

HAFT

Highly Automated Freight Transport

Forskning för möjliggörande av automatisering
av långa fordonskombinationer för transporter
mellan Göteborgs hamn och Borås Viared

Projektnummer: 2016-05413 och 2016-05415



Författare: Lena Larsson och Aime Vesmes i samarbete med Fredrik von Corswant, Martin Hedvall Fogelquist, Sara Thiel
Datum: 2022-11-30
Projekt inom: Trafiksäkerhet och Automatiserade Fordon (TSAF) och Effektiva Uppkopplade Transportsystem (EUTS)

Förord

Vi vill rikta ett stort tack till alla medverkande som på så många olika sätt har bidragit till att framgångsrikt genomföra projektet! Genom gott samarbete och mycket positiv energi har mycket ny kunskap genererats som bidrar till en konkurrenskraftig utveckling av transportsektorn i Sverige.

Ett särskilt tack till FFI för förtroendet att genomföra projektet och erhållen finansiering för projektets genomförande.

Projektledningen

Göteborg den 30 november 2022

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	5
2 Executive summary in English	7
2.1 Background	7
2.2 Purpose, research question and method	8
2.3 Goal	9
2.4 Results and conclusions	10
3 Definitioner och förkortningar	11
4 Bakgrund	14
4.1 Högkapacitetstransporter (HCT)	14
4.2 Fordonsautomation	16
4.3 Logistik	20
4.4 Relaterade forskningsprojekt	21
4.5 Partners i projektet	21
5 Syfte, forskningsfrågor och metod	23
6 Mål	25
7 Containertransporter Case: Göteborgs hamn – Viared	27
7.1 Allmänt om Viareds containerflöde i Autofreights perspektiv	27
7.2 Transportrelationen i Autofreight.....	29
7.3 Översikt Autofreights trafiksystem inklusive dryport	30
8 Resultat och måluppfyllelse	32
8.1 WP1 Projektkoordinering	34
8.2 WP2 Teknikforskning	34
8.3 WP3 Forskningsplattformen.....	69
8.4 WP4 Logistikplattformen	74
8.5 WP5 Infrastrukturanpassning	85
8.6 WP6 Juridiska aspekter	92
8.7 FFI – målen	93
9 Diskussion	96
9.1 Tidsåtgången i Göteborgs hamn.....	96
9.2 Påverkan av Covid-19 pandemin	96
9.3 Förlängning av projektet och fortsättningsprojektet AF-II	96

10 Spridning och publicering	98
10.1 Kunskaps- och resultatspridning	98
10.2 Publikationer	99
11 Slutsatser och fortsatt forskning	102
12 Deltagande parter och kontaktpersoner	103
13 Referenser	105

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings- och innovationsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Trafiksäkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör drygt 400 Mkr.

För närvarande finns fem delprogram; Energi & Miljö, Trafiksäkerhet och automatiserade fordon, Elektronik, mjukvara och kommunikation, Hållbar produktion och Effektiva och uppkopplade transportsystem. Läs mer på www.vinnova.se/ffi.

1 Sammanfattning

Kraven på att minska utsläppen av koldioxid kombinerat med behov av reducerade kostnader för ökad konkurrenskraft gör det angeläget att på olika sätt utveckla mer effektiva logistiksystem. Projektet Highly Automated Freight Transport (HAFT), även kallat Autofreight, har fokuserat på hur längre och tyngre fordonskombinationer (så kallade HCT-fordon) och hur automatisering kan bidra till mer effektiv logistik. Specifikt studeras hur transport av containers från hamnen i Göteborg till industriområdet Viared i Borås kan göras med en så kallad A-dubbel, dvs ett fordon som kan lasta två 40-fots containers i stället för det vanliga att köra dragbil och singeltrailer, med en container per ekipage. Under hittills 30 månader och ca 18 300 mil har containertransporter utförts regelbundet mellan hamnen och Viared och en stor mängd data har samlats in.

Projektet har genomförts i nära samverkan mellan transportköpare, transportörer, fordons-tillverkare, myndigheter och akademiska forskare. Parallellt med de dagliga transportererna av containers har en nära identisk fordonskombination, utrustad med fler sensorer och med möjlighet till extern reglering av styrning, bromsning och acceleration, utvecklats för forskning och utveckling inom autonoma fordon och förarstödsystem.

Även om automatiseringen av fordon inte har gått så snabbt framåt som antogs då projektet startade 2017 så har projektet resulterat i ett flertal intressanta forskningsresultat inom automatisering. Bland annat så har inlärningsbaserat beslutsfattande tillämpats för att finna bra strategier för att göra filbyten och köra genom korsningar med långa fordon. Vidare har olika metoder utvecklats för ruttplanering med fordonskombinationer som exempelvis behöver mer utrymme vid skarpa svängar. Inom området perceptionssystem har algoritmer utvecklats för LiDAR-baserad positionering i digitala kartor, samt objektidentifiering med hjälp av så kallad semantisk segmentering av bildinformation från stereokamerasystem. På transportuppdragsnivå anpassades ett system för transportledning för autonoma fordon. Körningen i hamnen och inom Viared visade tydligt att backning med långa fordonskombinationer är en utmaning. Därför utvecklades ett semi-autonomt prototyp-backningssystem för en A-dubbel. Projektet har resulterat i en doktorsavhandling och totalt 12 papers, varav tre har publicerats som vetenskapliga artiklar. Projektet har också genererat totalt 12 examensarbeten. Utöver detta har projektet presenterats på ett flertal HCT-konferenser, seminarier och liknande.

Projektet visar på flera intressanta resultat av att använda en A-dubbel jämfört med dragbil och singeltrailer. Bränsleförbrukningen, och därmed emissionerna av koldioxid, kan reduceras med ca 40% per transporterat ton gods. Fortsättningsvis inriktar sig projektet på Energieffektivitet.

Borås Stad har haft en betydande och strategisk roll i projektet. Staden har som mål att inte bara vara Nordens ledande textil- och e-handelscentrum utan att Sjuhäradsregionen (där staden ingår) skall även bli en högfungerande HCT-transportförebild. De taktiska och strategiska logistiska mål som Borås Stad ställde och som angavs i FFI – ansökan är väl uppfyllda i Autofreight I. Exempelvis så;

- har ett konsoliderat trafiksystem för HCT har etablerats med säkerställda resursmål, primärt avseende miljöparametrar men även service och kvalitet för användande partner
- har ett transportsystem utvecklats, körteknik och uppföljning av förbrukning har utförts och effektivitetspotentialer har identifierats vilka kan genomföras i nästa steg
- är de ekonomiska målen godtagbara trots störningar i hamnterminal och brist på de avsedda returflödena i exporten
- är den kunskapsrelaterade grunden och de organisatoriska förutsättningarna i staden Borås lagda. Det finns goda förutsättningar för en stabil systemexpansion med tillkommande varuägare, transportföretag inklusive rederier

- Riktlinjer har utarbetats för en expanderad trafik inklusive nya lösningar med lokal neutral dryport och ett större geografiskt område att betjäna, utanför Viared. Grunderna för dryportens utveckling har utformats.

Följande partners har samverkat i projektet: Volvo Technology, Chalmers tekniska högskola, Combitech, Borås Stad, GDL Sjöcontainer, Volvo Bussar, Kerry Logistics, Ellos och Trafikverket även Fristads har medverkat dock inte som projektpartner. Projektet har pågått mellan april 2017 och augusti 2022 och den totala projektbudgeten var 55,8 MSEK, varav 21 MSEK finansierades av FFI. Totalt förbrukat, med Vinnovas timpeng, blev 77 MSEK varav 21,2 MSEK i bidrag. För TSAF 2016-05413 39,9 MSEK (varav 14 MSEK bidrag) och för EUTS 2016-05415 37 MSEK (varav 7,2 MSEK bidrag).

2 Executive summary in English

This project has studied how longer and heavier vehicles in combination with automation and driver support systems can be used for improving the efficiency of container transports in a larger logistics system. The project started in April 2017 and ended in August 2022. The following partners have been involved: Volvo Technology, Chalmers University of Technology, Combitech, Borås Stad, GDL Sjöcontainer, Volvo Buses, Kerry Logistics, Ellos and the Swedish Transport Administration. Fristads participated as associated project partner. The total project budget was 55.8 MSEK whereof 21 MSEK was funded by FFI.

The Highly Automated Freight Transports (HAFT) project consists of the Vinnova FFI projects 2016-05413 and 2016-05415.

2.1 Background

The aggressive target for reduced carbon dioxide emissions in the transport sector, combined with driver shortage, has led to a need for new transport and logistics solutions. Two important areas to address this are high-capacity transports (HCT) and vehicle automation, integrated in a well-coordinated logistical system these can enable improved energy efficiency, higher transport productivity as well as increased road safety.

The basic idea with HCT is to connect several vehicles to a longer vehicle combination. In this way the energy consumption per transported ton of goods can be reduced. The European Modular System (EMS) describes a set of standard vehicles that can be used for such vehicle combinations. Earlier studies have showed a potential energy consumption reduction of around 20-25% for a vehicle combination called A-double, consisting of a tractor, a first semi-trailer, a dolly and a second semitrailer. This is compared to using two separate tractor and semitrailer combinations. In Sweden, research on HCT vehicles has been conducted since 2009 with real traffic testing, aiming at exploring and understanding pros and cons with different types of vehicle combinations. Generally, the tested vehicle combinations have proven to be both energy efficient and safe. Based on the research, both Sweden and Finland have increased the gross combination weight (GCW) and max vehicle lengths to 76 ton and 34.5m in Finland (almost all roads) and 74 ton and 25.25m (soon to be 34.5m) in Sweden (on a limited part of the road network).

Vehicle automation has received much attention over the past ten years and there is a rapid development of new technology. For commercial vehicles, like trucks, there could be potential benefits with automation. Reducing the need for a human driver can have a direct impact on operating cost. Also, with no driver, the operating time per day can be extended as the need for taking breaks and resting can be reduced. This also helps improving the flexibility of the logistics system. An autonomous vehicle can also use more advanced control algorithms optimizing the driving, which may contribute to lower energy consumption and improved traffic safety. However, it was soon realized that several steps will be needed to reach full automation. Developing and verifying that an autonomous system handles all types of traffic situations that a human driver can is a huge task. Therefore, we see vehicle automation gradually developing via more and more advanced driver support systems towards higher levels of automation, and this will take a long time.

To understand how HCT and automation can contribute to more efficient transports we need to take a logistical system perspective. While HCT transport of sea containers can help reducing energy consumption when driving on the highway, it also creates new challenges in the nodes as the need for vehicle shunting increases. Earlier research on intermodal transports have shown a need for infrastructural adaptations to handle this, such as implementation of so called dryports where semitrailers and containers can be stored temporarily, and vehicles can be connected / decoupled between longer and shorter combinations. The dryport needs a high level of security.

2.2 Purpose, research question and method

The overall purpose with this project has been to create new knowledge on how longer vehicle combinations (HCT) and vehicle automation can be applied to make a logistical system more efficient. This also included increasing the knowledge about what infrastructural adaptations of the logistical system that would be needed, how driving time and rest period regulations could be changed, and how the logistical business models could be developed.

The use of HCT with focus on driveability, safety and fuel efficiency has been studied in some earlier projects. In addition to further developing the vehicle concept itself, this project has aimed at studying how HCT can be an integrated part of the larger logistical system by studying impact on and dependencies to goods flows, driver flexibility, infrastructure (dryport and harbor), business models and logistical planning.

Initially the purpose was to also demonstrate an autonomous HCT vehicle (an A-double) on a public road. However, special permits were required, and as it turned out that the general development of autonomous vehicles would take longer than first expected, the project purpose was slightly changed. The project was re-focused on research and development of parts of the autonomous system, including advanced driver support systems, aimed for long combination vehicles.

Guided by the project purpose, the project has been focusing on the following three research questions.

- How can the use of HCT vehicles contribute to a more efficient logistical system?
- How can vehicle automation contribute to making HCT transports more efficient?
- How can a dryport contribute to higher logistical system efficiency and what is required to realize it?

The project has mainly been conducted as a case study focusing on container transports between the harbor in Gothenburg on the Swedish west coast, and Viared industrial area in Borås. The transport distance is approximately 75km and transports have been carried out using an A-double with a special permit for technical testing on public roads. The case study approach enabled extensive studies of, for example, goods flows, energy consumption, the different actors' preconditions, driver challenges and logistical planning. In addition to the transport company, several companies receiving containers in Viared have been active in the project and contributed with valuable information. Over the past 30 months the truck has driven more than 183,000km and large amounts of valuable data has been collected. The truck was also equipped with additional sensors such as GPS, accelerometers, and several cameras for collection of real traffic data, resulting in a large dataset that, for example, can be used for traffic safety research or training of machine learning networks.

The learnings from the real transport case also provided valuable input for the vehicle automation research. To enable full scale testing of autonomous functions without disturbing the daily logistics operations, an additional A-double was built for research purposes. It was almost identical to the one used in daily operations but equipped with more advanced sensors and computers, as well as full external actuation (steering, acceleration, and braking). While many tests were carried out on dedicated test tracks, some tests (not involving vehicle actuation) could be performed on public roads. To facilitate pre-development and testing inhouse in a lab environment, a scale model of this A-double was also built. This was particularly useful for researchers and students with no truck driving permit. Both A-doubles, the full-scale truck, and the scale model truck, provide open software interfaces enabling researchers to run their own algorithms independent of software platform. The use of real vehicles means more realistic data and researchers can quickly get feedback and run more iterations during a limited period. Parts of the research work has also involved the use of simulations, based on synthetic as well as real traffic data. Simulations have also been used for training machine learning networks or for studying how drivers interact with a driver support system.

2.3 Goal

The overall goal of the project has been to create new knowledge and demonstrate how transport system efficiency can be improved by implementing new technology, new business models and new logistical solutions so that more containers can be transported on HCT vehicles. This high-level goal was broken down into nine sub-goals:

Goal 1: Build a network of commercial actors enabling the logistical system built in this project to be brought into a more commercialized phase at a later stage. This has largely been achieved, but with slower progress than anticipated due to the global pandemic and the related decline of container volumes.

Goal 2: Establish a functioning logistical system for container transports between Gothenburg harbor and Viared. Analyze system efficiency by comparing with conventional (single trailer or B-double) transports. Collect detailed driving data to be used for the analyses.

Goal 3: Create new knowledge about what adaptations of physical and digital infrastructure in the logistical system are required. This includes local roads, traffic safety considerations as well as requirements and potential benefits with a local dryport for improved logistics.

Goal 4: Investigate logistical business conditions, including agreements between transporter and transport buyer and potential for horizontal transparent collaboration.

Goal 5: Build knowledge on what is required for automation of regional and long-haul transports on highway, including research on lane changes. Initially the goal also included driving simulator studies of highway driving with long vehicles, but when the real truck was in operation this was no longer needed.

Goal 6: Demonstrate how HCT automation can make the logistics more efficient. Initially, this goal included demonstration of an autonomous HCT transport on the highway. For different reasons this goal could not be fulfilled. Instead, the goal was changed to focus on selected vehicle automation research, including decision making for lane changes and intersections, perception system development and route planning.

Goal 7: Development of driver assist systems for highway driving. Initially this goal was focused on adaptive cruise control (ACC) and lane keeping aid (LKA), but as these systems were already commercially available, and the studied case clearly indicated a need for a driver assist system for reversing an A-double, this goal was changed.

Goal 8: Collect data from HCT vehicle driving that can be used for development and validation of autonomous systems and functional safety. During the project it has turned out that this data can be used in a variety of areas including, for example, vehicle electrification research.

Goal 9: Analyze driving and resting time for drivers to better understand how vehicle automation can contribute to more efficient transports. While the driving and resting time is still relevant for the analysis of the logistics system and its flexibility, an initial target aiming at providing input for new driving time legislation was abandoned since such legislation takes very long time to change.

2.4 Results and conclusions

The project has provided several interesting results clearly showing the potential benefits of HCT vehicles. The case study approach clearly showed the importance of taking a systems perspective on logistics operations. Among many interesting results the following items can be highlighted:

- In this project, only one HCT vehicle has been in operation for the dedicated transport route. Results show that by involving more transport buyers, thereby increasing the container volumes, several similar vehicles could be in operation. That would likely have a positive impact on overall efficiency. That is one of the key elements to be studied in the follow-up project Autofreight-II.
- The project has shown the increasing importance of establishing a dryport in Viared. That would contribute to an expanded, more flexible, and more efficient transport system. Also, this will be further developed in Autofreight-II.
- Logistical operations in the nodes, both in Viared and in the harbor, can be further improved. Local adaptations are needed and will be further developed in Autofreight-II.
- The project has shown the significance of reversing support for operating the A-double. While it became clear during the project that full vehicle automation was not realistic, there is a need for driver training and driver support systems. A conceptual driver support system for reversing an A-double was developed and demonstrated in the project.
- Further knowledge is needed regarding the adaptation of infrastructure and adaptation of logistical centers, including dryport design, local roads and roundabouts and resting areas for trucks.
- Logistical flows are time sensitive as most receivers of containers want their goods in the morning, not in the afternoon or during the night. The dryport will be an important component in solving this.
- Even though full automation of commercial vehicles on public roads will take longer time than first anticipated, the project has provided several valuable contributions to automation research.
- One part of the project showed how a fleet management system can be adapted for managing autonomous vehicles in a transport system. At the same time, the project has clearly showed that many other things than the driving task need to be adapted before the vehicle automation will provide real efficiency gains.
- The project has shown how machine learning can be used for decision support systems for autonomous vehicles, for example to make safe lane changes with long vehicles. By estimating the decision uncertainty important information is achieved that can also be used for the evaluation and verification of such systems. That is an important area for future research.

3 Definitioner och förkortningar

Förkortning	Klartext	Förklaring
4G/LTE		Fjärde Generationens mobilkommunikation/Long Term Evolution (3PPG).
ACC	Adaptive Cruise Control	Adaptiv farthållare som anpassar hastigheten till framförvarande fordon.
ADAS	Advanced Driver Assistance System	Kan assistera förare och möjliggöra olika nivåer av självkörande.
A-dubbel	En typ av HCT fordonskombination	Fordonskombination bestående av dragbil + semitrailer + dolly + semitrailer. Samma som "DUO trailer".
AF	AutoFreight	Smeknamn för projektet.
AF-I	AutoFreight 1	Projektets Smeknamn del 1.
AF-II	AutoFreight 2	Efterföljande Projekts namn.
API	Application Programming Interface	Ett applikationsprogrammeringsgränssnitt.
ATMS	Autonomous Transport Management System	Combitech system
B2B	Business to Business	Företag till företag (affärsrelationer).
B-dubbel	En typ av HCT fordonskombination	Fordonskombination bestående av dragbil + link (dvs en semitrailer med vändskiva baktill) + semitrailer.
BK1-BK4	Bärighetsklass 1, 2, 3 eller 4	Svensk klassificering av vägars bärighet.
C++		Programmeringsspråk på hög nivå.
CAN	Controller Area Network	En Databuss främst avsedd för fordon.
CARLA	CAR Learning to Act	Open source simulator för körning i stadsmiljöer.
CLOSER		En neutral samverkansplattform, kunskapsnod och projektverkstad för ökad transporteffektivitet och välfungerande logistik.
CNN	Convolutional Neural Network	En typ av neurala nätverk som använd inom Machine Learning.
CPU	Central Processing Unit	Datorprocessor
DARPA	Defence Advanced Research Projects Agency	Myndighet under USA defence.
DMT	Drivmedelstillägg	
Docker		Mjukvara för att paketera annan mjukvara i så kallade mjukvarucontainers.
Dolly		Släpvagn utan eget lastutrymme. Dragstång framtill. Vändskiva över axlarna för tillkoppling av semitrailer.
DQN		Algoritm för Reinforcement Learning, framförallt använd i flerdimensionella applikationer som videospel och robotik.
Dryport	"Torrhamn" för lokal omlastning av gods.	Terminalanläggning för hantering av enhetslaster, som containers, med placering i inlandet. Trafikeras med lastbil eller järnväg. Kan användas för uppställning av semitrailers och containrar, för sammankoppling av fordon, för import-/ exportrelation eller som tullager.
EC	European Commission	
e-Dolly	Elektriskt driven dolly	Framförallt avsedd för att ge elhybriddrift i en längre fordonskombination.

EEG	Europeiska Ekonomiska Unionen	
EMK	Elektronik, mjukvara och kommunikation	Vinnova FFI, delprogram
EMS	European Modular System	Fordonsenheter beskrivna i EU-direktiv 96/53/EC
ER	Engineering Report	Volvo dokument
EU	Europeiska Unionen	
EUTS	Effektiva Uppkopplade Transportsystem	Vinnova FFI, delprogram
F&U	Forskning och Utveckling	
FFI	Fordonsstrategisk Forskning och Innovation	www.vinnova.se/ffi
FGR	Fast Global Registration	Metod för att söka likheter mellan exempelvis punktmoln och digital karta.
FOT-data	Field Operational Test data	Data som samlas in från fordon under normala användningsförhållanden.
FPGA	Field Programmable Gate Array	Programmeringsbara integrerade kretsar som lämpar sig för tunga beräkningar.
GDPR	General Data Protection Regulation	EU:s dataskyddsförordning.
GNSS	Global Navigation Satellite System	Ett samlingsbegrepp för positioneringssystem.
GPS	Global Positioning System	Satellitbaserat positioneringssystem (en form av GNSS).
GPU	Graphical Processing Unit	Grafikkort. Kan även användas för beräkningar.
HAFT	Highly Automated Freight Transport	Projekts namn
HCT	High Capacity Transport	Höghöghastighets transporter. Längre/ tyngre fordon än vad som var tillåtet, i Sverige, när projektet startade.
HERE		Nokias kart- och navigeringstjänst för mobiltelefoner
HVTT	Heavy Vehicle Transport & Technology	Internationellt forum för tunga fordonstransporter och teknologi.
ICNet		Mjukvara för semantisk segmentering, dvs urskiljning av objekt i bilder.
ICP	Iterative Closest Point	Metod för att söka likheter mellan exempelvis punktmoln och digital karta.
i-Dolly	Intelligent dolly	Elektriskt driven självkörande dolly utan dragstång. Framförallt avsedd för autonom rängering/distribution av semitrailers inom terminal eller lokalt.
IMU	Inertial Measurement Unit	Accelerometrar för att mäta acceleration och rotation.
ISO	International Organization for Standardization	Internationell standardiseringsorganisation.
KKS	Automatiskt Kopplings System (Automatisches Kupplungssystem)	JOSTs system för automatisk koppling mellan dragbil och semitrailer.
Kingpin		Kopplingstapp på en semitrailer som kopplas till dragbilens vändskiva.
LiDAR	Light Detection and Ranging	Laserbaserad sensor för mätning av avstånd till stort antal punkter i omgivningen.
Linux		Operativsystem med öppen källkod.
LKA	Lane Keeping Assistance	Förarstödssystem för filhållning.

LQR	Linear–Quadratic Regulator	En feedback controller.
M	Milstolpe	
MCTS	Monte Carlo Tree Search	Sökalgoritm för viss typ av beslutsprocesser, traditionellt ofta använd för mjukvara som används för brädspel.
MPC	Model Predictive Control	Avancerad metod för reglering av exempelvis industriella processer.
PostgreSQL		Databashanterare baserad på öppen källkod.
PPC	Pure Pursuit Controller	Regleralgoritm för att följning av en förutbestämd bana.
Projektet	Avser projektet Highly Automated Freight Transport (HAFT)	Projektet består formellt av två olika FFI-projekt men betraktas i rapporten som ett projekt. Kallas även "Autofreight" eller "Autofreight-I".
PTP	Precision Time Protocol	Protokoll för att synkronisera klockor i ett datornätverk.
ROS	Robot Operating System	Open source mjukvara för styrning av robotar mm.
RTK	Real Time Kinematic	Noggrann form av positionsmätning med GNSS med två eller fler samverkande mottagare.
RV40	Riksväg 40	
SAE	Society of Automotive Engineers	Amerikansk organisation för personer verksamma inom teknikutveckling för fordon.
SAFE	Situational Alertness for Everyone	System från Saab.
Semitrailer	Påhängsvagn till dragbil	Påhängsvagn med hjulaxlar baktill och kingpin framtill för koppling till vändskiva på dragbil. I projektet byggda som containerchassin för 20, 40 eller 45 fots containers.
SEStran	South East Scotland transport	Organisation för utveckling av transportsystem i sydöstra Skottland.
TCP-IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	En arkitektur för datakommunikation över nätverk med en struktur som delas upp i olika lager.
TSAF	Trafiksäkerhet och Automatiserade Fordon	Vinnova FFI, delprogram.
UDP	User Datagram Protocol	Ett förbindelseöst protokoll i transportskiktet för att skicka datagram över ett IP-nätverk.
VDS	Volvo Dynamic Steering	Avancerad aktiv servostyrning.
VMM	Vehicle Motion Management	
VTM	Volvo Truck Model	Ett digitalt bibliotek av lastbils kombinationer.
WLAN	Wireless Local Area Network	Lokalt trådlöst datornätverk.
WP	Work Package	Arbetspaketet i projektet.

4 Bakgrund

Transportbranschen har sedan länge behövt energi- och utsläppseffektiviseras. Detta med tanke på det ökade transportbehovet, chaufförsbristen inom godstransport och de uppsatta målen om att minska växthusgaserna inom transportsektorn med 70% till 2030 jämfört med 2010 (Bergsten et al, 2017).

Transport av gods har alltid funnits och är starkt knuten till tillväxt. De långa transportsträckorna kan göras via sjö, flyg, väg och järnväg. På grund av det stora vägnätet mellan vissa transportterminaler, transporteras merparten av allt gods på väg under en del av resan till kund. Väginfrastrukturen är ett flexibelt och robust system, men i takt med att trafikmiljön blir allt tätare och att godstransporterna har ett ökat krav på "gröna", "just-in-time" leveranser och snäva driftmarginaler (ökad produktivitet), blir det allt viktigare för godsoperatörer och vägmyndigheter att införa nya transportlösningar. Fordonsautomation och användning av högkapacitetsfordon är två av dessa transportlösningar som möjliggör förbättrad säkerhet, bränsleeffektivitet och ökad produktivitet för godstransporter för kommersiella fordon tillsammans med ett genomtänkt logistikupplägg. Dessa tre delarna, högkapacitetsfordon, fordonsautomation och logistikupplägg, introduceras nedan.

4.1 Högkapacitetstransporter (HCT)

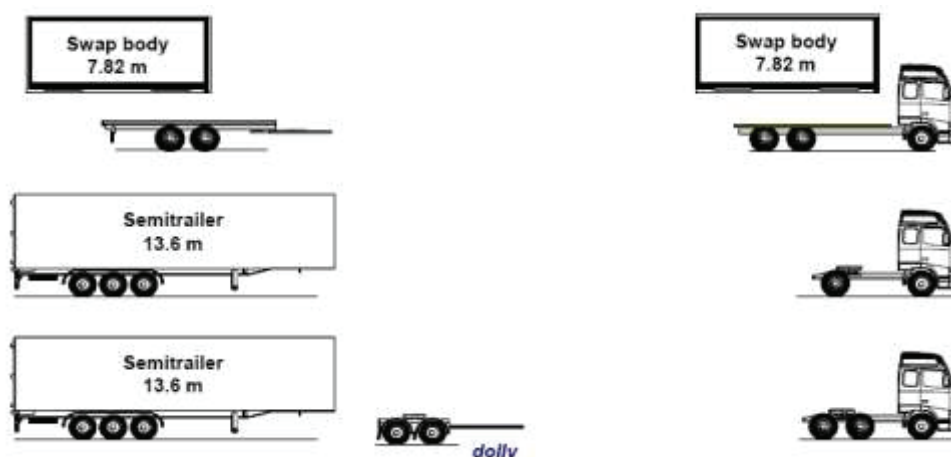
Ett sätt att effektivisera godstransporterna och därmed minska dess miljöpåverkan är att använda så kallade högkapacitetstransporter (HCT). Grundtanken med HCT är att koppla ihop flera lastfordon till längre fordonskombinationer, baserat på EMS (European Modular System; ACEA, 2013; Aurell och Wadman, 2007; Fröjd et al 2021), så energiförbrukningen per transporterat ton gods kan minskas. På ett begränsat vägnät är det idag lagligt att köra fordon upp till 25,25 meter respektive 74 ton i Sverige. HCT-fordon får med sig mer last per resa och på så vis minskas bränsleförbrukningen per transporterat ton gods. Tidigare studier har visat på reduktion av total bränsleförbrukning med runt 20-25% för en så kallad A-dubbel (DUO-trailer), kombinationen Autofreight projektet har valt att använda, istället för att ha två dragbilar som drar varsin trailer (Fröjd et al, 2021).

Forskning med HCT-fordon har pågått i Sverige sedan 2009 och de har visat sig vara energieffektiva och trafiksäkra. Fordonen har kört i verklig drift för att hitta fördelar och brister med de olika kombinationerna. Med stöd av forskningen som gjorts inom HCT så har Sverige och Finland ökat högsta tillåtna bruttovikt inom längden 25,25 m. Under 2013 höjde Finland bruttovikten till 76 ton på hela det statliga vägnätet och 2017 införde Sverige en ny bärighetsklass, BK4, som inkluderar de vägar som Trafikverket anser klara en högre bruttovikt upp till 74 ton. I Finland är det sedan januari 2019 även tillåtet att använda HCT-kombinationer upp till 34,5m (motsvarande två 40-fots containers). Sveriges regering beslutade under 2022 att möjliggöra för tillåtelse av längre fordon, upp till 34,5m, på ett begränsat vägnät från och med den 31 augusti 2023.

De viktbegränsade proverna i Sverige har minskat efter införandet av BK4 nätverket och därav kommer forskningen framförallt att riktas mot längre fordonståg, som Autofreight ekipaget. De längre fordonstågen är nödvändiga vid volymbegränsade transporter, när volymen är fullt utnyttjad men inte vikten exempelvis klädtransporter. De längre kombinationerna som hittills testats är upp till 32 meter långa (A-dubbel). Målet i närtid är korridorer med längder upp till 34,5 m och vikter upp mot 100 ton.

4.1.1 Långa fordonskombinationer - tillbakablick

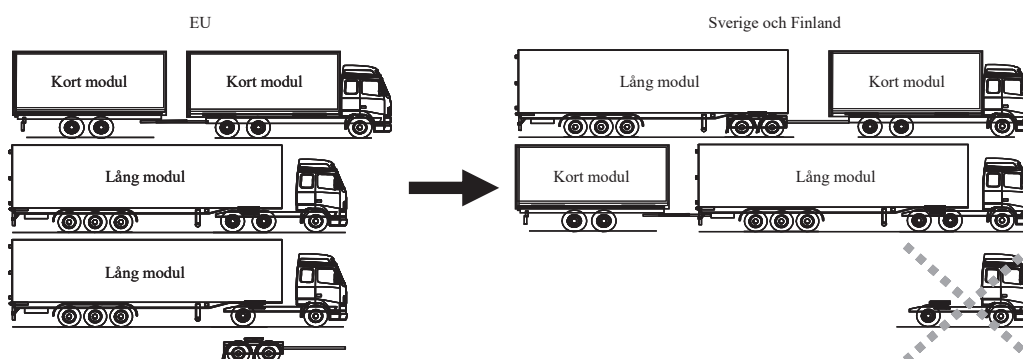
I Sverige finns över 40 års erfarenhet av långa fordonskombinationer. Före år 1968 fanns det ingen längdbegränsning. Från 1972 var maximala längden 24 meter. På 1980-talet var Volvo involverade i utvecklingen av långa fordonskombinationer och då föddes också idén om modulära fordonskombinationer (Aurell och Wadman, 2007), se Figur 1. Volvo startade även omfattande studier av fordonsstabilitet hos olika fordonskombinationer. I direktiv 85/3 EEG kom 1991 nya regler om maximala lastlängden, vilket blev starten till modulära lastlängder. I de flesta länder reglerades max längd och vikt till 18,75m och 40 ton, medan Sverige behöll max längd 24m och 60 ton.



Figur 1. Modulenheter som kan kombineras ihop för att bilda långa fordonskombinationer.

Ett frågetecken kring det modulära konceptförslaget var just trafiksäkerhet och speciellt fordonens dynamiska stabilitet. Volvo gjorde då utförliga analyser och tester med olika modulära kombinationer. Slutligen, år 1996 antogs Direktiv 96/53 EC som tillät att modulära enheter kopplades ihop och därmed kunde Sverige och Finland införa maxlängd på 25,25m. Då räcker det med två fordonskombinationer för samma godsmängd som inom övriga EU behöver tre fordonskombinationer, vilket ger en direkt minskning av bränsleförbrukning per transporterad godsenshet, se Figur 2. Detta har sedan utvecklats vidare inom det så kallade HCT-programmet (Bergsten et al, 2017). Flera länder i Europa tillämpar nu 25,25m och Finland har nyligen även tagit steget till 34,5m (vilket även utvärderas i exempelvis Sverige och Spanien).

Det finns emellertid extra oro för trafiksäkerheten för vissa långa fordonskombinationer. Därför finns det en stark motivation för att studera farliga rörelser i tunga fordon och hur de kan förhindras eller mildras. En av de farligaste rörelserna för tunga lastbilar är lateral (dvs sidledes) instabilitet. Detta blir än mer riskabelt när ett flertal enheter sammankopplas med flera ledpunkter. Sidostabilitet är förknippad med 9% av trafikolyckorna med tunga fordon (Aurell och Wadman, 2007).

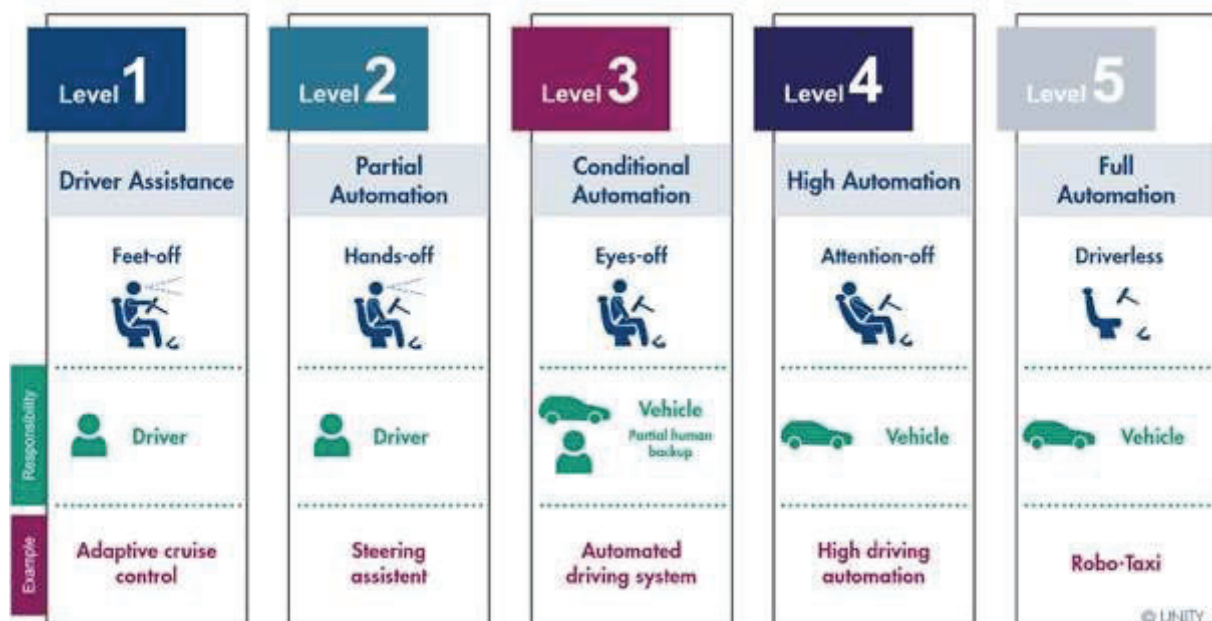


Figur 2. Illustration av modulkonceptet som återfinns i EU direktiv 96/53 EC. Kort och lång modul motsvarar 20 respektive 40 fots ISO container.

4.2 Fordonsautomation

Automatisering av fordon har rönt stor uppmärksamhet de senaste åren och utvecklingen av ny teknik går snabbt framåt. Även om försök till självkörande fordon har gjorts tidigare så kan nog den amerikanska försvarsforskningsorganisationen DARPA:s tävling Grand Challenge 2004 och Urban Challenge 2007 sägas vara startskottet för en ny era av autonoma fordon. Runt 2015, dvs ungefär när ansökan till det här projektet skrevs, hade forskning och utveckling om autonoma tagit fart på bred front hos flera stora fordonstillverkare (se tex Behere och Törngren, 2015). För kommersiella fordon kan man se fördelar med automatisering då en förare inte behövs, vilket kan minska kostnaderna. Andra fördelar kan vara längre körtider och ökad flexibilitet då hänsyn inte behöver tas till kör- och vilotidsregler. Ett självkörande fordon kan också använda mer avancerad reglering av sin hastighet och körsätt vilket kan minska bränsleförbrukningen. Möjligheten att öka trafiksäkerheten med hjälp av automatisering lyfts också som ett viktigt argument.

Det insågs emellertid ganska snabbt att det inte kommer att gå att göra fordon helt autonoma i ett steg. Istället förutsågs en utveckling där automatiseringen ökade efterhand i flera olika steg. SAE International har tagit fram en standard (J3016) som beskriver automatisering i fem olika nivåer, se Figur 3.

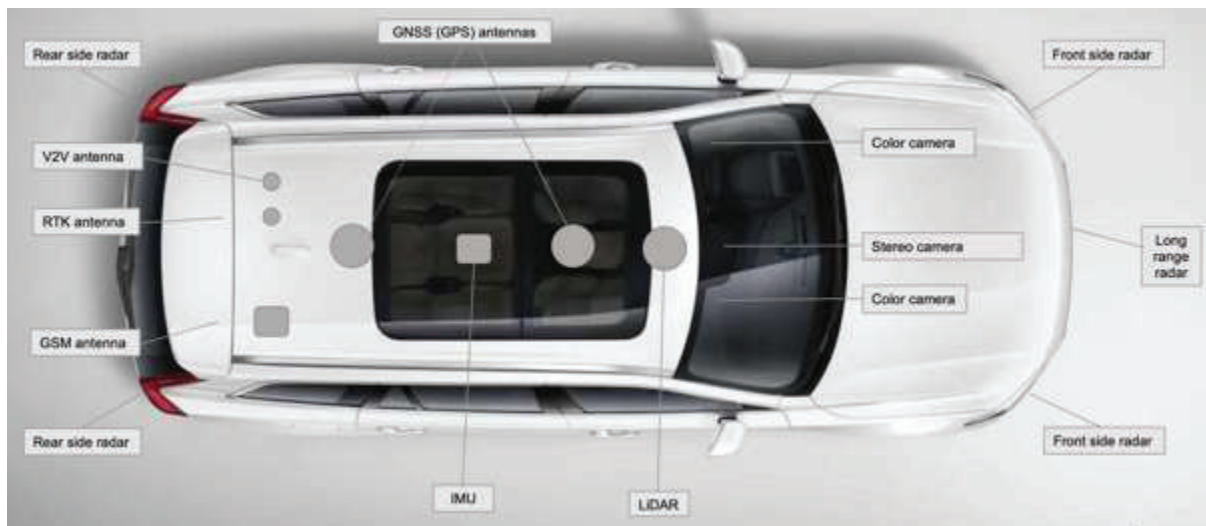


Figur 3. SAEs beskrivning av automatisering olika nivåer (www.unity.de).

Nivåerna baseras på i vilken grad en förare behöver involveras vid körning. På Nivå 0 finns ingen automatisering alls, på Nivå 1 får föraren viss hjälp men måste hålla i ratten, på Nivå 2 kan föraren släppa ratten, på Nivå 3 behöver föraren inte heller ha ögonen på vägen, på Nivå 4 kan föraren ha uppmärksamheten på annat och på Nivå 5 behövs ingen förare alls.

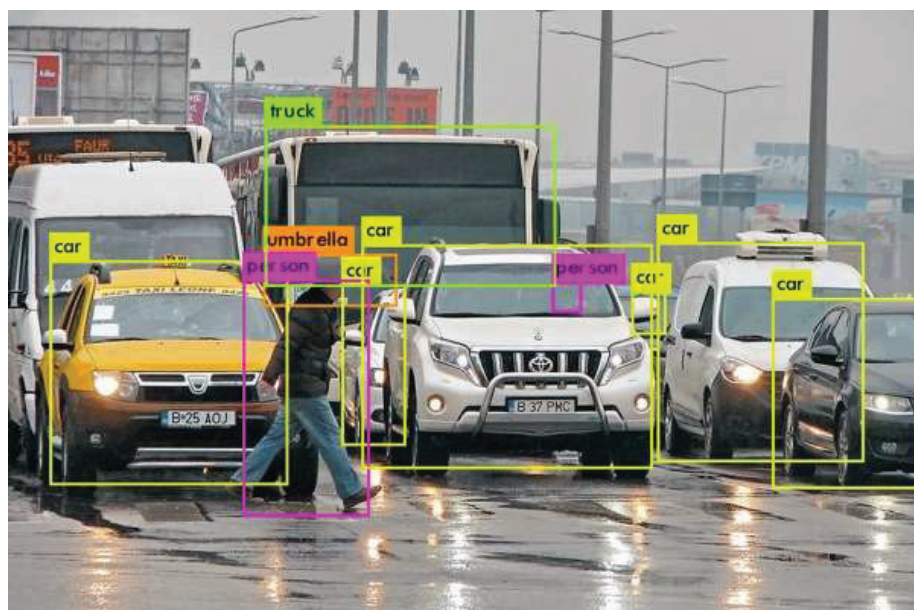
För att ett fordon skall kunna köra i olika trafikmiljöer och ta hänsyn till och interagera med andra trafikanter så behöver det ha en bra uppfattning om sin omvärld. På liknande sätt som en människa har olika sinnen för syn, hörsel osv används olika sensorer för att känna av fordonets omgivning, se Figur 4. Vanliga sensorer inkluderar videokamera, laserscanner (LiDAR), radar, accelerometrar samt positioneringssystem. En laserscanner skickar ut tusentals laserstrålar i olika riktningar och mäter på så sätt avståndet till olika punkter i omgivningen med hög precision. Även information om vilken färg det föremål har som mäts kan erhållas. En radar fungerar på liknande sätt men istället för laserljus är det ljudvågor som används för avståndsmätning. Accelerometrar kombineras ofta till en så kallad IMU (Inertial Measurement Unit) så att acceleration och även rotation kan mätas i tre dimensioner. Positioneringssystem

(exempelvis GPS, GLONASS, Galileo) baseras på satellitnavigering (GNSS, Global Navigation Satellite System) och ger en position relativt ett visst koordinatsystem och kan även användas för att räkna ut exempelvis fordonets hastighet och rörelseriktning relativt en geografisk karta. Med så kallad Real Time Kinematic (RTK) används extra basstation(er) för att er-hålla positionering med mycket hög precision (inom några centimeter). Medan exempelvis videokameror kan ge högupplösta färgbilder under bra ljusförhållanden så fungerar de flesta videokameror mindre bra i mörker. Radar å andra sidan kan ge relativt svårtolkade "moln" av punkter men fungerar lika bra oberoende av ljusförhållande. Olika typer av sensorer kompletterar på så sätt varandra och bidrar med olika typer av information om omgivningen.



Figur 4. Exempel på ett perceptionssystem på en personbil.

