijden van zware vrachtauto's, zijn de vrachtauto's digitaal gekoppeld. Op dit moment kunnen alleen voertuigen van hetzelfde fabricaat worden gekoppeld. Dus een Volvo koppelen met bijvoorbeeld een Scania of een Mercedes is nog niet mogelijk. Om voordelen te kunnen behalen is het dus wezenlijk dat er één oplossing komt, waarbij meerdere merken in één platoon kunnen rijden. Platoonen wordt wel als kansrijk voor de langere afstanden gezien en op Europees niveau wordt gewerkt aan een multimerkstandaard. Naar verwachting wordt zo'n standaard na 2020 verwacht (Janssen et al 2016).

Digitale infrastructuur

Om de enorme informatiestromen in de toekomst te kunnen verwerken is de ontwikkeling van digitale infrastructuur in de haven een basisvoorwaarde. Naast een glasvezel netwerk is de ontwikkeling van 5G van belang. De 5G-technologie heeft als voordeel ten opzichte van dan 4G+, dat het vele malen sneller is, meer gebruikers tegelijkertijd kan bedienen en, bovenal, veel stabiel is. Hierdoor wordt 5G geschikt voor het aansturen van stoplichten of zelfrijdende voertuigen. Met 5G kan ook het vliegtuig verbonden worden met mobiel internet. Verder kan de desktop aangestuurd worden met een mobiele telefoon door 5G internet. Het is nog onbekend wanneer we in Nederland gebruik kunnen maken van een 5G netwerk. De verwachting is rond 2021 (KPN, 2016).

Naast het 5G-netwerk wordt ook het LoRa-netwerk (Long Range, Low Power) uitgerold. LoRa vooral bedoeld voor het koppelen van apparaten aan Internet. LoRa heeft als voordeel dat het ten opzichte van 4/5G en Wifi weinig energie vraagt (KPN, 2016). Een nadeel is dat de positiebepaling nog steeds niet eenduidig kan worden gegarandeerd.

Navigatie

Voor navigatie biedt Galileo (2017) een betrouwbaar houvast. Galileo is een mondiaal, civiel satellietnavigatiesysteem dat is ontwikkeld door de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA en de Europese Commissie. Het systeem wordt vanaf december 2016 uitgerold. Galileo moet volgens planning in 2020 operationeel zijn met 30 satellieten en is daardoor in staat zeer nauwkeurig te bepalen waar een voorwerp zich bevindt, zelfs tot minder dan een meter nauwkeurig. Daarmee is het nauwkeuriger dan het Amerikaanse GPS-systeem. Iedereen kan er gratis gebruiken. Naast de gratis open service, zal Galileo ook extra commerciële diensten beschikbaar stellen, onder andere garantie op juistheid van de positie. Voor positiebepaling en connectiviteit bieden Galileo en 5G een goede nauwkeurige basis.

4. Kwantitatieve analyse van autonoom inter-terminal container vervoer

In deze sectie zullen de kosten en de logistieke prestaties voor verschillende voertuigconfiguraties worden besproken. In paragraaf 4.1 wordt het uitgangscenario voor de berekeningen gepresenteerd. Vervolgens bevat paragraaf 4.2 de kostenimplicaties en logistieke prestaties bij inzet van de verschillende voertuigen. Paragraaf 4.3 bevat gedetailleerde uitkomsten van de TU Delft simulaties. Paragraaf 4.4 bevat een overzicht van de aangepaste simulaties welke zijn uitgevoerd door TBA (Delft).

4.1 Uitgangscenario 3 en verdeling aantallen over de CER

Bij het maken van de business case is er gebruik gemaakt van aannames en prognoses. In 2014 heeft de TU Delft simulatiemodellen en kostenberekeningen gemaakt rondom de

logistieke afhandeling van de CER. Bij deze studie van de TU Delft uitgegaan van de drie scenario's uit de Havenvisie 2030 (Havenbedrijf Rotterdam, 2016). De hier gepresenteerde resultaten gaan uit van het laagste en meest waarschijnlijke scenario 3 (Negenborn et al., 2014), waar het gaat om 1,4 miljoen TEU per jaar (zie Tabel 1) .

