

Publik rapport

Autofreight2

Effektiva transportsystem för regionala containertransporter



Huvudförfattare: [Lena Larsson](#), [Fredrik von Corswant](#)
Medförfattare: [Robert Ljunggren](#), [Robert Brikic](#), [Jesper Sandin](#), [Fredrik Bruzelius](#), [Klara Eliasson](#), [Joakim Syversen](#), [Sara Janhäll](#), [Geert Iven](#), [Sogol Kharazzi](#), [Abhijeet Behera](#)
Datum: 2026-04-15
Projekt inom: [Effektiva och uppkopplade transportsystem](#)



Fordonstrategisk
Forskning och
Innovation

Innehållsförteckning

1 Sammanfattning	5
2 Executive summary in English	7
2.1 Project Scope and Approach	7
2.2 Demonstrated Transport System	7
2.3 Logistics and System-Level Findings	7
2.4 Vehicle Technology, Safety, and Driver Support	8
2.5 Electrification and Energy Performance	8
2.6 Automation, Digitalization, and the Role of the Driver	8
2.7 Overall Conclusions and Outlook	9
3 Bakgrund.....	10
3.1 HCT – High Capacity Transport.....	10
3.2 Logistik/transportsystem	12
3.3 Automatisering och elektrifiering.....	13
3.4 Partners i projektet.....	14
3.5 Relaterade forskningsprojekt	15
4 Syfte, forskningsfrågor och metod.....	17
5 Mål	18
6 Resultat och måluppfyllelse	19
6.1 Fallbeskrivning av containertransporter Göteborgs hamn – Viared	19
6.2 Testfordon, sensorer och dataloggning	24
6.3 Logistiksystemanalys.....	33
6.4 Ny lagstiftning för längre och tyngre fordon	43
6.5 Trafiksäkerhet för cyklister	44
6.6 Väglagsmätning	47
6.7 Backning och rangering	49
6.8 Däcksövervakning	55
6.9 Stabilitetstest av A-dubbel med elektriskt driven semitrailer på halt underlag.....	57
6.10 Utvärdering av fordonsdynamik med hjälp av lågkostnadssensorer	60
6.11 Analys av omgivande trafik med hjälp av kamerainformation.....	63
6.12 Förarstödssystem för tillkoppling av släp.....	65
6.13 Intervjustudie om eldrivna fordon och laddinfrastruktur	69
6.14 Energiförbrukning dieselfordon	71
6.15 Energiförbrukning eldrivna fordon.....	76

6.16	Tid som spenderas i noderna	82
6.17	Lyftbara axlar	84
6.18	Förarträning med simulator	85
6.19	Partikelmätningar	90
6.20	Utmaningar med delning och analys av insamlade data	97
7	Spridning och publicering	99
7.1	Kunskaps- och resultatspridning	99
7.2	Kommunikation om Autofreight och HCT	99
7.3	Publikationer och referenser	100
8	Slutsatser och fortsatt forskning	103
8.1	Logistiksystemet	103
8.2	Ny lagstiftning för längre och tyngre fordon	106
8.3	Trafiksäkerhet för cyklister	106
8.4	Väglagsmätning	107
8.5	Backning och rangering	107
8.6	Stabilitetstest av A-dubbel med eTrailer	107
8.7	Däcksövervakning	108
8.8	Utvärdering av fordonsdynamik med hjälp av lågkostnadssensorer	108
8.9	Analys av omgivande trafik med hjälp av kamerainformation	108
8.10	Förarstödssystem för tillkoppling av släp	109
8.11	Intervjustudie om eldrivna fordon och laddinfrastruktur	109
8.12	Energiförbrukning dieselfordon	109
8.13	Energiförbrukning eldrivna fordon	110
8.14	Tid som spenderas i noderna	110
8.15	Lyftbara axlar	111
8.16	Förarsimulator	111
8.17	Partikelmätningar	111
8.18	Utmaningar delning av data	112
9	Deltagande parter och kontaktpersoner	113
10	Förkortningar och begrepp	114

Kort om FFI

FFI, Fordonsstrategisk forskning och innovation, är ett samarbetsprogram mellan staten och fordonsindustrin som sedan 2009 finansierar forskning och innovation inom vägtransporter. Läs mer på www.ffisweden.se

Förord

Vi vill uttrycka vår uppriktiga uppskattning till alla som på olika sätt har medverkat till att projektet kunnat genomföras med framgång. Genom nära samverkan, stort engagemang och en positiv anda har projektet genererat värdefull ny kunskap som bidrar till en stärkt konkurrenskraft för den svenska transportsektorn.

Vi vill även rikta ett särskilt tack till FFI för förtroendet att få genomföra projektet samt för det ekonomiska stöd som möjliggjort dess genomförande.

Projektledningen
Göteborg, april 2026

1 Sammanfattning

Projektet Autofreight2 – Effektiva transportsystem för regionala containertransporter – har haft som mål att utveckla, demonstrera och utvärdera effektiva, säkra och hållbara regionala containertransporter genom en kombination av högkapacitetsfordon (HCT), nya logistiklösningar samt inslag av automatisering och elektrifiering. Projektet har genomförts som en fortsättning på Autofreight1 och har fokuserat på ett verkligt fall med flera parter involverade i containertransporter mellan Göteborgs hamn och Viareds industriområde i Borås, samt för en period även Ulricehamn.

Bakgrunden till projektet är ett ökande behov av effektiva godstransporter i takt med växande handel, samtidigt som krav på minskad klimatpåverkan, hög trafiksäkerhet och konkurrenskraftiga kostnader skärps. HCT-fordon, i detta fall främst A-dubbel med två semitrailrar, har stor potential att minska energianvändning och kostnad per transporterat ton gods, men ställer samtidigt ökade krav på logistiksystem, infrastruktur och hantering i såväl hamnterminaler som i inlandet belägna brytpunkter i form av terminaler/torrhamnar.

Inom Autofreight2 har ett fungerande HCT-baserat transportsystem etablerats och drivits i reguljär trafik. Projektet har visat att det är möjligt att öka antalet transporterade containrar per fordon med cirka 30 procent jämfört med traditionella singeltrailertransporter i ett importflöde. Med torrhamn och exportflöde i retur, hade systemet klarat minst 50% mer än singeltrailer. Samtidigt har betydande miljövinster uppnåtts, framför allt genom minskad energianvändning per container på huvudsträckan. Resultaten visar dock att effektiviteten och därmed ekonomin påverkas negativt i noderna, särskilt vid rangering, backning och lokal distribution, vilket tydliggör behovet av systemlösningar såsom en fullt utbyggd torrhamn i Viared.

Trafikens ekonomi för de utförande transportörerna har följts under hela perioden. Vi har identifierat hur ekonomin påverkas av fyllnadsgrader – andel betalande container per vecka, svängningar under säsong, månader och inom veckor. Antal lastade rundturer per dag, antal körda HCT kilometer, väntetider i noder, bränslepriser, kostnader för användning av elfordon visavi diesel inklusive olika nivåer i dessa. Möjligheterna att köra fler turer, krav på torrhamn, arbetstider och bundenheten till visst antal trailrar mm har kartlagts och värderats. Det största ekonomiska problemet för HCT driften har sin grund i dels månadsvisa volymsvängningar på grund av få kunder/partner, dels inom varje vecka – överskott vissa dagar och underskott i volym andra.

Även förhållanden som pandemins volymeffekter, rederiernas geografiska omvägar med tidsfördröjningar, hamnens användning av olika portar och effekter av andra HCT- och terminalpunkter har värderats. Den vanliga trafiken med singeltrailer (dragbil med semitrailer) arbetar med mycket små marginaler och låga fraktpriser i en hårt konkurrensutsatt värld. HCT har definitivt väl kartlagda kostnadsfördelar. Dessa har dock visat sig behöva något längre avstånd, fler rundturer per dag och ett mer öppet system (fler utjämnande kunders volym, mindre veckosvängningar, flexibelt trailerantal mm), och då noddar kan förkortas – även dessa är väl analyserade. Utan torrhamnens påverkan, och utan exportvolymers påverkan HCT negativt även rent ekonomiskt för både transportör och partner/kund. Inom Autofreight har en detaljerad plan skapats för hur en torrhamn bör se ut, tjänster som behövs, ytbehov, finansiering, investeringsbehov, driftsformer, hanteringsutrustning som containertruck, lagringsbehov, säkerhet mot godsstöld, mm. Detta kopplat till både HCT med sjögods och andra flöden som kan använda brytpunkten. Denna dokumentation är tillgänglig för kommande möjliga torrhamnsutredningar.

I slutet av projektet gjordes en analys av hur eldrivna fordon i Autofreights transporter hade påverkat den totala kostnadsbilden per år och per körd container för en av transportörerna. Bland slutsatserna finns att de betydligt högre inköps/leasingkostnaderna för dragbilen hämmar ekonomin i en övergång från dagens bränsle till eldrift, givet då aktuella prisnivåer. Analysen visar vad som krävs för att utjämna de ekonomiska skillnaderna. Framförallt är det hemmaladdning nattetid och hög nyttjandegrad som är nödvändigt för lönsamhet med eldrivna lastbilstransporter.