Genom att tolka den information som kommer från olika sensorer kan fordonet bilda sig en uppfattning om sin omgivning, vanligen kallat *perceptionssystem* (se tex Behere och Törn-gren, 2015). Sådan tolkning kan innebära identifiering av enskilda potentiellt intressanta objekt, exempelvis skyltar och andra trafikanter, i en bild, se Figur 5. Information från positioneringssystemet kan tolkas i relation till en digital karta och ge en uppfattning om var fordonet befinner sig. Andra fordon och diverse externa tjänster kan tillhandahålla information, exempelvis via internet eller radiokommunikation, som ger fordonet en ännu bättre uppfattning om sina medtrafikanter och olika trafikförhållanden (exempelvis vägarbeten, vägslag och olyckor).



Figur 5. Exempel på objektidentifiering i en bild (Potdar et al, 2018)

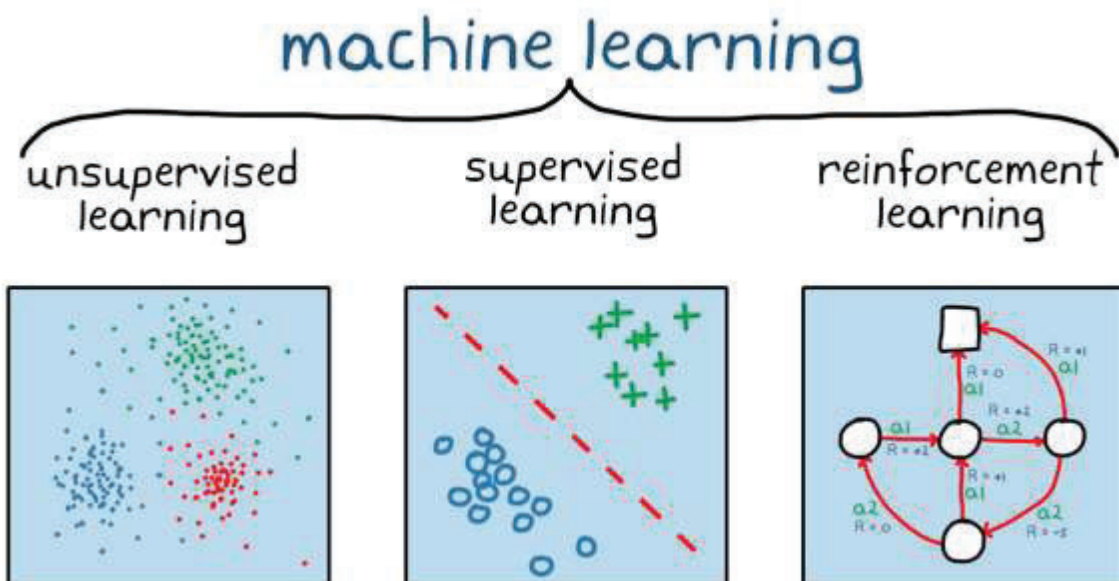
När fordonet med hjälp av perceptionssystemet kan bilda sig en bra uppfattning om sin position och omgivning måste det ta beslut om hur det skall agera i nästa steg (exempelvis stanna, svänga eller accelerera). Ett *beslutssystem* används för att bestämma vad som är mest lämpligt att göra beroende på vad som är fordonets uppdrag (tex att köra från A till B) och vad som händer i dess omgivning. Beslutsfattande inom autonom körning delas ofta in i tre olika nivåer, strategisk, taktisk och operativ, se Figur 6. Den strategiska nivån täcker in mål på hög nivå, som transportuppdraget (kör från A till B) och lämpliga vägval. Planeringshorisonten ligger typiskt på längre tid än tio sekunder. På den taktiska nivån handlar det om att bryta ner den strategiska planen för att anpassa körningen till den gällande trafiksituationen. Taktiska beslut kan således handla om när det är lämpligt att göra ett filbyte vid körning på motorväg, eller om man skall stanna vid eller köra igenom en korsning. Här ligger planeringshorisonten mellan en och tio sekunder. På den operativa nivån handlar det om hur de taktiska besluten översätts till en detaljerad bana ("trajectory") som i sin tur används för att reglera fordonet. Här gäller det att agera snabbt och planeringshorisonten ligger typiskt på delar av en sekund.



Figur 6. Strategisk, taktisk och operativ nivå för beslut vid autonom körning (beslutshorisont i sekunder) (Hoel, 2021).

Reglering av ett tekniskt system baserat på mätsignaler (tex sensorinformation) och störningar som måste tas hänsyn till och som ger en styrsignal som output baseras traditionellt på förprogrammerade, modellbaserade algoritmer. Detta kan fungera bra i en kontrollerad trafikmiljö med ett begränsat antal möjliga scenarier (exempelvis enklare system för parkeringshjälp). De flesta trafiksituationer är dock mycket mer komplexa med många involverade aktörer. Det gör det mycket svårt att manuellt skapa en modell som kan hantera alla trafiksituationer som kan uppstå. Genom att tillämpa så kallad Machine Learning (maskininlärning) kan mycket avancerade mönster tolkas (exempelvis identifiering av specifika objekt som i Figur 5 ovan). Machine Learning, se Figur 7, bygger på att man lär systemet att känna igen vissa mönster genom att en algoritm tränas med hjälp av provdata. Genom att exempelvis visa systemet tusentals bilder på en cyklist så kan Machine Learning algoritmen lära sig att känna igen vad som är en cyklist även i andra bilder. För att algoritmen skall lära sig vad som är intressant att känna igen kan man först låta en expert tolka provdata. Exempelvis kan en människa först markera alla cyklar i ett antal tusen olika bilder (så kallad annotering) innan den visas för algoritmen. Detta kallas för Supervised Learning. Om systemet istället får lära sig "självt" genom att härma mönster och gruppera objekt efter sannolikhetsdistributioner kallas det Unsupervised Learning. Ett tredje huvudspår kallas Reinforcement Learning och innebär att systemet ges olika stora belöningar beroende på hur bra beslut det tar. Genom att sträva efter att maximera totala belöningen så lär sig systemet att bli bättre och bättre.

Machine Learning ger möjlighet att tolka och förstå många av de komplexa situationer som kan uppstå i trafiken. Systemet fungerar emellertid som en "black box" som kan matas med indata och baserat på detta föreslår vissa beslut. Det faktum att systemet har lärt sig självt och att det inte är någon människa som har programmerat det innebär att det kan vara svårt att veta exakt hur systemet kommer att agera i varje enskild situation. Detta ger stora utmaningar när det kommer till att *verifiera* det autonoma fordonets förmåga att ta rätt beslut i alla situationer i trafiksystemet.

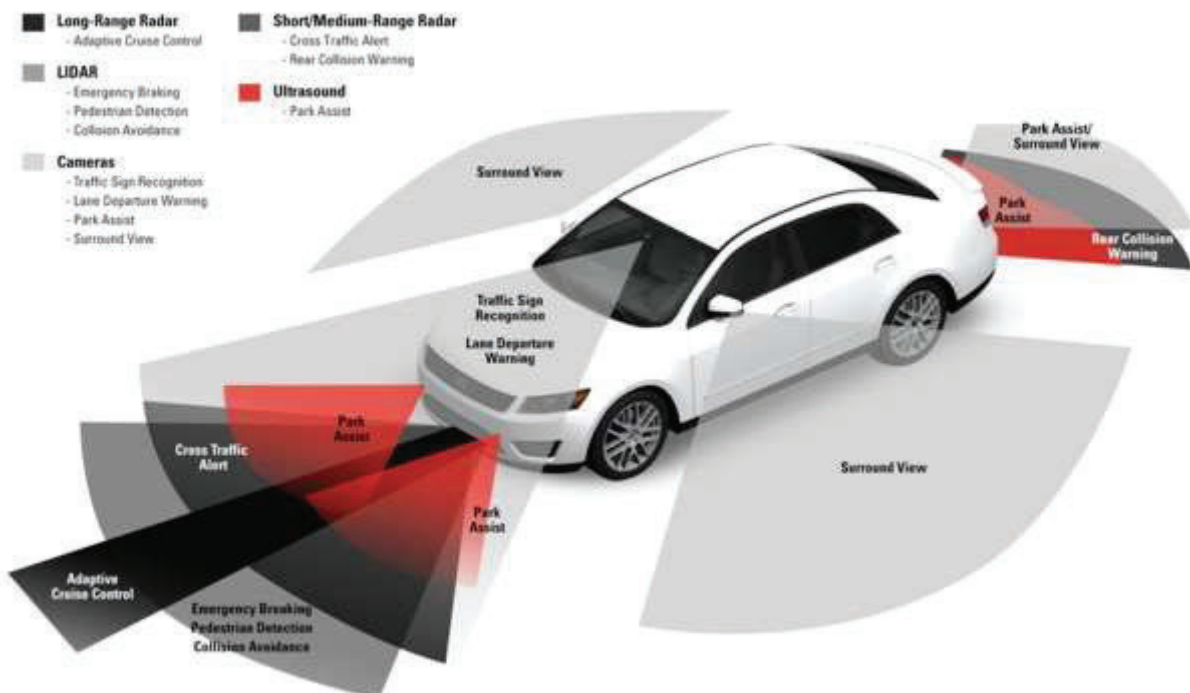


Figur 7. Tre olika huvudspår inom Machine Learning (www.mathworks.com).

Machine Learning kräver stora mängder data för träning av systemet. För exempelvis bildigenkänning och objektidentifiering kan det krävas hundratusentals bilder med exempel för att ett system skall bli tillräckligt bra på att identifiera vissa typer av objekt i olika situationer. Exempelvis en bil ser ju väldigt olika ut på bild om man ser den framifrån eller från sidan, i dagsljus eller i totalt mörker. Vidare krävs stora mängder information från körning i verklig trafik för att identifiera trafiksituationer som är viktiga att kunna hantera även sällsynta sådana, så kallade "edge cases". Sammantaget gör detta att utvecklingen av autonoma funktioner, och även exempelvis avancerade förarstödssystem (ADAS), ger behov av omfattande dataset (Berger et al, 2022). Medan det finns ett antal publika dataset att tillgå (se tex Yin och Berger, 2017; Kang et al, 2019) och många fordonsföretag utvecklar egna dataset så finns fortfarande ett stort behov av ytterligare datainsamling. De flesta tillgängliga dataset är dessutom gjorda med och för personbilar, medan dataset för exempelvis HCT-fordon är sällsynta.

Ett fordon som en lastbil agerar inte bara i ett trafiksystem utan måste också vara en integrerad del av ett större logistiksystem. För att automatisera transporter inom logistiksystemet räcker det inte att göra enbart fordonet självkörande i trafiken. Det måste även integreras med andra system för transportplanering, rapportering av vilket gods som har transporterats vart osv. Detta är uppgifter som traditionellt till stor del sköts av fordonets förare och det kan därför vara en stor utmaning att helt ersätta föraren genom automatisering. Innan både fordon och logistiksystem är redo för långtgående automatisering (SAE Nivå 4-5) och så länge det finns en mänsklig förare så kommer utvecklingen av mer avancerade förarstödssystem (SAE Nivå 1-2, se exempel i Figur 8) spela en viktig roll för att skapa ett effektivare och säkrare transportsystem.

ADAS: THE CIRCLE OF SAFETY



Figur 8. Exempel på avancerade förarstödsystem, ADAS (Francis, 2017).

4.3 Logistik

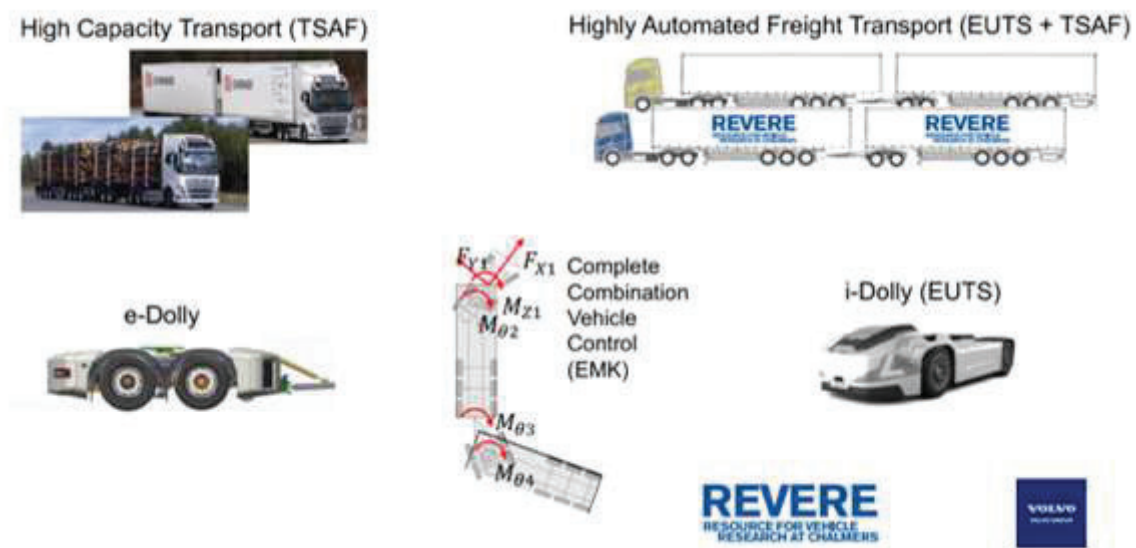
Att ha ett systemperspektiv är nödvändigt för att studera hur logistiken kan effektiviseras. HCT medger lägre energiförbrukning per transporterad enhet, men sammankopplingen av flera fordonsenheter gör det samtidigt mer utmanande att samtransportera gods som inte skall till samma slutkund. Därför krävs också effektiva sätt att dela upp kombinationen till singeltrailer nära slutdestinationen. Detta visar på vikten av att se HCT inte enbart som ett fordon utan som en komponent i ett större logistiksystem. Den logistiska forskningen inom området intermodala transporter, som projektet fokuserar på, visar på vikten av insatser på både strategisk, taktisk och operativ nivå.

Strategiskt är exempelvis skapandet av kombiterminaler en nyckelfråga och samverkan krävs mellan stat, regioner och kommuner samt kommersiella intressenter. Många europeiska regioner, i Sverige både Skåne och Västra Götalandsregionen, har utarbetat strategiska gods-transportplaner med stöd av logistikforskare som nu medverkar i handlingsplanerna för implementeringar. Detta har möjliggjort nya forskningsfält och samarbetsformer i Sverige (tex CLOSER), Flandern och Skottland (tex SEStran).

Logistikforskningen har, delvis drivet av intermodala transporter, intresserat sig för samhällslogistiska frågeställningar. Samhällsekonomiska kalkylmodeller utvecklats, främst drivet av Nederländerna och Sverige, till att bättre innefatta logistiska parametrar. Viktiga logistiska forskningsområden inkluderar den grundläggande infrastrukturen som vägar och järnväg, den påbyggda infrastrukturen som terminalstäder och kombiterminaler, samt samverkan av kunskapsstöd och IT-stöd. Placering och finansiering av delregionala logistikcentra är viktiga strategiska frågeställningar där omfattande forskning och modellering gjorts (Eckhardt och Rantala, 2012; Moroza och Jurgelane-Kaldava, 2019).

4.4 Relaterade forskningsprojekt

Projektet har haft samverkan med flertalet andra forskningsprojekt under projektiden. Se Figur 9 nedan för ett urval av projekt som gett viktig input till det aktuella projektet, Highly Automated Freight Transports. I två projekt för High Capacity Transport har (HCT-I 2016-05383, HCT-II 2019-03103) har förutsättningar för olika former av längre fordonskombinationer studerats närmare. I projektet e-Dolly studerades hur en elektriskt driven dolly kan användas som en del av en längre fordonskombination för att erhålla hybriddrift (Energimyndigheten, projektnr 51946-1). Projektet Complete Combination Vehicle Control (Dnr. 2016-05484) gav viktig kunskap om bland annat stabilitet och manöverbarhet hos långa fordonskombinationer, samt kommunikation mellan fordonsenheter. I projektet i-Dolly studerades hur en självkörande dolly kan användas för bland annat rangering av trailers inom en logistikterminal eller till lokala kunder (Vinnova, projektnr 2017-03036). Projektet Autofreight-II (Vinnova, projektnr 2021-05027) blir en direkt fortsättning på det aktuella projektet.



Figur 9. Exempel på samverkansprojekt

4.5 Partners i projektet

Projektet har varit ett samarbete mellan flera partners. Partnererna och vad de bidragit med till i projektet beskrivs nedan:

- **Volvo Technology** har haft i uppdrag att projektleda och samordna projektet. Vidare har Volvo tillhandahållit flera olika fordon för forskning och utveckling i projektet, samt bidragit med viktig kunskap om fordon, fordonsdynamik, transportlösningar, automatiseringsteknik, säkerhet, med mera. Volvo har också varit mottagare av forskningsresultat som genererats av projektet.
- **Borås Stad** har tagit en aktiv och samordnande roll i det proaktiva logistiska utvecklingsarbetet med primärt de deltagande företagen. Borås Stad har även haft ansvar för utveckling av nytt horisontellt multi client system för HCT och för etablering av dryport och dess funktion.
- **Varuägare/partner: Ellos Group, Kerry Logistics, Fristads och Volvo Buss** har möjliggjort effektiv användning av trafiksystemet genom att bidra med och styra godsflödet. Vidare har dessa partners aktivt deltagit i hela periodens styrgruppsmöten och i planeringsarbetet. Kerry Logistics har som transportör/speditör haft volymer dels till sig själv i samlastning, dels till sina kunder. I början av projektet var Speed Group även med, men de avstod senare från medverkan då de i alltför liten utsträckning styrde över sina transporter. Då tillkom Fristads istället, fast inte som projektpartner utan enbart varuägare.

- **GDL Sjöcontainer** (tidigare GDL Transporter) hade i uppgift att utföra själva HCT trafiken, körningarna, planeringen före och efter transport, kombinationer med export i retur, containerbesiktning, rapportering till rederierna, mm. Vidare säkerställde de även att datainsamling och validering gjorts i fordon i representativ drift. Innehar kör tillståndet och en del av utrustningen.
- **Chalmers tekniska högskola** har i samverkan med Volvo Technology drivit den akademiska forskningen inom fordonsautomation (se avsnitt 8.2). Chalmers utvecklade också via sitt fordonslabb REVERE (Resource for Vehicle Research) en lastbilsbaserad forskningsplattform (se avsnitt 8.3) samt utrustning för loggning av data från verkliga transporter (se avsnitt 8.2.4), vilket framförallt var viktigt för forskningen om fordonsautomation.
- **Combitech** har bidragit till projektet dels genom utveckling av delar av perceptionssystemet för fordonsautomatisering i form av ett stereokamerasystem (se avsnitt 8.2.5), dels genom implementering av ett transportplaneringssystem som anpassades för automatiserade transporter (se avsnitt 8.2.6).
- **Trafikverket** har identifierat krav på väginfrastruktur på utvalt vägsegment och gav stöd under ansökningsprocessen för kör tillståndet relaterat till högkapacitetstransporter och hög automationsnivå.



Projektet är en del av DUO-styrgrupp sedan 2019. I styrgruppen medverkar organisationer som Volvo Group, Kinnarps AB, Trafikverket, AFRY, Borås Stad, VBG Group, JESJO, Chalmers tekniska högskola, DB Schenker AB och Transportstyrelsen (adjungerande). I denna styrgrupp rapporteras och samordnas flera olika projekt om fordonskombinationer med A-dubbel.

5 Syfte, forskningsfrågor och metod

5.1.1 Syfte

Det övergripande syftet med projektet har varit att skapa ny kunskap om hur längre fordonskombinationer (HCT) och fordonsautomation kan användas för att effektivisera ett logistiksystem. I detta ingick även att öka kunskapen om vilka anpassningar som behöver göras av viss infrastruktur, hur lagstiftningen för förarens kör- och vilotider skulle kunna förändras samt hur affärsmodellerna för logistiken kan utvecklas.

Användning av HCT-fordon med fokus på egenskaper som körbarhet, säkerhet och bränsleekonomi hade delvis studerats i tidigare projekt. Utöver vidareutveckling av själva fordonskonceptet så har det här projektet även syftat till att ge en ökad förståelse för hur HCT kan integreras i transportsystemet genom att analysera påverkan på och beroenden av exempelvis godsflöden, flexibilitet och logistikplanering, såsom HCT-logistik, infrastruktur (dryport) och affärsmodeller.

Då projektet startades 2017 hade utvecklingen av autonoma fordon, i första hand gällande personbilar men ganska snart även tunga fordon, börjat ta fart ordentligt. Den tekniska utvecklingen gick relativt snabbt framåt och den allmänna uppfattningen var att det skulle kunna finnas autonoma fordon på allmänna vägar redan inom 5-8 år, åtminstone för specifika transportuppdrag eller avgränsat till vissa vägtyper som motorväg. Ambitionen i det här projektet var därför ursprungligen att kunna demonstrera ett fordon som är automatiserat på Nivå 4 enligt SAEs klassificering (se avsnitt 4.2) för körning på motorväg. Under projektets gång, mycket tack vare all kunskap som har erhållits från det transportcase som har studerats (se avsnitt 7), har det emellertid blivit alltmer tydligt att en hög nivå av automatisering dels kommer ta längre tid än väntat, dels inte kommer att ge den effektivitetsförbättring som först antogs. Detta beror på en rad olika faktorer, exempelvis att (a) det visade sig vara svårare än man först trodde att fullständigt verifiera autonoma system för att göra dem kommersiellt tillgängliga, (b) automatisering av fordon ställer samtidigt stora krav på integration med det övriga transportsystemet och (c) föraren gör så mycket mer än "bara" kör fordonet så det är svårt att eliminera föraren helt. Det finns idag (2022) ett flertal exempel på (delvis) automatiserade transportlösningar (se exempelvis www.einride.com; www.peloton-tech.com), men någon bredare kommersialisering har ännu inte skett. Sammantaget gjorde detta att projektets fokus avseende automatisering har förändrats lite under projektets gång. Istället för att demonstrera ett autonomt fordon på Nivå 4 har fokus lagts på forskning på mer specifika teknikområden inom automation och förarstödssystem (se avsnitt 8.2).

Att studera möjliga ändringar av lagstiftningen gällande kör- och vilotider kom som en naturlig följd av en hög nivå av automatisering. Om föraren inte kör fordonet så borde den tiden kunna räknas som vila (vilket inte är möjligt med gällande lagstiftning). Projektets ändrade fokus avseende automatisering (se ovan) kombinerat med att det tar i storleksordningen 20 år (enligt diskussioner med sakkunniga på Transportstyrelsen) att förändra EU-lagstiftning som skall godkännas av alla medlemsstater, gjorde att syftet med denna (mindre) del av projektet inte slutfördes inom ramen för projektet.

5.1.2 Forskningsfrågor

Med utgångspunkt i syftet enligt ovan så har projektet arbetat med följande tre övergripande forskningsfrågor:

- Hur kan användningen av HCT-fordon bidra till effektivisering av logistiksystemet?
- Hur kan HCT-fordon automatiseras för att logistiksystemet skall fungera effektivt?
 - Automatisering på strategisk, taktisk och operativ nivå
 - Utformning av perceptionssystem för HCT
 - Förarstödssystem för automatisering på Nivå 1-2
 - Skapa dataset för analys av körbeteenden och träning av maskininlärningssystem
- Hur kan en dryport bidra till ett högre effektivitet i logistiksystemet och vad krävs för att förverkliga den?

5.1.3 Metod

Projektet har huvudsakligen genomförts som en casestudie med fokus på containertransporter mellan Göteborgs hamn och Borås Viared (se avsnitt 7 för mer detaljer och själva caset). Genom att genomföra en casestudie som löper över en längre tid gavs möjligheten att ingående studera exempelvis olika aktörer och deras förutsättningar, hur HCT-fordonen kan användas i olika situationer, vilka utmaningar som förarna möter, hur logistiken kan planeras, vilka förutsättningar och eventuella hinder som föreligger gällande automatisering, utvecklingen av ekonomiska aspekter över tid, och mycket annat. Studien av verkliga transporter gav också mycket goda möjligheter att samla in stora mängder data från körningarna. Sådan data har använts för olika former av studier och analyser inom projektet, men kan även ha stort värde för framtida projekt (dvs exempelvis i form av dataset som kan användas för studier av fordons egenskaper, forskning om trafiksäkerhet, eller träning av maskininlärningssystem).

Tillgången till verkliga fordon för utveckling, test och verifiering, både Forskningsplattformen (se avsnitt 8.3) och Logistikplattformen (se avsnitt 8.4) har haft stor betydelse för projektet. Dels gör detta, som nämnts ovan, att verklig kördata kan samlas in, dels gör det att forskare snabbt kan utvärdera nya modeller, teorier och antaganden i praktiska försök. En stor del av testerna genomfördes på provbanan AstaZero, men i många fall kunde tester (som inte involverade aktivering av fordonet) göras på allmän väg i närheten av REVERE-labbet, vilket medgav korta testloopar och snabba iterationer. Att göra utveckling med verkliga fordon gör också att en rad faktorer (exempelvis brussignaler från sensorer, hur fordon uppför sig olika vid olika lastfördelning mm) måste beaktas vilket ger viktig kunskap som inte kommer fram vid exempelvis ren simulering av samma körning. Tillgången till dessa fordon har också varit av stort värde för att efterhand kunna demonstrera den forskning som har utförts inom projektet.

För flera delar av forskningen inom automation har olika metoder för simulering av exempelvis trafiksituationer tillämpats (se tex avsnitt 8.2.1, 8.2.7). Simuleringarna har baserats både på artificiell data och data från verkliga körningar.

Simuleringar har även använts för att exempelvis träna system för maskininlärning eller för att studera hur en förare kan samspela med ett förarstödssystem. Initialt testades körning med A-dubbel på motorväg på en del av sträckan mellan Göteborgs hamn och Borås Viared i VTIs körsimulator. När körningarna med det verkliga fordonet på samma sträcka kom igång 2020 bedömdes dock värdet av att köra i simulator som begränsat, särskilt då simuleringssmodellen inte gav en tillräckligt verkligstrogen känsla.

6 Mål

Den övergripande visionen i projektet var att köra långdistanstransporter förarlösa mellan bestämda hämtnings- och avlämningspunkter.

Det övergripande målet med projektet har varit att skapa ny kunskap och demonstrera hur ett transportsystem kan effektiviseras genom införande av ny teknik, nya affärsmodeller och nya logistiklösningar så att fler containers kan transporteras på HCT fordon.

På det stora hela stämmer projektets slutgiltiga mål ganska väl överens med målen som formulerades i ansökan. Vissa justeringar av målen har dock varit nödvändiga under projektets gång. Här nedan sammanfattas projektets mål och vad som har föranlett vissa förändringar.

Mål 1: Bygga upp ett nätverk av kommersiella aktörer (transportköpare, transportörer osv) som medger att det logistiksystem som utvecklas inom ramen för projektet senare kan tas in i en mer kommersiell fas. Målet kvarstår och utvecklingen har gått något långsammare än först planerat på grund av kraftigt minskade transportvolymerna under Covid-19 pandemin.

Mål 2: Etablera ett fungerande logistiksystem för transporter av containers mellan Göteborgs hamn och Borås Viared. Analysera effektiviteten i systemet genom att jämföra HCT-transporter med konventionell containertransport (singeltrailer eller B-dubbel). Samla in detaljerad kördata som kan användas som underlag för analyser av logistiksystemet.

Mål 3: Bygg upp kunskap om vilka anpassningar som krävs av fysisk och digital infrastruktur i logistiksystemet. Det vill säga infartsvägar och lokalvägars kvalitet och säkerhet relaterat till annan trafik, behov och möjligheter med lokal dryport för bättre logistik.

Mål 4: Undersöka och säkerställa affärslogistiska förutsättningarna, dvs avtalsformer mellan transportör och kund/partner och horisontellt transparent samarbete. Detta för att kommersiella villkor redan i initiala faser av systemuppbyggnaden skulle kunna uppnås. I detta låg också att intressera fler företag till att delta när systemet fått resurser för expansion, inte bara i Borås utan även andra företag med flöden som berör Borås.

Mål 5: Bygg upp kunskap om vad som krävs för att automatisera fjärrtransporter på motorväg och studera specifikt hur filbyten kan göras. Ett delmål var att även studera körning på motorväg med HCT-fordon med hjälp av en körsimulator. När körningarna med det verkliga HCT-fordonet kom i gång, så gavs bra möjligheter att studera beteende hos både förare och andra trafikanter varför målet att använda en körsimulator ströks.

Mål 6: Demonstrera hur automatisering av HCT-fordon kan göra logistiken mer effektiv. Ett delmål var här att demonstrera den utvecklade tekniken genom att köra en transport autonomt för en av transportkunderna. Detta kunde av flera skäl inte genomföras, bland annat för att autonom körning på allmän väg kräver särskilt tillstånd som i sig kräver omfattande arbete. Under projektets gång blev det också alltmer tydligt att full automation av kommersiella transporter av flera skäl kommer att dröja längre än vad som antagits då ansökan skrevs. Målet har därför ändrats till att fokusera mer på utvalda delar av automatisering av fordon samt utformning av förarstödssystem.

Mål 7: Automatisering av transporter på motorväg på Nivå 0-2, dvs viss nivå av förarstöd för en manuell förare. I målet nämndes specifikt adaptiv farthållare (ACC) och filhållningssystem (LKA). Adaptiv farthållare finns redan kommersiellt tillgängligt och ansågs därför vara av mindre relevans i projektet. Även filhållningssystem finns på marknaden och är därför mindre intressant för ny forskning. Däremot visade det studerade caset att det finns ett stort behov av förarstödssystem för backning med HCT-fordon. Målet ändrades därför till att i stället fokusera på backningssupportsystem.

Mål 8: Samla in data från körning av HCT-fordon som kan användas för framtida utveckling och validering av system och funktionell säkerhet. Detta mål hade sitt ursprung i utvecklingen

av autonoma system, men under projektets gång har det visat sig att denna data även kan användas inom en rad andra områden, exempelvis för analyser av elektrifiering av fordon.

Mål 9: Analysera förarnas kör- och vilotider för att se hur automatisering kan bidra till nya förutsättningar för effektivare transporter. Målet att analysera transporter och logistikflöden, som då även måste inkludera möjliga kör- och vilotider, kvarstår. Delmålet att föreslå ny lagstiftning för kör- och vilotider för autonoma transporter har dock tagits bort eftersom det är en mycket omfattande process att ändra sådan lagstiftning. Trots detta har det påbörjats en diskussion om vad det egentligen innebär för chaufförerna att gå mot en mer autonom arbetsplats. Ett annat delmål kopplat till detta var att testa hur transporter nattetid (då det är mindre trafik) kan genomföras med lägre hastighet (och därmed lägre bränsleförbrukning). Detta kunde inte göras då hamnen är stängd nattetid och inga kunder kan ta emot containers nattetid.

I ansökan angavs också hur projektets mål skall kunna bidra till TSAFs respektive EUTS mål, samt FFIs övergripande mål. Det innebar bland annat att ge ökad svensk kapacitet för forskning och innovation med fokus på framtida kommersiella tunga vägtransportsystem och autonoma fordon, ge en sammankopplad och konkurrenskraftig forskning mellan industrier och akademiska institutioner, samt tillhandahålla en testplattform för akademisk forskning inom automation av HCT-fordon. De listade (del-)projektmålen kvarstår med några få undantag. Ett av målen var att integrera planeringssystemet för logistiken med Göteborgs hamns system. Detta har av flera skäl inte kunnat genomföras. I stället görs planeringen med avseende på lastning av containers i hamnen manuellt av transportföretaget. Ett annat mål angav att en vägsträcka mellan Göteborg och Borås Viared skulle anpassas för automation på Nivå 4. Av skäl som angetts ovan ändrades målet gällande autonom körning på allmän väg varför även detta mål blev inaktuellt. I ansökan angavs också att projektet skulle inkludera redundanta aktiveringssystem (exempelvis system för broms och styrning). Det målet ligger dock på en mycket detaljerad teknisk/operativ nivå och givet projektets inriktning i övrigt med fokus på logistiksystemet så ansågs det bättre att fokusera mer på det strategiska och taktiska delarna av automatisering.

7 Containertransporter Case: Göteborgs hamn – Viared

För att erhålla en djupare förståelse av hur ett logistiksystem kan effektiviseras genom automatisering och implementering av HCT-fordon och hur olika typer av aktörer påverkas, exempelvis i termer av kostnader, flexibilitet och tillgänglighet, så var det naturligt att utgå från ett verkligt case.

7.1 Allmänt om Viareds containerflöde i Autofreights perspektiv

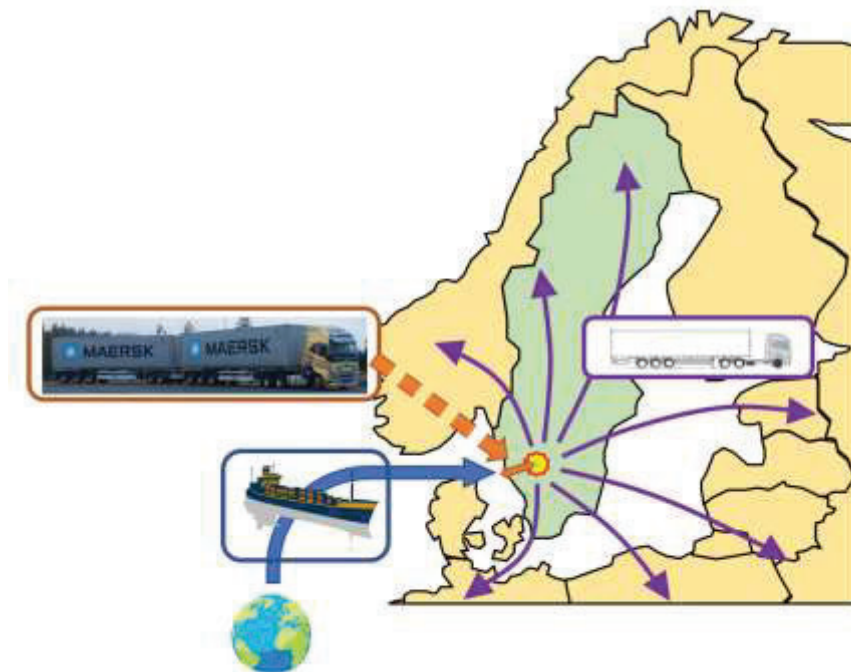
Redan innan ansökan om Autofreight hade Borås Stad analyserat flödena av gods till, från och inom kommunen. Det stod klart att volymerna över Göteborgs hamn var mycket stora, större än vanligt vid liknande sysselsättning på andra orter. Det konstaterades även att importen in till Borås var betydligt större än exporten men det finns returvolymerna.

Det totala flödet av containrar från Göteborgs hamn till Viared beräknades till cirka 150 stycken per vecka vid ansökan av projektet (2016). Under projektets gång, när mer konkreta partnervolymer inkom, konstaterades det att volymerna snarare ligger på 200 container i veckan.

Enbart volymerna hos de deltagande företagen i Autofreight ligger ofta, men inte alltid, på ca 60-100 container i veckan, med rätt stora säsongsvariationer.

En mycket stor del av det aktuella flödet för Autofreight är för företag inom e-handel, men det finns också en stor del som går ut till butiker eller som insatsvaror till andra företag. Distributionen vidare från Viareds mottagare sker till stor del i form av paket, men även som pallgods, till hela Sverige och även till grannländerna, se Figur 10.

Importens containerflöde kommer in till Göteborgs hamn från hela världen. Dock domineras leveranserna av länder i Fjärran Östern bland annat länder som Kina, Thailand, Indien med flera.



Figur 10. Autofreight-fordonets roll i hela distributionskedjan för ett paket (orange). Paketerna fraktas först via fartyg från världen till Göteborgs hamn (blå), sedan körs containrarna mellan hamnen och Viared (orange) och dess olika mottagare, för att slutligen distribueras ut från Viared oftast som paketleveranser (lila).

När containertransporten väl är framme i Viared körs containern ut till respektive mottagare. Containertrailern med containern backas in mot en lastkaj hos mottagaren och trailern blir kvar där tills containern är urlastad och redo att köras bort igen. När containertransport sker med singeltrailer så kan transporten köras direkt till mottagaren. Vid användning av HCT-fordon, i det här fallet en A-dubbel som tar två containertrailers åt gången (se avsnitt 8.4 för mer detaljer), så måste fordonet stanna för isärkoppling innan respektive trailer kan köras ut till mottagarna. Detta därför att dels skall olika containers (oftast) till olika mottagare, dels är de flesta av mottagarnas terminaler anpassade för singeltrailer och det går inte att köra in och vända med en A-dubbel. Innan avfärd från Viared mot hamnen måste trailers med tömda containers kopplas samman till en A-dubbel igen.

Detta gör att det behövs tillgång till en yta där fordonen kan kopplas ihop och isär. Det kan också finnas behov av att tillfälligt parkera trailrar med containers exempelvis om en mottagare inte är redo att ta emot containern. För att kunna genomföra drifttester av rangering av fordon och förvaring av containrar upplät Borås Stad en yta i Viared för projektet som kunde fungera som en så kallad dryport.

Exporten från Viared är betydligt mindre, enligt bedömning runt en tiondel av importen. Här har Volvo Bussar den troligen största andelen.

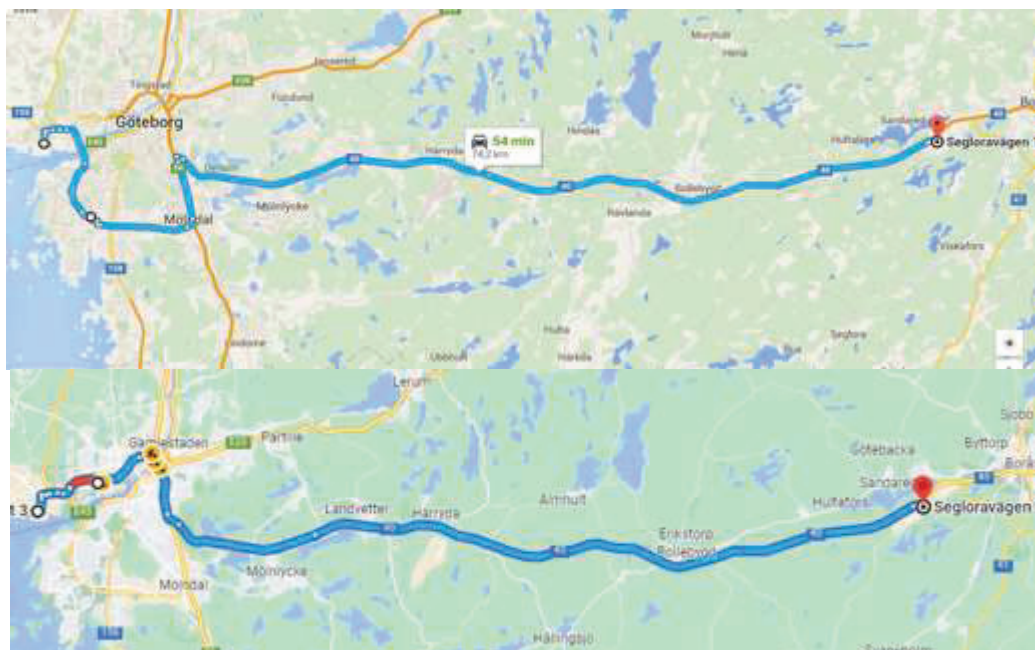
En majoritet av volymerna går med några få rederier, och tendensen har varit att anlöpen sker med allt större fartyg. De relativt få ankomsterna i veckan tenderar att skapa stora volymsvariationer mellan olika dagar, och därmed en utmaning att få containrarna vidare till sina mottagare. Exporten sker till stor del med samma rederier som importen – ett faktum som Autofreight strävat efter att använda för att underlätta just rundturer med högre beläggning av HCT ekipaget till och från Viared.

Vad gäller containertyp dominerar 40 fots med ca 80% av antalet, medan runt 15% är 20 fots och resterande är 45 fots. Det är en mix av de lite högre så kallade high cube och standard container, vilket har betydelse för möjligheterna att vända containern i rundtur fyllt med exportgods.

7.2 Transportrelationen i Autofreight

Att ha ett systemperspektiv är nödvändigt för att studera hur logistiken kan effektiviseras. HCT-fordon ställer också andra krav på logistiksystemet. Exempelvis krävs det att större godsvolymer (fler containers) går med fordonen för att få ett välbalanserat system och den tid som läggs på att rangera fordonet är av stor betydelse.

Det utvalda transportuppdraget är containertransporter fram och tillbaka mellan Göteborgs hamn och Viared, en sträcka på cirka 74 km enkelväg, se Figur 11. Idag går största delen av transportererna på denna sträcka med singeltrailer eller i viss utsträckning med en så kallad link med 20+40 fotskombination. Under AF-I har fokus legat på utveckling av effektivt trafiksystem och affärsmodeller.



Figur 11. Göteborgs Hamn till Viared, huvudsakligen enkelriktad flerfilig väg med mestadels motorväg, avstånd cirka 74 km. Två alternativa vägar finns i Göteborgsområdet för att köra till hamnen.

Transporterna mellan Göteborgs hamn och industriområdet Viared var av flera skäl tilltalande för tidig implementering av framtida transportfunktionalitet. Borås är och har länge varit Nordens textil och e-handelscenter. Viared har snabbt utvecklats till ett omfattande logistik- och företagscenter i Borås. Därför körs det många lastade containers från hamnen i Göteborg till Viared och sedan går tomma containers tillbaka till hamnen. Idag finns ingen möjlighet att transportera containrar på tåg mellan Göteborgs hamn och Viared så transportererna sker uteslutande på lastbil. Därför fanns intressanta möjligheter att utveckla den delen av distributionskedjan och göra transportererna mer effektiva med hjälp av HCT-fordon som bland annat kan ge bättre energieffektivitet och trafiksäkerhet (färre fordon).

Viared och hela transportsträckan kan också nås av ingenjörer och forskare placerade i Göteborg inom en timme med bil. Även närheten till provbanorna AstaZero och Hälled där en del av testerna genomfördes var en fördel. En del av rutten var också tänkt att ingå i Volvo Cars projekt DriveMe, men projektet fick avslag på sin ansökan under 2018 och stoppades (Campanello, 2018).

7.3 Översikt Autofreights trafiksystem inklusive dryport

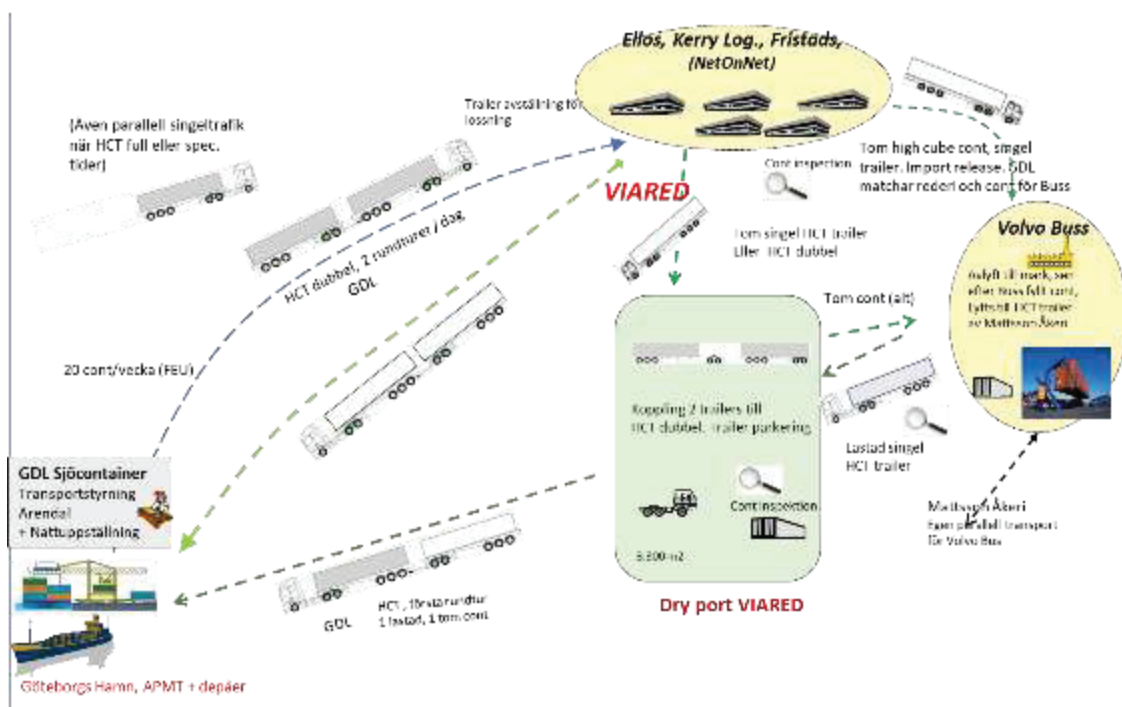
Fordonskombinationen har bestått av en dragbil, en dolly och fem semi-trailers i ett dedikerat trafiksystem, se Figur 12.