Tabel 1 Uitgangsituatie scenario 3 (Negenborn et al, 2014).

Scenario 3	Diepzee terminals	Binnenvaart terminal	Spoor terminal	Douane	Lege container depots
Diepzee terminals	80.000	97.251	219.051	75.000	196.560
Binnenvaart terminal	79.569				108.108
Spoor terminal	267.729				88.452
Douane	75.000				
Lege container depots	294.840	72.072	59.968		

4.2 Uitgangscenario 3 - kostenimplicaties en doorlooptijden

Het spreekt voor zich dat de kosten ontwikkelingen een grote rol spelen bij de toepassing van nieuwe innovaties, zoals een AGT. Het exact opstellen van een Total Cost of Ownership is in deze fase nog niet mogelijk. Dit komt doordat over de specifieke systemen die gebruikt zullen gaan worden, nog geen cijfers bekend zijn. Wel is het mogelijk om een globaal kostenoverzicht te geven van de verschillende operationele kosten. Conform van de toenmalige wens om het transport over de CER met autonome voertuigen uit te voeren is men bij de simulatie uitgegaan van de trucks, terminaltrekkers (TT), onbemande AGV's en bemande MTS'en (Tabel 2).

Tabel 2 Overzicht van kosten en logistieke prestaties voor de verschillende voertuigconfiguraties (Negenborn et al 2014)

	Scenario	Aantal	Transport-eenheden	Gemiddelde doorvoertijd (uren)	Totale Jaarlijkse kosten (€ Mln)	Kosten per TEU(€)
Truck	3	40	2,95	10,9	7,68	
TT	3	27	2,95	8,7	6,12	
AGV	3	27	2,95	3,9	2,74	
MTS	3	24	3,95	9,4	6,62	

Overigens is de Lift-AGV is in deze tabel niet meegenomen omdat ten tijde van de simulatie nog werd uitgegaan van het feit, dat te weinig ervaring met dit type AGV beschikbaar is. De studie heeft in ieder geval aangetoond dat autonoom transport met AGV's over de CER veel rendabeler is dan met bemande voertuigen. Ook dient opgemerkt te worden dat er inmiddels onbemande TT's in ontwikkeling zijn die een MTS zou kunnen trekken zodat ook daarmee op personeelskosten kan worden bespaard.

4.3 Uitgangscenario 3 – Detail simulaties TU Delft

Vervolgens zijn gedetailleerde simulaties uitgevoerd met configuraties van Lift AGV's, AGV's, MTS en TT's met twee binnenschepen. Deze simulaties zijn gebaseerd op individuele opdrachten en decentrale aansturing waarbij de voertuigen zelf over de noodzakelijke intelligentie beschikken om het transport min of meer zelfstandig te regelen. Door deze opzet is ook de logistieke prestatie in de vorm van te laat komen (non-performance) inzichtelijk gemaakt. In Tabel 3 staan de resultaten van deze simulatie vermeld.

Tabel 3 Logistieke prestaties voor verschillende voertuigconfiguraties (Negenborn 2014)

Scenario	Configuratie	Non-Performance %	Gemiddelde tijd in uren dat de container te laat arriveert
3	51 Lift AGV's	2,5	0,60
	65 AGV's	21,7	3,83
	16 MTS	19,3	3,69
	41 TT's + 2 binnenvaart schepen	98,7	353,85

Opvallend is dat de non performance relatief hoog scoort. De Lift AGV's scoren nog goed in het laagste scenario 3 namelijk 2,5%.

4.4 Uitgangscenario 3 – Bijgestelde simulaties TBA

De scenario's zijn inmiddels door het Havenbedrijf naar beneden bijgesteld. Er wordt nu voor de CER uitgegaan van 500.000 TEU per jaar met een start aantal van 250.000 TEU. De verlaging van deze aantallen is mede ingegeven doordat het aantal containers voor de spoorterminal via de CER veel lager zullen zijn.