Projektet har även genererat ny kunskap inom flera tekniska områden. Detta inkluderar analys av fordonsdynamik för långa fordonskombinationer, trafiksäkerhet med särskilt fokus på samspel med oskyddade trafikanter, samt utveckling och utvärdering av förarstöd för backning och tillkoppling av

släp. Tester med elektrifierade fordon och elektriskt driven semitrailer har genomförts och visat potential för ytterligare energieffektivisering, även om regelverk och teknisk mognad ännu begränsar fullt införande i HCT-kombinationer. Även mätning av väglag och emissioner av däckpartiklar har studerats i projektet.

En central lärdom från projektet är att teknikutveckling behöver kombineras med organisatoriska och affärsrättsliga lösningar. Horisontell samverkan mellan varuägare, transportörer och offentliga aktörer har varit avgörande för att uppnå tillräckliga volymer och stabil drift. Projektet visar också att föraren fortsatt har en nyckelroll i systemet, där förarstöd och utbildning kan ge stora effektivitetsvinster även utan full automatisering.

Sammanfattningsvis visar Autofreight2 att HCT-baserade, uppkopplade och delvis elektrifierade transportsystem kan bidra till mer hållbara och konkurrenskraftiga regionala containertransporter. Projektet har samtidigt identifierat viktiga förutsättningar för fortsatt utveckling, såsom behov av anpassad infrastruktur (som vägnät, bryt- och servicepunkter som torrhamn), tydligare regelverk och vidare forskning kring logistiksystemets helhet. Projektet har förlängts för att möjliggöra ytterligare tester och kunskapsuppbyggnad.

Projektet har genomförts med finansiering från FFI/Vinnova, med stöd av Västra Götalandsregionen, och i nära samverkan mellan industri, varuägare, logistik / transportföretag, akademi och offentliga aktörer.

2 Executive summary in English

Growing international trade and increasing reliance on containerized freight continue to drive demand for efficient, reliable, and sustainable transport solutions. At the same time, the freight transport sector faces rising requirements to reduce greenhouse gas emissions, improve traffic safety, and maintain cost competitiveness. These challenges call for system-level innovation that combines vehicle technology, logistics concepts, digitalization, and new forms of collaboration.

The Autofreight2 project addressed these challenges by developing, demonstrating, and evaluating an integrated transport system for regional container flows based on High Capacity Transport (HCT) vehicles, combined with selected elements of automation and electrification. The project builds on the results from Autofreight1 and was conducted as a real-world, multi-client case study focusing on container transports in Sweden between the Port of Gothenburg and the Viared logistics area in Borås and to some extent also Ulricehamn.

2.1 Project Scope and Approach

The overall objective of Autofreight2 was to generate new knowledge and validate how regional container transport systems can be made more efficient, safer, and more sustainable by combining new vehicle concepts, logistics solutions, and business models. The project was organized around four main research questions:

- RQ1:** How can logistics systems based on HCT vehicles be designed for higher overall efficiency?
- RQ2:** How can driver support systems contribute to safer and more efficient operations?
- RQ3:** What efficiency gains can be achieved through electrification of parts of the vehicle combination?
- RQ4:** How can collaborative business models support improved transport planning and utilization?

To address these questions, Autofreight2 applied a case study methodology, using a real, continuously operating transport flow as a shared research and demonstration platform. This enabled in-depth analysis of technical performance, logistics operations, energy consumption, safety aspects, and organizational factors under real operating conditions. Extensive data were collected using instrumented vehicles, trailers, and infrastructure, supported by advanced sensor systems and data logging.

2.2 Demonstrated Transport System

At the core of the project was an HCT-based transport system using A-double vehicle combinations with two semitrailers, operating regularly between the Port of Gothenburg and Viared and partly to Ulricehamn. Compared to conventional single-trailer transport, the HCT configuration enabled approximately 30% more containers to be transported per vehicle movement on the main route. With a dry port in Viared, the increased number of daily containers including some export return volumes, would give at least 50% increase compared to single transport.

The system was operated in collaboration between multiple cargo owners, transport companies, vehicle manufacturers, municipalities, authorities, and research organizations. This horizontal collaboration was essential to achieve sufficient volumes and stable daily operations. The project clearly demonstrated that multi-client coordination is a prerequisite for realizing the full efficiency potential of HCT in regional container flows.

2.3 Logistics and System-Level Findings

From a system perspective, Autofreight2 confirmed that HCT vehicles offer substantial efficiency and environmental benefits on the line-haul segment, particularly through reduced energy use and emissions per transported container. However, the project also highlighted that these gains can be partly offset by inefficiencies in logistics nodes, especially during first/last-mile operations.

Key challenges were identified in terminal handling, coupling and decoupling of vehicle units, and local distribution in Viared. Since the two containers carried by an A-double often have different final destinations, additional local movements are required. This increases time consumption and energy use in nodes, and in practice limits the number of daily round trips within possible driving hours, normally only two trips per day without a dry port.

The project therefore underlines the importance of complementary logistics solutions, most notably the establishment of a fully functional dry port at the destination. A dry port with secure storage, sufficient maneuvering space, and possibilities for local redistribution—potentially using zero-emission vehicles—was identified as a critical enabler for scaling up HCT-based systems. It would also give new possibilities to balance with export volumes, as a container depot to enable fewer empty transports, inspection, repair, customs arrangements and other.

2.4 Vehicle Technology, Safety, and Driver Support

Autofreight2 also generated significant new knowledge in several technical domains. Vehicle dynamics of long and heavy combinations were analyzed under both normal and challenging conditions, including winter testing. Performance-based safety assessments showed that A-double combinations can operate safely when properly designed and regulated.

Traffic safety was studied with particular focus on interactions with vulnerable road users, such as cyclists. The results support the conclusion that HCT vehicles do not inherently reduce safety, provided that infrastructure design, speed management, and driver awareness are addressed.

Data on road surface conditions were collected, supporting further development and calibration of infrastructure systems providing information on the current road conditions. Further, emissions of particles from road surface materials and tires have been collected and analyzed.

A major operational bottleneck identified in the project was maneuvering and reversing long vehicle combinations in terminals and customer sites. The availability of drivers with sufficient experience in handling A-doubles is limited, and inefficient maneuvering can significantly reduce system productivity. Autofreight2 therefore developed and evaluated driver support systems for reversing and coupling, as well as simulator-based training concepts. These solutions demonstrated strong potential to reduce learning time, improve safety, and increase operational flexibility.

2.5 Electrification and Energy Performance

The project also explored the potential of electrification in HCT systems. In addition to conventional diesel-powered vehicles, tests were conducted with battery-electric tractor units and electrically driven trailers (eTrailers). The concept of distributed propulsion—where propulsion is shared between the tractor and one or more trailing units—was shown to offer promising opportunities for improved energy efficiency, range and traction performance.

However, the project also revealed that regulatory constraints and technical maturity currently limit the deployment of electrified components in full HCT combinations on public roads. While the technical feasibility was demonstrated, further regulatory development and system integration work are required before large-scale implementation is possible.

2.6 Automation, Digitalization, and the Role of the Driver

Autofreight2 confirms that expectations of rapid deployment of fully autonomous heavy freight vehicles have been overly optimistic. While automation functions perform well in constrained environments such as highways, the complexity of real-world logistics operations—including terminals, customer sites, and interactions with infrastructure—means that the human driver remains a central actor in the system.

Rather than full automation, the project demonstrates that targeted driver support functions can deliver significant benefits. Supporting the driver in complex tasks such as reversing, coupling, and energy-efficient driving provides a pragmatic and impactful path forward, both technically and economically.

2.7 Overall Conclusions and Outlook

Autofreight2 demonstrates that HCT-based, connected, and partially electrified transport systems can substantially improve the sustainability and competitiveness of regional container transport. The project confirms energy and cost benefits at the system level, while also identifying critical dependencies related to logistics and traffic system design – including breakpoint solutions like dry port, infrastructure adaptation (like HCT adaptation and electric charging facilities), and collaboration between stakeholders. There is also a substantial dependency on external factors like customer market size and relative container flow stability. In Autofreight the volume from the around five customers were large enough on a yearly basis but had too many variations between seasons and between weeks and week-days to be a competitive system.

The key lesson is that technological innovation alone is insufficient. To realize the full potential of HCT and emerging vehicle technologies, coordinated development of logistics nodes, regulatory frameworks, business models, and driver support systems is required. The results from Autofreight2 provide a strong knowledge base for continued development, future pilot implementations, and policy decisions aimed at enabling more sustainable freight transport systems in Sweden and beyond. A large road network has to be opened to ensure competitive operation. Dry ports need to be guarded to store high-value goods and also enable storage of non-cleared goods.

The project was funded by FFI/Vinnova, with support from the Västra Götaland Region, and carried out through close collaboration between industry, academia, and public stakeholders.