Figur 12. Fordonskombinationen med dragbil, dolly och totalt fem semi-trailers.

Figur 13 nedan sammanfattar hur logistiken kring Autofreights ekipage fungerar samt det planerade samspillet med dryporten. Dryporten var inledningsvis avsedd för främst Volvo Bussars flöde. Detta flöde försvann under 2020 i och med pandemins effekter för deras export.

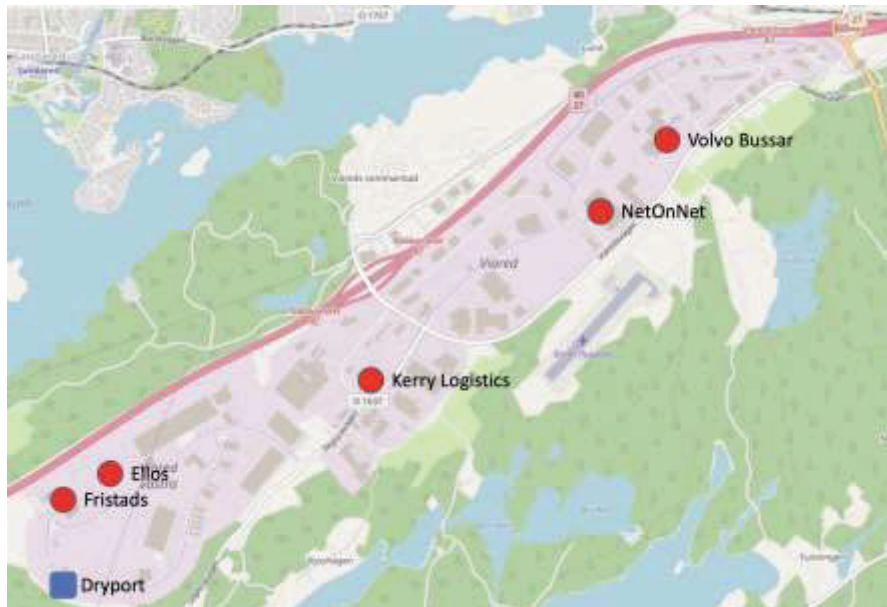
Det stod dock klart ganska snart att denna dryport behöver vara inhägnad och bevakad dygnet runt för att fungera. Det gjorde att mer information behövde samlas in och kostnaderna analyseras. Initialt fanns också tankar om att transportera och distribuera containers nattetid, men som beskrivits tidigare gick detta inte att genomföra då hamnen är stängd och inga företag i Viared tar emot containers nattetid. Därför sköts färdigställandet av denna dryport på framtiden. Under senaste året har istället Ellos nya terminal, som har en stor asfalterad plan, använts som "mellanlager" för trailers med containers under dagtid medan andra containers körs ut till respektive mottagare.



Figur 13. Det tänkta logistiksystemet med en dryport.

De två rundturen per dag har erbjudit ankomst till Viared på för- och eftermiddag. Med ett ekipage klarar Autofreight att transportera ungefär 10% av flödet till Viared, men en större andel av den nämnda mindre exporten.

Kartan nedan, Figur 14, visar området Viared, sydväst om Borås centrala delar, och lokaliseringen av de större kundernas mottagnings/hämtningsplats samt läget för dryportterminalen. Ytterligare mottagningsplatser finns för Kerry Logistics kunder.



Figur 14. Karta över Viaredsområdet med varuägarna och dryporten markerade.

8 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har varit uppdelat i sex arbetspaket (Work Package) och resultaten från arbetspaketen presenteras nedan. Resultaten har bidragit med nya kunskaper och flertalet av insikterna har förts vidare till AF-II projektet. Huvudresultaten som förts vidare till AF-II är:

- För att få effektivitet och därmed lönsamhet, behövs större volymer och fler fordon i trafik. I AF-I kördes en bil och fem släp, men frågan om hur systemeffekter skulle uppnås i och med att fler fordon involveras kvarstod. Vilka systemeffekter skulle kunna uppnås med fler enheter?
- Full automatisering är inte realistiskt, och det behövs förarutbildning och förarstöd för vissa funktioner, såsom backning med en A-dubbel.
- HCT kräver anpassning i hamnar, för effektivare hantering – det är till exempel viktigt att ha tillräcklig yta och lättillgängligt läge i hamnområdet. Detta för att slippa de tidskrävande och mer komplicerade backningarna med dubbelekipaget samt de långa köerna.
- För att ett HCT system med flera klienter (en varuägare per container) ska fungera smidigt krävs ett effektivt sätt att dela upp kombinationen i delar nära slutdestinationen. Detta kan göras med hjälp av en dryportterminal på destinationsorten, med säkra uppställnings- och rangeringsmöjligheter för container/trailer. Detta skulle medföra ett expanderat, flexibla samt effektivare trafiksystem.
- Tills dess att en fungerande dryport är tillgänglig behövs lokala anpassningar på terminaler i Viareds logistikcenter. De äldre terminalerna är ofta för små och därav behöver ekipaget kopplas isär och en trailer parkeras. Under AF-I har Ellos erbjudit sin plan för detta, men detta är tidskrävande och inte en optimal lösning.
- Det krävs ytterligare kunskaper hos Borås Stad i hur infrastrukturen behöver anpassas på logistikcentren, tex anpassade rondeller och kurvor.
- Backning med ekipaget tar tid för en oerfaren förare, mycket tid kan sparas genom att chaufförer får backträna innan de behöver backa i drift. Alternativet är att ett backnings-supportsystem tas fram för att hjälpa chaufförerna.
- Varuägarna föredrar leverans av containers på morgonen, istället för på eftermiddagen.
- Utvecklingen av fullt automatiserade lastbilar på allmän väg kommer ta längre tid än vad man först antog. Viktigare med olika förarstödssystem på kort sikt.
- Projektet har visat att många andra saker som idag sköts av föraren, än just körningen, behöver anpassas för att automatiseringen av fordonen skall ge ökad effektivitet i logistiksystemet.

Projektet var även uppdelat i 11 milstolpar som var tänkta att uppfyllas innan projektslut. Status ses nedan:

Milstolpe	Beskrivning	Status (2021-12-31)	Program
M1	Första utkastet till specifikation av uppfattningssystem för initial forskning.	Färdig	TSAF
M2	Logistisklastbil med förarassistansfunktioner (nivå 1), loggningsystem för kördata levererat till kund (GDL).	Färdig	EUTS
M3	Forskningslastbil med delvis automatiserad körning (nivå 2), och första utkast till perceptionssystem inklusive loggningsystem. Testad på AstaZero.	Färdig	TSAF
M4	Första FOT-data, med referensdata från sensorer, levererade till teknikforskningsteamet.	Färdig (kompletterande arbete tillkommit 2021-12-31)	TSAF
M5	Forskningslastbil uppdaterad till villkorlig automatiserad körning (Nivå 3) och andra utkast till perceptionssystem. Testad på AstaZero.	Färdig (2020-08-31)	TSAF
M6	Extern spridning av projektresultat inklusive demonstration och presentation av tekniska forskningsresultat.	Gjorts kontinuerligt under projektiden	TSAF/EUTS
M7	Forskningsbil uppdaterad till helautomatisk körning (Nivå 4) men med förarens övervakning av systemets prestanda. Testad på AstaZero.	Devis färdig (2021-12-31) Full automation Nivå 4 kunde inte uppnås i projektet	TSAF
M8	Forskningsbil uppdaterad till helautomatisk körning (Nivå 4) med fjärrövervakning. Testad på AstaZero.	Delvis färdig (2021-12-31) Fjärrövervakning testad, men ej Nivå 4	TSAF
M9	Slutlig specifikation för fordon och infrastruktursystem → Input till AF-II	Färdig (2021-12-31)	TSAF/EUTS
M10	Logistisk lastbil med funktionell automationsnivå 2. Slutliga FOT-data inklusive Nivå 2 produktivitet och automationsutvärdering.	Färdig (2021-12-31)	EUTS
M11	Extern spridning av projektets slutresultat inklusive demonstration och presentation av tekniska forskningsresultat.	Färdigställs under Q4 2022, Slutrapport + Presentation	TSAF/EUTS

8.1 WP1 Projektkoordinering

Projektkoordineringen har handlat om att hålla ihop projektet och föra det framåt mot de satta målen. Det har även inkluderat rapporteringen till FFI samt att en slutrapport färdigställs. Även projektmötena inom projektet har legat under projektkoordineringen. Under projektiden har projektkoordineringen fungerat bra, även om det tagit mer tid än vad som förutspåddes. Denna extra tid kan vara påverkad av Covid-19 då allt ställdes om till digitalt. Ansvarig för WP1 var Volvo GTT.

8.1.1 Olika projektledare

Under projektets gång har projektledarskapet skiftat mellan fyra personer, se nedan. Detta är bland annat en följd av byte av fokus samt hög personalomsättning på Volvo Group.

Namn	Avdelning Volvo Group	Start (05413 / 05415)	Slut (05413 / 05415)
Emma Wermström	Volvo Technology	2017-04-01 (Projektstart)	2018-03-05 / 2018-01-31
Lennart Andersson	Vehicle Automation	2018-03-05 / 2018-01-31	2018-11-29
Mariana Forsberg	Vehicle Automation	2018-11-29	2019-05-20 / 2019-05-21
Lena Larsson	Volvo Technology	2019-05-20 / 2019-05-21	2022-08-31 (Projektslut)

Då det även insågs att automationsmålen inte skulle kunna slutföras som tänkt ändrade projektet även fokus och handlade mer om insamling av material för förberedelse av automatisering och HCT. På grund av detta utsågs Lena Larsson till den sista projektledaren, hon hade tidigare jobbat med HCT-projekt och var redan insatt i projektet. Det ledde även till att det faktiska HCT-försöket drogs igång i början av 2020, trots att man tidigare insett att det inte var möjligt med automatiserad körning varken på riksväg 40 eller i någon av slutpunkterna (Göteborgs hamn, Viared). Lena ledde även samverkansprojektet i-Dolly på slutet (Vinnova, projektnr 2017-03036).

Att projektledarskapet skiftat så pass mycket har också påverkat slutdatumet för projektet, som flera gånger ändrats. Noterbart är att fältprovsförsöket inte startades förrän kring ordinarie slutdatum för projekten. Andra anledningar som det bytta fokuset från automation till HCT, Covid-19 pandemin samt att man insåg svårigheterna i noderna (Göteborgs hamn och Viared) samt GDPR-frågor har påverkat förlängningen av projektet.

Projektnamn	Ordinarie slutdatum	Faktiskt slutdatum
2016-05413	2019-12-31	2022-08-31
2016-05415	2020-02-29	2022-08-31

8.2 WP2 Teknikforskning

Inom ramen för projektet genomfördes teknisk forskning inom flera olika områden, framförallt relaterat till fordonsautomatisering och förarstöd. I detta avsnitt beskrivs översiktligt den forskning som har gjorts på området inom projektet. För mer detaljer inom respektive område hänvisas till angivna referenser.

8.2.1 Inlärningsbaserat beslutsfattande vid autonom körning

Ett autonomt fordon måste kunna hantera ett mycket stort antal olika trafikmiljöer och trafiksituationer. Det är därför svårt att manuellt specificera ett lämpligt beteende för det autonoma fordonet för varje tänkbar situation. Därför kan det vara av stort intresse att tillämpa inlärningsbaserade strategier baserade på så kallad Reinforcement Learning (se Hoel, 2021). Det innebär förenklat att den artificiella föraren lär sig hur den skall bete sig genom "trial and error". Genom att belöna önskvärda beteenden och bestraffa icke önskvärda beteenden så kan den artificiella föraren lära sig att ta rätt beslut i olika situationer. Hoels forskning, som ligger på den taktiska nivån (se avsnitt 4.2) visar bland annat att de inlärningsbaserade metoderna kan

användas för att lära en artificiell förare hur denne skall bete sig i olika trafiksituationer på motorväg och vid korsningar. Resultaten visar också att om den artificiella föraren förses med en enkel modell av ett trafikscenario så kan lämpliga beteenden läras in ännu snabbare. Metoden medger också att den artificiella föraren kan göra en uppskattning av hur säker den är på sina beslut. Om den artificiella föraren ställs inför en situation som den inte har sett tidigare, exempelvis ett vilt djur på vägen, så kan den ange att den är osäker på vad den ska göra och därför vidta försiktighetsåtgärder för att minska risken för en olycka.

8.2.1.1 Beslutsfattande baserat på Reinforcement Learning

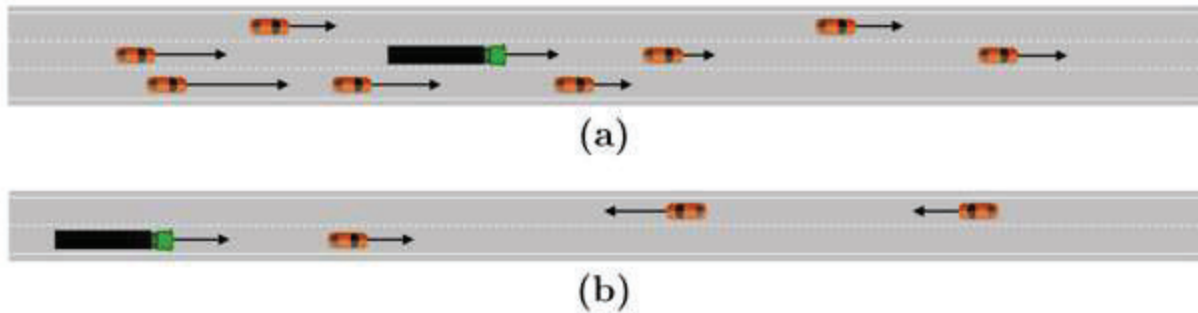
Om ett fordon agerar i en begränsad och kontrollerad miljö så kan regelbaserade system användas för att fatta beslut. En annan typ av algoritmer tar beslut med hjälp av så kallad "motion planning". En modell används då för att förutsäga hur andra aktörer (tex andra fordon) kommer att agera, och beteendet hos det egna fordonet planeras sedan därefter. Modellen av systemet används för att maximera nyttan för det egna fordonet och därmed få bästa möjliga beteende. Verkliga trafiksituationer är dock mycket komplexa och det finns en närmast oändlig variation av situationer som kan uppstå. Att skapa relevanta modeller av omgivningen och andra aktörers beteenden är därför svårt. Därför är det intressant att använda databaserade metoder som bygger på så kallad maskininläring ("Machine Learning"). Dessa metoder skiljer sig fundamentalt från de ovan nämnda eftersom fordonet istället lär sig hur det skall bete sig genom att observera data och interagera med sin omgivning.

Då Machine Learning används för autonoma fordon så tillämpas ofta så kallad Supervised Learning. Det innebär att man lär ett system att känna igen och identifiera vissa datamönster genom att träna systemet med hjälp av annoterad data. Det kan exempelvis vara ett större antal bilder där objekt som fotgängare eller bilar har markerats i förväg. På så sätt kan systemet lära sig att känna igen sådana objekt i andra bilder. En annan möjlighet är att tillämpa så kallad Reinforcement Learning. Istället för att använda annoterad data så tillämpas en belöningsmodell för när systemet agerar på rätt sätt. Genom att göra ett stort antal iterationer kan systemet lära sig vad som är ett bra beteende. En fördel med Reinforcement Learning framför Supervised Learning är att det inte krävs stora mängder annoterad data för att träna systemet. Vid Supervised Learning kan det också vara svårt att skapa rätt träningsdistribution. Om man bara direkt tar data från exempelvis mänskliga förare och tränar på den och sedan släpper ut fordonet i trafik så kommer man snabbt att hamna i situationer som inte helt fångats i träningsdistributionen. Suboptimala beslut fattas och man hamnar ännu längre från träningsdistributionen. Det problemet kallas för "distributional shift". Det är något som Reinforcement Learning däremot inte lider av på samma sätt eftersom algoritmen används för att skapa träningsdatan. Träningsdistributionen kommer därför att matcha distributionen när man använder systemet. Detta stämmer åtminstone om man både tränar och testar systemet i samma miljö. Så för att Reinforcement Learning skall fungera bra krävs en bra simuleringsmiljö. Att träna i en miljö (simulering) och sedan flytta till en annan miljö (verklighet) är ett annat forskningsområde som kallas för "transfer learning".

I sin forskning undersöker Hoel (2021) hur två olika modeller för Reinforcement Learning kan användas (se särskilt Hoel et al, 2018). Dels testas en policybaserad Genetisk Algoritm (se Holland, 1975), dels testas en värdebaserad DQN-algoritm (se Mnih et al, 2015). Genetiska algoritmer tillhör en familj av optimeringsmetoder som har inspirerats av mekanismer för evolution genom naturligt urval. Dessa kan användas när en matematisk modell saknas och det bara finns data från exempelvis simuleringar att tillgå. DQN-algoritmer är en vidareutveckling av så kallad Q-learning, som är en metod för Reinforcement Learning som ger ett värde för nyttan av en viss handling utan att det behöver finnas en underliggande modell för omgivningen. DQN-algoritmen har exempelvis visat sig vara mycket effektiv för att spela vissa datorspel.

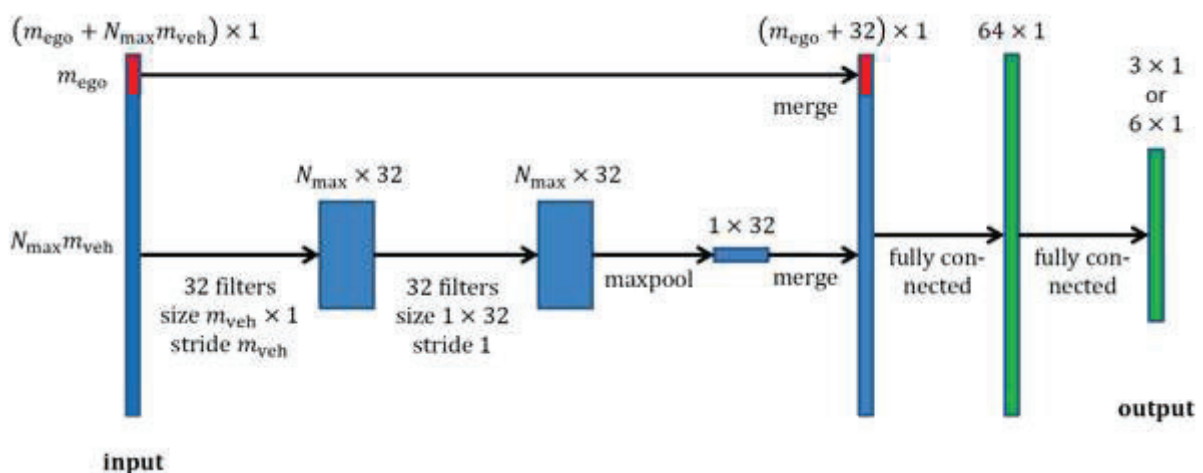
I Figur 15 illustreras två olika körscenarier som med hjälp av simulering användes för att testa modellerna för Reinforcement Learning. Det första scenariot (a) visar startpositionen för en

lastbil som kör på en trefilig motorväg med trafik endast i en riktning. Det andra scenariot (b) visar startpositionen för en lastbil i ett omkörningsscenario med mötande trafik. De omgivande fordonen simuleras med slumpmässiga startpositioner, hastigheter och intentioner. För att skapa intressanta trafiksituationer så har fordonen bakom lastbilen en högre hastighet och de framför har en lägre hastighet än lastbilen. De omgivande fordonen modelleras så att de dels försöker hålla en viss förutbestämd hastighet, som reduceras då annat fordon är i vägen, dels försöker göra omkörningar för att maximera trafikflödet.



Figur 15. Testscenarier som användes för att utvärdera de två metoderna för Reinforcement Learning (Hoel, 2021).

Två olika modeller ("agents") för DQN-algoritmen testades. Arkitekturen för det neurala nätverket illustreras i Figur 16, se Hoel et al (2018) för mer detaljer. Positiv belöning ges proportionellt mot fordonets hastighet och negativ belöning ges för kollisioner och om fordonet kör av vägen. För att begränsa antalet filbyten ges också en mindre negativ belöning för filbyten. Det är alltså en relativt enkel belöningsmodell som tillämpas här för att göra resultaten tydliga. I en mer verklighetsanpassad modell skulle exempelvis säkerhet ges en tyngre viktning än hastighet. Agenterna tränas vardera totalt i två miljoner träningssteg. Prestandan utvärderas genom att jämföra med en klassisk planeringsmodell.



Figur 16. Arkitekturen för det neurala nätverket (Hoel, 2021).

Resultaten visar att den ena agenten, som är begränsad till att hålla hastigheten eller göra filbyten utan ändring av acceleration eller hastighet, snabbt lär sig att undvika kollisioner genom att hela tiden hålla sig i samma fil. Detta beteende gör dock att fordonet ofta fastnar bakom andra långsammare fordon vilket ger ett sämre utfall för dess prestanda. Efter ungefär 600.000 träningssteg lär sig dock denna agent att göra omkörningar och prestandan ökar till en nivå i paritet med referensmodellen. Den andra agenten, som har möjlighet att ändra sin hastighet och acceleration inom vissa intervaller, lär sig att reglera hastigheten och undvika kollisioner redan efter ca 400.000 träningssteg. Prestandan ligger då i paritet med referensmodellen. Efter ca en miljon träningssteg stabiliseras prestandan på en nivå som ligger ca

10% bättre än referensmodellen. Detta visar att en agents prestanda kan förbättras då den har kontroll över både lateral och longitudinell reglering.

På motsvarande sätt testades den Genetiska Algoritmen. Den genetiska algoritmen används för att optimera strukturen för en uppsättning regler och aktiviteter, samt tillhörande parametrar. Se Hoel et al (2017) för mer detaljer. En förarmodell byggs upp av ett antal instruktioner som är baserade på regler och aktiviteter. En regel kan vara exempelvis "om det finns ett fordon i vänsterfilen i intervallet -60 meter till 40 meter longitudinellt så..." En aktivitet kan vara "byt till fil..." eller "öka hastigheten till...". Förarmodellen använder sedan instruktionerna för att ta beslut i olika situationer. Med hjälp av en belöningsmodell utvärderas förarmodellens prestanda då den testas i olika simuleringar (se testscenarier i Figur 15 ovan). Genom att simulera ett stort antal olika episoder skapas en evolutionär utveckling av modellen genom att parametrar ändras slumpvis (som "mutationer") och instruktioner läggs till och tas bort för att diversifiera populationen. För att garantera att prestandan inte degraderas mellan generationer så kopieras den bäst presterande modellen ("individ") till nästa generation utan modifiering.

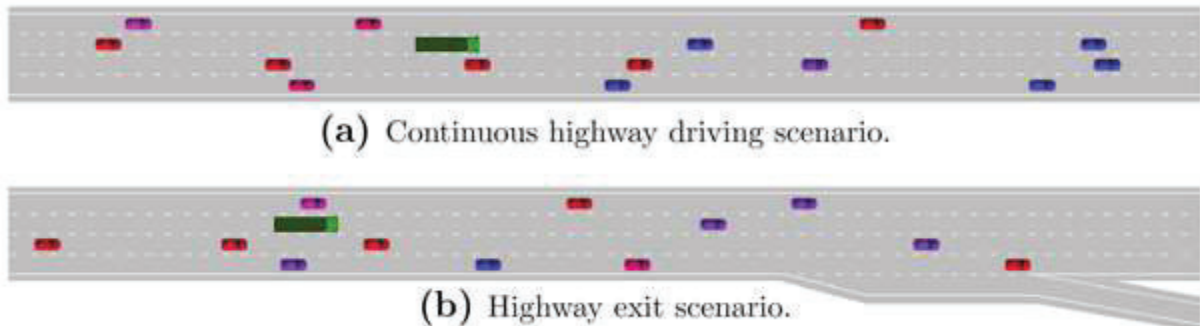
Efter 1500 generationer, som motsvarar ungefär 100.000 timmars körning, klarade den Genetiska Algoritmen att hantera alla 500 simulerade testepisoder för motorvägsscenarioet (se Figur 15 alternativ a). Den slutgiltiga förarmodellen testades sen med 500 nya episoder som inte varit med i träningsomgången och klarade alla utan kollisioner. Den skapade förarmodellen genererar ett beteende där fordonet stannar i sin fil och accelererar om inget annat fordon är nära framför. Om det finns ett fordon framför, men inget fordon i vänsterfilen, så byter fordonet till vänsterfilen. Om högerfilen är upptagen så stannar fordonet i sin fil och bromsar, annars byter det till högerfilen. I stort sett samma metod användes för omkörningsscenarioet (se Figur 15, alternativ b). Även här klarade förarmodellen alla testepisoder samt 500 nya episoder, men ungefär fyra gånger så många generationer krävdes.

8.2.1.2 Kombinerad planering och Reinforcement Learning

Som beskrivits hittills kan Reinforcement Learning användas för att skapa taktiska beslutsmodeller för autonoma fordon. Det krävs dock omfattande träning för att erhålla en lämplig modell med bra prestanda. I praktiken är det emellertid så att det redan finns en mängd kunskap om autonom körning att tillgå, ofta i form av modeller av körscenarier. Dessa modeller kan då användas för att snabbare identifiera den bästa sekvensen att utföra en serie aktiviteter. På grund av komplexiteten så kräver sådana sökningar dock mycket beräkningskapacitet, särskilt då man vill planera över en längre tidshorisont. Genom att kombinera en samplingsbaserad planeringsmodell som MCTS (Monte Carlo Tree Search) och Reinforcement Learning så kan komplexiteten och därmed beräkningsbehovet reduceras (se Hoel et al, 2020a). Reinforcement Learning används för att hjälpa MCTS att hitta till de delar av sökträdet som verkar mest lovande. Samtidigt hjälper MCTS till att förbättra träningen för Reinforcement Learning genom att identifiera långa sekvenser av aktiviteter som krävs i situationer där man har en lång planeringshorisont.

Beslutsmodellen som skapas genom att kombinera MCTS och Reinforcement Learning testas i två olika motorvägsscenarier, se Figur 17. Det första scenariot är ganska likt det som presenterades i Figur 17 alternativ (a). I det andra scenariot används samma väg, men fordonet startar i filen längst till vänster och skall försöka nå en avfart på höger sida av vägen efter 1000 meter. Detta kräver planering över en längre tidshorisont jämfört med kontinuerlig körning på motorvägen. De olika färgerna på omgivande fordon i Figur 17 indikerar att olika fordon är olika "aggressiva". I beslutsmodellen ingår att fordonet kan stanna i vald fil och antingen behålla, minska eller öka hastigheten eller byta fil åt höger eller vänster med bibehållen hastighet (om hastigheten hos fordonet framför medger det annars reduceras hastigheten). Alla aktiviteter som leder till en kollision eller att fordonet kör av vägen exkluderas från MCTS-sökningen.

Beslutsmodellen tränades i 250.000 steg och jämfördes med tre andra metoder (de optimeringsmodeller som användes tidigare samt MCTS utan stöd av Reinforced Learning). Resultaten visar att metoden med att kombinera MCTS med Reinforcement Learning är bättre än de tidigare använda optimeringsmodellerna. Relativt snabbt kommer den också upp i samma nivå som ren MCTS och efter ca 60.000 träningssteg ger den ett bättre utfall.



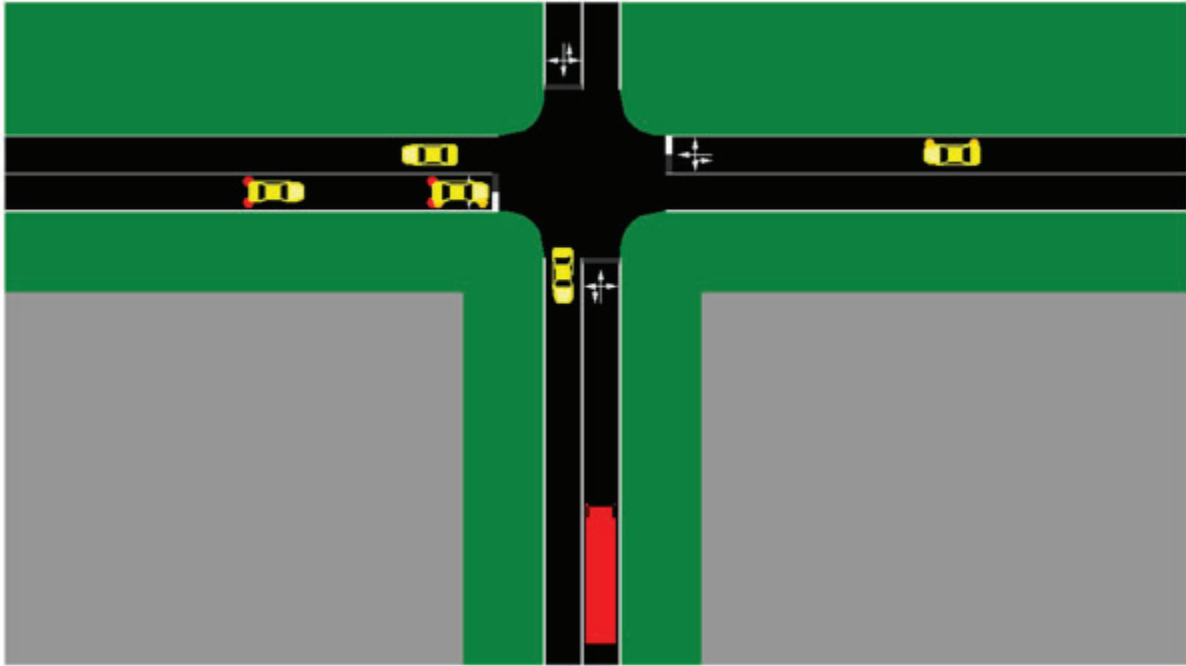
Figur 17. Två olika motorvägsscenarier som användes för att testa beslutsmodellen som baserats på MCTS kombinerat med Reinforcement Learning (Hoel, 2021).

Scenario (b) med avfarten är lite annorlunda då det resulterar i "godkänt" eller "icke godkänt" beroende på om lastbilen faktiskt når avfarten eller ej. Efter ungefär 120.000 träningssteg, motsvarande 30 timmars simulerad körning, klarar den att lösa 100% av alla tester. Motsvarande resultat för MCTS utan stöd av Reinforcement Learning är 70% medan den tidigare använda optimeringsmetoden klarar det i 54% av fallen. En viktig skillnad mellan de jämförda modellerna är deras förmåga att planera, vilket är avgörande för att faktiskt klara scenariot med avfarten. I vissa fall kan avfarten endast nås om fordonet först saktar in för att sen göra ett antal filbyten åt höger. Enbart metoden med MCTS med stöd av Reinforcement Learning klarade av att göra detta.

8.2.1.3 Osäkerhet vid användning av Reinforcement Learning

En viktig fördel med inlärningsbaserade metoder, jämfört med manuellt specificerade system, är att de är skalbara till alla typer av trafiksituationer. En nackdel med många inlärningsbaserade metoder är dock att de ger "black-box" lösningar utan att indikera med vilken konfidens beslut tas. I Hoel et al (2020b), Hoel et al (2020c), och Hoel et al (2021) visas hur en skattning av osäkerheten hos en tränad Reinforcement Learning modell kan göras. Osäkerhet delas här upp i *epistemisk* respektive *aleatorisk* osäkerhet. Epistemisk osäkerhet kommer av att agenten ställs inför en situation som den inte tidigare upplevt. Exempelvis om den har tränats för "normal" körning men sen hamnar i en extrem situation som en olycka. Sådan osäkerhet kan reduceras genom ytterligare träning av agenten. Aleatorisk osäkerhet däremot härrör från att det kan finnas slumpfaktorer i vissa utfall. Sådan osäkerhet kan inte reduceras genom mer träning. Båda formerna av osäkerhet påverkar modellens förmåga att ta rätt beslut och är därför viktiga att hantera för säkerhetskritiska system som autonoma fordon.

På liknande sätt som tidigare testas den föreslagna modellen i olika simulerade trafikscenarier. Ett scenario är körning på motorväg som mycket liknar det som använts i tidigare simuleringar. En viktig faktor är dock att träningen av systemet enbart omfattar omgivande trafik med "normal" hastighet på motorväg, mellan 15 och 35 meter per sekund (dvs hastigheter i intervallet 54-126 km/h). Om bilar kör med en hastighet utanför detta intervall så introduceras viss epistemisk osäkerhet. Ett annat scenario är en korsning med delvis skymd sikt för korsande trafik, se Figur 18. Den skymda sikten i korsningen kombinerat med att intentionerna hos förarna av de korsande fordonen är okända resulterar i viss slumpmässighet, dvs aleatorisk osäkerhet.

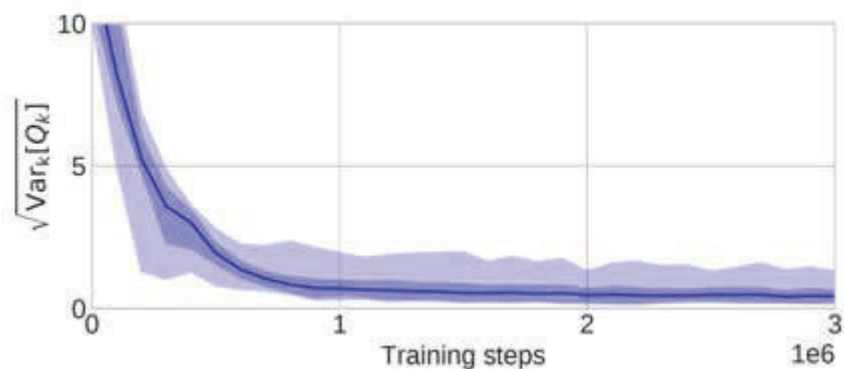


Figur 18. Korsning med skymd sikt. Det egna fordonet är rött, övriga fordon är gula och de grå områdena skymmer sikten åt sidorna i korsningen (Hoel, 2021).

Fordonen i korsningsscenarioet kör med en hastighet av upp till 15 m/s. Det egna fordonet observerar med hjälp av sina sensorer position, hastighet och riktning för de fordon som inte är skymda i korsningen. Det tar sedan beslut om att antingen stanna i korsningen, bibehålla sin hastighet eller accelerera till en viss förutbestämd hastighet. En positiv belöning ges när fordonet lyckas passera korsningen och en negativ belöning ges om det sker en kollision. Om det egna fordonet stannar i korsningen och inte har passerat efter ett visst antal försök så blir det "timeout".

Agenterna tränades i vardera tre miljoner träningssteg och testades sedan i 1000 slumpvis utvalda körningar som inte hade varit med under träningsprocessen. Resultaten visar att när beslutsmodellen baserad på Reinforcement Learning kombineras med kriterierna för aleatorisk osäkerhet så upptäcks fler situationer med hög aleatorisk osäkerhet. När gränsvärdet för osäkerheten sänks så minskar antalet kollisioner samtidigt som tiden för att komma igenom korsningen ökar. Modellen tar alltså hänsyn till osäkerheten och gör att fordonet agerar mer försiktigt.

Som väntat minskar den epistemiska osäkerheten efterhand som systemet tränas, se Figur 19. Det är dock intressant att se vad som händer då modellen hamnar i situationer som ligger utanför det den har tränats för, exempelvis om hastigheten för omgivande fordon i korsningsscenarioet ökas. Om tillåten epistemisk osäkerhet inte begränsas så ökar då antalet kollisioner markant. Om gränsvärdet sänks så minskar antalet kollisioner till nästan noll, men på bekostnad av att antalet timeouts ökar något.



Figur 19. Den epistemiska osäkerheten minskar med antalet träningssteg (Hoel, 2021).

Ett intressant exempel på en situation som kan uppstå men som inte ingick i träningen av agenten illustreras i Figur 20. Ett fordon står helt stilla i samma körfält som det egna fordonet kommer körande i (överst i figuren). Det egna fordonet kan inte byta körfält åt vänster på grund av omgivande trafik. Då agenten enbart har tränats på situationer där omgivande fordon håller en hastighet mellan 15 och 35 meter per sekund så kommer en agent som inte tar hänsyn till epistemisk osäkerhet inte heller att bromsa i tid, med en kollision som följd (mitten av figuren). Agenten som tar hänsyn till epistemisk osäkerhet detekterar dock snabbt att något inte står rätt till och klarar därför att bromsa i tid innan en kollision sker (nederst i figuren).



Figur 20. Exempel på en situation som inte har ingått i träningen av modellen. Ett fordon står helt stilla i det egna fordonets körfält (Hoel, 2021).

Intressant att notera är att en kombination av en begränsning av både aleatorisk och epistemisk osäkerhet gör att inga kollisioner alls sker då agenten testas inom det område som den har tränats för. Detta visar att det kan vara användbart att beakta epistemisk osäkerhet även när agenten verkar inom det område som den har tränats för eftersom vissa sällsynta specialfall (så kallade "edge cases") då ändå kan detekteras.

Resultaten visar alltså att genom att göra en skattning av den epistemiska osäkerheten så kan säkerheten hos en tränad agent ökas. Om osäkerheten är för hög så går agenten över till en backupstrategi, som att stanna helt i korsningen. Vad som kanske är ännu viktigare är att information om den epistemiska osäkerheten kan ge indikationer på i vilka avseenden agenten behöver ytterligare träning. Om en agent har tränats i en simulerad trafikmiljö och sedan utsätts för en verklig trafikmiljö så kan också skattningen av den epistemiska osäkerheten ge information om vilka situationer som agenten inte har tränats för och som därför bör läggas till i den simulerade miljön. På så sätt kan den simulerade träningsmiljön utvecklas iterativt för att mer och mer efterlikna verkligheten.

Vidare, när Machine Learning används för att skapa en beslutsfattande agent så är det svårt att garantera den funktionella säkerheten i agentens beslut. Därför implementeras ofta ett extra underliggande säkerhetslager som skall säkerställa att en planerad bana är säker innan den verkställs av fordonet. Med tränade agenter som även tar hänsyn till osäkerhet i sina beslut och som kan detektera situationer som ligger utanför det område de har tränats för så kan behovet av att aktivera säkerhetslagret minskas, men inte reduceras helt.

Forskningen gav flera intressanta resultat som visar hur Reinforcement Learning kan användas för att skapa beslutsfattande agenter som även klarar att hantera viss osäkerhet och som

därmed bidrar till att reducera problemet med att tränade agenter agerar som "black box system". Flera komponenter i de testade metoderna för Reinforcement Learning är dock fortfarande manuellt specificerade. Exempel på detta är belöningsfunktionerna och simuleringsmiljöerna. Databaserade inlärningsmetoder skulle även kunna användas för utvecklingen av dessa komponenter.

8.2.2 LiDAR-positionering med stöd av neurala nätverk och optiska flöden

Tillförlitlig positionering är mycket viktig för både förarstödssystem och autonoma fordon. För detta används ofta primärt GNSS (tex GPS) som med stöd av ett satellitbaserat system kan bestämma positionen i relation till ett globalt eller lokalt koordinatsystem. Med hjälp av lokala basstationer som ger korrigeringsinformation (så kallad Real Time Kinematics, RTK) kan mycket hög positioneringsnoggrannhet erhållas (i storleksordningen 1 cm fel). GNSS är dock beroende av "fri sikt" till satelliterna vilket gör systemet känsligt för situationer då fordonet befinner sig i "skugga", exempelvis i en tunnel. Då positioneringen är av central betydelse vid autonom körning krävs viss redundans, dvs andra oberoende system som kan ge positionsinformation. I viss utsträckning kan accelerometrar (kombinerade till en Inertial Measurement Unit, IMU) användas som ett komplement till GNSS för att räkna fram fordonets aktuella position utifrån dess senast kända position för en kortare sträcka.

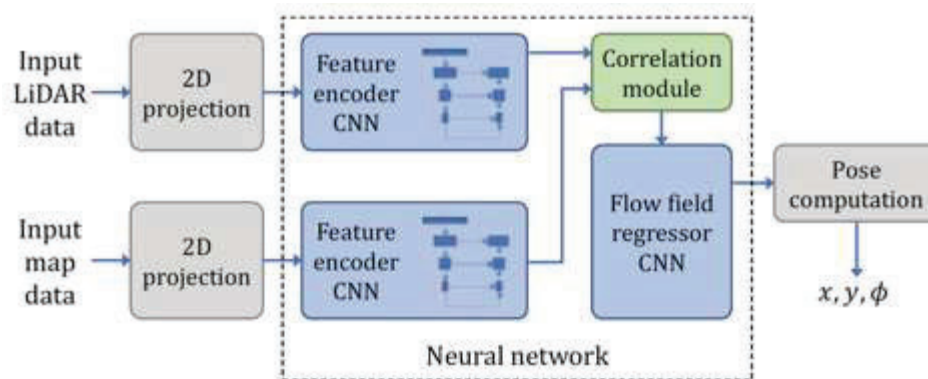
Positionering kan också göras genom att fordonet, via sitt perceptionssystem, "känner igen sig" i en viss omgivning. I projektet studerades hur en laserscanner (LiDAR) kan användas för tillförlitlig positionering i relation till en förinspelad tredimensionell karta (se Sunegård et al, 2020). En LiDAR (se Figur 21) är relativt okänslig för varierande ljusförhållanden och olika yt-texturer och har därför vissa fördelar jämfört med en kamerasensor. En LiDAR ger också tredimensionell information i form av punktmoln medan en kamera typiskt ger tvådimensionella bilder (med en stereokamera kan man även erhålla djupinformation i bilden, se avsnitt 8.2.5).



Figur 21. Exempel på en flerlagers LiDAR-sensor (www.oxts.com).