Op verzoek van het Havenbedrijf heeft TBA in 2016 een simulatie gemaakt op basis van de verlaagde aantallen en bemande MTS'en, met in het achterhoofd een doorgroei naar een opzet met autonome voertuigen. De simulatie gaat uit van een gemiddelde snelheid van 22 tot 24 km per uur, de maximum snelheid is 32km per uur. TBA heeft ook de kraanbe-

wegingen in de simulatie meegenomen. Daarnaast is een aantal essentiële verschillen ten opzichte van de studie de TU Delft:

- Er is sprake van centrale aansturing;
- De opdrachten voor het vervoeren van containers bestaan vaak uit meerdere containers (vaak > 10 TEU);
- Er worden drie service producten aangeboden.

De centrale aansturing geeft bij deze uitgangspunten een hoger rendement ten opzichte van decentrale aansturing. Dit is mede ingegeven doordat leegrijden zo veel mogelijk wordt beperkt en meerder containers tegelijk geboekt worden. Zo worden containers van en naar lege container depots in grotere aantallen ingegeven en niet per individuele container. Dit geldt ook voor stromen van en naar het spoor en in mindere mate tussen de terminals.

Naast het ingeven van grotere aantallen per opdracht wordt het efficiënt groeperen van containers voor een zelfde bestemming mede mogelijk gemaakt door het toepassen van 3 drie service niveaus tegen verschillende kosten (Tabel 4).

Tabel 4. Serviceproducten CER (TBA, 2016)

Service niveau	Levertijd	Betrouwbaarheid
Standaard	< 48 uur	95%
Premium	<16 uur	98%
Hot Box	<4 uur	99%

Reefer containers en containers voor de douane vallen onder de categorie Hotbox. Deze hotboxen worden door terminal trekkers vervoerd.

In de simulatie van TBA zijn bij 500.000 TEU per jaar 5 MTS'en en 3 Terminals trekkers nodig. De bettingsgraad is bij 50.000 TEU per jaar al boven de 9 TEU per MTS. Bij 500.000 TEU komt dit op 9,7 en bij de 1.000.000 TEU zelfs op 9,8 per MTS bij een maximum capaciteit van 10 TEU. Op basis van deze hoge bezettingsgraden wordt er bij 400.000 tot 500.000 TEU per jaar reeds het break even niveau bereikt.

De simulatie is ook uitgevoerd met combinaties van MTS'en en meer individuele voertuigen. MTS'en met enkele terminals trekkers geven het beste rendement. Afhankelijk van de noodzakelijke investeringen op de uitwisselplaatsen bij de diepzee terminals, zou nog kun-

nen worden besloten tot een scenario waarbij het merendeel of het geheel met individuele voertuigen wordt uitgevoerd.

Het spreekt voor zich dat het leeg rijden bij een centrale aansturing beduidend lager zal zijn dan als het transport door meerdere partijen wordt uitgevoerd. Gezien het belang en de noodzaak tot een efficiënte oplossing wordt gedacht een centrale aansturing met een planningssysteem dat door het Havenbedrijf wordt gefaciliteerd. Het lijkt daarom heel onwaarschijnlijk dat het CER-transport door meerdere transporteurs zal worden uitgevoerd.

5. Conclusie

Op basis van de ontwikkelingen, die in deze verkenning in kaart zijn gebracht, kan geconcludeerd worden dat door toepassing van een autonoom vervoersysteem op basis van AGT's een kostenbesparing en versnelling van de doorvoer van containerstromen in de haven van Rotterdam op basis van de PPP-criteria mogelijk is.