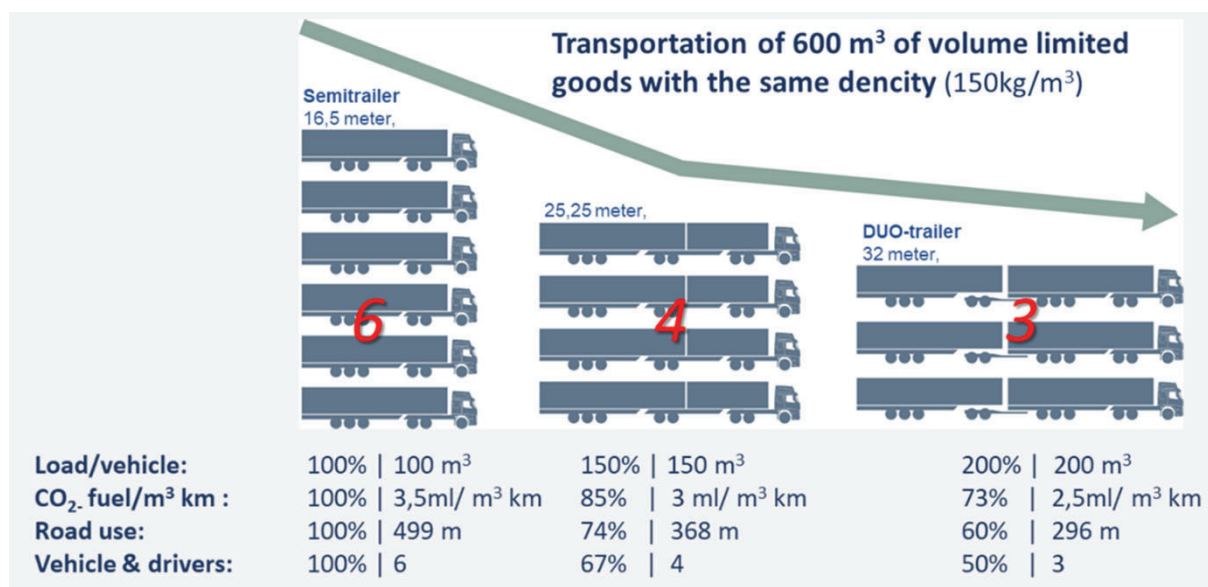
3 Bakgrund

Ökande handel leder till ett ökande transportbehov. För transkontinentala transporter används till övervägande del containrar vilka lämpar sig väl för långväga intermodala transporter. Kraven på minskad miljöpåverkan, reducerade ledtider och minskade transportkostnader ökar ständigt. Detta driver på utvecklingen av ny teknik och nya logistiklösningar. Utveckling av ny teknik (tex batterier, sensorer, positioneringssystem och artificiell intelligens) har accelererat utvecklingen av elektrifierade, automatiserade och uppkopplade fordon. På logistikområdet har effektivitetsvinster kunnat påvisas med exempelvis HCT-fordon (High Capacity Transport), intermodala transporter och implementering av logistikcenter eller så kallade ”torrhamnar”. Hur stora effektivitetsvinsterna blir totalt sett beror dock på hur väl olika teknik- och logistiklösningar samverkar. I följande avsnitt ges en översiktlig bakgrund till projektet och några olika områden som har studerats närmare inom ramen för projektet.

3.1 HCT – High Capacity Transport

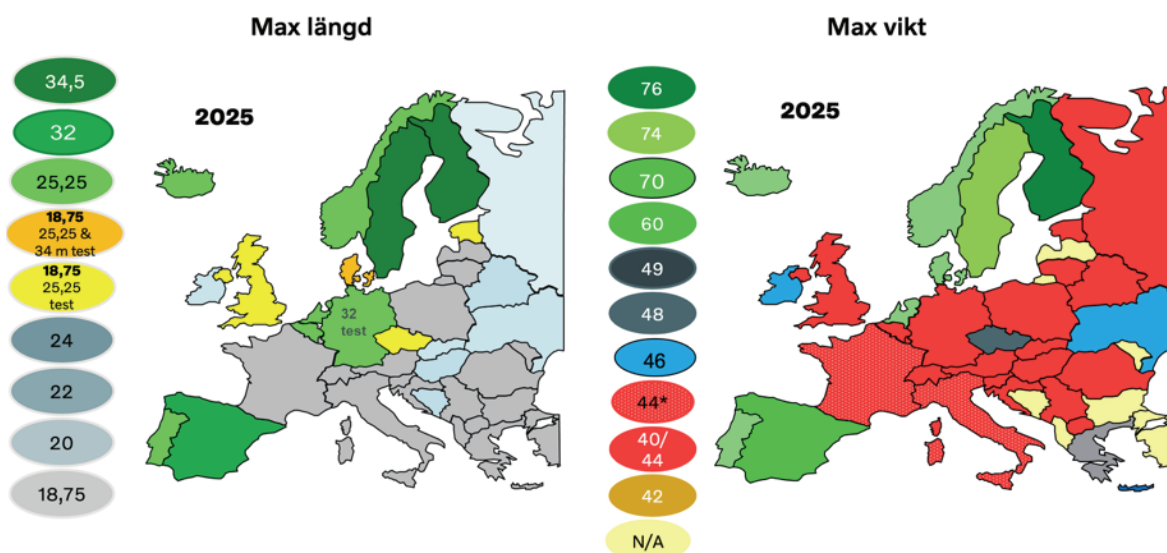
Grundtanken med HCT är att koppla ihop flera släp (olika typer av släp illustreras i Figur 3 nedan) till längre fordonskombinationer, baserat på EMS (European Modular System; se tex ACEA, 2013; Aurell & Wadman, 2007; Fröjd m.fl. 2021), så energiförbrukningen per transporterat ton gods kan minskas. Tidigare studier har visat på reduktion av total bränsleförbrukning med runt 20–30% för en så kallad A-dubbel/DUO-trailer (se Figur 1) istället för att ha två dragbilar som drar varsin semitrailer.

Genom att utforma fordonskombinationerna baserat på EMS med standardiserade fordonsenheter så kan man vid behov koppla isär/ihop fordon i olika kombinationer, exempelvis vid passage mellan län-der med olika lagstiftning för max längd.



Figur 1. Minskad energiförbrukning med längre HCT-fordon.

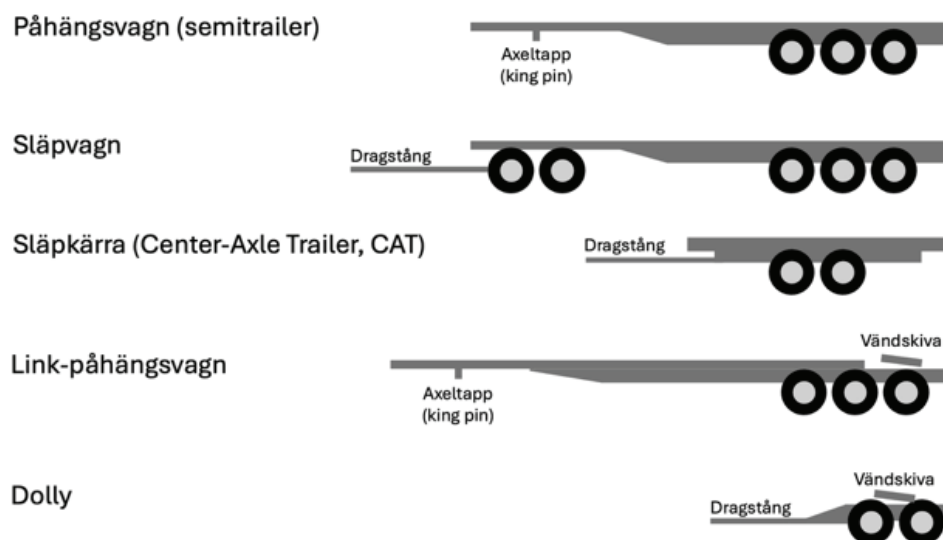
I Europa generellt är det tillåtet att köra en 40/45 fots eller två 20 fotscontainrar. Ett antal länder tillåter upp till 25,25m långa kombinationer vilket medför att en 40/45 fots och en 20 fots eller tre 20 fots containrar kan samlastas, om vikten tillåter. I Finland får man sedan januari 2019 använda upp till 34,5 m långa HCT kombinationer. Dessa kan ta två 40/45 fots containrar eller upp till fyra 20 fots containrar eller en blandning av dessa, på hela vägnätet. Bland annat Sverige, Finland och Nederländerna har sedan flera år tillbaka tillåtit 25,25m långa fordonskombinationer (motsvarande en 20-fots container och en 40-fots container) medan de flesta andra EU-länder tills nyligen har haft en begränsning på 18,75m (motsvarande en 40-fots container). I Figur 2 illustreras generella längd- och viktbe- gränsningar i olika länder i Europa.



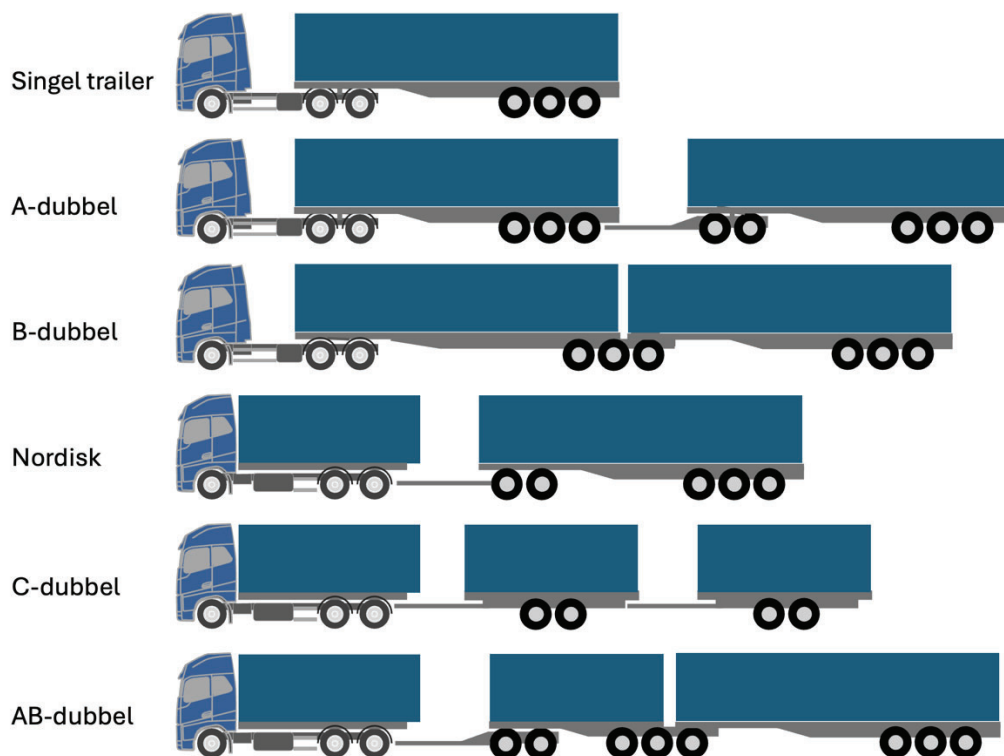
Figur 2. Max längd respektive vikt för fordonskombinationer i Europa (källa: Volvo, april 2025).