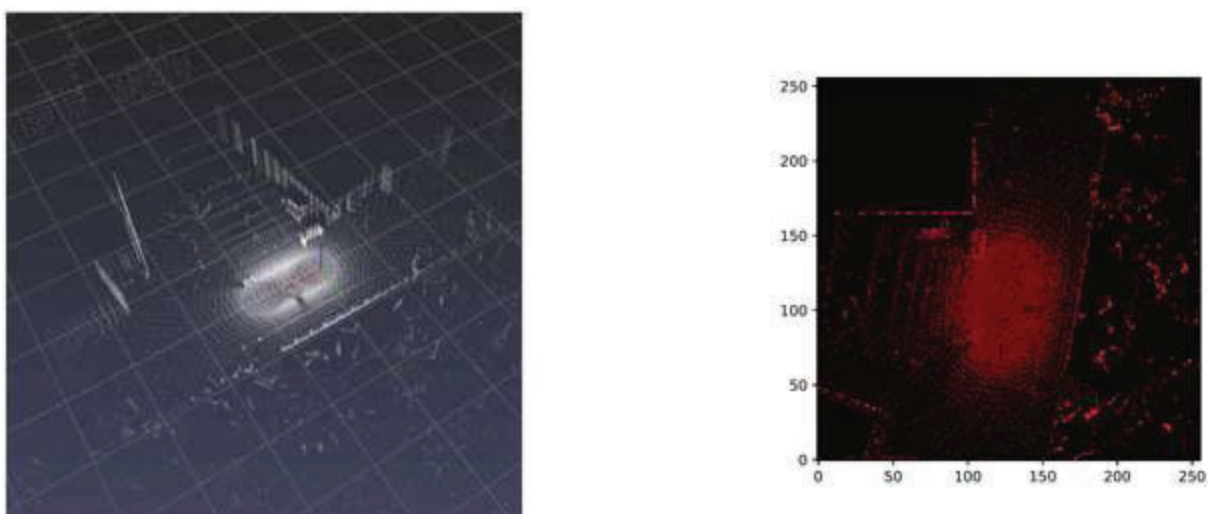
I tidigare forskning har inpassning av punktmolnet ("template matching") använts för att jämföra informationen från LiDAR med kartinformationen. LiDARdata omvandlas till en tvådimensionell bild sett som en toppvy över fordonet och jämförs sedan med motsvarande tvådimensionella kartvy. En precision på runt en decimeter kan uppnås med sådana metoder. Då det kräver mycket beräkningskapacitet att jämföra en LiDARvy med en massa olika kartvyer så krävs det att systemet får en någorlunda tillförlitlig ursprungsposition angiven och därmed färre kartvyer att jämföra med. Andra metoder (tex ICP och FGR, se Sunegård et al, 2020) går ut på att parvis matcha registrerade punkter i ett punktmoln med punkter i en digital karta. Det finns dock en risk att sådana system "fastnar" vid en felaktig position så snart ett större antal punkter verkar stämma med kartan. Det innebär särskilt en risk om en LiDAR registrerar data från en omgivning med många repetitiva strukturer. Det går också åt mycket datorkraft då beräkningar kan behöva upprepas i många iterationer. I senare forskning har maskininlärning och neurala nätverk i ökande utsträckning använts för att tolka data från LiDAR i relation

till en digital karta. I projektet studerades hur neurala nätverk kan användas för att analysera och tolka data från en LiDAR genom att kombinera en tvådimensionell vy av LiDARdata och karta med metoder för att bestämma optiska flöden. Optiskt flöde är det skenbara mönster av rörelse som uppstår hos objekt i en visuell scen då observatören rör sig i förhållande till objekten i scenen. I Figur 22 illustreras hur data från LiDAR och karta behandlas i de neurala nätverken för att ge en position som output.



Figur 22. Neurala nätverk används för att bestämma fordonets position (Sunegård et al, 2020).

För att testa algoritmerna användes simulerad data från datasetet CARLA (Dosovitskiy et al, 2017) som innehåller körsценarier från både landsväg, tätort och motorväg. Genom att använda sådan simulerad data påverkas studien och resultaten inte av precisionen hos ett referenssystem för positionering (så kallad "ground truth"). Vidare erhålls automatiskt ett stort antal annoterade mätningar. Den inbyggda modulen för LiDARsimulering användes och konfigurerades som en 32-lagers LiDAR med en räckvidd på 100 meter och som ger 56000 punkter per sekund. Genom att "köra" den simulerade LiDARsensorn genom olika scenarier samlades totalt 42870 unika sensormätningar in. På liknande sätt skapades en digital tredimensionell karta. Datasetet är uppbyggt så att det, precis som i verkligheten, gör att viss data som finns i den digitala modellen och kartan inte kommer med i LiDARsensorns data. Det kan exempelvis vara punkter som LiDARn inte kan "se" på grund av att det finns andra objekt i vägen som hindrar fri sikt från LiDARn. Detta är en viktig aspekt då det försvårar jämförelsen mellan data som samlas in av LiDARn och data som finns i den digitala kartan. I Figur 23 illustreras hur det tredimensionella punktmolnet från LiDARsensorn kan se ut, samt motsvarande tvådimensionella toppvy som används för analys med hjälp av de neurala nätverken.



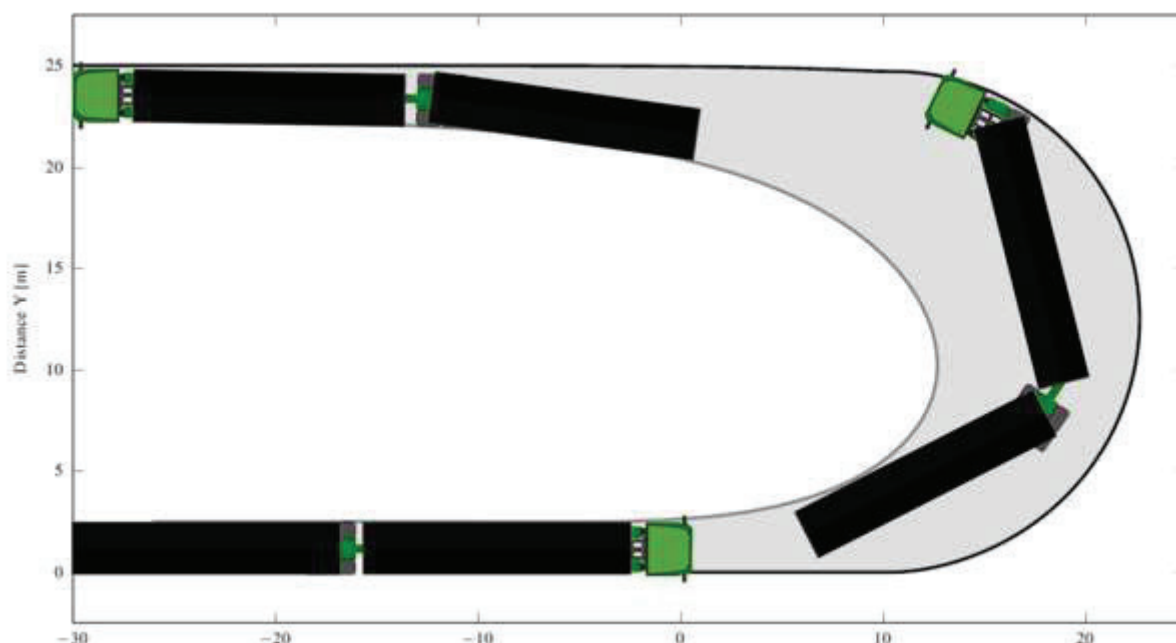
Figur 23. Tredimensionellt punktmoln från LiDAR (t.v.) och motsvarande tvådimensionella toppvy (t.h.), (Sunegård et al, 2020).

Resultaten av studien visar att metoden kan ge positionering med hjälp av LiDAR med hög noggrannhet, i storleksordningen $<0,04\text{m}$ avvikelse. På motsvarande sätt kunde fordonets körriktning ("heading angle") bestämmas med en noggrannhet på $<0,1$ grader. Det är jämförbart med eller bättre än de andra metoder för positionering med hjälp av LiDAR som används som referens i studien. Den studerade metoden medger också relativt stor initial osäkerhet gällande utgångspositionen, dvs var man är relativt den digitala kartan när man påbörjar mätningen. Trots upp till 20 meters avvikelse kunde systemet hitta till rätt position i kartan, medan referenssystemen typiskt bara klarar att hantera några meters avvikelse. Den studerade metoden är uppbyggd så att initialt görs grova matchningar mot kartan med relativt låg upplösning. Det gör att metoden kräver relativt lite beräkningskapacitet för att hitta rätt område i kartan jämfört med referensmetoderna, även om utgångspositionen har stor osäkerhet. Sen förfina upplösningen när systemet börjar hitta rätt område vilket i slutändan resulterar i positionering med hög noggrannhet. Även transformeringen av punktmolnet från tre- till två dimensioner bidrar till att avsevärt minska behovet av beräkningskapacitet i systemet. Testerna visade också att metoden klarar att matcha informationen från LiDARsensorn med den digitala kartan även när omgivningen saknar framträdande strukturer, dvs unika objekt som speciella byggnader som är lätta att känna igen och särskilja från andra objekt.

8.2.3 Ruttplanering för tunga fordon

Långa fordon med flera artikuleringspunkter, som en A-dubbel liksom ett 24/25,25m ekipage utan styrbara axlar, "skär in" ganska mycket i skarpa kurvor och kräver därför extra utrymme i sidled när de svänger. En noggrant utformad ruttplanering är därför mycket viktig vid automatisering av långa fordonskombinationer. I Figur 24 nedan illustreras hur sista axeln hos en A-dubbel gör en sväng med betydligt mindre radie än den styrande första axeln på dragbilen. Med kännedom om fordonen i kombinationen såsom avstånd mellan ledpunkter och axlar, fordonens relativa positioner, hastighet, acceleration mm så kan fordonskombinationens egenskaper modelleras så att svängning med fordonskombinationen kan utvärderas.

I projektet gjordes en studie för att se hur långa artikulerade fordon kan modelleras så att svängning kan utföras säkert och kontrollerat inom en planerad bana. För mer utförlig information, se Nilsson et al (2018). Se även Nilsson och Wallin (2018) och Diestra och Skouras (2019). Detta inkluderade flera skarpa svängar samt passage genom cirkulationsplats.



Figur 24. A-dubbel skär in i kurvan vid skarp sväng (Nilsson, 2017).

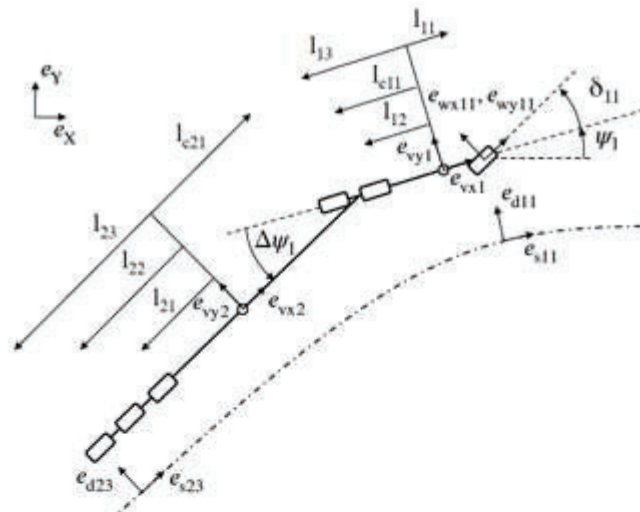
Efter att ha övervägt olika metoder som härrör från bland annat forskning inom robotik, valdes en simuleringsbaserad metod för ruttplaneringen. Det innebär att en matematisk fordonsmodell används för att simulera ett antal olika svängningsscenarioer. Olika parametrar som hastighet och lateral positionering (styrning) varierar varpå olika scenarier kan utvärderas. För utvärderingen används en kostnadsmodell där olika resultatparametrar värderas och vägs samman. Scenariot med lägsta "kostnaden" anses mest fördelaktigt. Scenarier som inte uppfyller grundläggande villkor, exempelvis att fordonskombinationen skall hålla sig på viss del av vägbanan, diskvalificeras.



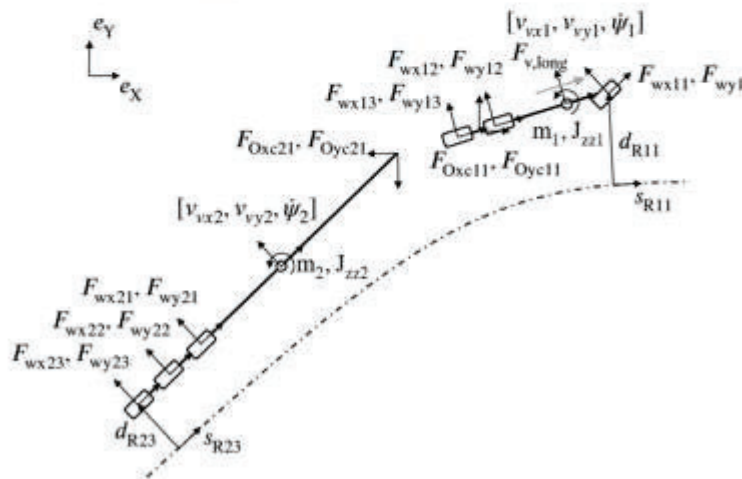
Figur 25. Traffic Situation Management komponenter i studien (Nilsson et al, 2018).

I Figur 25 illustreras de komponenter inom Traffic Situation Management som applicerades i studien. *Traffic situation observations* inkluderar exempelvis antal körfält på vägen, körfältens bredd, fordonets position i körfältet och rörelsetillstånd (tex hastighet, acceleration) hos det egna fordonet och andra fordon. I denna studie som fokuserades på ruttplanering inkluderades inga andra fordon eller trafikanter. Som input gavs i det här fallet ett köruppdrag baserat på globala ruttsegment. Baserat på fordonskombinationens geografiska position (GNSS) genereras sedan lokala ruttsegment längs den globala rutten. Fordonets rörelsetillstånd beräknas baserat på input från dragbilens IMU (accelerometrar) och interna databussar (CAN).

Nästa steg är *Traffic situation trajectory planning*. Syftet med detta är att definiera en lämplig bana för fordonskombinationen som uppfyller de krav som ställts upp för säkerhet, effektivitet och körkomfort. Det är här som simuleringen kommer in. Baserat på modeller av fordonskombinationen (se Figur 26) kan olika scenarier simuleras.



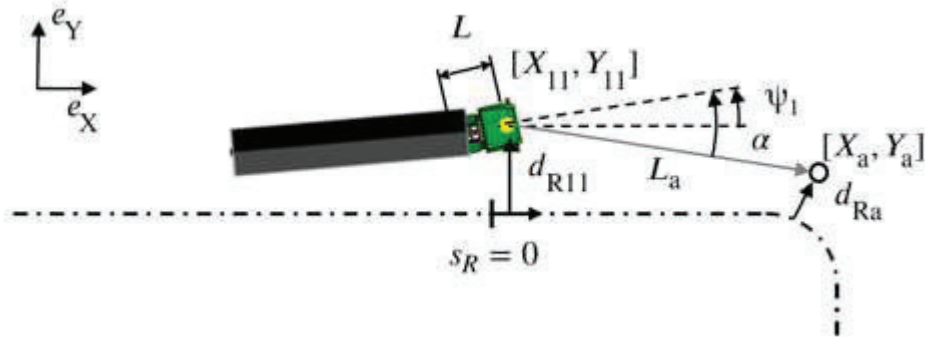
(a) Length dimensions and unit vectors.



(b) Forces, vehicle states and inertia.

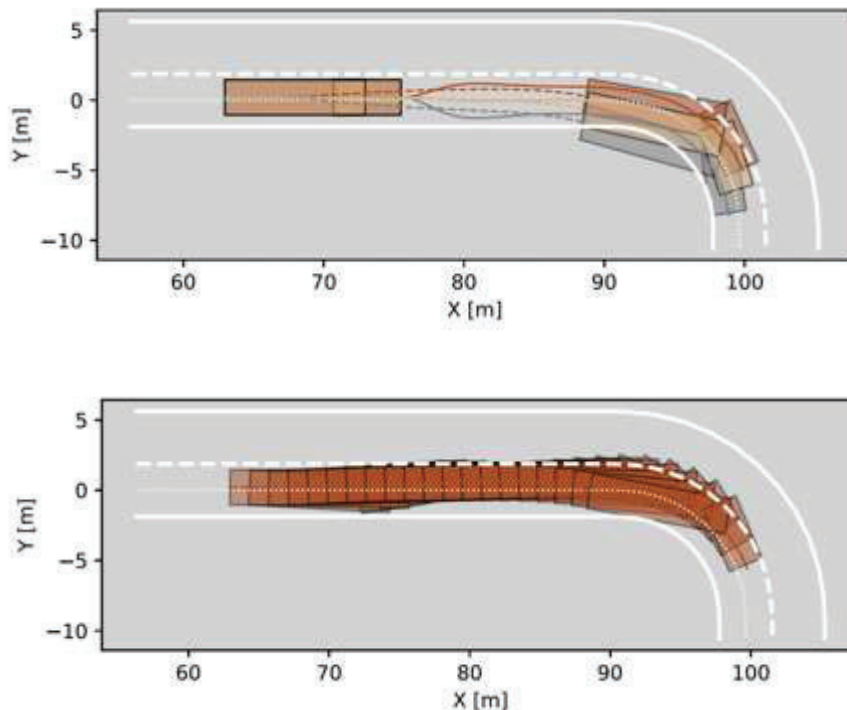
Figur 26. Modellering av krafter, fordonstillstånd och tröghetsmoment (Nilsson et al, 2018).

I *Traffic Situation Control* översätts den kalkylerade bana som gav bäst utfall i simuleringen till reglering av fordonet i termer av styrning på dragbilens framaxel, acceleration och retardation. Den fordonsmodell som applicerades i studien bygger på en dragbil med en styrande framaxel och två drivna bakaxlar (dvs en traditionell 6x4 konfiguration), men om det finns fler drivna eller styrda axlar i fordonskombinationen (tex på en trailer) så kan detta enkelt läggas till i modellen. Acceleration och retardation modellerades med en förhållandevis enkel PI-controller. Den laterala regleringen (styrning) bygger på att dragbilens aktuella position jämförs med var den bör vara vid en senare tidpunkt. Genom att jämföra vinklarna mellan dragbilens aktuella rörelseriktning vart den bör röra sig kan styrvinkeln på framhjulen räknas ut. Hastighetsberoende förstärkningsfaktorer används för att trimma in systemet så exempelvis oscillerande beteende kan undvikas. Den geometriska modellen för lateral reglering illustreras i Figur 27.



Figur 27. Geometrisk modell för lateral reglering (Nilsson et al, 2018).

I Figur 28 illustreras hur fordonets bana utvecklas över en serie simuleringar. I den första simuleringen svänger dragbilen för snävt för att trailern skall kunna hålla sig på vägbanan i kurvan. Till nästa simulering ändras värdena för dragbilens laterala position (styrningen) och sedan jämförs utfallet. Efter att varje simulering har utvärderats så är det hittills bästa föregående värde som används som referens. På så sätt förbättras utfallet av simuleringarna med fler iterationer. I den sista iterationen man se hur dragbilen nu istället svänger ut mot vägbanans mitt strax innan svängen genomförs vilket gör att trailern nu klarar svängen utan att hjulen går utanför den markerade vägbanan. Precis som en rutinerad mänsklig förare skulle ha gjort.



Figur 28. Första och sista iterationen i en serie simuleringar (Nilsson et al, 2018).

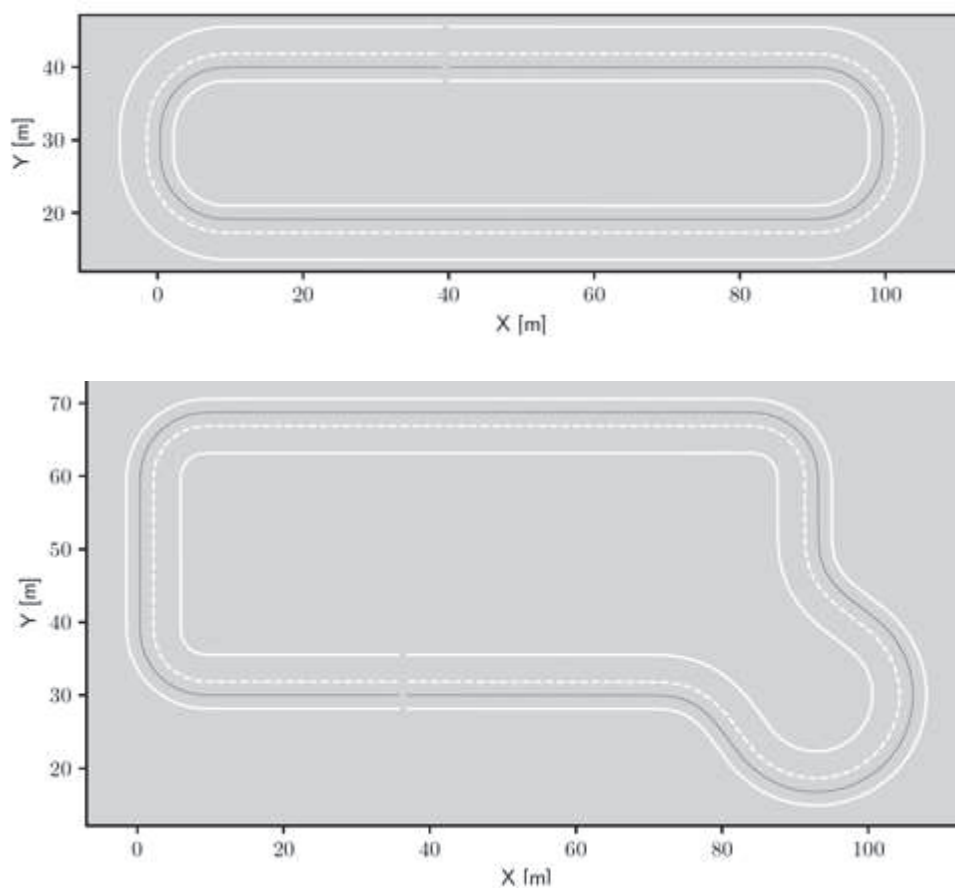
Modellerna testades i flera omgångar på en fordonskombination med dragbil+trailer på provbana, se Figur 29. För testerna användes dragbilen och trailern från Forskningsplattformen (se avsnitt 8.3). Av praktiska skäl, då det kräver mer logistik och planering att köra med en A-dubbel, genomfördes testerna framförallt med endast dragbil och trailer. Alla beräkningar gjordes i dragbilen med hjälp av en specialbyggd dator med Linux operativsystem (Ubuntu). Mjukvaran för Traffic Situation Management implementerades i C++ och ROS. Traffic situation observations uppdaterades med 20Hz frekvens och banplanering gjordes med 5Hz, dvs fem gånger per sekund gjordes en ny simulering av möjlig bana. Planeringshorisonten för simule-

ringar, dvs hur långt i förväg som en sväng planeras, varierades mellan 5, 10 och 15 sekunder. Det OxTS RT3000 system för lokalisering som fanns installerat i dragbilens hytt användes för lokalisering (GNSS) och bestämning av fordonets rörelsetillstånd (IMU). Trailerns position relativt dragbilen bestämdes med hjälp av vinkelsensorn i kingpin mellan dragbil och trailer.



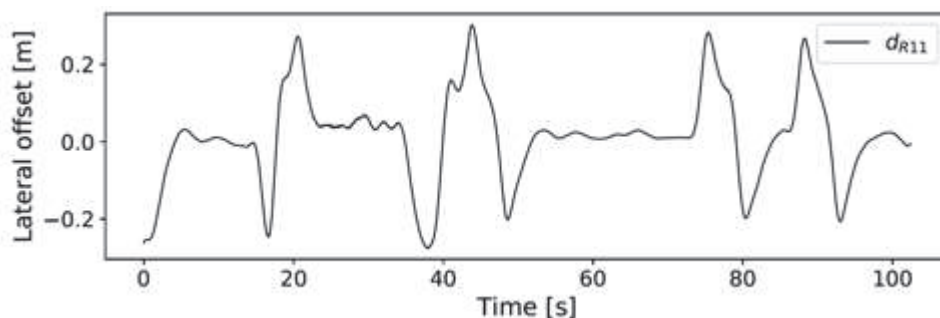
Figur 29. Testfordonet, en Volvo FH16 6x4 med semitrailer.

Två olika banor användes för testerna. Den första banan innehöll skarpa högersvängar (körning medurs) och den andra banan innehöll en rondell samt skarpa vänstersvängar (körning moturs), se Figur 30. Testerna utfördes på en plan asfalterad yta utan väglinjer så banorna förprogrammerades virtuellt i ett lokalt koordinatsystem. I båda fallen definierades två körfält med en bredd om vardera 3,7m. Fordonets bredd är ca 2,5m. De solida vita linjerna illustrerar vägens kanter. Den streckade vita linjen är mittlinjen som delar vägen i två körfält. Den svarta linjen illustrerar centrumlinjen för det högra körfältet.



Figur 30. Banorna som användes för testerna (Nilsson et al, 2018).

För att få en uppfattning om hur väl den regleringen av fordonet med mjukvaran för Traffic Situation Management stämmer med den planerade rutten gjordes ett test med att följa den svarta centrumlinjen för hela banan och studera hur stor avvikelser blev. I Figur 31 illustreras det laterala felet för dragbilens framaxel relativt körfältets centrumlinje. För båda banorna ligger felet inom $\pm 0,3\text{m}$. En del av felet kan förklaras med att det förekom isfläckar på testbanan då testet genomfördes. En annan delförklaring kan vara att systemet för positionering (GNSS) och IMU var placerat i dragbilens hytt som kan röra sig lite relativt dragbilens chassi. De lokala övre och undre begränsningarna för banplaneringen i reglersystemet reducerades med $0,3\text{m}$ för att säkerställa att fordonet skall hålla sig inom gränserna för vägbanan.



Figur 31. Lateral avvikelse för dragbilens framaxel relativt körfältets centrumlinje (Nilsson et al, 2018).

8.2.4 Loggning av högupplöst data från fordon

Vid utvecklingen av autonoma fordon och avancerade förarstödssystem är det viktigt med tillgång till data från verklig körning. Exempelvis kan sådan data användas för att studera olika trafikanters beteende i vissa situationer eller för att träna system som baseras på Machine Learning. Stora mängder data behövs också för verifiering av prestanda hos nya system. Den lastbil som inom ramen för projektet regelbundet transporterar containers mellan Göteborgs hamn och Viared i Borås gav en unik möjlighet att samla in en stor mängd data från körning på flera olika typer av vägar. I det här avsnittet beskrivs det system som utvecklades för att över tid bygga upp ett omfattande dataset från dessa körningar. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till Berger et al (2022). Under första året loggades data från nära 60.000km körning och datasetet fortsätter att växa. En analys av tillgängliga dataset (se Kang et al 2019; Yin och Berger 2017) visar också att det är unikt med ett dataset som skapats med hjälp av en lastbil som kör i daglig trafik. All data samlas på en molnserver där olika analyser kan göras. Ett exempel som lyfts fram i slutet av det här avsnittet är hur situationer med plötslig kraftig inbromsning kan detekteras och analyseras närmare.

Sedan utvecklingen av system baserade på Machine Learning har tagit ordentlig fart är det många aktörer inom fordonsbranschen som loggar stora mängder data från verklig körning för både träning och verifiering av sådana system. Traditionellt har testfordon utrustats för loggning av förhållandevis lågupplöst data från CAN och enklare sensorer som ger information om hastighet, temperatur, acceleration med mera. I takt med att fordonen också utrustas med ett flertal högupplösta sensorer som kameror och LiDAR har volymen insamlad data ökat markant. Detta gör i sin tur att det blir nödvändigt med olika logistiska lösningar för att kunna föra över data från ett fordon till en molnserver där data kan analyseras och användas av utvecklare. I praktiken kan det innebära att budföretag får åka runt och hämta lagringsmedia i fordonen eller att fordonen måste tas till en plats där data kan laddas upp till servern via en kabel. Ingen av dessa lösningar var genomförbar i det här projektet då lastbilen används i daglig drift. Utmaningen blev då att skapa ett system för att kunna ladda upp stora mängder högupplöst data trådlöst via mobilnätet (4G).

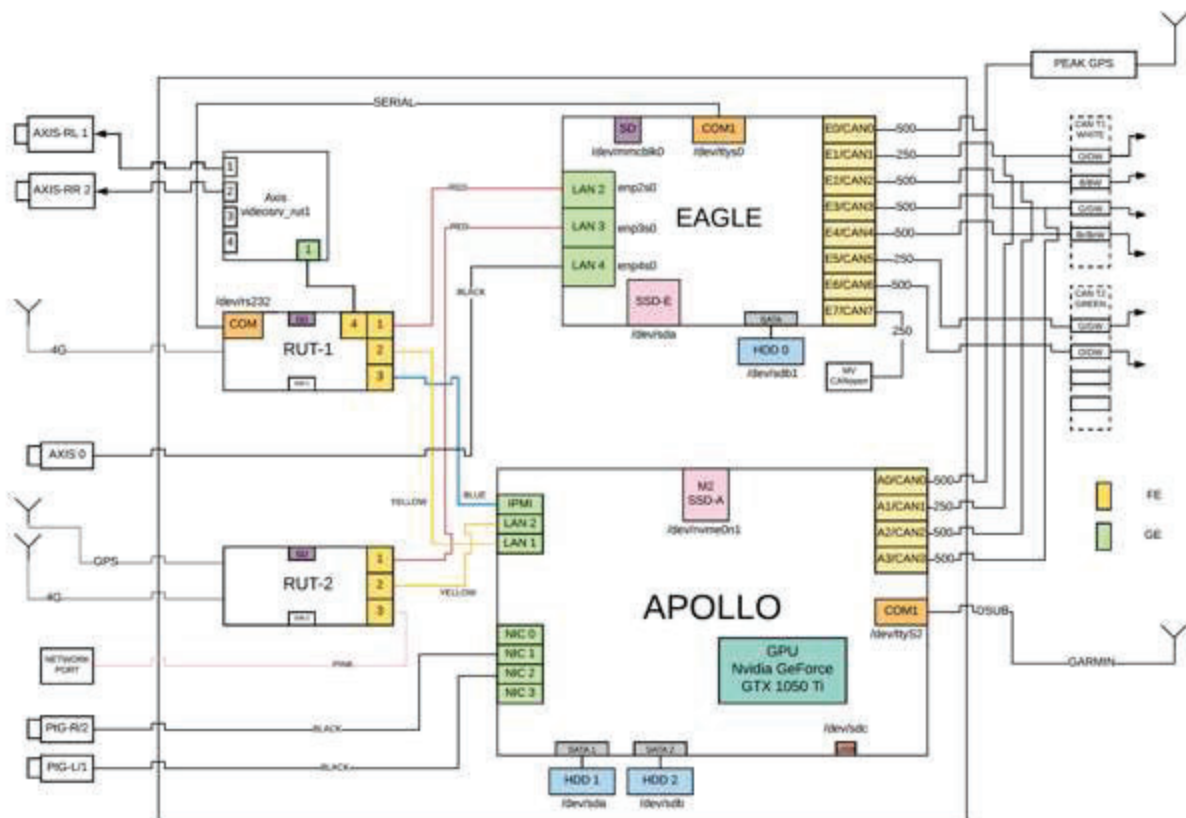
Systemarkitekturen utvecklades baserat på ett antal övergripande krav:

- Tillgång till systemet eller den data som systemet har loggat kan endast ske genom en säker trådlös uppkoppling. Detta eftersom lastbilen hela dagarna används för transporter

och sen antingen parkeras på inhägnat och låst område eller helt enkelt är för långt borta för att det skall vara försvarbart eller praktiskt möjligt att regelbundet ta sig dit för att exempelvis byta hårddiskar.

- Fordonets position, framåtriktad kamera samt data från fordonets CAN skall loggas även om vissa systemkomponenter fallerar.
- Systemet skall inte påverka förarens vanliga rutiner eller körsätt.
- Systemet får endast logga data utanför skyddade områden som Göteborgs hamn.
- Systemet måste själv stänga ner sig när det inte används eller när energinivån i batteriet blir för låg. Systemet skall inte heller använda någon ström från lastbilens startbatteri då lastbilen står stilla.
- Det skall finnas viss redundans i systemet så att det fortsätter fungera (eventuellt med begränsad prestanda) även om någon komponent fallerar.
- Systemet får inte komprimera data så att information går förlorad vilket kan påverka hur data kan användas för senare analyser.

Den slutgiltiga systemarkitekturen illustreras i Figur 32. Alla dataflöden mellan olika komponenter analyserades noga för att säkerställa att kraven på funktion och redundans kan uppfyllas.



Figur 32. Systemarkitektur för loggningssystemet (Berger et al, 2022).

Systemet har två datorer, Apollo och Eagle. Detta säkerställer redundans genom att om den ena datorn fallerar så kan den andra fortsätta att logga åtminstone en delmängd data. Vidare finns det två olika routrar för uppkoppling mot 4G-nätet (RUT-1 och RUT-2). Båda routrarna är kopplade till båda datorerna. Detta ger dels dubbel kapacitet för uppladdning av data, dels redundans ifall den ena routern skulle falla. Det finns härmed också möjlighet att koppla upp sig mot den ena datorn för att göra en komplett ominstallation av all mjukvara på den andra

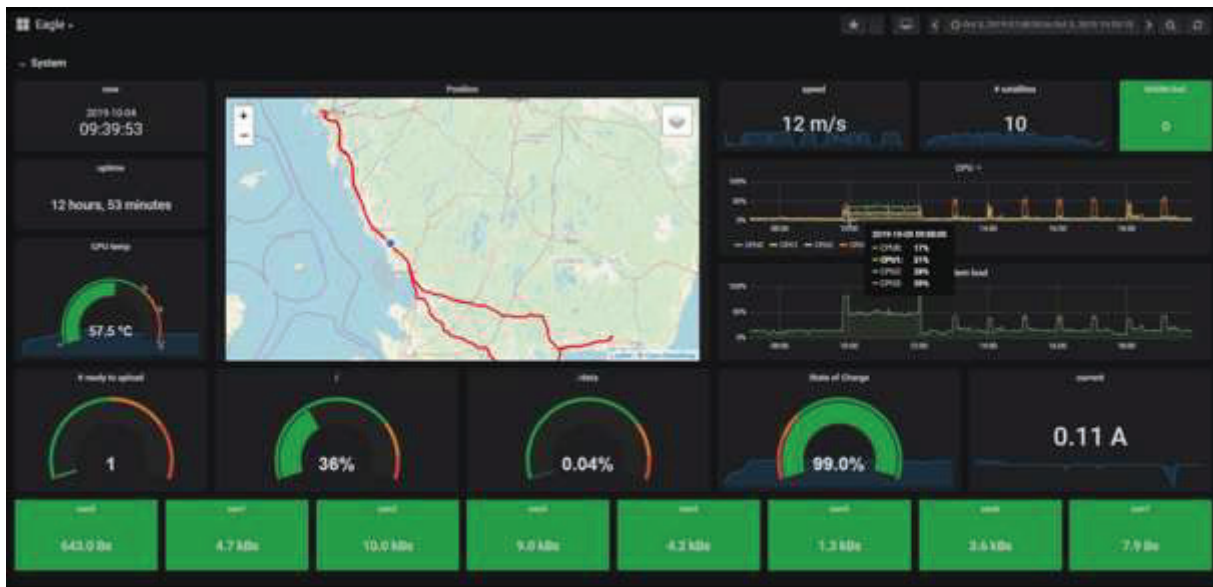
datorn. Kameran Axis 0 är dedikerad till Eagle medan kamerorna PtG-R/2 och PtG-L/1 är dedikerade till Apollo. Dessa tre kameror är placerade i vindrutan på lastbilen och riktade framåt. Kamerorna Axis-RL 1 och Axis-RL 2 är via nätverket kopplade till båda datorerna. Dessa kameror är placerade vid lastbilens backspeglar och är riktade bakåt.

Båda datorerna har access till totalt sex olika CAN-nätverk i lastbilen. De erhåller också båda positionsinformation (GNSS) och accelerometerdata (IMU) via CAN från enheten "PEAK GPS". Utifall den enheten skulle falla finns även en extra GNSS-enhet (Garmin) som har kopplats till Apollo. Det medgav också att Apollo används för att synkronisera alla klockor i systemet (i datorer och kameror) enligt Precision Time Protocol (PTP; standard IEEE1588). I Apollo finns även en GPU (dvs ett grafikkort) som kan användas för förlustfri komprimering av videodata från PtGrey-kamerorna (PtG-R/2 och PtG-L/1 i figuren). Det gör också att Apollo kan användas för exempelvis Machine Learning för att analysera bilder och söka efter objektinformation i den loggade datan redan innan den skickas till molnservern.

För att hinna med att ladda upp all data från en dags körning är det nödvändigt att systemet får jobba även på natten då lastbilen står parkerad. För att inte ladda ur lastbilens startbatteri installerades ett separat system för elförsörjning till loggningssystemet då lastbilens motor är avstängd. Detta består av ett litiumjonbatteri och en batteriladdare som är aktiv så snart lastbilens motor är igång. Lastbilens generator laddar då upp batteriet medan lastbilen kör. En batterishunt håller koll på batteriets laddningsstatus och ser till att det inte laddas ur för mycket, vilket kan skada batteriet. Batteriets laddningsstatus är hela tiden tillgänglig via ett CAN-open interface i shunten. När strömmen i batteriet börjar ta slut får systemet en signal via CAN-openinterfacet att stänga ner innan strömmen stängs av. Så snart lastbilen startas så startar loggningen igen. Med denna lösning är laddningen helt automatiserad och föraren behöver exempelvis inte komma ihåg att varje dag efter sitt körpass koppla in en laddkabel till ett vägguttag eller liknande.

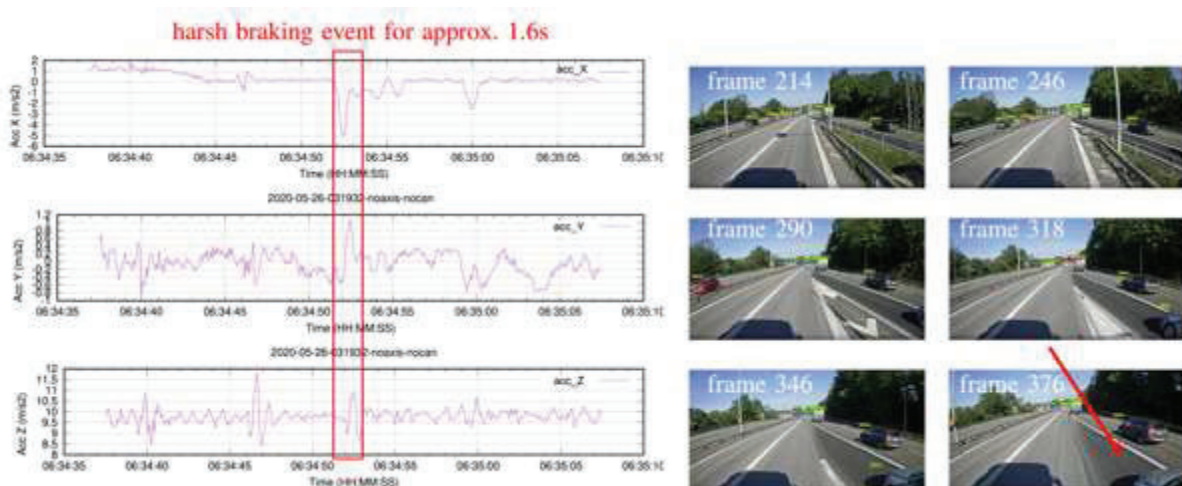
Systemet använder Linux som operativsystem och mjukvaran hanteras med Docker som gör det enkelt och säkert att konfigurera och drifta systemet. Det underlättar också underhåll av systemet via uppkopplad länk då komplett ny mjukvara kan förberedas och sedan laddas upp som ett paket. Loggad kördata laddas kontinuerligt upp via krypterad länk till ett krypterat lagringssystem på molnservern så snart systemet är anslutet till internet via 4G (eller 3G). Loggningssystemet genererar ungefär 200GB data per körtimme. Den absolut största delen av detta (94%) står de två högupplösta PtGrey-kamerorna för. Axiskamerorna står för 5% av datamängden och resterande 1% kommer från GNSS och de sex CAN-nätverken i lastbilen. De två 4G-routerna kan normalt ladda upp ca 6GB/timme vardera i det område där lastbilen körs. Det innebär att det skulle ta mer 100 timmar att ladda upp all data från en dags körning. Därför görs ytterligare komprimering av den videodata som laddas upp till molnservern vilket gör att viss information då går förlorad. Samtidigt sparas denna videodata utan ytterligare komprimering i systemet i lastbilen. Det gör att en första analys av data kan göras på molnservern för att exempelvis söka efter intressanta händelser (se exempel nedan). När man finner någon intressant händelse som behöver mer högupplöst data för en djupare analys så kan sådan data (som inte har komprimerats så att information går förlorad) begäras från systemet i lastbilen för en viss avgränsad tidsperiod. På så sätt erhålls högupplöst data som kan användas för exempelvis träning av system för Machine Learning. Samtidigt undviks att molnservern fylls med högupplöst data med timme efter timme av körning utan några särskilt intressanta händelser.

För att veta att systemet fungerar som det skall finns en övervakningsfunktion som dels presenterar aktuell status på en skärm (se Figur 33), dels meddelar den person som är ansvarig för driften via sms ifall något inte står rätt till. På skärmen framgår bland annat lastbilens aktuella position och hastighet, hur många CAN-nätverk som är anslutna och levererar data, batteriets laddningsstatus samt en mängd information om datorernas hälsotillstånd och hur mycket lagringsutrymme som finns ledigt.



Figur 33. Övervakningsfunktion för loggningsystemet (Berger et al, 2022).

För att ge ett exempel på hur loggad data kan användas gjordes en demonstration av sökning efter en specifik händelse. I det här fallet önskades information om händelser där lastbilen hade gjort en relativt hård inbromsning. En sådan händelse kan identifieras på många olika sätt, exempelvis att föraren trampar hårt på bromspedalen. Sådan information är tillgänglig via CAN. I det här fallet hade vi ännu inte möjlighet att analysera CAN-data från lastbilen i detalj. Vi valde därför istället att söka efter händelser där accelerometrarna hade registrerat longitudinell retardation på 0,5G eller mer. Vid sökning i den loggade datan hittades sammanlagt 23 händelser från totalt 193 dagars körning. För varje sådan händelse laddades 20-30 sekunder videodata från händelsen ner från servern som möjliggjorde en visuell analys av varje situation. I Figur 34 visas ett exempel på en sådan situation. Till vänster finns accelerationsdata och den röda ramen visar ett tillfälle där en kraftig inbromsning registrerades. Notera att alla tre accelerometrar gav utslag, vilket beror på att de är monterade i lastbilens hytt som gungar till vid inbromsningen. I bilderna till höger i figuren som kommer från en av videokamerorna (och som har anonymiserats) kan man se att det kommer en bil på påfarten från höger som föranleder inbromsningen. I det här fallet gick allt bra och ingen kollision inträffade. En situation som denna kan dock ge viktig information för exempelvis utvecklingen av nya förarstöds-system.



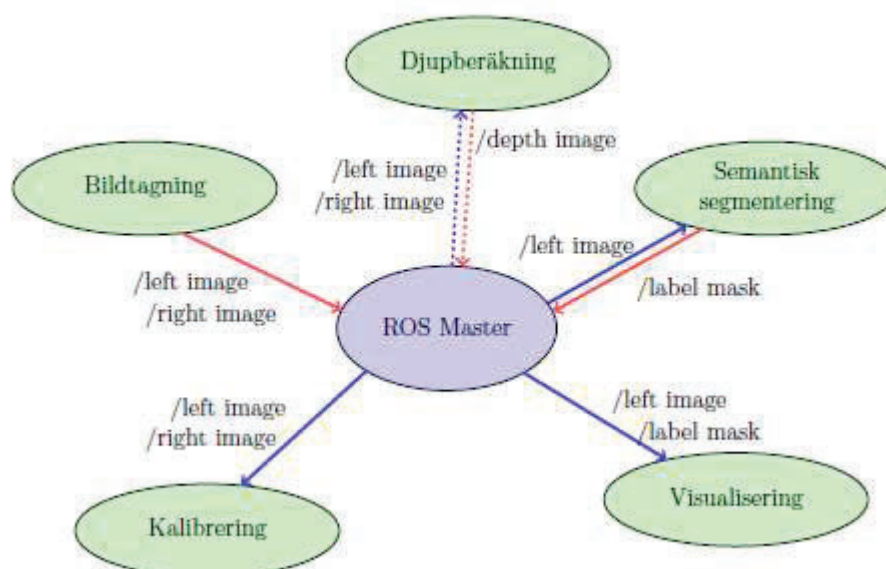
Figur 34. Exempel på en händelse där lastbilen tvingades bromsa hårdare än normalt (Berger et al, 2022).