Profit

Positieve business case is essentiële voorwaarde! Met de inzet van autonoom container transport over inter-terminal afstanden is een aanzienlijke reductie van de kosten te realiseren. Daarnaast levert het verhogen van de bezettingsgraad, vermindering van het leeg rijden, respectievelijk het delen van capaciteit een aanzienlijke bijdrage in het verlagen van de kosten. Een bijkomend voordeel is dat de congestie van het wegennet sterk verminderd wordt.

Planet

Zero-Emissies en vermindering van geluid worden steeds belangrijker in de huidige maatschappij. Schone energie wordt goedkoper en er komen steeds meer oplossingen voor de distributie van schone energie: laadstations, batterijwisselstations, Waterstof tankstations, Pantografen (e-Highways). De AGTs kunnen hier een goed antwoord voor zijn.

People

Hoewel autonoom rijden een aanzienlijke vermindering van de werkgelegenheid bij o.a. chauffeurs met zich mee zal brengen, zal dit geen belemmering vormen voor de introductie. Vergrijzing onder chauffeurs verzacht het effect. Wel zal de vraag naar ICT personeel verder toenemen.

Gefaseerde introductie

In het container transport zijn op basis van afstand, gesloten baan en openbare weg, energieverbruik, energiedistributie en qua organisatie grote verschillen. Op basis van deze criteria zijn vijf verschillende situaties te onderscheiden: CER, Inter-terminals & dc's in HIC, (inter-

modale) binnenland terminals in Nederland en het lange afstand vervoer. De haalbaarheid van een geautomatiseerd systeem in tijd zou er als volgt uit kunnen zien:

Tabel 5. Gefaseerde introductie AGTs

Situatie	Rit-Afstand km	Weg/terrein	Snelheid	SAE niveau	Tijd
1. CER	6-14	Gesloten baan	20-30km/u	4	tot 2020 met MTS met chauffeur, daarna autonoom
2. Auto docken op de dc's	100m	Gesloten terrein	80km/u	4	Vanaf 2020
3. Inter-terminal & dc's in HIC	30-40	Openbare weg	80km/u	5	Vanaf 2025
4. Inter-terminals & dc's in Nederland	40-120	Openbare weg	80km/u	5	Vanaf 2030
5. Achterland	>150	Openbare weg	80km/u	5	Vanaf 2035

Systeemverandering

Bij de ontwikkeling is de betrokkenheid van veel stakeholders om een dergelijke innovatie succesvol te implementeren. Te denken valt aan het Havenbedrijf, terminal operators, lokale en centrale overheid, transportondernemingen, energieleveranciers, leveranciers transport middelen en ICT dienstverleners. Het is nog een lange weg waarbij de nodige knelpunten nog moet worden overwonnen en samenwerken tussen soms concurrerende partijen niet vanzelfsprekend is (Hekkert & Ossebaard, 2010). De economische belangen zijn echter voldoende groot om de toekomstige containerstromen snel adequaat te faciliteren en voldoende initiatieven zijn bij marktpartijen en overheden aanwezig om van deze innovatie echt een succes te maken.

Literatuur

Akkerman, P (2016), Electrified heavy duty road transport, Presentatie tijdens bijeenkomst over de rol van trucks bij energie en omgeving. EC, Brussel op 8-11-2016. Zie tevens [http://www.siemens.com/press/en/feature/2015/mobility/2015-06-eHighway.php?content\[\]=MO](http://www.siemens.com/press/en/feature/2015/mobility/2015-06-eHighway.php?content[]=MO)

Aytar, M. (2016),Toepassing van AGT's tussen terminals en distributiecentra" afstudeerscriptie

Bergh, R. v. (2015). Autodocking. Rotterdam: Hogeschool Rotterdam.

Gerrits, B., (2016). Multi-agent system design for automated docking of semi-trailers by means of autonomous vehicles. Master thesis, University of Twente.

Declaration of Amsterdam. Amsterdam (2016): Europese Unie.

Gaines, L.L. & Cuenca, R.M., (2000). Costs of Lithium-Ion Batteries for Vehicles. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information: Oak Ridge

Havenbedrijf Rotterdam. (2011). Havenvisie 2030. Breda, Den Haag, Amsterdam: Havenbedrijf Rotterdam.