I Sverige har det sedan flera år tillbaka körts olika fältprov med 27–34,5m långa fordon på föreskrift och tillstånd för teknisk provning utgivet av Transportstyrelsen. Även i fallet Göteborg-Viared körs A-dubbel med tillstånd för teknisk provning i daglig trafik mellan Göteborgs hamn och Viared. Transporterna har gjorts inom ramen för de två FFI-finansierade forskningsprojekten ”Highly Automated Freight Transport” (här kallat ”AutoFreight1”, diarienummer 2016–05413 och 2016–05415) vars resultat till stor del har legat till grund för utformningen av det här projektet (Autofreight2). En viktig aspekt är att stötta kunskapsutvecklingen om HCT för att bereda väg för ny lagstiftning i Sverige liknande den som tillämpas i Finland.

I Figur 3 illustreras olika typer av släp. Dessa kan i sin tur kombineras till olika fordonskombinationer, se Figur 4. Släpvagnens framaxlar kan svängas med hjälp av en svängkrans. Ett liknande släp kan erhållas genom att kombinera en semitrailer med en dolly som kan svänga via vändskiva och svängkrans.



Figur 3. Olika typer av släp. För fler definitioner se avsnitt 10.
Antalet axlar på respektive släptyp varierar beroende på lastvikt mm.



Figur 4. Exempel på olika fordonskombinationer baserade på HCT-systemet.

3.2 Logistik/transportsystem

Att ta ett systemperspektiv är nödvändigt för att studera hur logistiken kan effektiviseras. HCT-fordon kan bidra till att effektivisera transporterna, men ställer också andra krav på logistiksystemet. Exempelvis krävs det att större godsvolymer (fler containrar) går med fordonen för att få ett välbalanserat system. Ett öppet bokningssystem för transporter utvecklades inom projektet AutoFreight1 och ger bra förutsättningar att ansluta fler företag runt Viared, vilket ger möjligheter att öka volymerna och studera utvecklingen av logistiksystemets effektivitet. Fortfarande går största delen av containertransporterna på singeltrailer och det är intressant att studera vad som kan göras för att öka intresse och möjligheter att transportera fler containrar med HCT.

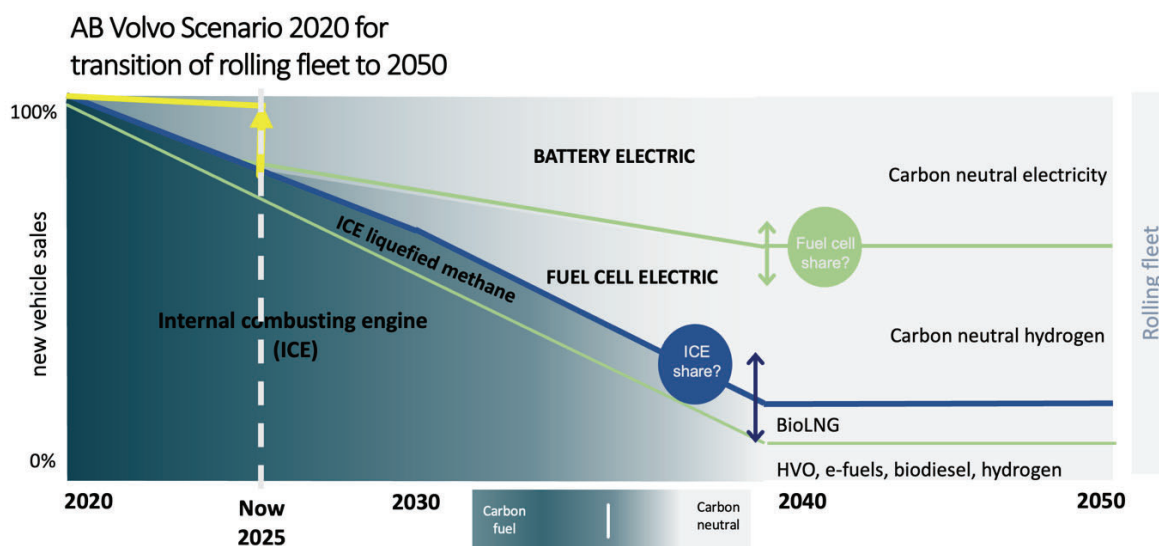
Den tid som läggs på att rangera fordon är också av stor betydelse. Projektet AutoFreight1 visade att medan bränsleförbrukningen totalt sett har minskat med HCT så har den de facto ökat i noderna. Även tidsåtgången har ökat i noderna. Detta beror på att det blir fler lokala transporter då den långa fordonskombinationen inte alltid kan köras direkt till slutkund utan först måste kopplas isär, exempelvis då olika slutkunder skall ha de två containrar som transporteras till Viared. I hamnen blir det ibland långa väntetider på grund av köer och om ett HCT-fordon skall hämta två containrar på olika ställen i hamnen så blir det dubbla kötider. En effekt av detta blir att endast två turer hinns med per dag, istället för tre. För att effektivisera transporterna inom Viared är en "torrhamn" under utredning. Med ökande containervolymer skulle lokal distribution av containrar kunna göras därifrån med ett separat (eldrivet) fordon (dvs ej HCT-fordonets dragbil), vilket ger nya möjligheter att effektivisera logistiken och även testa framtida nollemissionsfordon i denna del av transportkedjan.

Möjligheten att rangera, framförallt backa, den långa fordonskombinationen har stor påverkan på effektiviteten och flexibiliteten i logistiksystemet. Det är idag svårt att hitta förare som kan backa en A-dubbel till rätt plats på kort tid. Alternativet blir då att koppla isär fordonen vid lossning/avställning hos mottagare, vilket tar extra lång tid och även ökar energiförbrukningen. Utveckling av förarstöd för backning av långa fordonskombinationer har således en direkt inverkan på den operativa effektiviteten i logistiksystemet.

3.3 Automatisering och elektrifiering

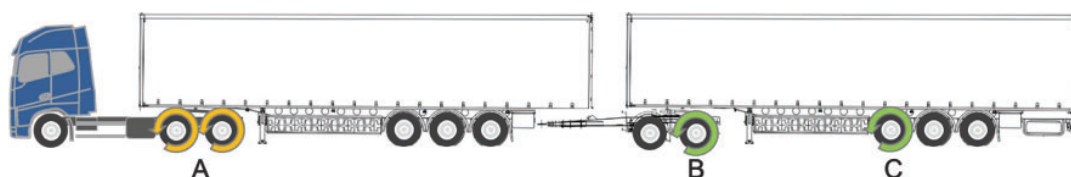
För några år sedan trodde många att mer eller mindre helt automatiserade fordon (SAE nivå 4 och 5) skulle vara en realitet inom en tioårsperiod eller så. Trots att utvecklingen går snabbt framåt så har det dock visat sig vara avsevärt svårare än man först trodde. Körning på motorväg kan i ganska hög grad automatiseras (se tex Clausmann m.fl., 2020), men det är en utmanande uppgift att utveckla autonoma system som klarar alla typer av trafiksituationer, och att dessutom verifiera att så är fallet. Kan man inte automatisera hela transporten så krävs ändå involvering av en mänsklig förare vilket gör att de ekonomiska vinsterna (minskade lönekostnader) till stor del uteblir. Att transportera gods med lastbil omfattar också så mycket mer än bara själva körningen. Föraren spelar en viktig roll vid exempelvis lastning och lossning, rangering av fordon, transportplanering och dagligt underhåll av fordon. Människan spelar alltså en fortsatt central roll i logistiksystemet. Som nämnts ovan finns det dock vissa moment som backning och hopkoppling av fordon, vilka skulle kunna underlättas avsevärt med en viss nivå av automatisering genom förarstöd.

Den tekniska utvecklingen går också framåt inom området elektromobilitet. Övergången från fossilbaserade bränslen till el och fossilfria bränslen innebär emellertid en stor omställning som tar tid. Detta beror på faktorer som tillgång till laddinfrastruktur, kostnader för investeringar i elektriska fordon och hur priset på olika typer av energi/bränsle utvecklas. I Figur 5 nedan från AB Volvo illustreras hur utvecklingen kan komma att se ut över tid.



Figur 5. Scenario för typ av drivlina och energikälla för tunga transporter.