Den här delen av projektet har alltså visat på hur stora mängder högupplöst data kan loggas från fordon över längre tidsperioder via uppkopplad länk. Projektets parter, framförallt Volvo och Chalmers, har visat stort intresse för den loggade datan. Genom att anonymisera data, exempelvis genom att suddas bort alla registreringsskyltar på andra fordon, kan data delas med fler användare. Utöver autonom körning och förarstödsystem kan den här typen av data även användas för exempelvis dimensionering av (hybrid-)elektriska drivlinor eller variationer i väglag.

8.2.5 Kamerabaserat referenssystem

För att tolka och förstå fordonets omgivning kan så kallad semantisk segmentering (se Zhao et al, 2018) användas för att dela in en bild i olika fält baserat på vilken typ av objekt som finns i bilden. Genom att använda två kameror som riktas åt samma håll och som har ett fast inbördes avstånd, så kallade stereokameror, kan bildinformationen även användas för att beräkna djup i bilden. I projektet utvecklades ett system främst för att fungera som ett referenssystem (ground truth) och inte primärt som en del av fordonets perceptionssystem. Två kameror placerades i fronten på dragbilen, se Figur 36. Kamerasystemet består förutom hårdvaran även av Machine Vision-algoritmer (främst neurala nätverk) för att identifiera och klassificera objekt (se Combitech, 2020).

Systemet implementerades i Python och C++. Systemet är modulärt uppbyggt och använder ROS (Robot Operating System) där varje modul är en så kallad ROS-nod. Skissen i Figur 35 visar systemets alla moduler och vilka meddelanden (topics) som varje nod publicerar. De blå pilarna visar vad noden prenumererar på och de röda visar vad noden publicerar och/eller prenumererar på. Djupberäkningen kunde inte köras i realtid (se nedan) och därför är de pilarna streckade. Det går även bra att använda redan inspelad data istället för att ta bilder med kamerorna. Då används ett program som läser in bilder eller videos istället.



Figur 35. Systemskiss över de ROS-noder som implementerades i systemet (Combitech).

För att djupberäkningen skall fungera är det mycket viktigt att kamerorna är väl synkroniserade. Därför valdes en typ av kameror med avancerad styrning av slutaren, dvs man vet exakt när en bild tas. Vidare användes Precision Time Protocol (PTP) för att tidsstämpla och synkronisera informationen från kamerorna. En kamerakalibrering implementerades där varje kamera först kalibreras var för sig, sedan görs även en stereokalibrering mellan de två kame-

rorna. I kalibreringen beräknas dessutom kameramatrixen för respektive kamera, vilken behövs för att producera punktmoln från djupdata. Till kamerakalibreringen användes speciella kalibreringsbräden.

De två kamerorna på dragbilen monterades med 50 cm mellanrum, alltså en stereobas på 50 cm (se Figur 36). Denna stereobas valdes som en kompromiss mellan att kunna detektera objekt relativt nära lastbilen och samtidigt få en tillräckligt god precision på längre håll.



Figur 36. Kamerasystemet monterat på dragbilen (Combitech).

För att skapa en avancerad objektidentifiering implementerades ett neuralt nätverk för semantisk segmentering. Det finns flera nätverks-arkitekturer som tävlar om att ge högst noggrannhet. För detta projekt behövdes snarare ett nätverk som presterar tillräckligt bra samtidigt som det kan köras i realtid. Det alternativ som framstod som mest användbart var ICNet (Zhao et al, 2018), implementerat i Keras med Tensorflow Backend, vilket också är det nät som användes för denna prototyp. Två externa dataset som är öppna att användas i forskningssyfte har använts för att träna nätverket; Cityscapes (Cordts et al, 2016) och Apollo Scape (Huang et al, 2019). Apollo Scape är ett omfattande dataset inspelat i Hong Kong där endast en delmängd av dessa bilder användes för träning. Cityscapes är inspelat i Tyska städer och innehåller 5000 bilder, hela detta dataset användes.

Det slutgiltiga nätet har tränats på att klassificera följande 20 klasser:

0: Road	7: Traffic sign	14: Truck
1: Sidewalk	8: Vegetation	15: Bus
2: Building	9: Terrain	16: Train
3: Wall	10: Sky	17: Motorcycle
4: Fence	11: Person	18: Bicycle
5: Pole	12: Rider	19: Miscellaneous
6: Traffic light	13: Car	

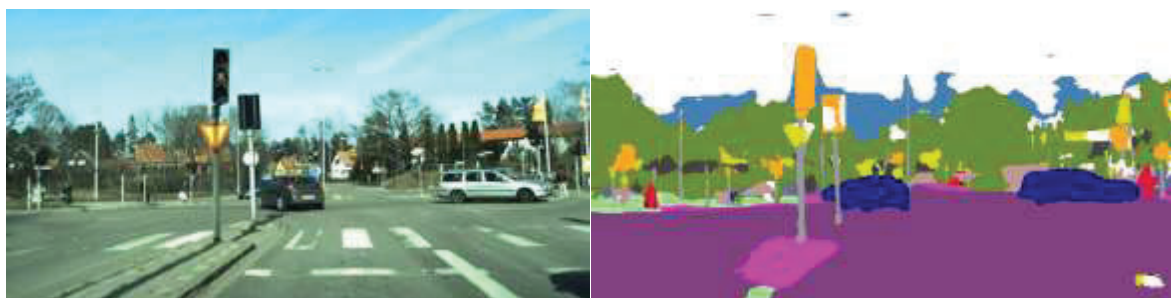
En algoritm för att räkna ut djupet implementerades och den fungerade, men några problem måste lösas för att det ska fungera bra. Snabbare beräkning av djupet krävs, och för det skulle förslagsvis GPU/Hårdvaruimplementering kunna användas för att öka hastigheten. Nu tog det ca 2,5 sekunder för en fullskalig bild att beräknas (på CPU). Noggrannheten skulle kunna förbättras ytterligare främst genom mer noggrann parameterkalibrering av kameror mm. Trots val av avancerade kameror med reglerbara slutare och implementering av PTP för

tidssynkronisering så fungerade inte alltid synkroniseringen tillfredsställande. Detta gör att djupinformationen inte blir korrekt, framförallt inte för rörliga objekt. Slutligen var valet av linser/objektiv på kamerorna en kompromiss för få bildinformation både på korta och långa avstånd. Med andra linser skulle det gå att få bättre djupinformation på långa avstånd.

Försök gjordes att slå samman djupdata med RGB-bilderna, dvs att med hjälp av djupdata ange avstånd till identifierade objekt i en bild. Bland testades att lägga djupkartan som en fjärde dimension till RGB-bilderna. Det testades också att låta djupkartan gå i en egen ström och sedan sammanföra de två strömmarna på slutet. Resultat var en nästan obefintlig förbättring, vilket gjorde att dessa försök lades ned med tanke på hur mycket mer beräkningar som krävs för att ta fram djupinformationen i en bild. Några teorier till varför djupinformationen inte bidrog till en förbättring:

- Den låga upplösningen/noggrannheten i djupinformationen gör att information är bäst på nära håll, å andra sidan uppstår en "kant" runt objekten med blinda pixlar (i och med att dessa områden inte syns i båda kameror) för objekt nära kameran vilket gör att djupet inte kan bidra till en mer exakt konturdragning av den semantiska segmenteringen.
- På längre avstånd är noggrannheten så pass låg (det mesta blir någon slags dimma) att segmentering på pixelnivå inte kan dra någon nytta av informationen. Möjligtvis kan djupkartan vara av större nytta för instanssegmentering, dvs att särskilja flera objekt av samma typ som annars ser ut att flyta samman.

I Figur 37 visas ett exempel på resultat från systemet. Till vänster i visas indatan till nätverket. Bilden är tagen med de specificerade kamerorna. Den högra bilden visar outputen från systemet. De olika färgerna representerar olika objekt, till exempel så är människor röda, bilar är mörkblå och väg är lila.



Figur 37. Input (till vänster) och output (till höger). Varje färg i output-bilden representerar en typ av objekt (Combitech).

Systemet har en maximal hastighet på 16 fps (bilder per sekund). Det är ICNet som är flaskhalsen i systemet. Körs båda kamerorna samtidigt går det att köra dem i ca 18 fps medan det går bra att köra en kamera i ca 22 fps. Med de linser som specificerats kan objekt (bilar) på ca 170 m avstånd (i 16 fps) detekteras. Avståndet till vad som kan detekteras beror på upplösningen (och kvaliteten) på bilden. Bildens upplösning bidrar också till hur snabbt systemet är. Lägre upplösning ger färre pixlar vilket ger ett snabbare system, men med sämre förmåga att detektera objekt.

Några reflektioner gällande resultaten av den här delen av projektet. Testerna visade att den semantiska segmenteringen fungerade tillfredsställande, men den kan förbättras ytterligare i olika avseenden. För att vidareutveckla systemet mot en mer kommersiell lösning behöver egen data att träna systemet på tas fram då de dataset som används till träningen inte får användas i andra syften än forskning. Vidare behövs förbättrad och snabbare djupberäkning. En möjlig väg för att uppnå detta är bättre anpassa kameror och objektiv för ändamålet. En bredare stereobas (avståndet mellan kamerorna) ger en mer noggrann djupberäkning på långt håll medan det genererar mer skymda områden nära kamerorna. För att kunna maximera de

positiva effekterna med en bred stereobas bör även objektiven vara anpassade till att ge en högre upplösning på längre avstånd, alltså ha en smalare "field-of-view". Att ha två olika stereopar med olika objektiv borde ge en bättre djupkarta, däremot tillkommer då ett behov av att sammanföra dessa olika djupbilder (sensor fusion) och mer datakraft kommer krävas för ett snabbt resultat. I de fall flera objekt av samma typ överlappar varandra i en bild så tenderar de att "flyta ihop" till ett objekt. Ett nästa viktigt steg borde därför vara att lägga till en instans-segmentering som hjälper till att urskilja enskilda objekt.

8.2.6 Transportledningssystem för autonoma fordon

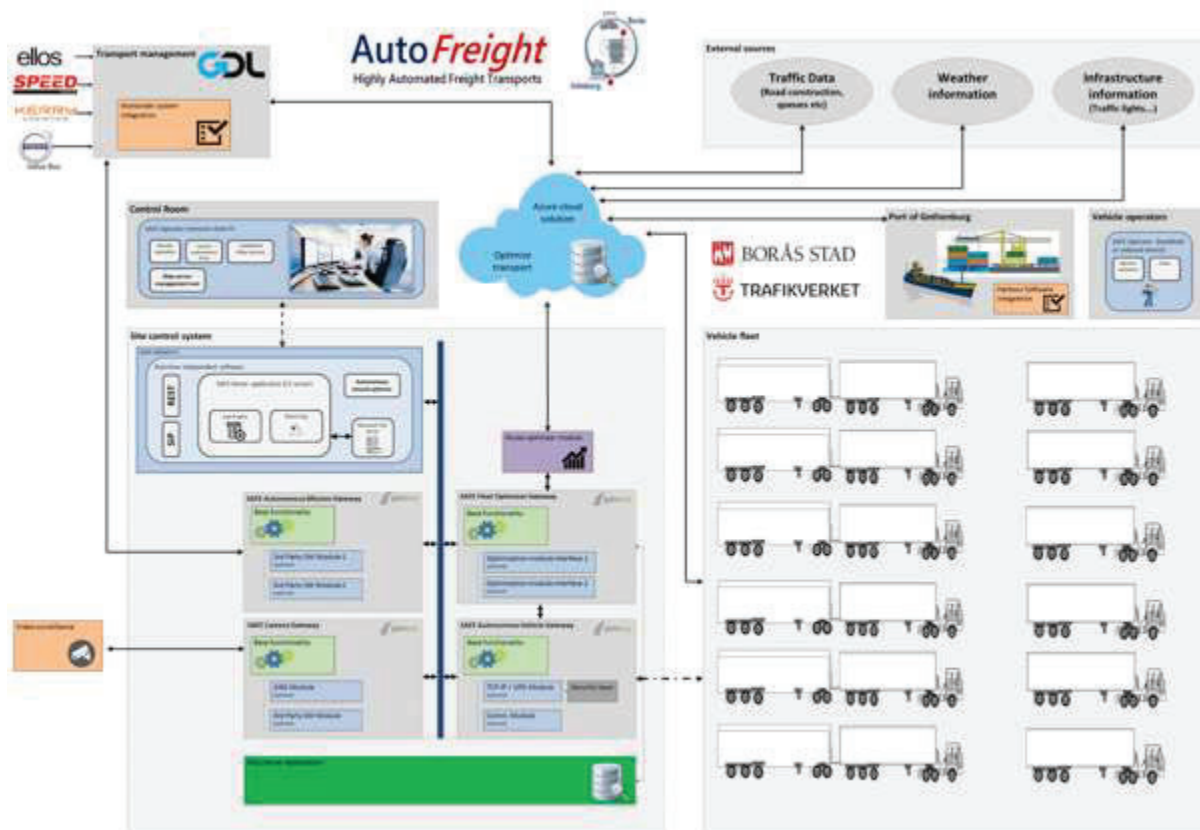
Transportledningssystem används redan idag för många olika former av logistik och transporter. Med automatiserade fordon i fordonsflottan ställs nya krav på sådana system och nya funktioner behöver utvecklas. Därför gjorde projektet tester med att implementera ett transportledningssystem anpassat för autonoma fordon (se Combitech, 2020). Då testerna genomfördes fanns emellertid inga autonoma transportfordon i verklig trafik så kommunikationen med fordonet gjordes med hjälp av en surfplatta som den mänskliga föraren interagerade med.

Combitechs transportledningssystem ATMS (Autonomous Transport Management System) användes för denna implementering. Det består av ett antal olika komponenter, där huvuddelen är ett kontrollrum för hantering av en flotta av autonoma fordon. Som bas för kontrollrumsapplikationen användes Saabs mjukvara SAFE (Situational Awareness for Enhanced Security). SAFE används sedan tidigare kommersiellt i bland annat kontrolltorn på flygplatser, kontrollrum för fängelser och koordinering av kommunaltrafik, se Figur 38.



Figur 38. Situational Awareness for Enhanced Security – SAFE (Saab/Combitech).

En annan viktig del i transportledningssystemet är ett antal gateway-applikationer som utvecklades för att möjliggöra kommunikation mellan SAFE-applikationen och autonoma fordon. Gateway-applikationerna implementerades som service-funktioner mellan fordonen och SAFE-basprogrammet. Figur 39 nedan visar hur gateway-applikationerna kommunicerar med övriga delar av systemet. Det finns totalt fyra olika gateways för Autonomous mission, Camera, Fleet optimizer samt Autonomous vehicle.



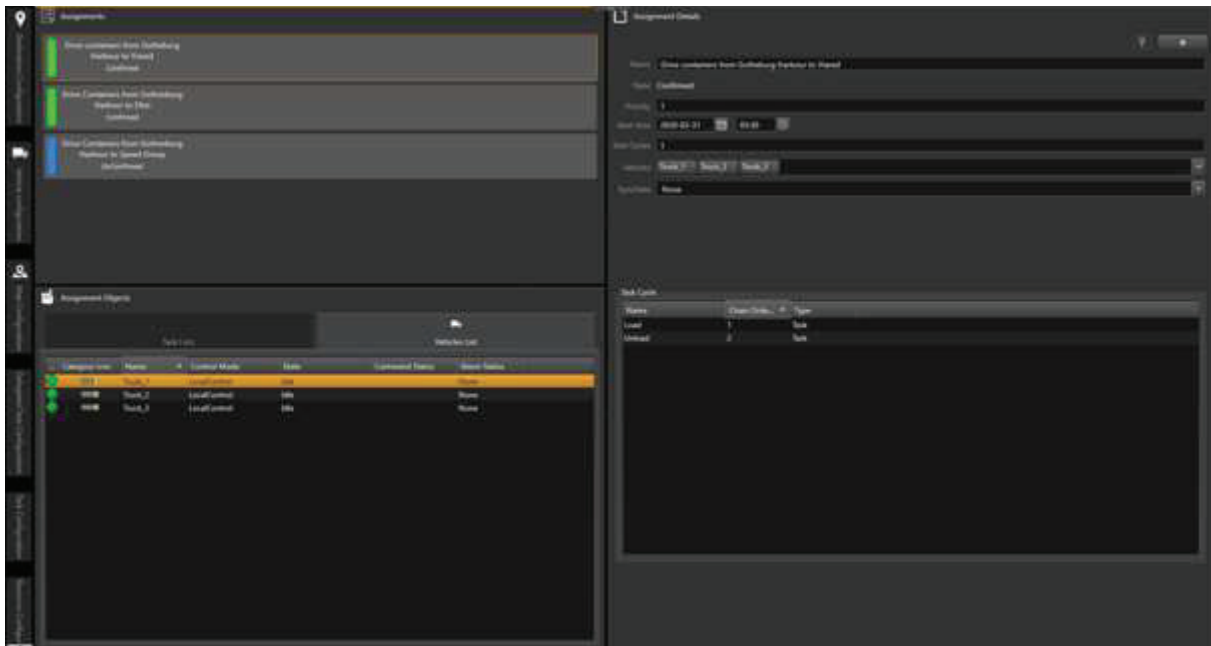
Figur 39. Systemöversikt för alla delar i Autofreight-projektet (Combitech).

Kontrollrumsmjukvaran SAFE består enkelt uttryckt av två huvuddelar, en klient-mjukvara och en server-mjukvara (egentligen består såväl klient- och servermjukvara av flera delar). Servermjukvaran är i sin tur kopplad till ett antal serviceapplikationer. I SAFE konfigurerades ett antal vyer för att en kontrollrumsoperatör skall kunna styra och övervaka en flotta av autonoma fordon.



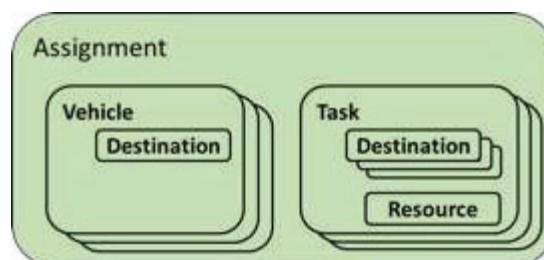
Figur 40. Kartvy tillsammans med videoövervakning (Combitech).

I Figur 40 visas en interaktiv karta i vilken operatören kan zooma in/ut, klicka på fordon, destinationer och så vidare. Till höger i figuren visas videoövervakning från två kameror. Observera dock att bilderna som visas i exemplet är "dummy-data" i form av gamla inspelningar från två av Trafikverkets kameror i Göteborg.



Figur 41. Uppdragsvy (Combitech).

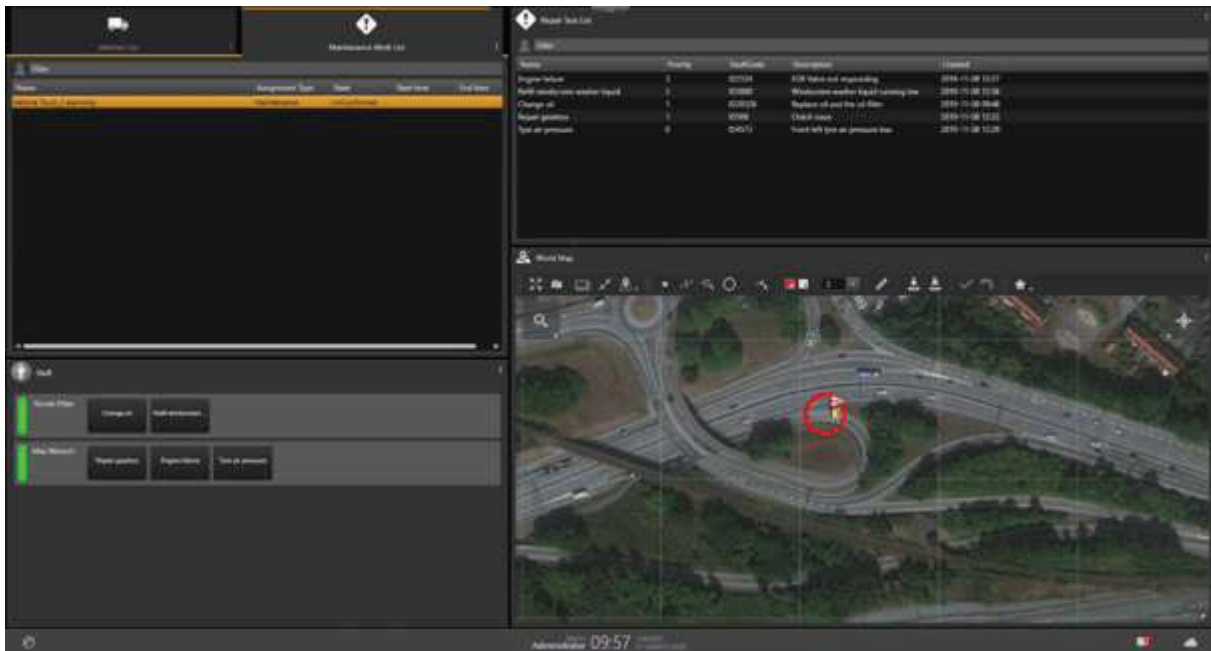
I Figur 41 kan operatören planera och administrera uppdrag för autonoma fordon. Genom tabbarna till vänster är det också möjligt att administrera enskilda fordon, destinationer etc. Hur uppdrag, fordon och destinationer är kopplade till varandra beskrivs av Figur 42. Varje uppdrag (Assignment) kan omfatta ett antal fordon (Vehicle) och ett antal uppgifter (Tasks).



Figur 42. Uppdrag för autonoma fordon (Combitech).

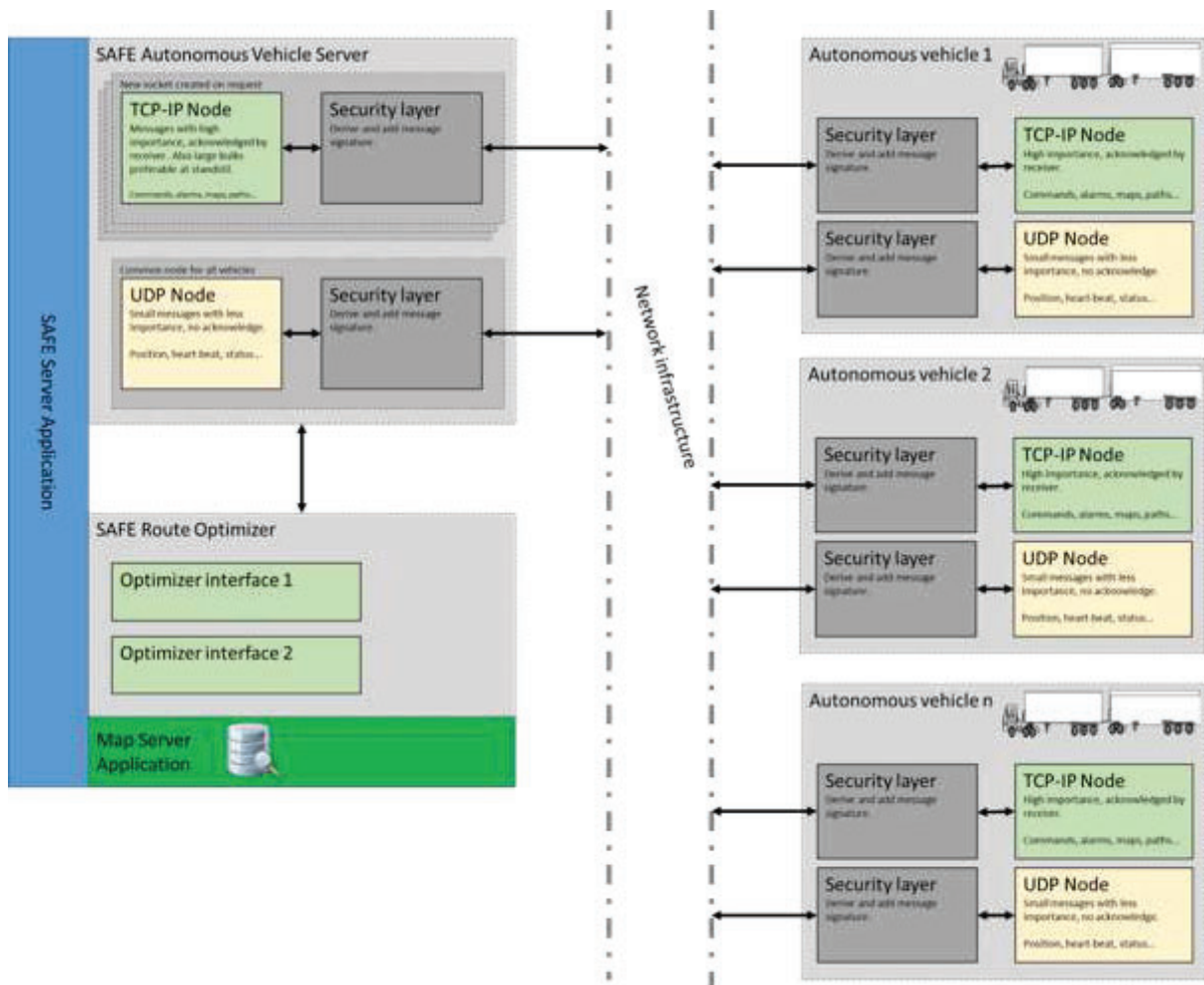
Varje uppgift innehåller minst en destination (Destination). En uppgift kan även innehålla flera destinationer eftersom exempelvis avlastning kan ske på en rad olika platser inom samma område (som i Viareds industriområde). Varje fordon kan också ha en huvuddestination knuten till sig, typiskt en parkeringsplats som fordonet åker till när alla uppdrag är slutförda. En uppgift kan även innehålla en resurs (Resource). Ett exempel på när en resurs används är när en människa manuellt sköter avlastningen från fordonet. Då måste människan, exempelvis via en app i telefonen, tala om när avlastningen är klar. Appen är i detta fall den resurs som kopplas till uppgiften.

Sista layouten som togs fram för projektet är en verkstadslayout. Denna används för att knyta en verkstadsmechaniker till ett fordon som fått någon typ av fel, se Figur 43. I exemplet i Figur 43 finns två verkstadsmechaniker kopplade till systemet och det finns en rad problem som fordonen rapporterar. I kartan ser mekanikern vart fordonet är och beroende på symbol på fordonsikonen kan det snabbt utläsas hur allvarligt felet är.



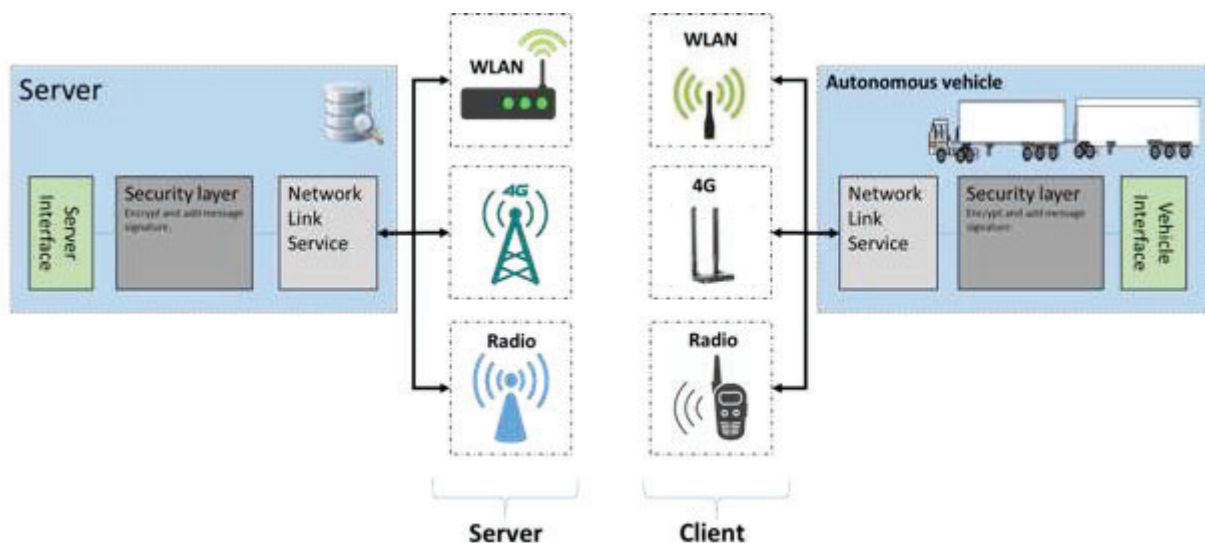
Figur 43. Verkstadslayout (Combitech).

Väldigt känslig information så som kommandon till autonoma fordon skickas mellan SAFE och fordonen, och därmed ställs stora krav på säkerheten. I projektet adresserades framförallt två olika säkerhetsrisker, dels cybersäkerhet för att minska risken för hacker-attacker, dels säkring av en mer kontinuerlig uppkoppling för att fordonet alltid skall ha senaste data från back end-systemet, se Figur 44.



Figur 44. Kommunikation mellan SAFE och fordon (Combitech).

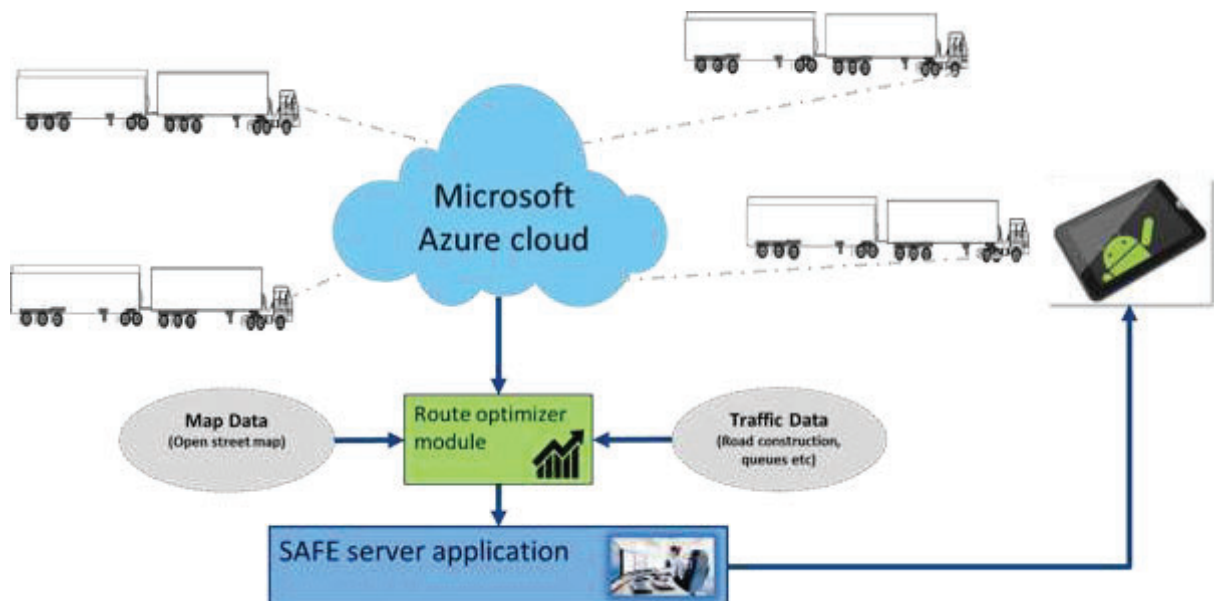
För att säkra uppkopplingen och därmed öka tillgängligheten i kommunikationen mellan fordon och server-systemet implementerades en lösning där dataöverföringen kan växla dynamiskt mellan olika kommunikationsgränssnitt såsom WLAN, Radio och 4G/LTE, se Figur 45.



Figur 45. Multi WAN-lösning för att kunna använda multipla kommunikationslänkar (Combitech).

Det är också möjligt att skicka särskilt kritiska meddelanden på alla tillgängliga kommunikationslänkar samtidigt. Endast det meddelande som når fram först kommer att processas.

Kommunikationen med fordonen och den data som samlas in möjliggör också optimering av ruttplanering för fordonen. Datan loggas i en PostgreSQL-databas i Microsofts molntjänst Azure. Figur 46 nedan visar hur molntjänsten kommunicerar med övriga delar i systemet via en modul för ruttoptimering.



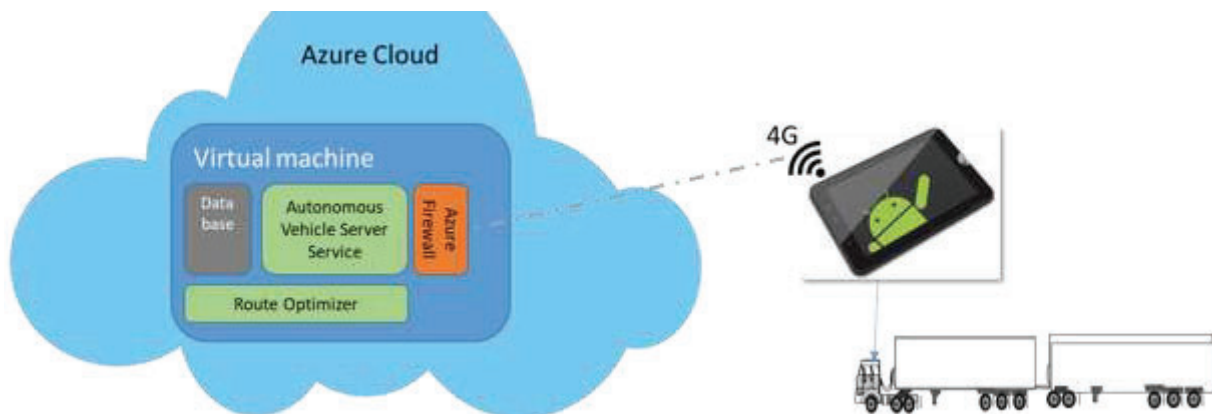
Figur 46. Ruttoptimering och Remote logging (Combitech).

Då projektfordonet som kört mellan hamnen i Göteborg och Borås/Viared framfördes av en mänsklig förare installerade vi en surfplatta i förarhytten för att kunna simulera att fordonet var autonomt genom att ge föraren instruktioner. Instruktionerna var samma som en dator i ett autonomt fordon skulle ha fått, men översatta så att en människa enkelt kan förstå och läsa dom. I systemet fungerar då lastbilen som en mätprobe som via den uppkopplade surfplattan skickar data till Azure-databasen.

Av sekretesskäl begränsades datan till följande i projektet:

- Fordonets position (GPS-koordinat)
- Fordonets hastighet
- Fordonets rörelseriktning (heading)
- Uppdragsinformation såsom: Lastningsplats, lossningsplats, tidigaste tid för leverans, senaste tid för leverans

Datan skickas över 4G eller 3G till den virtuella maskinen på Azure och lagras i en databas och används i framtida rutt-optimeringar för att förfina beräkningen, se Figur 47.



Figur 47. Virtual machine mjukvaruimplementering i Azure (Combitech).

I Azure sker kommunikationen med fordonen via en brandvägg i Azure i vilken en särskild port öppnats för kommunikationen med fordonen. Den kommunikation som sker mellan fordon och back-end framgår av Figur 48.

Meddelande	Riktning	Protokoll	Beskrivning
Connect	Fordon → SAFE	TCP-IP	Begäran att ansluta fordonet till transportledningssystemet.
Disconnect	Fordon → SAFE	TCP-IP	Frånkoppling av ett fordon från transportledningssystemet (när ett fordon stängs av exempelvis).
ConfigGet	SAFE → Fordon	TCP-IP	Hämtar fordonskonfiguration, t.ex. fordonstyp och hur mycket last det kan ta.
Subscribe	Båda riktningar	TCP-IP	Begäran att prenumerera på ett meddelande med en given frekvens. T.ex. bränslenivå eller lastmängd.
Unsubscribe	Båda riktningar	TCP-IP	Tar bort en aktuell prenumeration.
Status	Båda riktningar	UDP	Innehåller en statusuppdatering med de meddelanden som motparten valt att prenumerera på. Vid olika frekvenser sänds flera status-meddelanden.
ControlModeSet	SAFE → Fordon	TCP-IP	Begäran att ändra operationsläge på fordonet: manuellt för manuell körning, autonomt för autonom körning, etc.
Heartbeat	Båda riktningar	UDP	Litet meddelande vars enda syfte är att bekräfta att kommunikationslänken mellan fordonet och ledningssystemet är vid liv.
PostMotion	Fordon → SAFE	UDP	Fordonets position, rotation samt hastighet. Meddelandet kan antingen skickas som lat/long för public road och som kartesiska koordinater för angränsade områden under mark.
Alarm	Fordon → SAFE	TCP-IP	Indikerar att något är fel, antingen på fordonet eller att något blockerar fordonet.
StopVehicle	SAFE → Fordon	TCP-IP	Begäran om att fordonet skall stanna. Inte att betrakta som ett nödstopp eftersom vi inte garanterar ständig uppkoppling.
TaskExecute	SAFE → Fordon	TCP-IP	Begäran om att fordonet skall utföra en uppgift, exempelvis lastning eller avlastning.
TaskStatus	Fordon → SAFE	TCP-IP	Används för att tala om när en uppgift utförts av fordonet, till exempel lasta eller lasta av.
Mission	SAFE → Fordon	TCP-IP	Innehåller en fordonsrutt som fordonet skall följa. Dessa meddelanden kan skickas under tiden som fordonet kör till följd av exekverad ruttoptimering.
MapTransfer	Båda riktningar	TCP-IP	Används för att skicka kartinformation till kartservern efter inspelning, och för att distribuera kartinformation från servern till fordon.
PathTransfer	Båda riktningar	TCP-IP	Används för att skicka ruttinformation till kartservern efter inspelning, och för att distribuera ruttinformation från servern till fordon.

Figur 48. Signalmeddelanden mellan server och fordon (Combitech).

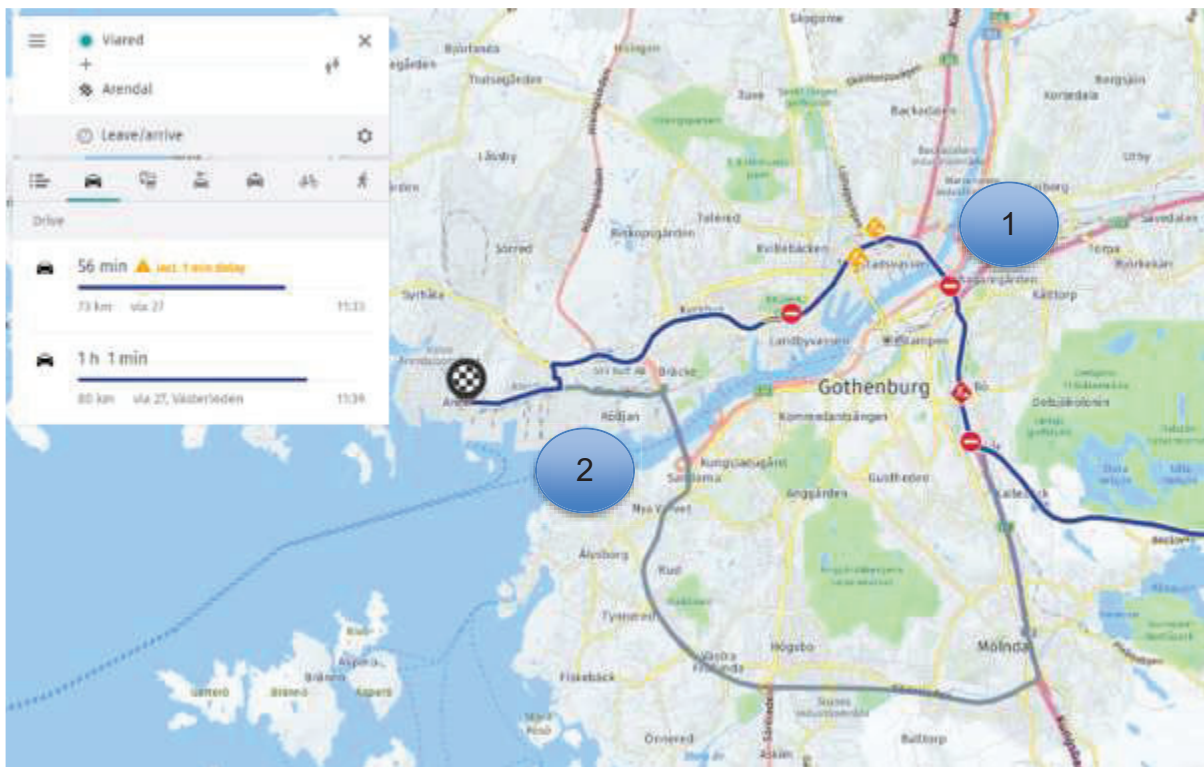
De meddelanden som lagras i Azure-databasen kommer främst som statusmeddelanden som skickas på begäran om prenumeration. Även all positionsdata som kommer i PostMotion-meddelanden lagras. Utöver data från fordonen kan information från exempelvis externa karttjänster användas. Optimeringen går sedan ut på att beräkna en så effektiv rutt och hastighetsprofil som möjligt. Ju mer data som finns tillgängligt desto bättre kan detta göras. I projektet användes data från följande källor:

- Loggad fordonsdata från databasen i Azure
- Kartinformation från Open Street Maps
- Dynamisk trafikinformation via API från tjänsten HERE
- Statisk trafikinformation (vägarbeten m.m.) från Trafikverket via deras API

Ruttoptimeringen går till på följande sätt:

1. Ett uppdrag initieras där en transport skall genomföras från exempelvis APM Terminals i Göteborgs hamn till Ellos i Viared. GPS-koordinaterna för start/stopp hittar vi med hjälp av Open Street Maps.
2. Data om fordonet samlas in, huvudsakligen:
3. Typ av fordon
4. Vilken maximal hastighet fordonet får framföras i
5. Datan från 1 och 2 skickas till tjänsten HERE för att beräkna olika rutt-alternativ, samt tid och sträcka för respektive rutt. HERE-tjänsten tar med dynamisk trafikinformation i beräkningen. I Figur 49 visas ett exempel där det finns två möjliga rutter som kräver olika tid för att köras.
6. Med hjälp av insamlad bränsleförbrukningsdata tillsammans med rutt-information från HERE estimeras total bränsleåtgång för respektive rutt.
7. Baserat på viktning mellan bränsleekonomi och tidsåtgång väljs optimal rutt och skickas sedan till aktuellt fordon för exekvering.

I Figur 49 nedan är Viareds industriområde startpunkt och Arendal i Göteborg är slutdestination. Resultatet av HERE-optimeringen blir i detta fall två olika rutter, en som beräknas ta 56 minuter och en som beräknas ta 61 minuter. Om vi endast väljer att optimera för kortast möjliga tid kommer algoritmen att välja rutten som beräknas ta 56 minuter. Genom att använda insamlad data över bränsleförbrukning tillsammans med ruttinformationen kan även en uppskattad bränsleåtgång beräknas. Detta görs på två olika sätt beroende på om det redan finns loggad data på rutten eller ej:



Figur 49. Ruttplanering inklusive dynamisk trafiksituation (Combitech).