Havenbedrijf Rotterdam. (2014). Monitoring als basis voor efficiency verbetering. Rotterdam: Havenbedrijf Rotterdam.

Havenbedrijf Rotterdam (2015). Voortgangsrapportage 2015, Havenvisie 2030. Port Compass. Rotterdam: Havenbedrijf

Hekkert, M., en Ossebaard, M (2010). De Innovatiemotor, het versnellen van baanbrekende innovaties. Van Gorkum.

Hendrikse, M. (2015, december 8). Niet banen maar taken verdwijnn door robotisering. Opgehaald van penoactueel: <http://www.penoactueel.nl/Personeel/Algemeen/2015/12/Niet-banen-maar-taken-verdwijnen-door-robotisering-2730280W/>

Heres Stad. (2014, februari 18). Vergrijzing helpt arbeidsmarkt in het zadel. Opgehaald van Logistiek: <http://www.logistiek.nl/carriere-mensen/nieuws/2014/2/vergrijzing-helpt-arbeidsmarkt-in-het-zadel-10136850>

Janssen, R.,Zwijnenberg, H., Blankers I., Kruijff, J. de (2016). Visie op Truck Platooning 2025, TNO

KPN (2016) LoRa van KPN - Connectiviteit voor Internet of Things

Mckinsey (2012); Battery Technology Charges Ahead, Mckinsey Quaterly, http://www.mckinsey.com/insights/energy_resources_materials/battery_technology_charges_ahead

Morsink, P., Klem, E., Wilmink, I en Kievit, Martijn de, (2017), Zelfrijdende auto's: verkenning van de implicaties op het ontwerp van wegen. Royal HaskoningDHV, TNO.

Moving@Rotterdam (2012), Onderzoek door studenten van de Hogeschool Rotterdam in samenwerking met Stichting Natuur en Milieu en het Havenbedrijf.

Negenborn et al (2017) Evaluation of inter terminal transport configurations at Rotterdam Maasvlakte using discrete event simulation, TU Delft.

Nykvist, B & Nilsson, M (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. Nature Climate Change (5), 329–332

SAE International (2014), rapport SAE J 3016, 16 January 2014. Update http://standards.sae.org/j3016_201609/

Schrijer, I (2014), INTRALOG - Intelligent Truck Applications in Logistics, Sia Raak Pro project proposal, HAN University of Applied Sciences

Shladover, S. E. (2015). Road Vehicle Automation History, Opportunities and Challenges. Presentation at Connekt/ITS Netherlands, Delft, The Netherlands. 9 November 2015

Verdoorn, Joop; de Roo, Danny;. (2014). Containervervoer over de weg. Rotterdam: Havenbedrijf

Interviews

Havenbedrijf Rotterdam, (2016), interview met Hans Meeuwssen, 15-11-2016

TBA (2016). Interview met Gijsbert Bast, 20-12-2016, Delft

Websites

BATT, (2017). Website: <http://batt.lbl.gov/>, geraadpleegd op 1 Februari 2017.

BWBV0003507, (2016). Website: <http://wetten.overheid.nl/BWBV0003507/2016-09-19/0/informatie>, Geraadpleegd op 1 Februari 2017

Galileo, (2017). Website: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>, geraadpleegd op 1 Februari 2017

KPN, (2017). Website: <https://www.providers.nl/1656/de-ontwikkeling-van-mobiel-internet-van-4g-naar-5g/>, geraadpleegd op 1 Februari 2017

Meshrepeater (2017). Website: <http://www.windownetworking.com/articles-tutorials/wireless-networking/intro-wi-fi-mesh-networking.html>, geraadpleegd op 1 Februari 2017

RVO. (2016). Website: Risicoanalyse voor een ketenproject: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/Tool%20-%20Risicoanalyse%20voor%20een%20ketenproject.doc.pdf>, geraadpleegd op 1 Februari 2017