För HCT-transporter är det intressant att studera lösningar där den elektriska drivningen fördelas mellan flera olika fordon i kombinationen. Utrymmet för energilagring på dragbilen är ofta begränsat och genom att kombinera exempelvis en dragbil med traditionell dieseldrift med en semitrailer med elektrisk drivning så kan olika hybridlösningar skapas (se Figur 6). Samtidigt ger detta upphov till nya utmaningar vad gäller fordonsreglering (tex avseende säkerhet och fordonsdynamik). Det är också viktigt att studera sådana lösningar ur ett systemperspektiv och inte bara se till den enskilda fordonskombinationen. Medan de tekniska lösningarna för eldrift utvecklas i andra projekt så har det här projektet gett möjligheter att undersöka praktiska förutsättningar för elektrisk drivning på semitrailrar och dess inverkan på transporteffektiviteten. Detta är särskilt intressant att studera närmare då Borås Stad planerar för utbyggd elektrifiering och laddinfrastruktur i Viareds industriområde.



Figur 6. A-dubbel med konventionell drivning på dragbilen (A), elektrisk drivning på dolly (B) och semitrailer (C).

3.4 Partners i projektet

Projektet har varit ett samarbete mellan ett flertal olika partners. Vad respektive projektpartner bidragit med till i projektet beskrivs övergripande nedan.

Volvo Technology har haft uppdraget att projektleda och samordna projektet. Vidare har Volvo utvecklat och tillhandahållit flera olika fordon för forskning och utveckling i projektet, ansvarat för tillståndsprocesserna, samt bidragit med viktig kunskap om fordon, fordonsdynamik, transportlösningar, automatiseringsteknik, säkerhet mm. Volvo har också varit mottagare av forskningsresultat som generats av projektet.

Borås Stad har tagit en aktiv och samordnande roll i det proaktiva logistiska utvecklingsarbetet med primärt de deltagande företagen, samt att engagera fler partners och användare av Autofreight. Deras icke-kommersiella roll har underlättat samordningen mellan företagen. Borås Stad har även haft ansvar för utveckling av nytt horisontellt multi client system för HCT och för etablering av torrhamn och dess funktion. De har även arrangerat ett antal workshops och konferenser.

Varuägare/partner: Ellos Group, KLN Freight (tidigare Kerry Logistics), **Fristads, Volvo Bussar, NetOnNet**, samt **Didrikssons** 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/KLN Freight har som transportör/speditör haft volymer dels till sig själva i samlastning, dels till sina kunder. I början av projektet var även Speed Group med, men de avstod senare från medverkan då de i alltför liten utsträckning styrde över sina transporter. De har dock deltagit på annat sätt senare i projektet.

Transportörer: Budbolaget Bröderna Jogeland och Dania Connect (tidigare GDL Sjöcontainer) har haft i uppgift att utföra själva HCT trafiken, dvs 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 körtillståndet och en del av utrustningen.

Chalmers tekniska högskola har i samverkan med Volvo Technology drivit forskning inom fordonsdynamik gällande bland annat backning och förarstödssystem. Chalmers utvecklade också via sitt fordonslabb REVERE (Resource for Vehicle Research) en lastbilsbaserad forskningsplattform samt utrustning för flera olika fordon för loggning av data från verkliga transporter.

VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) har drivit forskning inom fordonsdynamik för långa fordonskombinationer, bland annat analyser av Performance Based Standards (PBS). Vidare har VTI forskat om trafiksäkerhet, framförallt gällande samverkan mellan längre och tyngre fordonskombinationer och cyklister.

VBG har bidragit med sina kunskaper kring dragkopplingar. I projektet studerades hur alternativ teknologi baserad på maskininlärning skulle kunna förbättra ett förarstödssystem för tillkoppling av släpvagnar.

AFRY var initialt partner i projektet men då den medarbetare som arbetade i projektet istället anställdes av Volvo Technology blev de av projektet.

Goodyear har bidragit med kompetens gällande däck och utrustat flera fordon med däck och sensorer för insamling samt analys av däckdata som även förmedlats vidare till andra parter och projekt.

Trafikverket har identifierat krav på väginfrastruktur, bidragit med kunskap om trafiksystemet samt verkat för förändringar av lagstiftningen gällande längre och tyngre fordonskombinationer.

Söderkulla Tung Trafik utbildar lastbilsförare och har arbetat med utvecklingen av en körsimulator och medverkat med fordon för forskning om trafiksäkerhet för cyklister. De har även agerat värd för flera projektmöten.



Projektet har rapporterat till DUO-styrgrupp där flera olika projekt om HCT rapporteras och samordnas. Detta har gett bra möjligheter till lärande mellan projekten. I styrgruppen medverkar organisationer som Volvo Group, Kinnarps, Trafikverket, AFRY, Borås Stad, VBG Group, JESJO, Chalmers tekniska högskola, DB Schenker, Transportstyrelsen (adjungerade), Sveaskog, Stora Enso, CLOSER/Lindholmen Science Park.

3.5 Relaterade forskningsprojekt

I samband med projektet Autofreight2 har ett antal andra projekt genomförts där information och resultat har delats mellan projekten.

HAFT/Autofreight1 - Highly Automated Freight Transports (Vinnova, diarienummer 2016–05413 och 2016–05415, slutrapport, se Larsson och Vesmes 2022), fokuserade på hur längre och tyngre fordonskombinationer (så kallade HCT-fordon) och automatisering kan bidra till mer effektiv logistik. Projektet genomfördes i nära samverkan mellan transportköpare, transportörer, fordons-tillverkare, myndigheter och akademiska forskare och lade grunden för det projekt som avhandlas i denna rapport.

HCT-II projektet (Vinnova, diarienummer 2019–03103) är en fortsättning på ”Utveckling av HCT-fordon Volvo” (Vinnova, diarienummer 2016–05383). Projektets huvudmål har varit att ta fram och säkerställa att underlag finns framme så att myndigheter såsom Trafikverket och Transportstyrelsen i sin tur kan ta fram förslag till nya regelverk för ett snabbt införande av i första hand längre än 25,25 meters och i andra hand tyngre än 64 tons HCT kombinationer.

Logistik och systemeffekter – Multimodalt transportsystem med längre fordon på den sista milen (Energimyndigheten, projektnummer 52384–1) undersökte möjligheterna att använda längre lastbilar (HCT-fordon) för effektivare godstransporter. Genom att testa 30 meter långa fordon på sträckan Hallsberg-Örebro utvärderades effekter på transporteffektivitet, kostnader, trafiksäkerhet och logistik. Projektet bidrog även till att ta fram data för miljöberäkningar (NTMCalC) och analysera hur längre fordon påverkar cyklister i trafiken. En viktig del av projektet var att analysera effekterna på hela transportkedjan mellan Göteborgs hamn och Örebro, med fokus på logistik och systempåverkan.

DHEELS – Demonstration av HögEnergiEffektiva LogistikSystem (Vinnova, diarienummer 2024–00779) syftar till att utveckla och utvärdera energieffektiva logistiksystem med högkapacitets lastbilstågsconfigurationer, drivna av fossilfri energi. Projektet kommer att testa olika logistiklösningar och lastbilståg för att möta framtidens krav på hållbara transporter, med fokus på säkerhet, användaracceptans, tillförlitlighet och affärsmässiga fördelar. Allt för att beslutsfattare och myndigheter ska känna sig trygga med att denna typ av fordonskombinationer fungerar utan att negativt påverka infrastrukturen.

REEL – Regional Electrified Logistics (Vinnova diarienummer 2021–03845) är ett nationellt initiativ där ledande svenska aktörer har gått samman för att accelerera omställningen till elektrifierade

emissionsfria tunga transporter inom ett 70-tal olika regionala logistikflöden. Projektet samlar transportköpare, speditörer och distributörer, åkerier, terminaloperatörer, laddpunktsoperatörer, elnätsföretag samt leverantörer av lastbilar, laddutrustning, och ledningssystem. Dessutom medverkar regioner, nationella myndigheter och universitet i detta initiativ.

ZEFES – Zero Emission Flexible vehicle platforms with modular powertrains serving the long-haul Freight Eco System (EU, grant agreement No. 101095856) är ett EU-finansierat projekt där OEM:er, leverantörer och forskare samverkar för att visa hur nollutsläppsfordon (elektriska fordon med batterier eller bränsleceller) kan användas för tunga fjärrtransporter. Fokus ligger på effektivitetsförbättringar, serieproduktion och möjligheterna att använda denna teknologi i daglig drift.

MULTITRAILER - Reglering av distribuerad elektrisk drivning i långa fordonskombinationer (Vinnova, diarienummer 2020–05144) undersöker hur nya fordonsmodeller bör utformas för att ge en mer relevant beskrivning av långa fordonskombinationer med flera ledpunkter. Detta ger i sin tur viktig kunskap bland annat gällande hur sådana fordon kan göras säkrare och hur regelsystem för distribuerad (elektrisk) drivning i fordonskombinationen kan utformas.

HELPED – Högkapacitetsfordon med elektriskt driven dolly (Energimyndigheten, diarienummer 2020–024829; se Ghandriz m.fl., 2026) studerar användningen av elektriskt driven dolly i en fordonskombination, med fokus på regleralgoritmer för säker körning (baserat på Performance Based Standards, PBS) och energieffektivitet genom prediktering av energiåtgång.

REACH – Räckviddseffektivitet och assistans för koldioxidfri transport (Energimyndigheten, projektnummer P2025-04473) är ett nyligen godkänt projekt som syftar till att påskynda elektrifieringen av tunga vägtransporter genom att utveckla avancerade förarstöd och energihanteringsfunktioner som utnyttjar detaljerad information om rutten framåt, inklusive väg, väder, trafik och uppdrag.