8. Loggad data finns: I detta fall används loggad data som grund för uppskattad förbrukning vid nästa körning på samma sträcka.
9. Ingen data finns på angiven sträcka. I detta fall görs en estimering utifrån fordonets hastighet och höjdprofilen på vägsträckan.

Beräkningen ger i detta fall:

Rutt	Sträcka (km)	Tid (min)	Uppskattad bränsleåtgång (l)
Ruttalternativ 1 via Tingstadstunneln	73km	56	24,1
Ruttalternativ 2 Via Älvsborgsbron	80km	61	26,8

Figur 50. Tid och bränsleekonomi för respektive rutt (Combitech).

I Figur 50 visar sig ruttalternativ 1 beräknas klart fördelaktigast eftersom detta alternativ uppskattas ta kortare tid och dessutom ge upphov till lägre bränsleförbrukning. Slutligen skickas så ruttalternativ 1 till fordonet varpå exekvering påbörjas.

Eftersom resultatet från ruttoptimeringen är byggt för att skickas till ett autonomt fordon behövdes ett sätt att istället kunna fånga upp signalen och presentera den på ett för föraren begripligt sätt. Därför implementerades funktionaliteten istället i en Android läsplatta, se Figur 51. Android-applikationen installerades på en surfplatta i logistiklastbilen och har testats i trafik. Här visar Androidappen att föraren skall hålla 60m/h. Max tillåten hastighet på vägen är i det här fallet 70km/h, men eftersom det inte är bråttom till leverans och eftersom bränsleförbrukningen minskar då hastigheten sänks rekommenderas 60km/h.



Figur 51. Test av Android-app på Lundbyleden, Göteborg (Combitech)

8.2.7 Backningssupportsystem

Att kunna backa med en A-dubbel är nödvändigt, exempelvis vid rangering. I fallet med lastning av containers i Göteborgs hamn måste hela fordonskombinationen backas in för lastning av containers då lastbilar inte får köra runt och korsa gränsletruckarnas väg. Backning med en A-dubbel kan dock vara utmanande då det finns tre ledpunkter i kombinationen. Dessutom är dollyn kort i förhållande till de semitrailers som den är kopplad till. Det gör att även små avvikelser i dollyns position (vridning) snabbt leder till en situation där det blir svårt att korrigera avvikelsen genom att svänga med den första trailern i kombinationen. Förarens förmåga att backa med fordonskombinationen påverkar hur lång tid som måste spenderas vid exempelvis lastning i hamnen. Då det är brist på kvalificerade förare så gör utmaningen med backningen att det kan vara svårt att hitta ersättare vid exempelvis sjukdom, vilket därmed påverkar logistiksystemets flexibilitet. Därför utvecklades ett prototypsystem för att hjälpa föraren att backa med en A-dubbel (se Parshetti et al, 2021; Högländer et al, 2021) för mer detaljer om systemet).

Backningssupportsystemet utformades så att föraren med hjälp av ett vred kan ställa in vilken bana fordonskombinationen skall följa vid backningen. Föraren reglerar själv hastigheten på fordonet medan systemet tar över styrningen av dragbilen så att fordonskombinationen backar längs den valda banan. Längst bak på fordonskombinationen kan en backkamera placeras som gör att den planerade banan som skall följas vid backningen kan illustreras för föraren som krökta linjer på en bildskärm.

För att backningen skall fungera krävs att systemet i varje ögonblick har koll på de olika fordons relativa positioner. I konceptfasen studerades flera alternativa lösningar för fordonens positionering. Initialt testades ett system där utgångsläget för fordonskombinationen är känt (tex uppställt vid en viss position längs en rät linje). Sedan backas fordonskombinationen och varje fordons position beräknas för varje tidpunkt baserat på fordonens geometrier (tex axelavstånd) samt dragbilens styrtslag, dvs ett "open loop" system. En fördel med ett sådant

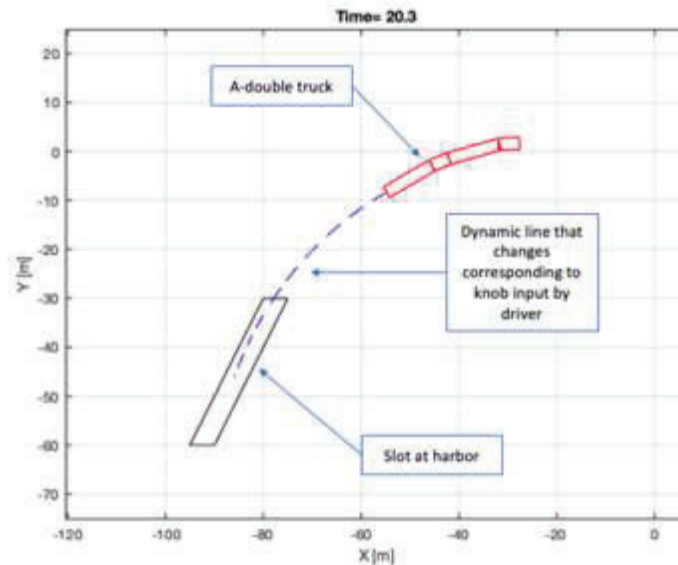
system är att det inte behövs några extra sensorer på trailers och dolly i fordonskombinationen, vilket underlättar då flera olika trailers används. Det visade sig dock ganska snart att denna metod inte fungerade tillfredsställande då det inte var möjligt att bestämma fordonens rörelser och position med tillräcklig noggrannhet på grund av exempelvis ojämnheter i underlaget, olika friktion på olika platser och varierande fordonsrörelser beroende på aktuell lastfördelning. En alternativ lösning som studerades var montering av positioneringssystem (GNSS/GPS) och accelerometrar (IMU) med hög precision i varje fordon i fordonskombinationen. Detta skulle dock bli väldigt dyrt och även kräva att chauffören hanterar fler olika kablar vid ihop- och isärkoppling av fordonskombinationen. En annan lösning som undersöktes var att montera en kamera ovanför området där fordonskombinationen skall backas (tex i en hög ljusmast) som sedan skickar information om fordonens positioner till backningssupportsystemet (ett test av ett sådant system gjordes i labbmiljö i samverkansprojektet i-Dolly). Det fanns dock ingen sådan lämplig mast på plats och dessutom råder strikt sekretess på hamnområdet, så den lösningen ansågs svår att genomföra. Det skulle också innebära att backningssupportsystemet endast fungerar inom de områden som täcks av sådana kameror.

Den lösning som slutligen valdes bygger på att vinkelsensorer monteras i de tre ledpunkterna i fordonskombinationen. På så sätt kan vinklarna mellan dragbil-trailer1, trailer1-dolly samt dolly-trailer2 mätas vid varje tidpunkt. Sådana vinkelsensorer är kommersiellt tillgängliga till en rimlig kostnad och de ger en noggrannhet på ca 0,1 grader (se Figur 52). För en trailer med 7000mm mellan kingpin och mellersta hjulaxeln ger det en avvikelse i sidled på endast ca $7000 \times \sin(0,1) = 12$ mm. Vinkelsensorerna kan kopplas in på det nätverk (CAN) som finns förberett i belysningskontakten för släpfordonen (pin 14 & 15, ISO12098) och därför krävs inget extra kablage mellan fordonen.



Figur 52. Vinkelsensor monterad under VBG-drag på semitrailer till dragstång på dolly.

Som ett första steg byggdes en virtuell modell av systemet i Simulink/MATLAB, se Figur 53. Med denna som bas kunde en rad funktioner formuleras som beskriver de olika fordonens tillstånd (position, hastighet mm) baserat på dragbilens hastighet och styrutslag. Med hjälp av dessa funktioner kunde även beräkningar göras av begränsningar för fordonskombinationen vid backning, exempelvis minsta möjliga backningsradie och största möjliga förändring av backningsradie under pågående backning. Denna simuleringsmodell möjliggjorde verifiering av de matematiska grundmodellerna för backningsalgoritmerna. Simuleringsmodellen jämfördes också med Volvos mer avancerade fordonsmodell VTM (Volvo Truck Model) som gav liknande resultat. Modelleringen förenklas avsevärt av att backning endast sker vid låg hastighet, vilket gör att man kan bortse från flera olika kinematiska faktorer.



Figur 53. Simulering av backning i den virtuella testmiljön (Parshetti et al, 2021).

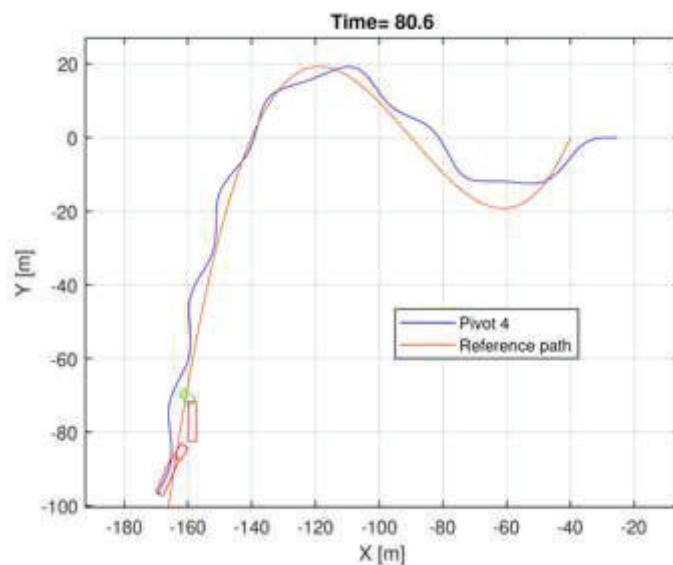
I nästa steg användes en skalmodell (se avsnitt 8.3 för mer information) för fysisk verifiering av de simulerade värdena. På så sätt kunde relativt realistiska tester göras inomhus i Revelabbet på Chalmers. Att göra tester med en A-dubbel i fullskala kräver mycket planering och en relativt stor yta att testa på, samt även förare med rätt behörighet. Skalmodellen medgav många fler iterationer under kort tid, dvs mer "rapid prototyping". Skalmodellen som användes är baserad på modeller av fordon i skala 1/14 ursprungligen avsedda för radiostyrning, se Figur 54.



Figur 54. Skalmodellen som användes för rapid prototyping i labbet (Parshetti et al, 2021).

Testerna visade snabbt att en rad faktorer som inte fanns med i den virtuella simuleringen måste beaktas. Detta inkluderar exempelvis att styrhjulens på dragbilen glider i sidled, förflyttning av vridningspunkten i en boggi vid olika axellaster och ojämnheter i underlaget, samt signalbrus från sensorer. Här spelar vinkelsensorerna en viktig roll eftersom de ger feedback om fordonens position och på så sätt bidrar till att skapa ett "closed loop" system, vilket i sin tur medger kontinuerliga korrigeringar.

Flera olika reglerstrategier utvärderades och testades, exempelvis Pure Pursuit Controller (PPC), Model Predictive Control (MPC) och Linear Quadratic Regulator (LQR). För att trimma in systemet krävdes en hel del tester för att ställa in alla parametrar rätt. Testerna visade också att olika inställningar krävs för att följa olika kurvaturer, se Figur 55.



Figur 55. Exempel på simulering av backning längs en viss bågform (Högländer et al, 2021).

Slutligen implementerades systemet i ett testfordon i fullskala, se Figur 56. Den fordonskombination som här kallas Forskningsplattformen (se avsnitt 8.3) användes för testerna. Information om hastighet och styrhjulsvinkel erhöles från dragbilen via CAN. En testförare reglerade hastigheten manuellt medan backningssupportsystemet tog hand om styrningen genom att begära olika styrhjulsvinkel på dragbilen. Via en kamera placerad längst bak på trailer 2 erhöles en backkamerabild på en skärm i hytten. Föraren kunde sedan ställa in önskad svängningsradie med ett vred samtidigt som den planerade banan för backningen illustrerades på skärmen.



Figur 56. Test av backningssupportsystemet intill Volvos huvudkontor på Lundbyområdet.

Ett flertal testomgångar genomfördes, främst för att justera in olika parametrar så backningen skulle bli tillförlitlig och följa den valda banan så bra som möjligt. Vissa marginaler behövs då variationer i tex underlaget kan göra att dollyn (som är mycket kortare än trailer 1 och trailer 2) kommer lite ur kurs och det kan krävas stora styrutslag på dragbilen för att korrigera för detta. Annars kan man lätt hamna i en situation där fordonskombinationen (framförallt dollyn) viker ihop sig för mycket ("fällkniv") för att det skall gå att rätta upp den bara genom att styra dragbilen. Då måste hela fordonskombinationen köras framåt en bit för att rätas upp innan backningen kan påbörjas igen. Det visade sig vara något enklare att trimma in parametrar för fordonskombinationen i fullskala jämfört med skalmodellen. Det förklaras genom att testfordonet i fullskala har sensorer och aktuatorer med bättre precision. Glapp i ledpunkter mm blir också relativt sett större på skalmodellen. Exempelvis ett glapp på 1mm på skalmodellen (skala 1/14) skalar upp till ett glapp på 14mm i fullskala, medan glappet i verkligheten ofta stannar vid någon millimeter i fullskala. Styrhjulen på dragbilen i fullskala har också mycket bättre

grepp mot underlaget vilket resulterar i mer precis styrning av fordonskombinationen jämfört med skalmodellen.

Som avslutning genomfördes en demo av systemet med hjälp av Forskningsplattformen i Viareds industriområde. Där visades dels rak backning, dels backning med svängningsradie in mot lastkaj. Även den förare som dagligen körde Logistikplattformen mellan Göteborgs hamn och Viared medverkade och kunde ge värdefull feedback. Bland annat visade det sig att den information om backningen som föraren får på bildskärmen är mycket viktig för att kunna backa rätt mot exempelvis en lastkaj. Fordonskombinationen i sig är lång, vilket gör att avståndet till målet blir relativt stort så det kan vara svårt att se på skärmen. Andra trailers som står vid intilliggande lastkajer kan också skymma sikten så det blir svårt att ställa in rätt backningsbana från början.

8.2.8 Automatiserad ihop- och isärkoppling av fordonskombinationen

Full automatisering av en A-dubbel i ett logistiksystem innebär att utöver själva körningen på väg så behöver även ihop- och isärkoppling av fordonen automatiseras. Sammankoppling av dragbil och semitrailer studerades närmare i samverkansprojektet i-Dolly och återges därför endast översiktligt i det här avsnittet. Sammankoppling av semitrailer och dolly studerades i samverkansprojektet C2VC och beskrivs kortfattat i slutet av detta avsnitt.

Ett fordon, exempelvis en dragbil, som skall koppla till en semitrailer behöver vara utrustad med en vändskiva. Genom att backa dragbilens vändskiva in under semitrailern så låses vändskivan till trailerns kingpin så att fordonen sitter ihop. Kingpin, som sitter fast monterad i semitrailern, kan även i det låsta läget rotera relativt vändskivan och utgör därmed artikuleringspunkt mellan dragbil och trailer vid svängning. På de flesta dragbilar görs denna ihopkoppling (och på motsvarande sätt isärkoppling) manuellt vilket kräver viss insats från föraren.

För att automatisera ihop- och isärkoppling krävs en anpassning av vändskivan och kingpin. I projektet användes ett prototypsystem kallat "KKS" från tyska JOST som är stor leverantör av vändskivor, se Figur 57. Vändskivan installerades på den Volvo FH16 dragbil som användes i Forskningsplattformen. Motsvarande trailerenhet med kingpin monterades på de två trailers som användes för Forskningsplattformen. KKS-systemet detekterar när vändskivan är tillräckligt nära semitrailern. Rätt kopplingshöjd är viktigt och kan justeras med dragbilens luftfjädring. Låsning och upplåsning av vändskivan görs helt automatiserat. Normalt så styrs vändskivan av föraren från hytten via en kontrollpanel. JOST tillhandahöll för projektet en speciell kontrollpanel med ett CAN-interface som medger styrning av vändskivans funktioner via dragbilens mjukvara för autonom körning. Även luftfjädringen på dragbilen inkluderades i reglersystemet så att vändskivans höjd kan justeras in av systemet.



Figur 57. Trailerenhet med kingpin samt vändskiva för KKS-systemet (till vänster). Den blå delen är kontaktdonet för el och luftförsörjning till trailern. Kontrollpanelen i hytten (till höger). (bild från JOST).

KKS-systemet kopplar även automatiskt in el och luft mellan dragbilen och semitrailern. Att koppla in elkablar och luftslangar är även det en uppgift som normalt utförs av föraren men som på det här sättet kan automatiseras. Systemet är utformat så att en KKS vändskiva kan

kopplas till vilken semitrailer som helst med standard kingpin. På motsvarande sätt kan en semitrailer med KKS kingpin kopplas till vändskivor av standardtyp. För att få funktionen med inkoppling av el och luft mellan dragbil och trailer krävs dock att båda fordonen har KKS vändskiva respektive kingpin.

Eftersom en semitrailer inte har några hjul i framänden så måste stödben användas när den parkeras och kopplas från dragbilen. Normalt använder föraren en vev på semitrailern för att lyfta eller sänka ner stödbenen. De trailers som användes för Forskningsplattformen i projektet utrustades istället med elektriskt manövrerbara stödben från JOST. Dessa kan styras från samma kontrollpanel som KKS-systemet. På det sättet kunde även höjning och sänkning av semitrailerns stödben automatiseras.

Projektet visade att med den här typen av utrustning så är det fullt möjligt att helt automatisera ihop- och isärkoppling av dragbil och semitrailer. Hela förloppet där dragbilen själv backar in under semitrailern, justerar vändskivan till rätt höjd med luftfjädringen, fortsätter backa in tills vändskivan låses och el och luft kopplas in och stödbenen lyfts upp så att dragbil och trailer kan köra i väg, och sedan motsvarande isärkoppling i omvänd följd, visades upp vid en demonstration under konferensen IAVSD (International Association for Vehicle System Dynamics) 2019 på provbanan AstaZero.

På liknande sätt demonstrerades inom samverkansprojektet C2VC hur en semitrailer kan kopplas till en dolly med hjälp av en automatisk släpvagnskoppling av typ VBG MFC (se avsnitt 8.3). En autonom dragbil med tillkopplad semitrailer kan på så sätt kopplas ihop med en dolly och ytterligare en semitrailer till en A-dubbel.

Medan tester och demonstrationer visar att det finns möjlighet att automatisera ihop- och isärkoppling så är det samtidigt tydligt att kravet på specifik teknisk utrustning ger begränsningar i flexibiliteten. Logistik är komplext och involverar ofta ett flertal olika, nya och gamla fordon. Krav på att ha speciella kopplingar för el och luft samt elektriskt lyftbara stödben på alla semitrailers kan då ställa till problem. Alternativt skulle ett begränsat antal fordon som alla har nödvändig utrustning för automatisk ihop- och isärkoppling kunna användas i ett "slutet system".

8.3 WP3 Forskningsplattformen

Som beskrivits ovan (se avsnitt 8.2) spelade testfordon en viktig roll i projektet. Det testfordon som här refereras till som "Forskningsplattformen" användes för att göra forskning och utveckling av exempelvis autonoma funktioner och förarstödssystem så realistiskt som möjligt. Den möjliggjorde även demonstrationer av olika funktioner och insamling av data för olika forskningsändamål. Forskningsplattformen användes huvudsakligen på avskilda provbanor, vilket medgav testning av avancerade funktioner som inte kan testas på allmän väg. Vissa tester, framförallt insamling av trafikdata och som inte involverade automatisk aktivering av fordonet gjordes även på allmän väg. I det här avsnittet beskrivs främst den tekniska utformningen av forskningsplattformen. Resultaten av tester och forskning där Forskningsplattformen användes redovisas främst i avsnitt 8.2 om teknikforskning.

8.3.1 Fordon som användes för Forskningsplattformen

Projektet kom i ett tidigt skede fram till att en A-dubbel (dragbil+semitrailer+dolly+semitrailer) är en lämplig fordonskombination för transportuppdraget. Därför utformades även forskningsplattformen som en A-dubbel med i stort sett samma basspecifikationer som Logistikplattformen, se Figur 58.



Figur 58. Forskningsplattformen

Dragbilen är en Volvo FH16 750 6x4 (dvs en treaxlig bil med 750 hästkrafters motor och drivning på båda bakaxlarna). Växellådan (Volvo I-shift) växlar automatiskt och bilen är försedd med elektroniskt reglerat styrservo, Volvo Dynamic Steering. Detta i kombination med ett särskilt interface (CAN gateway) som tillhandahölls av Volvo medgav avancerad extern aktivering av funktioner som acceleration, bromsning och styrning. Vidare försågs dragbilen med en JOST KKS vändskiva som medgav helt automatiserad till- och från koppling av en trailer (se avsnitt 8.2.8 för mer detaljer). Även koppling av anslutningar för el och luft görs automatiskt. Även här tillhandahölls ett interface (CAN) för extern reglering. För att säkerställa stabil drift av alla testsystem och undvika onödig tomgångskörning installerades extra batterier, laddare mm helt separerade från dragbilens eget elsystem.

Volvo beställde två semitrailers för projektet som tillverkades av Parator. Dessa trailers har i stort sett standardmått (längd 13,6 meter) och utrustades med bankar för transport av en 40 (eller 45) fots container alternativt en eller två 20 fots containers. Två extra containerbankar monterades också för att möjliggöra transport av en 20 fots container mitt på trailern, vilket kan vara användbart för vissa tester. För att möjliggöra automatisk till- och från koppling av trailern monterades en JOST KKS kingpin (den tapp som låses fast i dragbilens vändskiva). För att kunna koppla en dolly efter trailern monterades VBG dragkopplingar baktill på respektive trailer. Den ena trailern utrustades med en VBG dragkoppling av typ MFC som möjliggör helt automatiserad till- och från koppling av en dolly (eller annat släp), inklusive inkoppling av el och luft, se Figur 59. För att manövrera denna dragkoppling installerades en styrenhet i dragbilen där VBG tillhandahöll ett interface (CAN) som medgav extern reglering av dragkopplingen. På den andra trailern monterades en VBG dragkoppling av standardtyp. På så sätt kunde även andra dollys, som inte har MFC-drag, kopplas till efter trailern vid behov vilket gav större flexibilitet för olika tester.



Figur 59. MFC-koppling som medger automatisk tillkoppling av släp. Dragstången med kilen till vänster skjuts in i den röda delen varpå kilen låses fast och el och luft kopplas in (VBG).

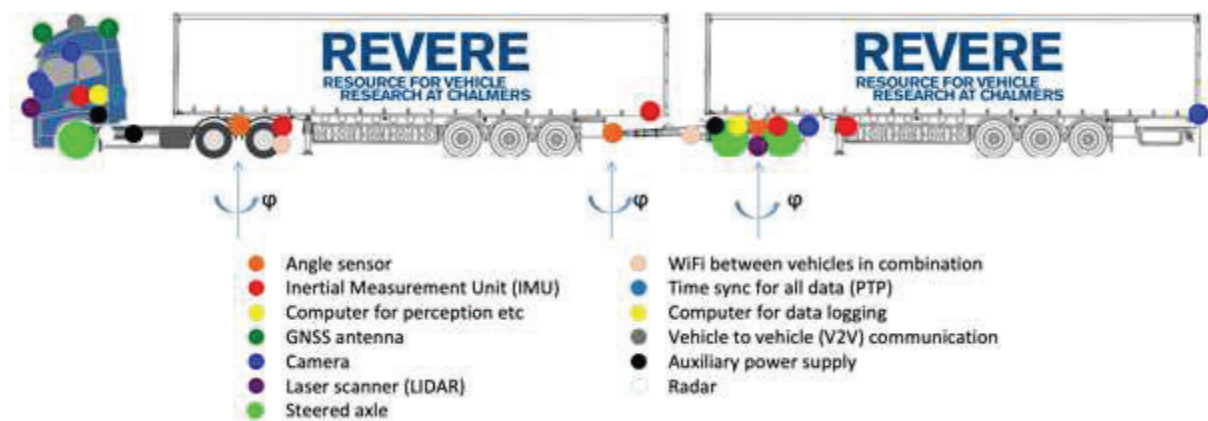
Mellan trailrarna användes en dolly från Parator som Chalmers hade använt i flera tidigare forskningsprojekt. Dollyn har två axlar, men ett något större axelavstånd än en "standarddolly" (2,0 meter mot normalt ca 1,4 meter), men det spelade mindre roll för de tester som genomfördes i projektet. Dollyn utrustades med en dragkoppling av typ VBG MFC för att möjliggöra automatiserad till- och från koppling av den efter den trailer som utrustats med VBG MFC drag. För att kunna automatisera ihop- och isärkoppling av hela fordonskombinationen skulle

även dollyn behövt ha en JOST KKS vändskiva men det bedömdes som en onödig investering då det ansågs tillräckligt att kunna testa och demonstrera automatiserad ihop- och isärkoppling endast mellan dragbil och trailer.

8.3.2 Sensorer och reglersystem

För att möjliggöra tester av exempelvis förarstöd och autonoma funktioner behövs dels ett perceptionssystem, dels ett reglersystem. Perceptionssystemet samlar in data från ett antal sensorer för att skapa sig en uppfattning om forskningsplattformens tillstånd (position, hastighet mm) och omgivning (tex hinder, vägbanan, andra trafikanter). Input från perceptionssystemet kombinerat med information om fordonets uppdrag (exempelvis önskad destination) används sedan av reglersystemet för att ta beslut om hur fordonet skall framföras. I det här avsnittet beskrivs främst den tekniska utformningen av forskningsplattformens perceptionssystem och reglersystem.

Ju bättre information det finns om ett fordon (rörelse-) tillstånd och dess omgivning, desto säkrare och effektivare kan olika funktioner för automatisering mm göras. Perceptionssystemet behöver därför utformas så att så mycket som möjligt av fordonets omgivning täcks in. Detta innebär dock en stor utmaning i det här fallet då fordonskombinationen är 32 meter lång. Vidare innebär transportuppdraget (se avsnitt 7) att de trailers som går i kombinationen byts mot andra trailers efter varje tur. Det stod därför klart redan tidigt i projektet att man i möjligaste mån bör undvika att använda trailers som bärare av kritiska sensorer. Därför koncentrerades placeringen av sensorer, med några undantag, till dragbilen och dollyn, se Figur 60 nedan.



Figur 60. Placering av sensorer och utrustning på Forskningsplattformen.
Utrustningen har varierat över tid beroende på olika projektbehov.

Forskningsplattformen används parallellt för flera samverkansprojekt så i Figur 60 illustreras fler sensorer än vad som användes i det här projektet. Följande sensorer och utrustning har varit viktigast för den forskning som gjorts i det här projektet.

GNSS – Positioneringssystem med hög precision. Med RTK (Real Time Kinematic) erhålls ca 1cm noggrannhet).

IMU – Inertial Measurement Unit, accelerometrar för att mäta acceleration och rotation med hög precision (x, y, z; roll, pitch, yaw). I projektet användes främst den IMU som var placerad i dragbilens hytt.

Videokameror – Högupplösta videokameror med vidvinkellinser

LiDAR – Laserradar för bestämning av avstånd till olika objekt

Vinkelsensorer – För mätning av artikuleringsvinklar (vertikal axel) mellan dragbil-trailer, trailer- dolly dragstång, respektive dolly-trailer.

Fordonsdata – utöver ”externa” sensorer fanns även tillgång till viss fordonsdata (exempelvis hastighet, vridmoment mm) tillgängligt via dragbilens interna nätverk (CAN).

Datorer – Flera olika datorer användes för insamling av sensordata, beräkningar, fusionering av sensordata samt beslutsmodellering. Utöver standard ”ruggade” PC användes en dator som Volvo specialutvecklat samt ett FPGA-kort för att hantera stora mängder beräkningar.

För mer exakt positionering av samtliga fordon i kombinationen hade det varit önskvärt med ett positioneringssystem (GNSS) med hög precision i varje fordon, men då kostnaden för sådana sensorer är hög valde projektet att istället förlita sig på att *beräkna* positionen hos semi-trailers och dolly baserat på dragbilens position (GNSS) kombinerat med information från vinkelsensorerna. Dessa vinkelsensorer ger en noggrannhet på ca 0,1 grad, vilket innebär en avvikelse på ca 20mm på en längd av 12 meter (motsvarande avståndet mellan kingpin och trailers bakände). På motsvarande sätt kunde vid behov acceleration och rotation hos trailers och dolly beräknas baserat på information från dragbilens IMU.

Framåtriktade videokameror placerades innanför dragbilens vindruta, vilket minimerar problem med nedsmutsning. För arbetet med semantisk segmentering behövdes en särskild typ av kamera där slutarna kan synkroniseras med hög noggrannhet och dessa fick av praktiska skäl placeras i fronten på dragbilen (se avsnitt 8.2.5). Bakåtriktade kameror placerades vid dragbilens backspeglar. Bakåtriktade kameror placerades också på bakdelen av dollyn. För vissa tester placerades även en kamera längst bak på den bakre trailern för att täcka in området direkt bakom fordonskombinationen. En LiDAR placerades i fronten på dragbilen. Olika fästen gjorde det möjligt att positionera denna LiDAR antingen mitt i fronten så den täckte in ca 180 grader rakt framför fordonet, eller på hörnet av hytten så den täckte ca 270 grader framför och längs ena sidan av fordonet. Det fanns även planer på att placera LiDAR på respektive sida av dollyn men detta realiserades inte i projektet. Även om det finns flera sensorer som delvis överlappar varandra så klarar de inte att täcka alla ytor/vinklar runt fordonet. Detta ger i sin tur vissa utmaningar för att hantera ”döda vinklar”, vilka i stora drag sammanfaller med de döda vinklar en mänsklig förare måste hantera.

Kärnan i reglersystemet utgjordes av ett antal olika datorer som sammanlänkades i ett nätverk. En öppen Linuxbaserad mjukvaruplattform möjliggjorde för olika forskare att koppla in sina egna datorer och implementera egen kod efter behov. Detta medgav också att olika typer av (regler-) system kunde kopplas in (tex ROS, Matlab, Simulink). Så långt det var möjligt skickades data från sensorerna via Ethernet, men i vissa fall krävdes andra protokoll (exempelvis CAN). Mjukvaruplattformen möjliggjorde dock tillgång till alla typer av data via Ethernet för alla anslutna enheter, vilket gav stor flexibilitet. Datorerna samlades huvudsakligen till dragbilen, men även dollyn hade en egen datornod. Dragbilen fick då vara ”master” och dollyn ”slav”.

För reglering av fordon baserat på input från en rad olika sensorer är det viktigt att veta ganska exakt när informationen skapades. All sensordata behöver kunna synkroniseras. Därför implementerades en enhet för tidssynkronisering baserat på Precision Time Protocol (PTP). All data från sensorer, fordonets nätverk mm tidsstämplas då med hög precision för när den publicerades på nätverket. Medan denna enhet kan ange tid ner till nanosekunder så bedömdes det oftast vara tillräckligt med ca 10ms precision. Det kan emellertid skilja viss tid från det att exempelvis en videokamera tar en bild till det att bilden skickas ut på nätverket och tidsstämplas. Detta var en viktig aspekt vid valet av sensorer. I vissa fall gav tillverkare av exempelvis kameror tillgång till sin mjukvara för att mer precis information för tidsstämpling skulle kunna erhållas.

Hela systemet i forskningsplattformen kopplades upp till en server via en mobil uppkoppling (4G). Medan detta möjliggjorde viss enklare fjärrstyrning av fordonet så användes dessa funktioner framförallt för att fjärrövervaka de olika systemens status. Det medgav också trådlös uppgradering av mjukvara, vilket underlättade snabb support till forskare som använde forskningsplattformen på exempelvis provbana.

Forskningsplattformen har emellertid vissa praktiska begränsningar. Medan det är mycket värdefullt att kunna göra tester på ett fordon i fullskala så är det inte alltid praktiskt genomförbart. Det krävs särskild körkortsbehörighet för att köra lastbil med släp. Det tar också ganska mycket tid att flytta och sen koppla ihop alla fordon som behövs till en A-dubbel till en lämplig plats för genomförande av ett test. Dessutom krävs oftast en ganska stor yta för att genomföra tester då ekipaget är långt. Därför utvecklades också en skalmodell av A-dubbeln, se Figur 61. Detta var av stort värde då det möjliggjorde för exempelvis studenter och forskare att göra praktiska tester inomhus. Skalmodellen baseras på fordon i skala 1/14 som egentligen är avsedda att köras med radiostyrning. Dessa fordon har drivning, styrning, fjädring, däck osv som i många avseenden liknar fordon i fullskala. De lämpar sig därför väl för tester i mindre skala.



Figur 61. Modell av A-dubbel i skala 1/14.

Dragbilen har precis som i fullskala drivning på båda bakaxlarna och styrning på framaxeln. Servot för styrning fungerar även som styrvinkelsensor. En hastighetssensor baserad på en pulsgivare monterades på lastbilens kardanaxel. Vinkelsensorer monterades i de tre ledpunkterna mellan fordonen. En dator för beräkningar och reglering monterades ihop med batterier och en nätverksrouter i den första trailern. I dragbilens hytt och i den andra trailern finns mindre datorer (Raspberry-Pi) för de kameror som monterats i dessa fordon (se Figur 62). Uppkoppling av fordonet till det lokala nätverket medgav enkel fjärrstyrning av fordonet och avläsning av fordondata.



Figur 62. Dator i dragbilens hytt på skalmodellen.

8.4 WP4 Logistikplattformen

De fordon som använts för HCT-transporter av containers, här kallade Logistikplattformen, har haft stor betydelse inom projektet. Redan vid projektstart utfördes produktivets- och kostnadsanalyser som visade på en potentiell kostnadsminskning på 38% om två containerresor tur och retur görs per dag (Ljunggren, 2016). Detta skulle kunna ökas till 48% med ökad effektivitet vid lastning och lossning och genom att lägga till ytterligare en tur och retur resa. Dessa beräkningar var en del av starten och låg till grund för valet av fordonskombination. Fordonet har sedan 2020 varit i drift och nedan presenteras resultat och erfarenheter från detta.

8.4.1 Fordonen i Logistikplattformen

Initialt i projektet sågs samverkansmöjligheter med andra projekt så som Vera och e-Dolly som styrande i valet av fordonskombination. Utifrån detta, och flertalet andra faktorer, togs beslutet att bygga en fordonskombination där det var möjligt att nyttja båda dessa dvs. en A-dubbel, se Figur 63 nedan.



Figur 63. Ekipaget som används för logistikflödet.

Som underlag för dimensionering av ekipaget fanns viktdata på gods och containers, samt gradient för den valda ruttens alla backar. Uppskattad tyngdpunktsposition i längdled fanns inte att tillgå (olika containers är lastade olika) varav jämt utbredd last användes vid beräkningar. Utifrån det tänkta exportflödet från Volvo Bussar, samt enstaka tyngre container från importen framkom att lämpligen dimensionera för en maximal bruttovikt på 80 ton. De dimensionerade gradienten på rutten låg på 5 och 6 graders lutning. Drivlinan på dragbilen optimerades utifrån att klara detta utan att tappa för mycket hastighet i backarna. Dragbilen utrustades med en krypväxellåda för att få bättre startbarhet om ekipaget skulle bli stående i köer. Dragbilen utrustades även med fler backväxlar och Volvos Dynamiska Styrning (VDS) för att underlätta backning. Utifrån den befintliga viktdatan hade en lägre specad drivlina kunna nyttjats och även på grund av att ekipaget nu kört relativt lätta lass då Volvo Bussar inte levererat gods som det var tänkt. Volvo Bussar blev hårt drabbade av pandemin och därav har de inte haft mer än ett fåtal exportcontainrar med på ekipaget. Detta då försäljningen av bussar i stort sett upphörde och fortfarande inte helt kommit igång efter pandemin.

Erfarenheter från tidigare projekt, så som DUO-trailer (Dnr. 2010-02849) och DUO2 - Energi-effektiva fordonskombinationer (Dnr 2010-01342), med längre fordonskombinationer låg till grund för rekommendationerna av hur ekipaget skulle byggas. Volvo rekommenderade ett ekipage med lyftbar första axel på semi-trailern för att kunna säkerställa drivaxeltryck i krävande situationer som snöslask och is, samt bränslebesparing vid körning med lägre vikter. Vidare föreslogs två alternativ på hur semi-trailern kunde byggas med styrbara axlar för att

uppnå bättre framkomlighet. Ingen av dessa förslag nyttjades i slutändan, men planeras för implementering inom fortsättningsprojektet Autofreight-II. Att inte kunna lyfta axlar på den semitrailer som kopplats direkt bakom dragbilen har troligen bidragit till högre bränsleförbrukning än om axlar varit lyftbara, startförmåga har hanterats med lyftbar 2:a drivaxel på bilen, mer om detta i AF2.

GDL har leasat dragbilen från Volvo samt totalt fem semitrailers (containerchassin) och en dolly från AG Trailer. Även om bara två semitrailers används för att koppla ihop en A-dubbel så behövs totalt fem stycken då några alltid står hos mottagare av god för urlastning av containers. Utformningen av fordonen ger, på grund av lite annan placering av drag mm, något sämre dynamisk stabilitet och något bättre framkomlighet jämfört med det som skickades in i ansökan för teknikutveckling till Transportstyrelsen och har en mindre svepyta vid skarpa svängar och korsningar.

Fordonet har under projektiden kört som ett HCT-ekipage med tillstånd för teknisk provning och ett hastighetsundantag med tillåten bruttovikt på 80 ton och maxlängd 32m.

- Tillstånd för teknisk provning
 - TSV 2018:2285 2019-03-01→2024-02-28
- Hastighetsundantag
 - DR 258-9852-2019 2019-04-01→2024-02-28



Figur 64. Foto på dragbil och chaufför i Göteborgs hamn.

Specifikationer på dragbilen:

Modell	Motoreffekt	Motor	Växellåda	Byggd
FH16 6*4	750 hk	D16	I-Shift	2018w5

Mer utförliga specifikationer på logistikplattformen finns i en intern rapport på Volvo, "Specification of A-double tractor for container transport AutoFreight". För att möjliggöra insamling av data om hur fordonet används i daglig trafik installerades ett avancerat system för dataloggning i dragbilen. I Figur 65 illustreras några olika sensorer som färgade cirklar. Längst bak sitter en trådlös kamera som kan användas för att underlätta backning. Kameran kan även placeras baktill på den första trailern för att underlätta ihopkoppling av dollyn och den andra trailern. Loggningssystemet inklusive sensorerna beskrivs mer utförligt i avsnitt 8.2.4.



Figur 65. Logistikplattformen. En A-dubbel bestående av dragbil, semitrailer, dolly och semitrailer. De färgade cirklarna illustrerar sensorer som monterades på fordonet.

8.4.2 Resultat från fältprovet

Under förberedelserna för försöket söktes ett tillstånd för provning, dock dröjde tillståndet längre än väntat. Transportstyrelsen introducerade en ny process 2017/2018 där de gick över från att tillåta längre fordonskombinationer genom föreskrift till tillstånd för teknisk provning. Autofreights ansökan var bland de första som behandlades, dock blev denna kraftigt förse- nad, vilket delvis berodde på bristande kommunikation med berörda myndigheter. Det var även flertalet, nödvändiga, broberäkningar som initialt saknades, vilket även förse- nade till- ståndet. Godkänt beslut om tillståndet kom till slut i mars 2019 och gäller fram till 28 februari 2024.

Fältprovet drogs i gång i början av januari 2020. Volvo investerade tidigt i sin dragbil för att den skulle vara på plats när tillstånden förväntades vara klara 2018. Transportören var däremot mer reserverad och intresset kring projektet var svalt fram tills tillståndet fanns på plats. Det saknade förtroende, god kommunikation och sammanhållning inom projektet, vilket troligen också bidrog till myndigheternas osäkerhet med att bevilja tillståndet. Investering av släp dröjde sedan ytterligare i och med att projekttiden höll på att ta slut och en projektförlängning behövde finnas på plats innan ett investeringsbeslut kunde tas av transportören.

APM terminals var redan tidigt i projektet tydliga med att ekipaget behövde kunna backa in i hamnens lastningsfickor. Alternativa lösningar diskuterades, men godtogs inte. Flertalet parter var involverade i diskussionerna om backningskravet och Volvo påtalade att förarna kommer behöva tid för att lära sig backa med tre leder. Provbackning diskuterades och det lånades ihop delar till ett helt ekipage, men intresse från transportören saknades tyvärr. I och med att släpen inte fanns tillgängliga, fanns heller ingen möjlighet för någon förare att öva. I samband med fältprovstart upplät Ellos sin terminal för förarna att kunna öva på backning. De första månaderna delades dock ekipaget upp i hamnen och man hämtade containers en och en. Diskussionerna med hamnen fortsatte fram till och med mars 2020, när en av förarna informerade att de nu kunde backa med ekipaget.

Initiativtagarna till projektet hade underskattat arbetet som krävdes för att få i gång ett försök med en längre och tyngre fordonskombination och andra parter intresse att diskutera for- donslayout och lösningar inför ansökan till Transportstyrelsen var obefintliga. Inlägg kom fram först efter tillstånd var beslutat. Det saknades troligen också förståelse för hur sårbart ett flöde med en ny typ av fordonskombination är.

Kravet på förarens kompetens och skicklighet medför en viss sårbarhet i logistiksystemet, då de är svårt att ersätta ordinarie förare vid semester eller sjukdom. Detsamma gäller när drag- fordonet behöver tas ur drift, eftersom en dragkoppling behövs för rangering med dolly och detta normalt sett inte finns på dragbilar. Efter ett införande av längre fordonskombinationer kommer tillgängligheten på kunniga förare och rätt konfigurerade dragbilar att öka.

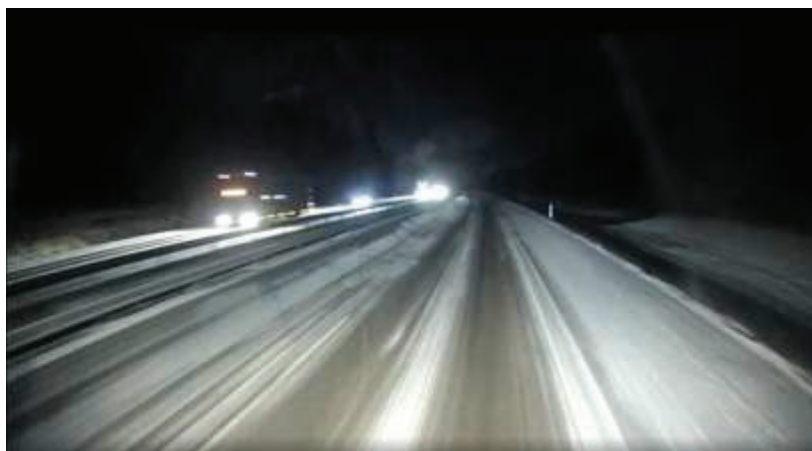
Under projekttiden har fordonet gått bra, trots den långa startprocessen, och alla partners inom projektet är i det stora hela nöjda med resultatet. Nedan presenteras resultatet från fält- provet mer ingående.

8.4.2.1 Incidenter under projektiden

Under projektiden har det inte blivit några större incidenter. Ekipaget har i enstaka fall blivit stillastående, dock har det sällan berott på incidenter, istället har det funnits andra anledningar, se nedan.