Grundmodeller för fordonstidsseriedata i stor skala (Vinnova, diarienummer 2024–01568). Projektet fokuserar på de problem och möjligheter som identifierats i projekten HCT-II och Autofreight2 gällande avancerad datahantering och digitalisering. För att säkerställa att koordinerad forskning kan ske mellan projektpartners och auktoriserade forskare utanför projekten utan att ej auktoriserade personer/organisationer kommer åt data. Det långsiktiga målet är att möjliggöra produktutveckling av avancerad datadelning för lastbilar utan att förarens eller lastbilars position med mera delas med omvärlden.

RAIDER - Robust artikulerad intelligent körning för förbättrad backning (Vinnova, diarienummer 2025–04135) fokuserar på en viktig utmaning inom modern transportlogistik: Säker och effektiv backning och rangering av fordonskombinationer med flera ledpunkter. Målet är att utveckla kunskap om vad som krävs för ett förarstöd för backning som är oberoende av vilken fordonskombination som kopplas till en lastbil.

Friktionsanalys och modellutveckling av friktionsdata för vägar med flera körfält (Trafikverket) Luleå tekniska universitet som driver projektet har använt testfordon i Autofreight2 för att samla in väglagsdata i reguljär trafik. I projektet klassificeras väglaget över hela körbanan. En algoritm som hanterar friktionsdata från uppkopplade fordon bidrar till att uppskatta ett mer robust friktionstal för en vägsträcka. Metoden används idag i Trafikverkets uppföljning av vinterväghållningsåtgärder.

4 Syfte, forskningsfrågor och metod

Det övergripande syftet med projektet har varit att skapa ny kunskap, samt validera 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. Projektet har både utvecklat ny kunskap tillvaratagit och testat lösningar som har utvecklats i andra projekt (se avsnitt 3.5).

Projektet har fokuserats på fyra övergripande forskningsfrågor (RQ1-4):

RQ1: Hur kan logistiksystemet med HCT-fordon som helhet göras mer effektivt?

Projektet har studerat både utformningen av logistiksystemet (exempelvis behovet av en torrhamn, behovet av att öppna upp vägnät för långa kombinationer) och olika tekniska lösningar (exempelvis implementering av längre och tyngre fordonskombinationer).

RQ2: Hur kan förarstöd utformas för säkrare och mer effektiva transporter?

Projektet har utvecklat och studerat flera olika aspekter av förarstöd, exempelvis körsimulator för förarutbildning, förarstöd för backning och tillkoppling av fordon.

RQ3: Vilka effektivitetsförbättringar kan erhållas genom elektrifiering av fordon?

Projektet har utöver konventionella dieseldrivna fordon även studerat användning av elektriskt driven dragbil i en A-dubbel samt konventionell dieseldriven dragbil kombinerat med elektriskt driven semitrailer. Även lärdomar gällande laddinfrastruktur har gjorts.

RQ4: Hur kan affärsmodeller utformas som stödjer effektivare transportplanering?

Projektet har arbetat med att få till samverkan mellan transportköparna, samtidigt som detta innebär en viss balansgång då flera av företagen är konkurrenter och därför inte kan dela all information.

Projektet har på övergripande nivå genomförts som en fallstudie med fokus på containertransporter som körs med HCT-fordon mellan Göteborgs hamn och Viareds industriområde i Borås. Denna fallstudie har fungerat som en gemensam forskningsplattform för konkreta demonstrationer, tester och validering av olika koncept i ett verkligt logistiksystem i ”realtid”. Till fördelarna med fallstudie som metod hör möjligheterna att få en djupgående insikt i ett specifikt fenomen, möjligheten att studera komplexa situationer där flertalet variabler interagerar, samt att forskningen sker i en naturlig miljö, dvs den verkliga kontexten vilket gör att resultaten är relevanta för hur det faktiskt fungerar i praktiken. Fallstudien som metod ger också möjligheter att samla in stora mängder kvalitativa data som kan hjälpa till att fånga nyanser och perspektiv som mer renodlat kvantitativa metoder ofta missar. Sammantaget var fallstudie som metod ett lätt val då projektet syftade till att ge en rik, kontextuell och heläckande förståelse för hur det studerade logistiksystemet kan utformas.

Själva fallet beskrivs mer i detalj i avsnitt 6.1. Inom respektive forsknings- och utvecklingsområde har sedan specifika metoder använts, vilka beskrivs i mer detalj i respektive avsnitt.

5 Mål

Det övergripande målet med projektet är att skapa ny kunskap och demonstrera hur ett transportsystem kan effektiviseras genom införande av ny teknik, nya affärsmodeller och nya logistiklösningar så att fler containrar kan transporteras från Göteborgs hamn till Viared i Borås på HCT fordon. Nedan ges en kort kommentar till respektive mål. Mer detaljerad information om måluppfyllelse ges i avsnitt 6.

Följande konkreta mål har ställts upp för projektet. Till varje mål ges även en kortfattad kommentar.

- *Ökat antal Containrar per HCT-fordon och dag med 30–50%.*
Inom ramen för projektet har man lyckats öka volymerna med ca 30%. Specifika faktorer (se framförallt avsnitt 6.3 för mer detaljer) såsom kötider i hamnen, tidsåtgång för lokal distribution i Viared och att det saknas en dedikerad plats för rangering och skiftning med exportcontainer i Viared gör att man inte klarar 50%. Torrhamnen skulle gett fler körda containrar på en chaufförs möjliga körtid per dag, och färre tomtransporter för containerhämtning i hamnen, mm.
- *Minskad energiförbrukning för hantering av containrar i Viared och Göteborgs hamn – 10%.*
I hamnen har man lyckats reducera energiåtgången med ca 30% jämfört med tidigare då man numera bara står i kö en gång för två containrar. I Viared ser man inte samma minskning då det fortfarande är sällsynt att båda containrar på en transport skall till samma kund och det inte har funnits underlag för en dedikerad dragbil som bara används lokalt i Viared.
- *Testa ny teknik för drivning på flera axlar i A-dubbel som har utvecklats i andra projekt.*
Projektet har testat elektriskt driven semitrailer (eTrailer) och ett lyckat test gjordes under vinterprov 2025 med dragbil med hydraulisk framhjulsdraft, se avsnitt 6.9.
- *Minskad energiförbrukning i HCT med elektrisk drivning på efterfordon – 10%.*
Projektet har testat körning med eTrailer som var godkänd för användning på allmän väg, men ännu inte godkänd för att gå i längre fordonståg. Därför kunde inte tester med eTrailer i en hel A-dubbel genomföras med avseende på bränsleförbrukning. Tester med eTrailer i A-dubbel har dock genomförts för att studera stabilitet på halt underlag, se avsnitt 6.15.
- *Minskade kostnader för transport av containers Göteborg-Viared jämfört med singelcontainertransporter med 10–20%.*
Transportkostnaden per container har studerats ganska detaljerat och visar på ungefär 10% lägre kostnad med HCT (A-dubbel) jämfört med singelcontainer, se avsnitt 6.3. Med torrhamn hade kostnaden kunnat sänkas närmare 20%.
- *Reducerad tid för backning av A-dubbel med hjälp av förarstöd – 20%.*
Projektet visar att tiden för att lära sig backa en A-dubbel kan reduceras med hjälp av förarträning i simulator, se avsnitt 6.18. Tiden det tar att backa i exempelvis Göteborgs hamn är starkt förarberoende och det har därför varit svårt att kvantitativt verifiera reducerad tidsåtgång i praktiken. Studier av hur simulatorm kan användas fortsätter i projektet DHEELS.

6 Resultat och måluppfyllelse

Projektet har dels studerat logistiksystemet och dess flöden, dels olika teknikområden som är relevanta för effektivare, säkrare och mer miljövänliga transporter. I avsnitt 6.1 beskrivs själva fallet med containertransporter mellan Göteborgs hamn och Viared i Borås. I avsnitt 6.2 beskrivs de testfordon och den utrustning som använts i projektet. I efterföljande avsnitt beskrivs resultaten av forskning inom flera olika områden som utförts inom ramen för projektet.

6.1 Fallbeskrivning av containertransporter Göteborgs hamn – Viared

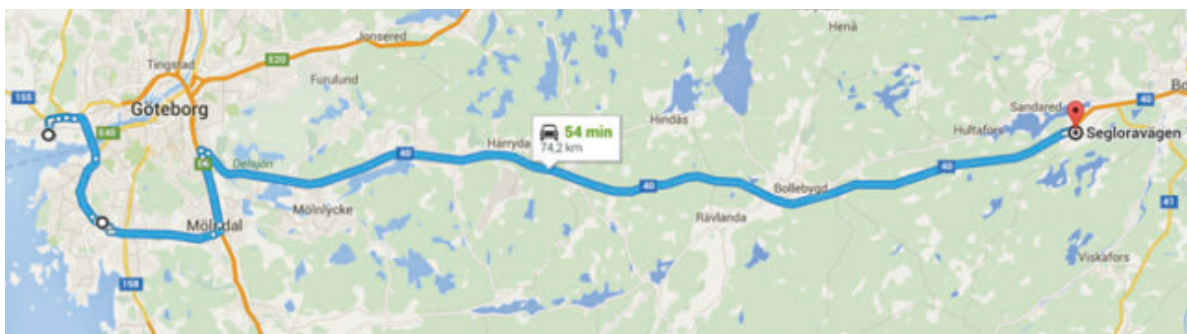
Översikt av systemet

Autofreight är ett HCT-baserat transportsystem för flödet av sjöcontainrar mellan Göteborgs hamn (APM:s terminal) och Viared utanför Borås. Vissa transporter går även vidare till Ulricehamn. Bakgrunden är att här finns ett stort antal importcontainrar, omkring två hundra per vecka. I exportriktningen (från Viared till hamnen) är det dock betydligt färre containrar, men det är ändå viktigt att kunna balansera flödet och även ta tomma containrar i retur till Göteborg. Syftet har varit att skapa mer miljövänliga och kostnadseffektiva logistik- och teknislösningar för en del av detta stora flöde. De uppnådda lösningarna ska sedan kunna utvecklas och spridas vidare även i andra transportflöden.

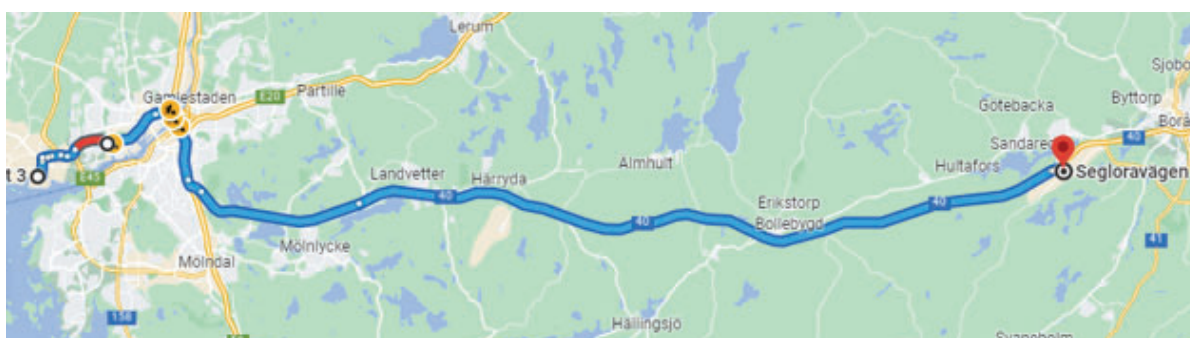
I dag går största delen av transporterna med singeltrailer (dragbil + semitrailer) eller i viss utsträckning med 25,25 meters B-dubbel (dvs dragbil + link-påhängsvagn med 20-fotscontainer + semitrailer med 40-fotscontainer). Under Autofreight1 låg mycket fokus på utveckling av ett effektivt trafiksystem och affärsmodeller för samverkan.

Under Autofreight2 har containertrafiken kört vidare, nu med två HCT ekipage. De har haft ganska bra beläggning under merparten av tiden. På grund av stora svängningar i containervolymer och körtidsbegränsningarna för chaufförerna så har det ofta blivit sammanlagt 18–19 turer i veckan mot maximala och önskade 20 turer. Användarna rapporterar att de är mycket nöjda med servicen och profilen med starka miljöeffekter – vissa sätter HCT som en central del i de övergripande miljöåtgärdsplanerna.

Två alternativa vägar har använts för passage av Göteborg, Se Figur 7 och Figur 8. Enkel väg är det ca 74 km mellan Göteborgs hamn och Viared.



Figur 7. Transport via Söderleden i Göteborg.



Figur 8. Transport via Tingstadstunneln och vidare på Lundbyleden.

Under 2023 tillkom tillstånd att köra till viss anläggning i Ulricehamn, varvid det tillkom ca 34 km enkel väg.

Målpunkt för flertalet transporter inom Autofreight är Viareds industriområde strax väster om Borås, se Figur 9. Området började byggas ut i början på 1970-talet. Volvo Bussar var bland de första att etablera sig i Viared med sin sammansättningsfabrik för busschassin 1975. Andra tidiga etableringar i Viared var Ellos, som 1978 lämnade Knalleland. Josefsons Postorder följde snart efter. Idag är de flesta av tomterna bebyggda och Viareds företagarförening har idag mer än 150 medlemsföretag med fler än 6500 anställda. I takt med att verksamheten vuxit och att fler verksamheter förlagts till Viared så har också transporterna ökat. En fortsatt utvidgning av Viared med drygt 80 hektar ytterligare industrimark pågår.



Figur 9. Viareds industriområde väster om Borås.

HCT-trafiken

I början hade trafiken ett HCT ekipage, som sedan 2023 utökades till två ekipage. Efter mars 2025 är det återigen ett ekipage som fortsätter köra på tillståndet.

Fordonen och trailarna har driftats av respektive Dania Connect (tidigare GDL Sjöcontainer) och Budbolaget i Borås, se Figur 10 och Figur 11. Dragbilarna kommer från Volvo och semitrailrar och dollyer ägs av operatörerna eller har hyrts av AG Trailer.



Figur 10. Dania Connect har kört med detta HCT-fordon i Autofreight1 sedan januari 2020 och sedan i Autofreight2. Det återlämnades till Volvo i slutet av mars 2025

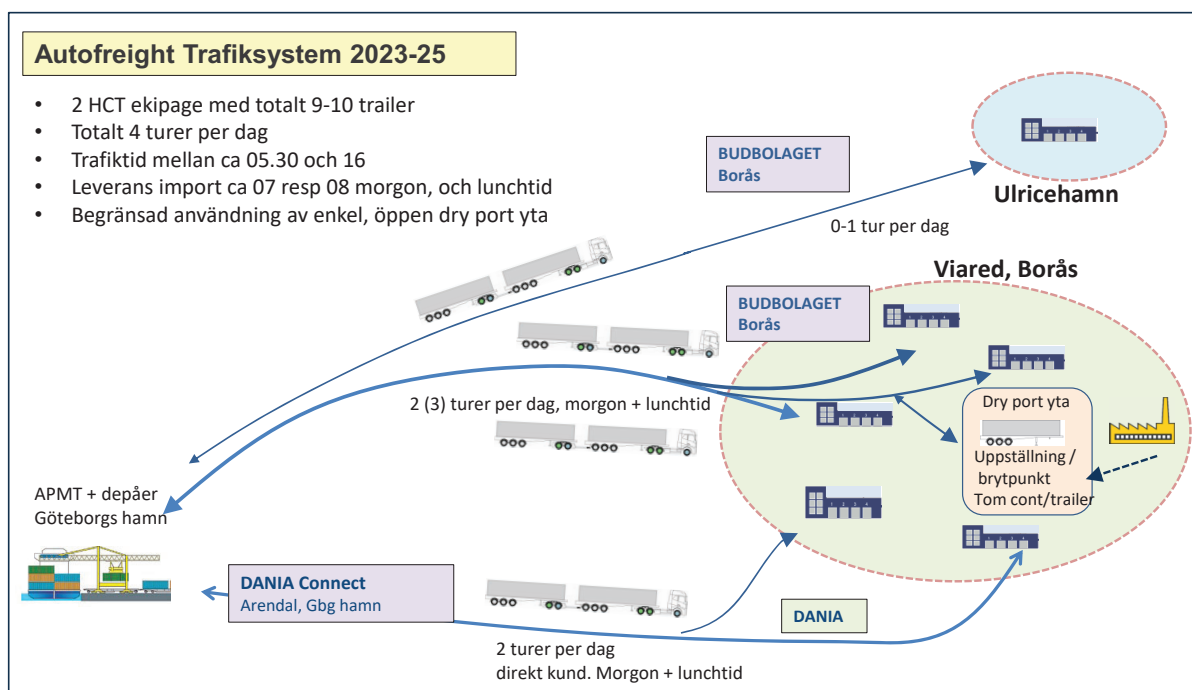


Figur 11. Budbolaget i Borås har kört med detta HCT-fordon i Autofreight2 sedan september 2023.

Trafiken har gått med två turer per dag och ekipage, i några få fall tre turer, mellan APM:s terminal (Skandiahamnen) i Göteborg och Viared. I mindre omfattning även till en ny kunds lager i Ulricehamn. Under senaste året har kundens transportör dock valt att ta sina containrar med tåg till kombiterminalen i Falköping och vidare dragning med lastbil (singeltrailer) till Ulricehamn. Det visar lite på kombiterminalens/torrhamnens möjligheter som brytpunkt. En viktig faktor för Falköpings konkurrenskraft är att en kortare tids lagring av containrar erbjuds gratis.

Ibland räcker inte volymen för alla turer i veckan, eller så har mottagarnas tidsönskemål satt begränsningar. Vanligt har varit att fredagens eftermiddagstur har fått ställas in. Även chaufförernas körtider har styrt turerna. Många dagar blir det extra långa körtider, ofta beroende på väntetiderna i APM:s terminal i hamnen. I många fall ska den första containern hämtas i Port 3 och sedan den andra i Port 4 – med extra väntetid som följd.

Tidsmässigt har första turen levererat containrar i Viared på morgonen vid 7–8-tiden och andra turen runt lunchtid. De två ekipagen har haft sin nattbas i Bollebygd mellan Göteborg och Borås, respektive i Borås. För Ulricehamn har det tillkommit ett par timmar.



Autofreightsystemet är upplagt för att kunna lämna importcontainrar och sedan ta exportgods tillbaka till Göteborg, men för att bli helt effektivt krävs en torrhamn. Det är svårt att matcha lämning och sen exporthämtning med ett visst rederis containrar vid en specifik tidpunkt och plats. Trots olika försök har det inte kommit in några fler exportflöden i Autofreight2, bara det som gjordes i Autofreight1 med Volvo Buss.