Stillestånd för dragbil sedan fältprovstart januari 2020:

- 2020 januari: Punktering vid påkörande av en vägkantssten i Viared. Chaufför påpekade att den vägen är väldigt trång och att detta hände vid möte med annan bil.
- 2020 juni: Uppdaterad mjukvara i motorstyrenheten.
- 2020 september: Uppgradering av dragkoppling till pneumatiskt servo (VBG PA 795) med självsmörjning (Mechmatic).
- 2020 oktober: Uppgraderad mjukvara och vindruta för att få den senaste versionen för Volvos dynamiska styrning och förarstödsprogram.
- 2021 april: I samband med service monterades en extra förvaringslåda i chassit. Efterfrågat från förare då loggutrusning tar upp stor del av befintlig förvaringsplats.
- 2021 maj: Reparation: Byte av injektorer.
- 2022 januari: Det regnade på kvällen och sedan frös det på och snöade under natten. Det var slirigt och halt, vilket medförde att chauffören fick ta det väldigt försiktigt och sakta ner till 40 km/h på RV40. Trafikverket hade missat att halkbekämpa på RV40. Lyckligtvis ledde detta inte till någon incident, men som visas i Figur 66 var väglaget mycket dåligt och, på grund av den snötäckta vägen, fungerade inte flera av de hjälpmedel som bilen tillhandahåller.



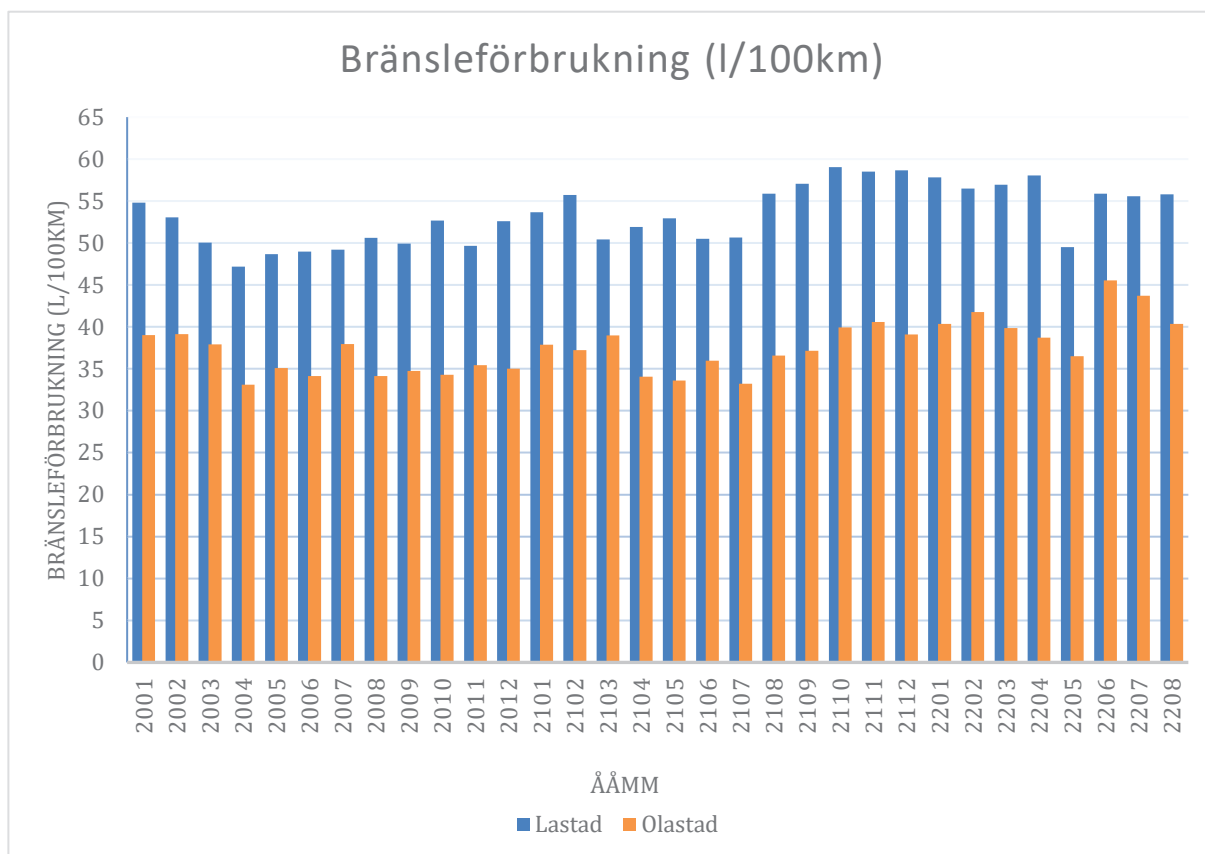
Figur 66. Väglag en kväll i januari 2022.

Det har sedan fältprovstart endast varit en incident där ekipaget blivit stillastående på grund av för lågt drivaxeltryck. Otillräckligt vintermönster lär också ha inverkat. Detta inträffade i Viared under första vårvintern (2020) och tursamt nog, körde en saltbil förbi och räddade situationen. Dragbilen har haft ett drivdäck som är designat för att klara sig året om (Goodyear K-max D), men för att förhindra framkomlighetsproblem byttes dessa vid nästa vinter till optimerade vinterdäck (Goodyear Ultragrip).

Under oktober och början av november 2020 var det ett stillestånd där en ersättningsbil lånades in. Ersättningsbilen hade inte VDS och var därför mer tungstyrd. Ordinarie förare under den aktuella tiden har en tidigare axelskada och klarade inte av belastningen som backning med ersättningsbilen innebar. Det fungerade att backa med en semitrailer men för dubbla semitrailer blev belastningen på föraren för stor. Det el-hydrauliska styrservot som används för VDS ger en stor avlastning för föraren när bra precision och mycket manövrering behövs.









8.4.2.2 Uppföljning av Logistikplattformen

Logistikplattformen har samlat in data på olika sätt, genom reserapporter som chauffören fyllt i som sedan skickats till Volvo, genom m-logger där Volvo kan plocka ut data från bilen samt genom de sensorer som Chalmers installerat (se avsnitt 8.2.4). Nedan presenteras delar av det resultat som Volvo har sammanställt med hjälp av den insamlade datan. Större delen av resultaten som presenteras är kopplade till bränsleförbrukning. Uppföljningen är i verkligheten mer omfattande än så och flertalet specialstudier har genomförts under projektiden. Nedan, i Figur 67, visas bränsleförbrukningen under fältprovet för både lastad och olastad resa.



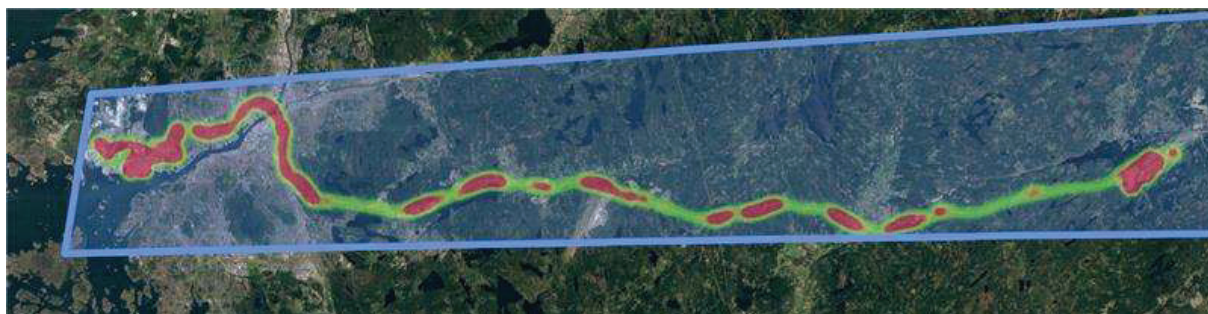
Figur 67. Medelförbrukning per månad (l/100km) under projektiden, lastad och olastad.

Även om bränsleförbrukningen är högre för Autofreight-bilen än vad den är för en singeltrailer, så är förbrukningen per körd container lägre, enligt en av de utförda specialstudierna. I Figur 68 ses en jämförelse mellan olika fordonskombinationer och dess respektive bränsleförbrukning. Den första kombinationen i figuren är en singeltrailer och resterande är en A-dubbel med olika containertyper på. Studien är inte statistiskt säkerställd på grund av ett begränsat antal resor, dock ser man ändå ett tydligt mönster. Man ser till exempel att transporteffektiviteten mätt som ml/tonkm ökar cirka 40% vid körning med A-dubbel jämfört med en singeltrailer, markerat med en röd ruta i figuren. Detta då det för volymlastade transporter blir fördelaktigt att få med fler containers, även om vikten på ekipaget är låg.

Config	Fuel Consumption (GBG-Viared) (L/100km)	Fuel Consumption (Viared-GBG) (L/100km)	Transport Efficiency excluding terminal driving (ml/ton*km)	ml/tonkm som % med singeltrailer som referens	GCW Loaded (Ton)	Number of trips
	35.6	26.9	48	100	23.0	70
	50.7	37.7	44	92	36.8	16
	53.6	39.0	38.5	80	38.9	17
	53.5	36.6	33	69	41.9	123
	53.5	35.2	28	58	44.2	397
	54.0	37.2	28	58	45.2	51
	53.2	37.3	28	58	45.2	78
	52.9	35.3	27	56	45.1	105

Figur 68. Resultat av fordonsprestandamått för olika kombinationer exklusive terminalkörning. Resultatet är från en intern Volvo-rapport.

Dock har projektet visat att medan bränsleförbrukningen totalt sett har minskat med HCT så har den inte gått ner lika mycket i noderna, se Figur 69, och även tidsåtgången har ökat, se Figur 70. I hamnen uppstår tiden på grund av köerna, läs mer i avsnitt 8.4.2.6. I Viared beror det på att det blir fler lokala transporter då den långa fordonskombinationen inte alltid kan köras direkt till mottagaren av en container utan först måste kopplas isär. En effekt av detta blev att endast två turer mellan hamnen och Viared kunde köras per dag i stället för de tänkta tre. För att effektivisera transporterna inom Viared är en dryport under etablering.



Figur 69. Bränsleförbrukning för Autofreight 14-16 juni 2021. De rödmarkerade områdena visar var bränsleåtgången har varit högst i jämförelse till hela resan.



Figur 70. De markerade områdena visar vart väntetider har uppstått längs körsträckan, dvs då ekipaget varit stillastående med tändningen på. Vid grön indikering är det mindre tid och vid röd indikering är det mer tid. En tydlig indikation här är att det uppstår i nodpunkterna. Data från 2022-05-23 till och med 2022-05-27.

Med ökande containervolymer kan lokal distribution av containers göras därifrån med ett separat (eldrivet) fordon (dvs ej HCT-fordonets dragbil), vilket ger nya möjligheter att

effektivisera logistiken och testa framtida nollemissionsfordon i denna del av transportkedjan, vilket kommer att undersökas vidare i fortsättningsprojektet Autofreight-II.

8.4.2.3 Resultat från varuägare (Ellos, Kerry Logistics, Fristads och Volvo bussar)

Ett positivt resultat som uppkommit från projektet är de minskade transporter som behövs på RV40 med hjälp av Autofreight fordonet. Ett nytt trafiksystem har även införts som bygger på samverkan mellan företagen i Borås. I det nya systemet har tex samkörningar införts, vilket betyder att företagen går ihop med sina leveranser för att effektivisera flödet av containrar och maximera transporternas kapacitet. Målet var även att flödet skulle vara lastat åt båda håll med både import- och exportvaror, men eftersom Volvo Bussars flöde tidigt minskade under pandemin, då fältprovet startades, har kombinationen oftast kört med tomma containrar från Borås till Göteborg.

De medverkande företagen tycker att samarbetet har fungerat bra och att Autofreight projektet har hjälpt dem att påverka sin egen miljöpåverkan. Anne Nilsson, hållbarhetsansvarig på Fristads, förklarar hur det har hjälpt Fristads:

”Vi arbetar på bred front med att minska vår miljöpåverkan och när det gäller våra transporter försöker vi alltid välja sjötransporter framför transporter med flyg. Genom att delta i det här projektet kan vi planera och maximera varje enskild transports kapacitet för att ytterligare minska vår påverkan på klimatet.”

Borås stad har under projektet jobbat med logistiken och affärsmodellerna vilket har lett till nya kunskaper, samt en möjlighet att utvärdera och demonstrera hur regionala transporter kan effektiviseras och göras säkrare med en kombination av ny teknik, nya logistikkoncept och nya affärsmodeller i ett uppkopplat logistik- och transportsystem. Johanna Brorsson, VD på Kerry Logistics, beskriver ytterligare positiva effekter från projektet som påverkat både dem och allmänheten:

”Det unika med det nya transportsystemet och Autofreight är att vi kan köra två 40 fots containrar på en och samma dragning där man i normalt fall kör en 40 fotare och en 20 fots container. Detta gör att vi får ett mer effektivt transportsystem, vi får mindre transporter på riksväg 40 helt enkelt.”

Även Anna Svensson, Supplier Manager på Fristads, påpekar det nya logistiksystemet och dess samverkan som en positiv aspekt:

”Vi är väldigt positiva till Autofreights utveckling. Genom samarbete så tror vi att det kommer bli den bästa hållbara logistiklösningen här på Viared.”

Utöver att hjälpa företagen med sin miljöpåverkan har projektet även hjälpt dem och Borås stad i utvecklingen mot att bli en konkurrenskraftig stad. Till exempel har man tack vare projektet effektiviserat och kvalitetssäkrat transporter mellan Viared och Göteborg, vilket är en marknadsförutsättning för e-handelsföretagen och annan B2B. Fredrik Andén, Shipping Manager på Ellos, beskriver att logistiken är för dem en väldigt viktig del, både för att säkerställa korta leveranstider och att ha en hög leveranspålitlighet. Han nämner även att:

”Autofreight projektet är ett projekt där vi tillsammans med andra företag i Viared samverkat och kan skapa samhällsnytta, men även stärka vår gemensamma konkurrenskraft.”

8.4.2.4 Resultat från chaufförer

Chaufförerna tycker generellt att bilen fungerar bra. Det märks av att ekipaget är långt, men det är störst problem vid backningen i hamnen. I övrigt behöver de endast tänka på att ta ut kurvorna lite extra vid framåtkörning.

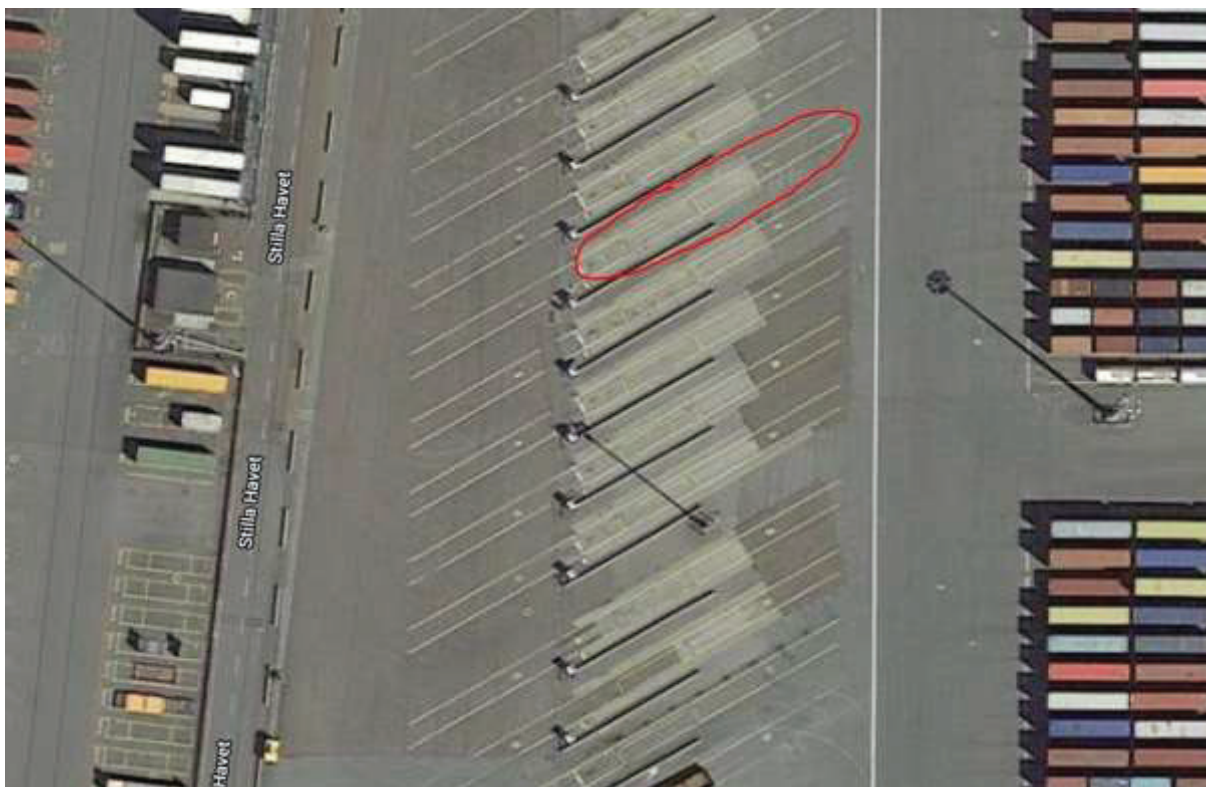
Chaufförerna klagade dock på utformningen av Viareds industriområde. Det nämndes att flera av vägarna är smala och inte optimerade för att två lastbilar kan mötas oberoende av längd. En bättre avfart från motorvägen var också önskad för att förenkla navigeringen på området. Om dessa förändringar görs kommer tiden för körningen förmodligen inte ändras, men det hade underlättat för andra chaufförer också, inte bara Autofreight-chaufförerna.

På grund av de långa väntetiderna i hamnen, känner chauffören ibland av tidspressen att komma dit så fort som möjligt. Självlärt är trafiken även en faktor som gör att körtiden blir längre, men tiden för en resa fram och tillbaka är mer beroende av tiderna i de båda ändarna, det vill säga i Göteborgs hamn och i Viared. De tider det är störst spridning på och som påverkar den totala tiden mest är:

- **Tiden i hamnen.** Tiden som spenderas i hamnen kan vara allt ifrån 30 min upp till 4h på grund av köbildning och väntetider för att få containers. Detta är inget projektet kan påverka mer än att ha en diskussion med APM och hoppas på att de förbättrar situationen. Mer information i avsnitt 8.4.2.6 nedan.
- **Tiden i Viared.** Ibland när ekipaget kommer till Viared och skall byta fulla containers mot tomma, är inte alltid de tomma redo, och det medför att chauffören behöver vänta i Viared. Det tar även mer tid när containers ska fraktas till olika varuägare. Då detta problem ligger hos projektets partners finns det mer möjlighet att påverka detta problem, bland annat genom att bygga dryporten, men även genom att se till att containrarna är färdiga när ekipaget kommer till Viared.
- **Tid för backning.** Om chauffören är ovan vid att köra ekipaget kan backningen ta lång tid. Det påverkar självklart både tiden i hamnen, såväl som i Viared. Med mer övning för chaufförerna innan ekipaget körs i trafik så kan detta problem förebyggas.
- **Körtiden.** Körtiden mellan hamnen och Viared kan variera, beroende på annan trafik, vädersituationer m.m.

I hamnen behöver ekipaget backas in i en parkeringsficka, se Figur 71 nedan, och därefter kommer en grensletruck med en container i taget. Som ses i bilden, är de nedre fickorna bredare än de andra, vilket förarna föredrar. Dock kan inte chauffören alltid välja vilken ficka som ska användas då det ofta är kö och man måste ta den som blir ledig.

Det som vanligtvis är problemet vid backning, är att dollyn svänger lite för mycket och sen inte kan rätas upp. På grund av mängden ledpunkter i ekipaget är det lätt hänt för en oerfaren förare. Då behöver ekipaget först rätas ut, innan man kan påbörja backningen igen. Detta kan ta upp till ungefär 20 minuter och det är först när ekipaget är på rätt plats som chauffören kan trycka på den knapp som gör att grensletruckarna får ordern på containern som skall lastas på ekipaget. Ett problem vid förarbyte uppstår i det fall den nya föraren inte är van vid att backa med den här sortens släpkombination och man inte heller har hunnit träna på det. Chauffören som tog över ekipaget i juni 2022 fick åka med i tre dagar med tidigare chaufför och provköra/provbacka. Det märks tydligt om chauffören är ovan att backa ekipaget eller om hen har kört det under en längre tid och därför utför backningen snabbare. En lärdom från detta är att om nya chaufförer får öva på att backa med ekipaget innan hen kör ekipaget i hamnen, kommer den tiden man lagt på att öva att återbetalas snabbt. Man kan spara 10-20 minuter per resa om chauffören har fått öva på att backa och därmed kan göra backningen både smidigare och snabbare. I AF-II kommer ett träningsystem att utvecklas så att chaufförerna kan öva på backning med hela ekipaget.



Figur 71. Parkeringsfickor i hamnen dit kombinationen ska backa in vid lastning av container.

8.4.2.5 GDL Sjöcontainer

GDL är ansvariga för att ekipaget körs och att data från chaufförerna blir insamlad. GDL har även varit med i tidigare HCT-projekt. Vad som skiljer tidigare projekt från Autofreight projektet är att i Autofreight är fler partners involverade än vanligt. Till exempel har GDL normalt bara en kund och inte flera. För GDLs del hade de även gärna sett fler kunder i projektet för att fylla flödet av containers ännu mer, framför allt genom att få fler kunder med transporter från Viared till Göteborg. Bland annat hade de för låga volymer i början av projektet, som tillsammans med att det tog tid för chauffören att lära sig köra ekipaget, gjorde att det i början fick en del negativa ekonomiska effekter.

Fler partners och framför allt fler kunder hade dock gjort logistiken mer komplicerad. Under projekttiden har det utvecklats ett bokningssystem för kunderna. Detta har inte varit i drift under AF-I, men är något som eventuellt behövs för AF-II. Idag tar kunderna direktkontakt med GDL angående körningarna.

Själva bilen har GDL varit nöjda med och den har överlag fungerat bra. Det har under projekttiden endast varit mindre problem eller att bilen varit inne på verkstad och sedan kommit tillbaka, utan att problemet åtgärdats. De mest märkbara problemen med bilen har varit att service och andra stillestånd har påverkat körtiden för ekipaget. Om stillestånd uppstår behöver två andra ekipage ersätta under tiden, då tillståndet för att köra med A-dubbel enbart gäller för bilar med mått som stämmer med tillståndet för teknisk provning, och att chaufförerna måste skriva på avtal för sekretess och GDPR, vilket kan vara svårt att lösa beroende på framförhållningen. GDL hade inga reservbilar som de kunde använda när hastiga problem uppstod. Därför hade det underlättat för GDL att utföra service på bilen under helger och/eller röda dagar. Det har även uppstått problem om den befintliga chauffören blivit sjuk då det inte har funnits upplärda extra chaufförer som kan ersätta ordinarie chaufför. Då ekipaget är mer krävande att köra än en vanlig singeltrailer, speciellt vid backning, saknas det möjlighet att ta vilken chaufför som helst som ersättare.

I projektet har det undersökts om en dryport ska byggas i Viared. Enligt GDL hade detta underlättat för dem då ekipaget i projektet hade kunnat köra enbart mellan Göteborgs hamn och

dryporten i Viared, och eventuellt hinna med en ytterligare resa per dag. Det är dock inte säkert att dryporten skulle vara fördelaktig för dem om det blir möjligt att köra med en långlink på sträckan (dvs köra med en lång B-dubbel istället för A-dubbel), men medan det används en dolly ser de positiva effekter från en dryport.

8.4.2.6 Göteborgs hamnen (APM Terminals)

Det som har varit mest tidskrävande under en resa har varit tiden som har spenderats i hamnen. Att ekipaget är över 30 m långt har varit besvärligt i hamnen då vändytorna inte är anpassade för den längden. En egen infart för Autofreighttekipaget har diskuterats, men hamnen gick inte med på det. Bristen på anpassning leder till tidsåtgång vid vändning och backning av ekipaget. Mycket stillestånd och väntetider i hamnen beror på köbildning vid lossning och lastning. I Figur 72 nedan syns en bild på hamnen och vart köbildningen uppstår. I Figur 73 syns det även vart ekipaget har stått stilla med tändningen på och väntat. Väntetiderna varierar mycket och det finns inget direkt mönster för tiderna mer än att det generellt sett är mer kö på eftermiddagen än på förmiddagen, se Figur 74. Ett problem kopplat till detta är att ekipaget ofta behöver köra till flera portar i hamnen och därav köa i två separata köer för de båda containrarna de hämtar. Vid tillfällena då båda containers fås vid samma port syns tidsvinster då ekipaget endast står i en kö. I Figur 73 syns det till exempel att ekipaget köat i två portar, röda prickar.



Figur 72. Karta över området i Göteborgs hamn där Autofreight ekipaget har kört. Grön sträcka: ingen kö. Orange och röd sträcka: kön börjar inom detta område och är olika från dag till dag. Ibland är det kö på nästan hela sträckan och ibland är det ingen kö alls på sträckan. Röd sträcka: sträckan som det var kö på under en dag då medåkning genomfördes.



Figur 73. Väntetider i hamnen där ekipaget stått stilla med tändningen på. Röd indikering är mer tid och grön indikering är mindre tid.



Figur 74. Väntetider i hamnen under april månad 2022. Tid i timmar och minuter vs resenummer. Finns inget mönster i väntetiderna – varierar väldigt från gång till gång hur lång tid som chauffören behöver spendera i hamnen.

I Figur 75 visas väntetiderna i hamnen som samlats in genom att bilen loggat när ekipaget åker in i hamnen och senare åker ut ur hamnen. På grund av att väntetiderna är så pass långa, blir ibland dagen för chauffören väldigt lång plus att det hindrar ekipaget från att köra fler än två rundor per dag. Väntetiderna leder också till högre bränsleförbrukning, eftersom bilarna ofta står på tomgång när de väntar i hamnen. Chaufförerna i projektet har nämnt att andra chaufförer blir irriterade och sura om de stänger av fordonet och de känner sig därför skyldiga att ha motorn på och hela tiden långsamt förflytta sig framåt. Det leder naturligtvis också till att chaufförerna måste vara i bilen under väntetiden och att de inte kan ta rast under

den tiden. Om tiden i hamnen hade kunnat utnyttjas bättre hade inte lika mycket bränsle dragits och chauffören hade kunnat anpassa sina raster så att de tas i samband med väntetiden i hamnen. Göteborgs hamn prioriterar inte detta problem då det i dagsläget inte finns någon ekonomisk drivkraft för dom. Tiden i hamnen har även påverkats av Covid-19 pandemin där hamnen hade personalbrist vilket ledde till längre tider i kön för lastbilschaufförerna. Hamnen prioriterar alltid lossning och lassning av fartyg innan lassning och lossning av lastbilar. Eftersom hamnen får betalt av rederierna och inte åkerierna, så prioriterar de deras lastning.

2020:	Medelvärde:	Min:	Max:
Nov	53 min	20min	1h & 44min
Dec	45 min	14min	1h & 32min
2021:			
Jan	54min	23min	1h & 43min
Feb	1h	22min	1h & 55min
Mar	52min	21min	1h & 41min
Apr	52min	14min	1h & 33min
Maj	1h & 8min	24min	3h & 20min
Jun	1h & 4min	27min	2h & 44min
Jul			
Aug	1h & 5min	22min	2h & 33min
Sep	1h & 6min	31min	1h & 49min
Okt	1h & 11min	21 min	2h & 8min
Nov	1h & 14min	30min	2h & 3min
Dec	1h & 1min	28min	3h & 8min
2022:			
Jan	1h & 28min	26min	3h & 28min
Feb	1h & 25min	28min	3h & 55min
Mar	1h & 22min	30min	3h & 34min
Apr	1h & 24min	21min	3h & 34min

Figur 75. Väntetider i hamnen nov-2020 till apr-2022. * Registrerad data.

8.5 WP5 Infrastrukturanpassning

I detta arbetspaket har fokuset primärt legat på de delar som har skett och utvecklats av Borås Stad, dels i trafiken, dels i logistiken och servicen för användarna.

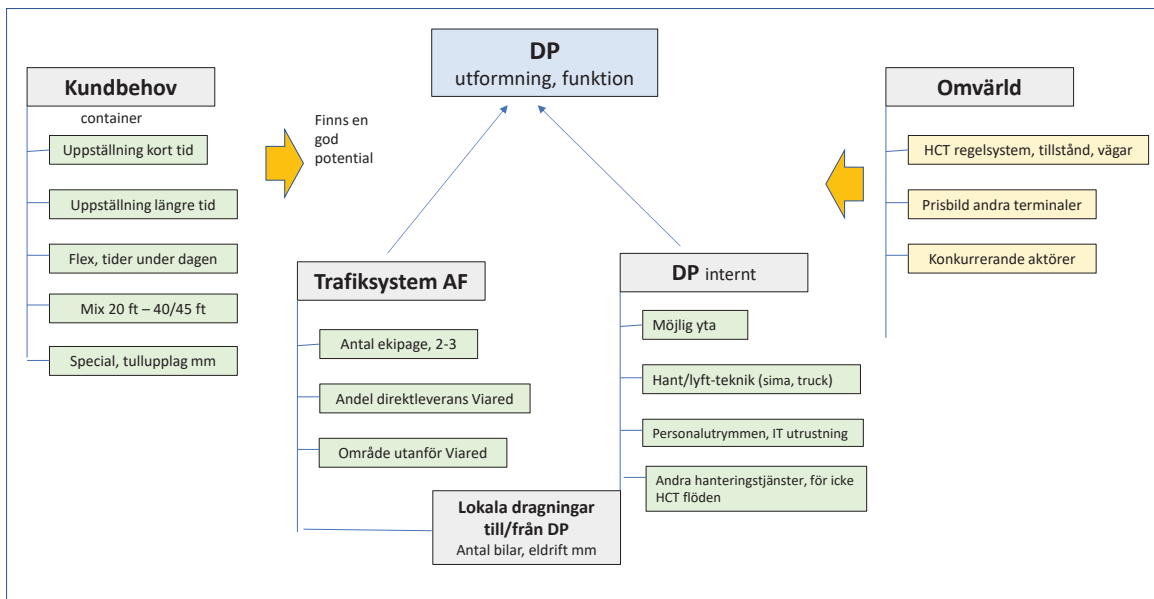
8.5.1 Förstudie för färdigställande av en dryport

Redan i trafikstarten hade Borås Stad anlagt en öppen terminalanläggning med belysning och låst grind, användbar men utan säkerhetsutrustning och inhägnad. Det finns en infart och diken runt om så att det inte går att köra in med fordon förutom genom grinden. Enligt ovan var den först avsedd som en plats att koppla isär och ihop ekipaget.

Under senare delen av projektet har det påbörjats en dialog om kundernas behov av en dryport samt dimensionering; storleksbestämning, analys av användningssätt och även investeringskalkyler för de kompletteringar som identifierades. Det har även studerats hur den ska utformas, vilka flöden som passar, fler turer per dag om bara dryport ska betjänas, möjlig ekonomi vid olika volymer, driftformer, kopplingen till lokala dragningsverksamheten, mm.

Det har successivt framkommit att dryportens funktion, storlek, utrustning och möjliga volymer är beroende av många faktorer som vi måste ta hänsyn till, sammanfattat i Figur 76 nedan.

ÖVERSIKT – VAD PÅVERKAR DRY PORT UTFORMNING OCH ROLL, VOLYM?



Figur 76. Översikt över vad som påverkar dryporten (DP)

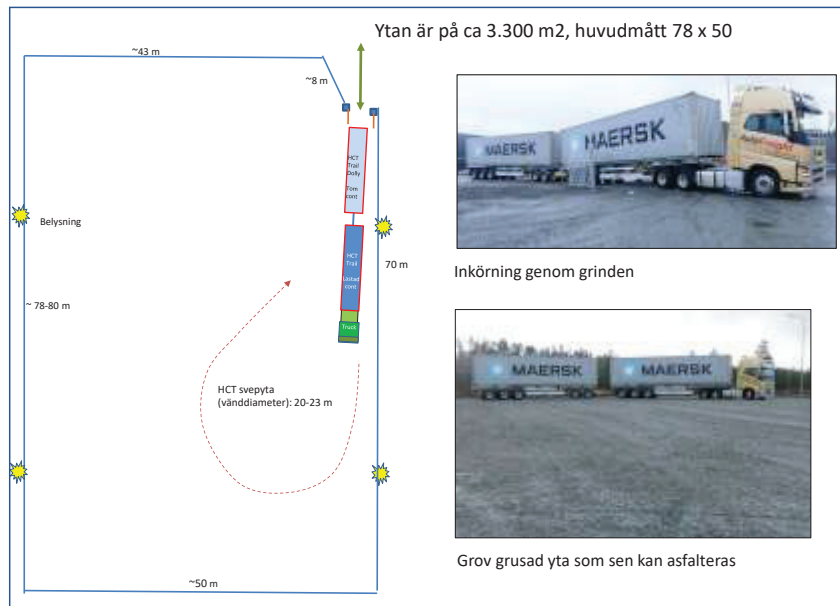
I slutet av projektet togs det fram en grov investeringslista som kommer att användas i fortsättningsprojektet AF-II, dessa är:

- Tomtytan är inte tillräcklig och det kommer krävas dubbla tomtytor, totalt runt 8000 m².
- Asfaltering av hela ytan.
- Vissa delar av ytan kan behöva förses med betongplattor för att klara frekventa/tunga trucklyft.
- Stängsel med sensorer.
- En eventuell sluss för HCT-ekipaget, en inre inhägnad för in- och utpassage.
- Larmsystem och videoövervakning.
- Rondering enligt Viareds företagarförening avtal.
- Troligen en truck, reachstacker för lyft av bakom- och ovanpå ställda container.
- Hus för personal och viss administration.

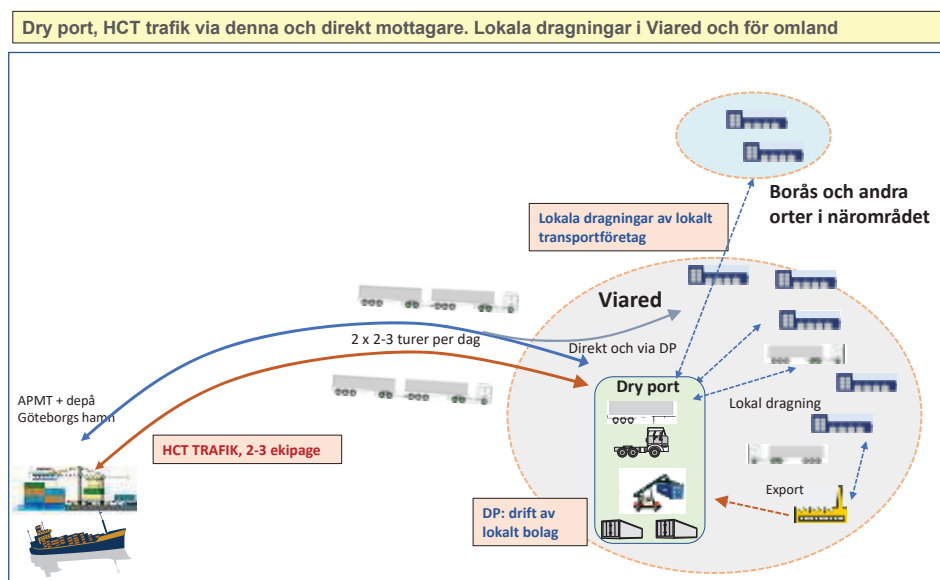
Under AF-I gjordes redan en del investeringar för dryportens terminalyta, arrangerade av GDL Sjöcontainer:

- Hårdgrusning av ytan om ca 3300m² inklusive en infart
- Dikning runt hela ytan
- Fyra lyktstolpar
- Manuell grind med lås

Det behövs även betydligt större volymer inom Autofreight för att dryporten ska fylla sitt syfte. Fler kunder behövs, även om nuvarande har en god basbeläggning. Uppställning av containers över natt och flera dagar är viktig och kräver hög säkerhetsgrad, på grund av att en stor andel av godset är stöldbegärliga produkter.



Figur 77. Dryport – Nuvarande utformning



Figur 78. Trafiken mellan Göteborgs hamn och slutkund, via dryporten.

8.5.2 Krav på väginfrastruktur

Vägar, korsningar och rondeller inom Viared har studerats och slutsatsen är att i princip alla vägar inom området är användbara för HCT. Ekipaget kan trafikera alla adresser, men givetvis är möjligheterna olika hos de individuella lagren och terminalerna, vissa kan ta emot ekipaget medan vissa kräver avkoppling av ena semitrailern innan leverans.

Det har även undersökts om det är möjligt att införa en ny infart från RV40 till västra Viared. Denna kommer i så fall inte hamna så långt från dryporten, skulle betydligt avlasta nuvarande infart samt förkorta körsträckan och tiden till dryporten, Ellos och Fristads. Det skulle innebära mer än 8 km kortare enkel väg och möjligheten till ställ-/rastplats för chaufför, för till exempel lunch. Ett förslag till detta kommer under AF-II.

Även möjligheter för framkomlighet med HCT på andra vägar utanför Viared har studerats, detta inför kommande utökningar av vägnätet för denna typ av trafik.

8.5.3 Kundernas logistik – krav och behov i transportererna

Varför behövs en dryport? En dryport gör att man kan öka antalet HCT-turer, det vill säga öka användningen av HCT-ekipage. Det kommer skapa mer flexibilitet i leveranstider, och ha containers (förtullade eller oförtullade) uppställda nära mottagarna.

Trafiken utan utbyggd dryport

Kvalitet	Autofreight	Anmärkande effekt
Antal leveranser	Endast 2 turer till mottagare	
Tidsflexibilitet	Anländer till Viared kl 7 och ca kl 13, eller vid kl 12 och ca 16. Beroende på när chauffören börjar köra på morgonen.	Kund måste anpassa sig
Morgonleverans	Stort tryck på att få container på första turen	Dialog om att ta emot tur 2
Avställning trailer	Under dagen används delvis Ellos stora ytor som plats, annars viss avställning ute på gatan	Belägger ytor, platser som inte normalt används, trängsel
Ankomst med 1 cont	Vissa mottagare har för liten ledig yta för HCT dubbel – måste ställa 1 trailer och köra in med den andra, ev upprepa med nr 2	Tar rätt mycket tid och kräver lämplig plats på väg eller annat ställe
Snabb utleverans från lagret	Vissa varor är sålda och ska distribueras direkt	Här viktigt med varje dags tidsvinst
20 fots container	Inte så lämpade för HCT dubbel, ger lägre intäkt om 1 och 1 på varje trailer	Neg. för ekonomi och miljö

Ett vanligt önskemål är att få morgonleverans vilket skapar mycket omprioriteringar, t ex att om kund 1 absolut vill ha det, måste kund 2 ta emot under eftermiddagen eller kanske vänta till nästa dag. Alternativet är att sätta containers på singeltrailer: dessa finns ju hela tiden parallellt.

Med utökad trafik, dryport och lokala dragningar

Kvalitet	Autofreight & DP	Anmärkande effekt
Antal turer med HCT	Kan köra upp till 3 turer/dag och chaufförstimmar	Fler HCT mil per dag
Antal leveranser kund	Öka från 2 till minst 4 per dag	Jämnare för mottagaren
Tidslängd för lossning	Container ska kunna förfogas längre tid under dag eller övernatt	Minskad tidspress, jämnare beläggning i lagermottag mm
Uppställning av container kort, 1-2 dagar	Närhet till container förenklar avrop om leverans	Betala mindre hamnhyra, underlättar lossningsplanering mm
Uppställning container längre tid, >3 dagar	En väl efterfrågad tjänst, då APMT trycker på -att få ut så fort som möjligt	Helt säkert en betydligt minskad container hyra mot hamnhyran
Tullager	Kan hållas av den som har dryport driften lokalt i Borås. Tillstånd som utökas från dennes befintliga	Stor efterfrågan flera kunder
20 fots container	Lättare ta 2 containers per trailer: avlyft på dryport.	Klart bättre trailer ekonomi och miljöeffekt
Export	Underlättar att snabbt få rätt rederi-container	Om uppställda i depå
Mer export	Genom att exporten mer ligger utanför Viared kan de lokala dragningarna attrahera mer	Betyder mycket för HCT ekonomi

Mycket av detta pekar mot dels behovet av ett ökat antal ekipage som kan växelverka över veckans dagar, dels med en dryport som ökar flexibiliteten och tätheten i leveranser och samtidigt ger en avlastning till de många dagar då containrarna måste bli stående i hamnen. Hamnhyran ökar väldigt mycket efter några fria dagar och ett par med lägre pris, då hamnen vill bli av med container så fort som möjligt.

8.5.4 Volymen som krävs för effektivt flöde och lönsamhet

GDL har löpande rapporterat vilka volymer de kört med HCT respektive singeltransporter. Under en stor del av månaderna det senaste året har man kommit upp i en beläggning om mellan 18-19 container i snitt per vecka. Detta av normalt sett 20 möjliga vid 2 turer per dag. Det motsvarar ca 80 containers per månad för att uppnå balans och lönsamhet. Dock finns det en känslighet här då det gäller att kunna placera container för varje tur och alla dagar. Oftast finns det betydligt mer att köra i HCT än vad som klarats av, men det motsatta förekommer också enstaka dagar. Hade HCT haft exportflödet, som planerat, hade ekonomin förbättrats betydligt.

8.5.5 Transportavtal mellan kund och transportör

Innan transportererna kom i gång hade Borås Stad medverkat till att utförliga och transparenta transportavtal upprättades. De har varit individuella mellan GDL Sjöcontainer och respektive varuägare (Ellos, Fristads, Kerry Logistics och Volvo Bussar), de var i stort sett identiska och med samma fraktpriiser.

Det var utformade som ett vinst/förlust avtal, vilket betyder att överskottet i trafiken skulle delas ut efter varje kunds användning under ett kvartal. Blir det underskott sker en delning lika per användare. Detta har tillämpats och avräknats i efterhand.

Under 2021 utformades ett nytt avtal där vinst/förlust modellen ersattes med ett där risken helt ligger på transportören GDL, men där eventuella överskott till hälften tillfaller en liten "utvecklingsfond" som kan användas för kommande förbättringar i systemet.

Fraktpriserna för kunderna skiljer lite mellan 20 fots och 40/45 fots container. Normalt körs bara 1 styck 20 fots container på en trailer. I frakten ingår även avställning av tom container i depå i hamnen eller utanför, vidare ingår normala väntetider i hamnen. Här skiljer sig Autofreights prissättning från det normala där nämna kostnader oftast ligger utanför.

Förutom frakten tillkommer ett så kallad DMT (drivmedelstillägg, en % på frakten) som är kopplat till svängningarna i dieselprierna. Första halvan av perioden var DMT noll (inbakat, nollställt), sedan i takt med ökande bränslepriser har ett tillägg tagits ut. I det andra avtalet sattes fraktpriset även med hänsyn till användning av den dyrare HVO100 diesel.

Fraktnivån för kunderna både i första avtalet och i andra bedöms konkurrenskraftigt och gynnsamt för kunderna. Hade exporten med Volvo Bussar funnits med som planerat, hade ekonomin för transportören, och därmed troligen också för övriga kunder blivit ytterligare mer gynnsamt. Detta till följd av modellen med transparens och gemensam utveckling mellan alla projektets parter. De under 2022 långa väntetiderna hos hamnen har lett till att både Autofreight och andra transportörer har tvingats till så kallade väntetidstillägg, vilka har diskuterats vid stormöten och accepterats av partnerkunderna.

8.5.6 Kontakt med rederierna - containerägarna

Under 2021 genomfördes fler kontakter och presentationer med tre stora rederier (Maersk, Hapag Lloyd, One Line). Diskussionen har främst gällt att undersöka intresset för containerdepå på dryport. Som komplement till hamnen, för främst exportflöden som finns i Borås eller i närheten inom ett par tre mil. Uppställning och viss reparationservice i väntan på bokning. Därmed sker en besparing i att inte behöva köra ner containern tom till hamnen, plus ökad flexibilitet för korta avrop.

Huvudresultat av detta arbete är att rederierna är beredda att möta upp igen när implementeringen av dryporten kommit längre med etablering och funktion. Under pandemin rådde också särskilt svåra sjötrafikförhållanden som drog ner deras intresse för nya produkter.

8.5.7 Genomförandet från Borås sida

Borås Stad genomförde i nära samverkan med deltagande parter projektet i fyra faser:

Fas 1. Validering av logistikparametrar

Fanns det tillräckligt bra infrastrukturella förutsättningar och ekonomi i det tänkta HCT-systemet för att överväga en detaljprojektering och upphandlingar?

Logistikparametrar som analyserades var primärt:

- Containervolymer över tid med variationer.
- Tid och platskvalitet för transportsystemet hos de högfrekvent arbetande e-handelsföretagen.
- Nottider hos varuägarna beroende på arbetssätt o hanteringsförutsättningar.
- Trafiksäkerhet särskilt avseende cyklister.
- Befintliga transportavtal med nivåindikationer från tänkt HCT.
- System och samplanering vid gemensam övergång till nya avtal.

- Särskilda hänsynstaganden bland annat för rederiernas kravställningar mm.

Fas 2. Projektering av logistiksystem med transportörer och varuägare

I denna fas dimensionerades trafiksystemet vad gäller exempelvis antal trailers och deras utrustning för dubbeltransport, chaufförstimmar som behövs, turers tidsmässiga placering, förväntade kundbehov, avtalsformer och volymåtaganden mm.

Det dimensioneras av olika skäl till en relativt sluten karaktär. Annan dimensionering låg i antal dagliga turernas tider för hämtning, avställning, sammankoppling import/export container på dryport.

Dryporten dimensioneras ytmässigt, storlek och underlag mm, utifrån partners behov.

Fas 3. Initial trafikfas

Två månader efter trafikstarten i januari 2020, gjorde Covid-19 pandemin att Volvo Bussars flöde upphörde. Dock utfördes några transporter innan dess och bekräftade att modellen, för att få fram rätt exportcontainer från våra importkunder, kunde releasas/friställas från import, inspekteras och placeras hos Volvo Bussar. Transporten innebar en avhämtning som singelbil, koppling till HCT på dryport och vidare till Göteborgs hamn med HCT i rätt tid.

Andra problem och utvecklingsinsatser:

- Långa och svåra förhållande för tillbackning i Göteborgs hamn. Försökt att förbättra dessa, utan resultat. Träning av chaufför för vinklad backning.
- Värdering av lösning för kort uppställning utanför hamnen för optimerad access till Port 3 och 4.
- Startat projekt för backningssupport, hjälp till chaufför i hamnen och hos mottagare med hjälp av Chalmers.
- Trimning av chaufförstider och tider för fordonsservice.
- Importörernas vanliga önskemål om leverans på första turen blev en utmaning.

I denna fas undersöks också marknaden för en containerdepå. Ett antal rederier kontaktades och deras krav på dryport, liksom vilka av deras exportflöden, som skulle kunna ge viktiga returvolymmer. Pandemin ledde tyvärr till minskat intresse genom att fokus hos rederierna inriktades på alla trafikproblem och obalanser i fraktvolymmer.

Trafiksystemets ekonomi följs nu upp löpande och visade tidigt på vilka faktorer som skapade både svängningar i resultat och vilka systemkänsligheter som måste bearbetas.

Fas 4. Konsoliderad trafikfas

Mot slutet av första årets trafik, 2020, gick systemet in i en jämnare och mer etablerad fas. Under senare delen av 2021 uppstod en del svårigheter i form av kraftigt ökande dieselpriser och väntetider i hamnen, faktorer som också har stor negativ effekt på ekonomin. En del av dessa tas ut mot kunderna i form av tillägg, i huvudsak enligt transportavtalen. Under denna tid började även bränslet HVO100 att användas, med ytterligare bra miljöeffekter. Den högre kostnaden accepterades i de nya avtalen. Hela transportmarknaden hade ju samma situation.

Trots mottagarnas preferens för 1a turen på morgonen lyckas GDL ändå få till en hög beläggning på 2a turen. En annan utmaning blev att ta hand om en varierande mix av containerstorlekar 20-40-45 fot. Genom de löpande mätningarna av bränsleförbrukningen kunde lastningsmönstret förbättrats genom att försöka placera trailrarna i den mest gynnsamma ordningen vad gäller deras vikt, containerhöjd mm.

8.6 WP6 Juridiska aspekter

Införandet av nya transportlösningar kräver även att juridiska aspekter, dvs lagstiftning och regelverk, samordnas med teknikutvecklingen. Även om automation på Nivå 4 inte kunde demonstreras inom projektet som det först var tänkt så fördes diskussioner om möjliga justeringar av kör- och vilotidsregler. Bland annat diskuterades hur man skulle kunna utnyttja automation på Nivå 4 tillsammans med förändrade regler för kör- och vilotider för att effektivisera körningarna.

Många olyckor orsakas av trötthet och bristande uppmärksamhet, och för att undvika olyckor orsakade av trötthet måste lastbilsförare hålla sig till strikta regler för körtid och nödvändiga viloperioder. Till exempel får en lastbilschaufför i Europa köra högst 4,5 timme innan en kort vila (45 min) måste tas (Transportstyrelsen, 2022). Vissa delar av körning med hög grad av automation (Nivå 4) skulle kunna ses som vilotid, vilket kommer att förlänga hur länge den automatiserade fordonskombinationen kan köra kontinuerligt med en förare utan att stanna.

Vad man dock har sett under projektiden är att det i detta fall inte är körtiden eller chaufförens kör- och vilotider som påverkar hur många körningar man hinner med under en dag. Alltså, även om sträckan på RV40 kan göras autonom, så är det inte den som är avgörande för hur många körningar ekipagets hinner med på en dag.

Projektet ser fördelar med automatiserad körning i samband med vilotider, till exempel hos kombinationer som kör en sträcka på ungefär 4,5h och inte vill stanna mitt i resan på grund av att körtiden tagit slut. Dock finns det en risk med att införa vilotider under automatiserad körning. Till exempel leder det till försämrade pausmöjligheter för chauffören, då vilotiden tas i bilen. Då kan chauffören inte äta lunch på en restaurang eller ta en toalettpaus. Risken med detta är att exempelvis budbolag, som redan pressar en del chaufförer tidsmässigt, kommer att påtvinga raster i bilen under automatiserad körning, som i sin tur leder till försämrade arbetsvillkor för chaufförerna.

Det fanns en tro i början av projektet att den automatiserade körningen kunde hjälpa chaufförerna, men samtidigt har fler aspekter uppkommit under projektiden och därav behöver detta undersökas noggrant om vilotider under automatiserad körning ska införas eller ej. Samtidigt som den automatiserade körningen kommer ta tid att införas lagligt, bör dessa aspekter undersökas samtidigt då de med största sannolikhet kommer ta väldigt lång tid.

På grund av att körtiden inte är det som primärt påverkar effektiviteten, har det istället framkommit att man borde undersöka möjligheten att ändra logistiken i hamnen och på dryporten i Viared. Detta kommer förmodligen gå snabbare att anpassa än att förändra lagstiftningen för kör- och vilotider.

8.7 FFI – målen

Detta projekt har bidragit till flertalet av FFIs övergripande mål, nedan presenteras vilka och hur:

Projektet har även bidragit till milstolpar inom EUTS och TSAF, se nedan. Projektet är också i linje med målen 2030 i FFI-programmet trafiksäkerhet och automatiserade fordon, dock har dessa förts över till fortsättningsprojektet Autofreight-II.

EUTS Milstolpar: Uppkopplade tjänster (Digitalisering)

EUTS Milstolpar		AutoFreight	
2020	2025	Tänkta bidrag 2016	Faktiskt bidrag 2022
<p>1: Logistik Tjänster för ökad fyllnadsgrad, färre tomtransporter, bättre anpassad turtäthet, rutter och busstorlek till flödet av passagerare demonstrerade. Bättre användning av distributionsbilar över dygnet med off-peakleveranser demonstrerade.</p>		<p>Integrering av Göteborgs hamnsystem och fordonsflottans trafikledningssystem minskar antalet resor som genomförs dagligen, detta då ruttan kan planeras bättre vilket leder till minskade väntetider i hamnen och ökar effektivitet vid hämtning och avlämning av containrar.</p>	<p>Kunskap om godstransporternas behov: Godset fraktas till Viared i containrar, och från Viared i paket. Alla bolag i Viared vill ha sina containrar på morgonen (kl.07:00-08:00), och lasta av på förmiddagen. Hamnen ville inte samarbeta och integreras tillsammans med trafiksystemet. Väntetiderna i hamnen kvarstår. Ingen transport in och ut i hamnen mellan kl.18:00-06:00. Det vill säga att det inte är möjligt med transporter mellan kl.18:00-06:00. I slutet på projektet ökade hamnen öppettiderna till 21:00.</p>
<p>9: Trafikledning En snabb och tillförlitlig kommunikation mellan fordon och infrastruktur demonstrerad som möjliggör autonoma fordon.</p>	<p>9: Demonstrationsprojekt för trafikledning av autonoma fordon på utvalda sträckor.</p>	<p>Trafikledningssystem för att hitta optimerade rutter för automatiserade fordon, med hänsyn tagen till trafik och vägmiljö samt fordonets energiförbrukning, skulle undersökas.</p>	<p>Borås stad har arbetat med logistiken. Samt att Combitech har system för optimerade rutter.</p>

EUTS Milstolpe: Anpassade transportlösningar

EUTS Milstolpar		AutoFreight	
2020	2025	Tänkta bidrag 2016	Faktiskt bidrag 2022
	1. HCT finns introducerat på mindre delar av det svenska vägnätet. Volym- och viktoptimerade fordonskombinationer för delar av vägnätet med stöd av PBS regelverk och intelligent tillträdeskontroll.		Påvisat att HCT blir lidande om enbart ett begränsat vägnät kan användas. Fler vägar behövs. Då godset är mycket stöldbegärligt så måste man kunna köra direkt till så många kunder som möjligt. En container körs vanligtvis till en kund, och därav kör kombinationen till två kunder per tur.
	2: Anpassade terminaler för effektivare transferering av gods och människor i och kring städer.	Dryporten i Viared kommer att samordnas med lokala företag för att förbättra logistiksystemet för containertransporter avsedda för Boråsområdet.	Det har uppkommit information om vad som behövs för att dryporten skall fungera, till exempel behövs staket, dubbla grindar och bevakning under 24h om dygnet. Likt Göteborgs hamn.
	3: Delsträckor av Gbg-Mlm-Sthlm anpassade för autonoma lastbilar (nivå 4) 4.	Motorvägsavsnitt från Göteborg till Viared, Borås, förberedd för automationsnivå 4.	Sträckan mellan Göteborg och Viared är en tuff vägsträcka med mycket trafik, växlande väder/väglag och lågt liggande sol. Därav är sträckan inte optimal för autonoma körningar.

TSAF Milstolpar		AutoFreight	
Milstolpe 2:1 - 2020	Milstolpe 2:2 - 2025	Tänkta bidrag 2016	Faktiskt bidrag 2022
Ett koncept för det framåtblickande och uppkopplade fordonet finns tillgängligt för testning och verifiering.	Produkter relaterade till det framåtblickande och uppkopplade fordonet finns tillgängliga på marknaden.	<p>Programområde A: F&U => 2025</p> <p>- Datainsamling från exteroceptiva sensorer och fordonsdata med hjälp av logistikfordonet.</p> <p>Gjort av Chalmers och Combitech</p> <p>- Studier om produktivitet och miljöpåverkan.</p> <p>Bränslestudier antal fordon etc.</p> <p>Programområde B: F&U => 2025</p> <p>- Identifiering av krav på kommersiellt tunga fordonstransportsystem med automationsnivå 4 med avseende på dynamiska redundanta system, såsom broms- och styrsystem.</p> <p>- Exteroceptiva sensorer bidrar till ökad säkerhet genom aktiv säkerhet och automatisering.</p> <p>- Forskning i att välja strategi för det självkörande systemet för att hantera olika trafiksituationer som trafikstockningar, olyckor mm.</p> <p>Programområde E: F&U => 2025</p> <p>- Identifiering av krav på kommersiellt tunga fordonstransportsystem med automationsnivå 4. Krav kommer att vara relaterade till regler och föreskrifter, fordonsfunktionalitet och säkerhet som uppdatering av väginfrastruktur, för att minska dödsolyckor till noll.</p> <p>Krav för att uppnå automationsnivå 4 förväntas påverka flera delar av fordonet såsom som:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Taktiskt beslutsfattande • Navigationssystem • Objektdetektering med hjälp av exteroceptiva sensorer • Dynamics redundanta system (bromssystem och styrsystem) <p>Programområde G: F&U => 2025</p> <p>- Forskning kring automation och aktiv säkerhet av tunga fordonsstransportsystem för motorvägar.</p> <p>- Kravimplementering och validering på testbana för automationsnivå 4.</p>	<p>Forskningsresultat om automatisering av fordon på strategisk, taktisk och operativ nivå. På strategisk nivå: Anpassning av transportledningssystem för autonoma transporter inklusive ruttplanering och övervakningsfunktioner. På taktisk nivå har forskning gjorts om effektivare beslutsmodeller för långa fordon för filbyten, motorvägsavfarter och korsningar. Metodik för att bedöma osäkerhet hos algoritmer vilket ger kunskap om hur Machine Learning modeller kan tränas bättre och verifieras. På operativ nivå har forskning gjorts om planeringssystem för att fordonet skall följa en bestämd bana. Vidare har forskning bedrivits om delar av perceptionssystemet, exempelvis positionering med hjälp av LiDAR. Ett omfattande dataset med kördata har skapats genom kontinuerlig uppkoppling av Logistikplattformen.</p> <p>För att stötta förare i ett av de svåraste momenten vid körning med A-dubbel, backning, har ett koncept för förarstödssystem utvecklats.</p> <p>Flera delar av utvecklad teknik och forskning har testats och demonstrerats både genom simulering, skalmodeller och körning med verkliga fordon.</p>

9 Diskussion

Under projekttiden har mycket kunskaper uppkommit och därav även mycket lärdomar. Dessa lärdomar tillsammans med yttre parametrar har påverkat projektet och ett urval av dem presenteras nedan.

9.1 Tidsåtgången i Göteborgs hamn

Tiden som spenderas i hamnen har varit en stor faktor till att tiden per resa blivit väldigt lång. Det är heller inte möjligt för chaufförerna att ta rast i större delen av hamnen då de måste stå i en kö och hela tiden köra långsamt framåt. Om hamnen hade utvecklat en virtuell kö för kösystemet hade inte chaufförerna behövt sitta i kön. En möjlighet hade kunnat vara att ha en parkering där chaufförerna kan ställa sig och vänta på sin tur och därmed även passa på att ta rast vid långa köer. Vid parkeringen hade det även kunnat finnas en rastplats så att chaufförerna kan köpa mat eller gå på toa. Idag tar ibland chaufförerna rast i lastfickan när de väntar på containers, men den rasten tas mest för att de ska slippa stanna igen senare under resan. Vid den rasten står de inne i hamnen och kan därav inte gå på toa eller köpa mat. De behöver även stå stilla i 15 min för att det ska räknas som en rast och då kan de stå kvar i lastfickan även när de är färdiglastade för att få ut hela rasten. I hamnen behöver ekipaget ibland stå i olika portköer för lastning av olika containers. Denna extra kötid leder till ytterligare väntetider i hamnen.

Liknande problem kring parkering finns även i Viared, där det inte finns parkeringsmöjligheter för lastbilar för tillfället som gör det svårt för raster och rangering även för andra lastbilar.

9.2 Påverkan av Covid-19 pandemin

Fältprovsförsöket har pågått under pandemin då flödet av containrar gick ner. Volvo Bussar skulle bidra med ett flöde från Viared till Göteborg hamn, så att ekipaget skulle varit lastat även genom delar av returflödet och därav ökat effektiviteten. På grund av Covid-19 blev Volvo Bussars flöde kraftigt reducerat och de hade inte med transporter i projektet.

Inom projekt så var det även personer som blev permitterade på grund av Covid-19 och därav saktades delar av projektet ner under 6 månader i 2020. Bland annat blev uppföljningen lidande då Volvo har haft hand om den och de blev permitterade. När permissionen väl var slut låg uppföljningen och datainsamling för Chalmers forskning långt efter och detta var en anledning till att projektet behövde förlängas. Datainsamlingen som skulle från Volvo till Chalmers blev även påverkad då GDPR frågor behövde lösas upp och Volvopersonalen var permitterade. Därav tog det längre tid för Chalmers att få tillgång till den information de behövde för sina resultat. Även mängden godstransporter gick ner under pandemin, det var nästan enbart Ellos som fortfarande hade ett stabilt flöde under pandemin.

9.3 Förlängning av projektet och fortsättningsprojektet AF-II

När projektet Autofreight-I startade 2017 trodde man att det skulle finnas autonoma lastbilar på våra vägar någon gång mellan 2025 och 2030. Autofreight-I skulle uppnå Nivå 4 (självkörande med övervakande chaufför i fordonet), men under projektet har det framkommit att Nivå 4 på allmänna vägar ligger längre fram i tiden. Man har också insett att det finns mycket att göra inom säkerhet, logistik, förar- och transporteffektivitet för att öka produktionen och trafiksäkerheten samt minska CO₂-utsläppen och antalet fordon på våra vägar.

Lärdomarna från Autofreight har lett till att ett fortsättningsprojekt (Autofreight-II; AF-II), som skall försöka svara på de nya frågor som har uppstått, är av intresse. AF-II kommer att fokusera på systemeffekter och hur de skall uppnås. Inom AF-II har man även tagit med fler företag som partners med intresse av resultatet (bland annat Fristads, Goodyear, Luleå Tekniska Högskola, NetOnNet, AFRY och VTI).

I Autofreight-II: Här ska vi gå vidare och få fram hela den ekonomiskt lönsamma och funktionella modellen för dryporten. Vi ska i den projektdelen låta den planerade expanderade trafiken få sätta sig, därefter uppdatera kalkyler, användningssätt och anläggningens utrustning. Dessutom gäller det att säkra kundunderlaget och därefter ta beslut om byggstart.

9.3.1 Ändrat fokus gällande automatisering

Vid tiden för projektstarten 2017 var gängse uppfattningen att autonoma lastbilar skulle kunna vara kommersiellt tillgängliga kring 2025-2030. Flera lastbilstillverkare presenterade koncept för självkörande lastbilar och ett antal tester och demonstrationer genomfördes om bland annat platooning. Det innebär att flera lastbilar kör i en konvoj där första lastbilen körs av en mänsklig förare och de andra lastbilarna som kommer efter kör själva. Utvecklingen inom automatisering har gått snabbt framåt, men det är tveksamt om visionerna om helt självkörande lastbilar inom de kommande 5-10 åren kan komma att infrias. Det finns ett flertal faktorer som har gjort att den kommersiella implementeringen av autonoma lastbilar har gått långsammare än man först förutspådde. Medan det är helt klart möjligt att göra ett begränsat antal lastbilar självkörande i en avgränsad och kontrollerad miljö, så är det en långt mer komplex uppgift att sälja lastbilar i stora volymer på olika marknader och som klarar i stort sett vilka trafikmiljöer som helst. Det är helt enkelt (fortfarande) en alltför stor uppgift att verifiera lastbilens funktion för alla tänkbara (och otänkbara) trafiksituationer. Därför har självkörande lastbilar framförallt utvecklats för användning inom inhägnade områden, som gruvor, exempelvis Volvos självkörande lastbilar hos Brønnøy Kalk A/S, se Figur 79.



Figur 79. Självkörande lastbil i kalkbrott (Volvo).

Den casestudie som gjorts inom projektet Autofreight med transporter mellan hamnen i Göteborg och Viared visade också tydligt att även om själva fordonen automatiseras så återstår en rad olika aktiviteter som måste göras för att logistiken skall fungera och som i nuläget görs av föraren. Detta inkluderar exempelvis registrering av identitet för de containrar som lastas, identifiering av var semitrailers som skall hämtas upp står parkerade och löpande enklare underhåll på fordon och utrustning. Att även automatisera sådana aktiviteter är görbart men frågan är om det är kostnadseffektivt då det kräver omfattande utveckling för exempelvis integration med en rad andra system. Caset visade också att även vid manuell körning så finns det ett behov av viss automatisering i form av förarstöd för backning.

Vidare så krävs särskilda tillstånd för test och utveckling av autonoma fordon på allmän väg. Tidigt i projektet undersöktes möjligheterna att söka ett sådant tillstånd, men vid den tiden var tillståndprocessen inte klar, och den skulle kompliceras ytterligare av att det gällde ett fordon (A-dubbel) som i sig behöver särskild dispens för körning på allmän väg.

Sammantaget gjorde detta att projektet valde att frångå målet med att köra en autonom A-dubbel på allmän väg och istället fokusera på specifika forskningsområden inom automatisering, inklusive förarstödssystem för backning.

10 Spridning och publicering

Projektet har lett till mycket ny kunskap och många nya insikter. Under projekttiden har dessa kunskaper spridits på flera olika sätt. Spridningen har framkommit på flera olika sätt, se nedan, bland annat genom publikationer, föredrag/seminarier och via nyheter under hela projekttiden, det vill säga under 6 år.

10.1 Kunskaps- och resultatspridning

Projektet har innefattat mycket resultat och varje partner har själva internt fått resultat som de spridit inom sina organisationer. Nedan presenteras ett urval av spridningen.

Hur har/planeras projektresultatet att användas och spridas?	Markera med X	Kommentar
Öka kunskapen inom området	X	Automation, HCT, logistik, lassning/lossning, E-handels behov, hamnstrategi (prioriterar båtarna och intern transporter före lastbilarna)
Föras vidare till andra avancerade tekniska utvecklingsprojekt	X	AutoFreight-II, HELPED, och andra projekt inom Volvo, Chalmers och andra svenska aktörer.
Föras vidare till produktutvecklingsprojekt	X	Kunskap och problemställningar som förts vidare
Introduceras på marknaden	X	Bland annat VDS-funktionen som testats
Användas i utredningar/regelverk/ tillståndsärenden/ politiska beslut	X	34,5m regelverket, besök av politiker och andra beslutsfattare

Ett urval av tillfällen för resultatspridning är listade nedan:

Business Sweden	4 maj 2022
Studiebesök Trafikutskottet (C)	25 apr 2022
Nordisk HCT-konferens	8 dec 2021
Svenska transportföretagen	29 sep 2021
Stockholm Business Arena	23 sep 2021
HVTT	4 sep 2021
Svenska ambassaden Berlin	16 jun 2021
Borås politiska klimatråd	15 apr 2021
Fyrbodals kommunalförbund	29 mar 2021
SAFER Research and project day	9 mar 2021
Nordisk HCT-konferens	22 okt 2020
Presentation för indiska transportministern	8 feb 2020
E-handelsstaden Borås frukostföreläsning	22 jan 2020
Vinnova EUTS resultatkonferens	03 dec 2019
Flertal seminarier i Kina	apr 2018

10.2 Publikationer

Under projekttiden har flertalet publikationer gjorts med koppling till projektet Autofreight.

10.2.1 Mediala publikationer

Borås Stad (2022) Projektet Autofreight [[Länk](#)]

Borås Stad (2020) Unikt trafiksystem rullar ut mellan Borås och Göteborgs hamn [[Länk](#)]

Borås Stad (2020) Autofreight – Unik utveckling av långa lastbilar [[Länk](#)]

Chalmers (2017) Självkörande lastbilar i nytt stort forskningsprojekt [[Länk](#)]

Dagens Logistik (2020) Nu rullar extra långa lastbilar mellan Viared och Göteborgs hamn [[Länk](#)]

Logistiktransportstiftelsen (2020) HTC-fordon testas mellan Göteborgs hamn och Viared [[Länk](#)]

Trafikverket (2021) AutoFreight – Självkörande lastbilar för smartare logistik [[Länk](#)]

Trailer (2017) Självkörande lastbilar för effektivare logistik i Göteborg [[Länk](#)]

Transport och Logistik (2017) Autofreight: Nytt test med självkörande lastbilar [[Länk](#)]

Svensk Åkeritidning (2020) HCT-ekipage fraktar gods mellan Borås och Göteborg [[Länk](#)]

Volvo (2017) Self-driving trucks could give more efficient container transports [[Länk](#)]

10.2.2 Forskningspublikationer

Projektet har resulterat i både avhandlingar, vetenskapliga artiklar, konferensartiklar och projektrapporter vilka listas nedan. Fullständiga referenser återfinns i referenslistan, se avsnitt 13.

Over 60,000 km in a year: Remotely collecting large-volume high-quality data from a logistics truck

Christian Berger, Arpit Karsolia, Federico Giaimo och Ola Benderius, konferenspaper 2021, publicerad artikel 2022

Continuous experimentation and the cyber-physical systems challenge: An overview of the literature and the industrial perspective

Federico Giaimo, Hugo Andrade och Christian Berger, publicerad artikel 2020

Continuous Experimentation for Automotive Software on the Example of a Heavy Commercial Vehicle in Daily Operation

Federico Giaimo, Christian Berger, konferenspaper 2020

An evolutionary approach to general-purpose automated speed and lane change behavior

Carl Johan Hoel, Mattias Wahde, Krister Wolff, konferenspaper 2017

Automated speed and lane change decision making using deep reinforcement learning

Carl Johan Hoel, Krister Wolff och Leo Laine, konferenspaper 2018

Combining planning and deep reinforcement learning in tactical decision making for autonomous driving

Carl Johan Hoel, Katherine Driggs-Campbell, Krister Wolff, Leo Laine och Mykel J Kochenderfer, publicerad artikel 2020

Tactical Decision-Making in Autonomous Driving by Reinforcement Learning with Uncertainty Estimation

Carl Johan Hoel, Krister Wolff och Leo Laine, konferenspaper 2020

Reinforcement Learning with Uncertainty Estimation for Tactical Decision-Making in Intersections

Carl Johan Hoel, Tommy Tram och Jonas Sjöberg, konferenspaper 2020

Decision-making in autonomous driving using reinforcement learning – introduction to an uncertainty-aware approach

Carl Johan Hoel, doktorsavhandling 2021

Ensemble Quantile Networks: Uncertainty-Aware Reinforcement Learning with Applications in Autonomous Driving

Carl Johan Hoel, Krister Wolff och Leo Laine, paper för publicering 2021

Trajectory Planning and Control for Articulated Heavy Vehicles using Simulation Based Search

Peter Nilsson, Leo Laine, Bengt Jacobson, Guillermo Gómez González, Anders Svensson och Arpit Karsolia, paper 2018

Development of environments to test driver assist functions for reversing an A-double combination vehicle

Vikram Parshetti, Lohith Reddy Keshava Reddy, Anand Prabhu, Nrupathunga Ashok, Pratham Jain och Akhil Srinivas, projektrapport 2021

Deep LiDAR localization using optical flow sensor-map correspondences

Anders Sunegård, Lennart Svensson, och Torsten Sattler, konferenspaper 2020

10.2.3 Examensarbeten

Flera examensarbeten har erbjudits inom projektet, både inom logistik och teknik, se tabellen nedan. Fullständiga referenser återfinns i referenslistan, se avsnitt 13.

En samverkan mellan högkapacitetsfordon och torrhamnar – kartlagt utifrån triple bottom line

Lina Johansson och Cajsa Larsson, Högskolan i Borås, 2017.

Utvärdering av informationsutbyte vid konsolidering och de-konsolidering av stora mängder gods

Linnea Alm, Sofia Magnusson och Anna Mattson Granlund, Högskolan i Borås, 2017.

Högkapacitetstransporter - En utvärdering av två alternativa transportlösningar med avseende på effektivitet och miljöpåverkan

Anna Karlsson och Linda Malyk, Högskolan i Borås, 2017.

Vehicle perception with LiDAR and deep learning

Hampus Berg och Johan Larsson, Chalmers, 2018.

Impacts of High Capacity Transport on cargo handling activities inside container terminals, A transportation network capacity approach

Mathias Naperotti, Chalmers, 2020.

Tactical Decision-Making for Highway Driving

Anders Nordmark och Oliver Sundell, Chalmers, 2018.

Future dynamics of the Swedish heavy-duty truck industry

Ludvig Börjesson och Erik Sidbrant, Chalmers, 2018.

Trajectory planning for automated high-way driving of articulated heavy vehicles

Patrik Nilsson och Patrik Wallin, Chalmers, 2018.

Trajectory planning for automated driving of articulated heavy vehicles

Julius Diestra och Spyridon Skouras, Chalmers, 2019.

Modelling and assessment of performance-based standards for high capacity vehicles
Mikko Karisaari, Chalmers, 2020.

Att driva transporter med elektricitet från solenergi
Kasper Andersson och Alexander Simonsson, Chalmers, 2021.

Propelled and steered converter dolly for improved shunting of semi-trailers at goods terminals
Neel Kashhawah och Clive Rahul Misquith, Chalmers, 2022.

11 Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har kommit fram till flera nya lärdomar, men även flera nya frågetecken. Under projektiden har syftet omformulerats på grund av detta och anpassat sig till verkligheten. Huvudresultaten kommer att föras vidare till fortsättningsprojektet AF-II.

- I AF-I har enbart ett ekipage använts. I AF-II vill vi undersöka fördelarna med flera HCT-ekipage som samverkar tillsammans. Vilka systemeffekter kan man uppnå med fler enheter? Fler ekipage öppnar även upp för möjligheten till fler varuägare. Det finns även en stor ekonomisk känslighet med enbart ett fordon.
- Under projektiden har betydelsen av att bygga en dryport stärkts. Detta kommer föras vidare till AF-II där fortsatta undersökningar kommer att göras. Dryporten kommer bidra till ett expanderat, flexiblere och effektivare trafiksystem.
- Det krävs ytterligare kunskaper hos Borås Stad i hur infrastrukturen behöver anpassas på logistikcentren, tex anpassade rondeller och kurvor, anläggning av rastplatser.
- Logistiken i ändpunkterna har varit bristfällig och förbättringsmöjligheter kommer att föras vidare till AF-II. Bland annat lokala anpassningar som kan göras i Viared.
- Ekipaget är komplicerat att backa och det tar tid att göra det innan chauffören fått in vana av det.
- Signifikansen av backningssupport har stärkts under projektets tid. Full automatisering är inte realistiskt i dagsläget, men det behövs förarutbildning och förarstöd för vissa funktioner såsom backning med en A-dubbel. Ett konceptuellt förarstöd för backning utvecklades och demonstrerades i projektet.
- De flesta varuägare vill ha sina leveranser på morgonen/förmiddagen, men även andraturen har en hög beläggning. Då det finns önskemål om leveranser på olika tider på dagen så kan dryporten i kombination med löpande lokal distribution av containers under både för- och eftermiddag vara en möjlig lösning.
- Även om utvecklingen av fullt automatiserade lastbilar på allmän väg kommer ta längre tid än vad man först antog, så har projektet givit flera forskningsbidrag relaterat till fordonsautomation.
- Anpassningen av ett transportledningssystem visade på hur autonoma fordon kan ledas från en central. Projektet har samtidigt också tydligt visat att många andra saker än just körningen behöver anpassas för att automatiseringen av fordonen skall ge ökad effektivitet i logistiksystemet.
- Projektet har också visat hur Machine Learning kan användas för beslutssystem för autonoma fordon, exempelvis för att göra säkra filbyten med långa fordon. Skattning av osäkerhet i besluten ger viktig information som kan hjälpa till vid verifiering av sådana system, vilket är ett angeläget område för fortsatt forskning.

12 Deltagande parter och kontaktpersoner

Namn	Företag
Anders Glemfelt	Borås stad
Sara Thiel	Borås stad
Kaj Ringsberg	Borås stad (konsult)
Robert Ljunggren	Borås stad (konsult)
Anna Carlsson	Chalmers
Arpit Karsolia	Chalmers
Bengt H Jacobson	Chalmers
Carl-Johan Hoel	Chalmers
Christian Berger (docent)	Chalmers/Göteborgs Universitet
Fredrik von Corswant	Chalmers
Krister Wolff (docent)	Chalmers
Lars Hammarstrand	Chalmers
Lennart Svensson	Chalmers
Ola Benderius (docent)	Chalmers
Martin Hedvall Fogelquist	Combitech
Fredrik Andén	Ellos
Jan Stråe	GDL
Douglas Krook	GDL
Anna Svensson	Fristads
Johanna Brorsson	Kerry logistic
Thomas Asp	Trafikverket/CLOSER
Pär Ekström	Transportstyrelsen
Tobias Johansson	VBG
Kaj Enberg	Volvo Buss
Jan Lindberg	Volvo Buss
Aime Vesmes	Volvo Technology
Anders Sunegård	Volvo Technology
Klara Pålsson	Volvo Technology
Lennart Cider	Volvo Technology
Lena Larsson	Volvo Technology (projektledare)
Peter Nilsson	Volvo Technology
Clive Misquith	AFRY
Emil Olsson	AFRY
Helene Jarlsson	AFRY
Krishna Kashampur	AFRY
Tekniksprångare/Jobbsprångare	
Elias Vitelli Bryngelsson	Volvo Technology
Faten Ben Jomaa	Volvo Technology
Johanna Wising	Volvo Technology
Louise Karlsson	Volvo Technology
Simon Börjesson	Volvo Technology

Tidigare projektledare	
Emma Wermström	Volvo Technology
Lennart Andersson	Vehicle Automation
Mariana Forsberg	Vehicle Automation
Styrgrupp tillkommande	
Jerker Sjögren	JESJO Konsult
Bolennarth Svensson	VBG-konsult
Per-Axel Ohlsson	AFRY
Helene Jarlsson	Kinnarps
Jonas Jävert	Schenker Åkeri
Bo Hedberg	VBG Group
Robert Celec/Torbjörn Gustafsson	Volvo Trucks
Anna Carlsson	Chalmers
Chaufförer	
Håkan Skoglund	
Caroline Järnemark	
Anders Hjorth	
Zoltan Barta	

13 Referenser

- ACEA (2013) *European Modular System*, <https://www.acea.auto/fact/european-modular-system/>.
- Alm, L., Magnusson, S. och Granlund, A. (2017) *Utvärdering av informationsutbyte vid konsolidering och de-konsolidering av stora mängder gods*, examensarbete, Högskolan i Borås [[Länk](#)].
- Andersson, K. och Simonsson, A. (2021) *Att driva transporter med elektricitet från solenergi - En studie som fokuserar på laddning av HCT-fordon mellan Viared och Göteborgs Hamn*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola [[Länk](#)].
- Aurell J. & Wadman T. (2007). "Vehicle Combinations based on the Modular Concept", Nordiska Vägtekniska Förbundet, Rapport nr 1/2007.
- Behere, S. och Törngren, M. (2015) *A Functional Architecture for Autonomous Driving*, First International Workshop on Automotive Software Architecture (WASA), Montreal, Canada.
- Berg, H. och Larsson, J. (2018) *Vehicle perception with LiDAR and deep learning*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola [[Länk](#)].
- Berger, C., Karsolia, A., Giaimo, F. och Benderius, O. (2022) *Over 60,000 km in a year: remotely collecting large-volume high-quality data from a logistics truck*, Springer Nature Applied Sciences, september.
- Bergsten, P., Cider, L., Jarlsson, H., Jonsson, I., Jönsson, J., Karlsson, B., Larsson, L., Olsson, P., Persson, D., Stigborg, J-Å., Svensson, B. och Vesmes, A. (2017) *DUO2-projektet - Energieffektiva fordonskombinationer - Forskning, utveckling och fältprov av fordon anpassade för extended EMS*, FFI-rapport, Diarienummer 2013-01282, <https://www.vinnova.se/globalassets/mikrosajter/ffi/dokument/slutrapporter-ffi/effektiva-och-uppkopplade-transporter-rapporter/2013-01282.pdf>
- Börjesson, L. och Sidbrant, E. (2018) *Future dynamics of the Swedish heavy-duty truck industry – Scenarios for the adoption of autonomous, connected and electrified trucks by 2030*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola [[Länk](#)].
- Campanello, S. (2018) *Volvos försök med självkörande bilar i Göteborg stoppas*, NyTeknik [[Länk](#)]
- Combitech (2020) *Highly Automated Freight Transport*, publik rapport.
- Cordts, M., Omran, M., Ramos, S., Rehfeld, T., Enzweiler, M., Benenson, R., Franke, U., Roth, S. and Schiele, B. (2016) *The Cityscapes Dataset for Semantic Urban Scene Understanding*, in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, <https://arxiv.org/pdf/1604.01685.pdf>
- Diestra, J. och Skouras, S. (2019) *Trajectory planning for automated driving of articulated heavy vehicles*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola [[Länk](#)].
- Dosovitskiy, A., Ros, G., Codevilla, F., Lopez, A. and Koltun, V. (2017) *CARLA: An open urban driving simulator*, In *Proceedings of the 1st Annual Conference on Robot Learning*, pages 1–16, 2017.
- Eckhardt, J. och Rantala, J. (2012) *The Role of Intelligent Logistics Centres in a Multimodal and Cost-effective Transport System*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol.48, pp.612-621.
- Francis, S. (2017), *ADAS: Features of Advanced Driver Assistance Systems*, <https://roboticsandautomationnews.com/2017/07/01/adas-features-of-advanced-driver-assistance-systems/13194/>, publicerad 2017-07-01

- Fröjd, N., Pettersson, E. och Larsson, L. (2021) *Svenska HCT Typpfordonskombinationer utvärderade mot år 2020 gällande regelverk för BK4*, Nordiskt Vägforum, teknisk rapport.
- Gaiimo, F., Andrade, H. and Berger, C. (2020) *Continuous experimentation and the cyber-physical systems challenge: An overview of the literature and the industrial perspective*, Journal of Systems and Software (JSS), december.
- Gaiimo, F. och Berger, C. (2020) *Continuous Experimentation for Automotive Software on the Example of a Heavy Commercial Vehicle in Daily Operation*, Proceedings of the European Conference on Software Architecture (ECSA), september.
- Hoel, C. J., Wahde, M. and Wolff, K. (2017) *An evolutionary approach to general-purpose automated speed and lane change behavior*, in Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, Cancun, Mexico, pp. 743-748.
- Hoel C. J., Wolff, K. and Laine, L. (2018) *Automated speed and lane change decision making using deep reinforcement learning*, in Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, Maui, HI, USA, pp. 2148-2155.
- Hoel, C. J., Driggs-Campbell, K., Wolff K., Laine, L. and Kochenderfer, M. J. (2020a) *Combining planning and deep reinforcement learning in tactical decision making for autonomous driving*, in IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, vol. 5, no. 2, pp. 294-305.
- Hoel, C. J., Wolff, K. and Laine, L. (2020b) *Tactical Decision-Making in Autonomous Driving by Reinforcement Learning with Uncertainty Estimation*, in Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Virtual conference, pp. 1563-1569.
- Hoel, C. J., Tram, T. and Sjöberg, J. (2020c) *Reinforcement Learning with Uncertainty Estimation for Tactical Decision-Making in Intersections*, in Proceedings of the 23rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, Virtual conference, pp. 1-7.
- Hoel, C. J. (2021) *Decision-making in autonomous driving using reinforcement learning – introduction to an uncertainty-aware approach*, doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola.
- Hoel, C. J., Wolff, K. and Laine, L. (2021) *Ensemble Quantile Networks: Uncertainty-Aware Reinforcement Learning with Applications in Autonomous Driving*, submitted to IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2021.
- Holland, J. H. (1975), *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press.
- Huang, X., Cheng, X., Geng, Q., Cao, B., Zhou, D., Wang, P., Lin, Y., Yang, R. (2019) *The ApolloScape Dataset for Autonomous Driving*, <https://arxiv.org/pdf/1803.06184.pdf>
- Högländer, M., Hernvall, V., Ödeen, F., Knutsson, J. (2021) *A-double Vehicle Combination Reverse Assistance Using Linear Quadratic- and Pure Pursuit controllers*, Automotive Engineering Project report, Chalmers tekniska högskola.
- Johansson, L och Larsson, C (2017) *En samverkan mellan högkapacitetstransporter och torrhamnar – kartlagt utifrån triple bottom line*, examensarbete Högskolan i Borås [[Länk](#)].
- Kang, Y., Yin, H., Berger, C. (2019) *Test your self-driving algorithm: an overview of publicly available driving datasets and virtual testing environments*, IEEE Trans Intell Veh 4(2):171–185.
- Karisaari, M. (2020) *Modelling and assessment of performance-based standards for high capacity vehicles*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola [[Länk](#)].
- Karlsson, A. och Malyk, L. (2017) *Högkapacitetstransporter - En utvärdering av två alternativa transportlösningar med avseende på effektivitet och miljöpåverkan*, examensarbete, Högskolan i Borås, 2017 [[Länk](#)].

- Kashhawah, N. och Misquith, C. R. (2022) *Propelled and steered converter dolly for improved shunting of semi-trailers at goods terminals*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola.
- Ljunggren, R. (2016) *Borås godsflödesanalys*, projektet Borås Connected, utdrag från analysrapport, presentation för Borås Stad.
- Moroza, N. och Jurgelane-Kaldava, I. (2019) *Development and Location of Logistics Centres: A Systematic Review of Literature*, Economics and Business, Vol.33, pp.264-272.
- Naperotti, M. (2020) *Impacts of High Capacity Transport on cargo handling activities inside container terminals, A transportation network capacity approach*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola.
- Nilsson, P. (2017) *Traffic Situation Management for Driving Automation of Articulated Heavy Road Transports - From driver behaviour towards highway autopilot*, doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola.
- Nilsson, P., Laine, L., Jacobson, B., Gómez González, G., Svensson, A., Karsolia, A. (2018) *Trajectory Planning and Control for Articulated Heavy Vehicles using Simulation Based Search*, Preparation of paper for IEEE Access.
- Nilsson, P. och Wallin, P. (2018) *Trajectory planning for automated high-way driving of articulated heavy vehicles*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola [[Länk](#)].
- Nordmark, A. och Sundell, O. (2018) *Tactical Decision-Making for Highway Driving*, examensarbete, Chalmers tekniska högskola [[Länk](#)].
- Parshetti, V., Reddy, L. R. K., Prabhu, A., Ashok, N., Jain, P., Srinivas, A. (2021) *Development of environments to test driver assist functions for reversing an A-double combination vehicle*, Automotive Engineering Project report, Chalmers tekniska högskola.
- Potdar, K., Chinmay, D. P., Akolkar, S. (2018) *A Convolutional Neural Network based Live Object Recognition System as Blind Aid*, Computer Vision and Pattern Recognition, Cornell University.
- Sunegård, A., Svensson, L. och Sattler, T. (2020) *Deep LiDAR localization using optical flow sensor-map correspondences*, presenterad vid International Conference on 3D Vision (3DV), online konferens.
- Transportstyrelsen (2022) *Regler om kör- och vilotider*, <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Kor--och-vilotider/regler-om-kor--och-vilotider/> (uppdaterad 2022-08-17)
- Yin, H. och Berger, C. (2017) *When to use what data set for your selfdriving car algorithm: an overview of publicly available driving datasets*, Proceedings of the 20th IEEE international conference on intelligent transportation systems (ITSC) Yokohama.
- Zhao, H., Qi, X., Shen, X., Shi, J., Jia, J. (2018) *ICNet for Real-Time Semantic Segmentation on High-Resolution Images*, <https://arxiv.org/pdf/1704.08545.pdf>