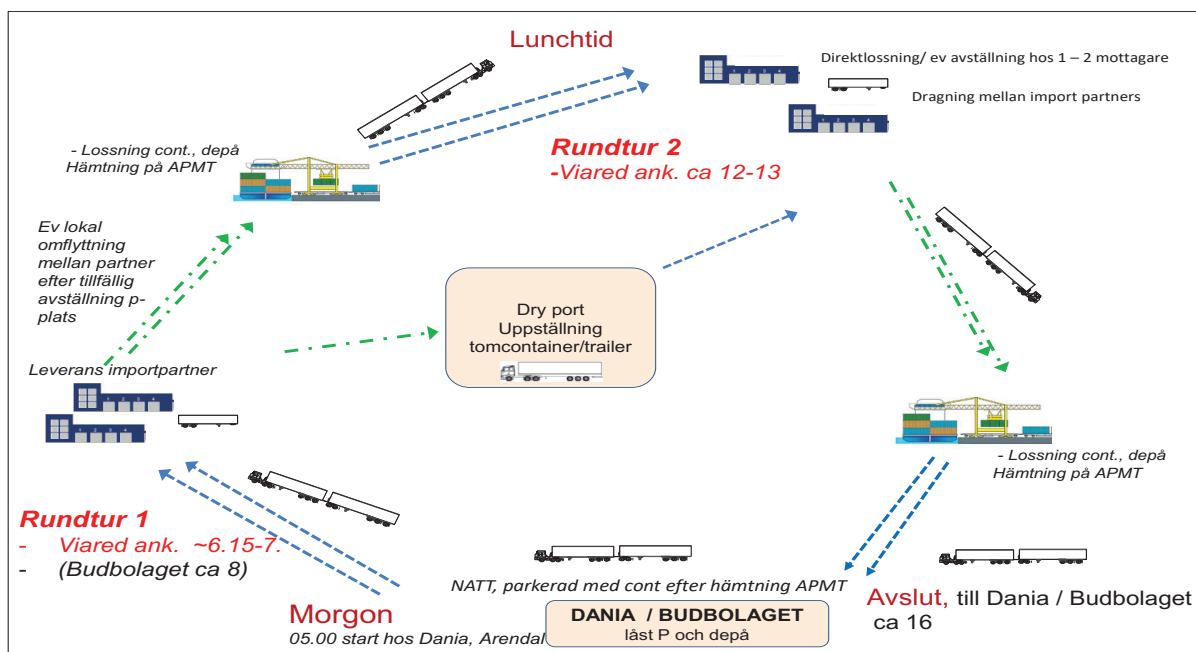
Den nuvarande öppna och enkla torrhamnsytan (som beskrivs mer ingående i avsnitt 6.3) har löpande använts främst för Budbolagets dagrangering och nattuppställning av tomma container inför nästa dags körning. Då det saknas staket och annan säkerhetsutrustning kan inte containrar med värdefull last ställas upp där. Figuren sammanfattar trafikens övergripande delar.



Figur 12. Fordon som har använts av Dania Connect i Autofreightsystemet.

Respektive transportbolag har förutom dragbilen haft 4–5 semitrailrar och en dolly. I Figur 12 illustreras Danias fordon. Behovet av 2–3 semitrailrar mer än vad som körs i en A-dubbel hänger samman med avställningen som görs hos mottagarna i Viared. Vanligtvis står en semitrailer 2–4 timmar hos mottagaren för urlastning av containern, och i vissa fall från eftermiddagen till efterföljande morgon. De flesta semitrailrar har enbart använts i Autofreightsystemet och inte till annan trafik. De är inte fullt kompatibla med de nya reglerna för teknisk utformning (se avsnitt 6.4), men de har använts inom ramen för tillståndet som gällt för Autofreight och som kom till under projektet Autofreight1, innan den nya lagstiftningen fanns framme.

Översikt 2 rundturer/dag Främst ekipage DANIA. Ekipage Budbolaget förskjutet ca 1 tim morgon



De två rundturerna per dag har erbjudit ankomst till Viared dels på morgonen vid 7–8-tiden, dels vid lunchtid. Containrar som lastas på ett eller två ställen i hamnen (Port 3/Port 4) på eftermiddagen, står under natten på transportörens anläggning i Arendal och kan därför köras upp tidigt på morgonen.

Ett stort problem har varit de under främst senaste året långa kötiderna i hamnen hos APM:s terminal. Då HCT-fordon som skall hämta två containrar ofta behöver hämta både i Port 3 och Port 4 innebär det att ekipaget måste stå i kö två gånger.

Kunder i trafiken, användare hittills

Trafiken har huvudsakligen gått för de fyra medverkande partners med godsflöden – Ellos Group, Fristads, NetOnNet och Kerry Logistics/KLN Freight och dess underkunder samt sporadiskt för olika externa kunder som Lager 157/DHL och ett par till som tillfälligt har testat men inte velat binda sig helt. Budbolaget har även kört containrar till kunder i och runt Borås som inte är med i projektet. Volvo Buss hade några exporttransporter i början, men fick under pandemitiden i stort sett helt stopp. Under Autofreight2 har inga körningar gjorts för Volvo Buss då allt har gått direkt mot Göteborgs hamn/APM:s terminal genom Mattsson Åkeri, styrt via övergripande avtal. Men, med en komplett torrhamn är avsikten att använda denna som kombinationspunkt i flödet Volvo Buss anläggning – pålyft av container med sidolastare – dragning till torrhamn – HCT transport till APM:s terminal. Då kan torrhamnen också fungera som en bytespunkt för ankommande import till någon av dessa kunder, för sedan friställan och efter viss uppställning användning i Volvo Bussars export. En viktig aspekt är emellertid att det skiljer mycket mellan vikterna för import- respektive exportcontainers. Medan importcontainers främst utgörs av lättare konsumentprodukter och containervikter runt 6–10 ton, så ligger exportcontainers runt 20–30 ton. Detta ställer särskilda krav på logistiken.

Torrhamn – terminalyta med viss användning

Hittills har en ganska enkel grusad yta på ca 3.300 m² tillhandahållits i Viared för att fungera som torrhamn. Den har främst använts för lokal placering av semitrailrar med tomma containrar och viss rangering (tex isär-/ihopkoppling av A-dubbel). Oftast står semitrailrar över del av dagen och ibland även över natten. Ytan fungerar som en enkel och för Autofreight öppen brytpunkt utan några andra säkerhetsarrangemang såsom belysning, skyddsdiken, stängsel och snöröjning. Ytan har utan kostnad ställts till förfogande från Borås Stad till transportörerna. Direkt bredvid har en stor lastbilsparkering skapats inklusive en servicebod. Detta blev nödvändigt då parkeringsförbud infördes på gatorna i Viareds industriområde. Även om det inte egentligen har med torrhamnen att göra, så finns det en viss fördel med dess närhet.



Grusad yta, men som ger en del hjulspår.

Ett mål sedan starten av Autofreight har varit att anlägga en fullskalig torrhamnsterminal med olika ”hamntjänster” på den nämnda ytan. Det har dock inte gått att köpa marken eller hyra den på ett längre kontrakt (20–25 år) på grund av de av Trafikverket satta begränsningarna om att den kan bli aktuell för eller påverkas av en kommande Götalandsbana strax intill. Inga besked har gått att få vid denna rapports sammanställning. I Autofreight2 har torrhamnens kommande utförande designats, marknadsanpassats, kostnads- och finansieringsberäknats. Operatörer att driva torrhamn och eventuella finansörer för mark och övrig anläggning finns, om den kan förverkligas längre fram. Ytan kan dock inte bli större än ca 8.500m² på denna adress, då granntomten österut är tingad för annat ändamål.

Detaljunderlag för torrhamnens layout, drift, tjänster som efterfrågas, ekonomi och investeringsbehov finns i bilaga A.

6.2 Testfordon, sensorer och dataloggning

Insamling av data från fordon har spelat en viktig roll i projektet. Två dedikerade fordonskombinationer (A-dubbel) har använts för att analysera de dagliga transporter av containrar mellan Göteborgs hamn och Viared i Borås. Utöver detta har ytterligare två lastbilar, en dieseldriven och en eldriven, samt en elektriskt driven semitrailer använts för specifika tester. För att samla in data används en rad olika sensorer och specifik loggningsutrustning. I detta avsnitt beskrivs fordonen och den utrustning som har använts för att samla in data.

Danias A-dubbel

Den A-dubbel som kördes av Dania Connect var densamma som användes i Autofreight1 och togs i drift under 2020. Specifikationerna för dragbilen, en Volvo FH16 750 6x4, togs fram baserat på den typ av körning som planerades inklusive lastvikter, topografi, vägtyp mm (se Larsson och Vesmes, 2022 för mer detaljer). Hjulbasen är 3600mm och tjänstevikten är 10420kg. A-dubbelekipaget är strax under 32 meter långt. Då semitrailrar ofta låses upp hos kunder medan de lastar ur en container behövs det fler än två semitrailrar i systemet. Dania har haft totalt fem semitrailrar och en dolly i drift för dessa containertransporter.



Dania Connects A-dubbel.

Budbolagets A-dubbel

Efter pandemin ökade containervolymer igen och därför utökades transporter inom projektet med ytterligare en A-dubbel som kördes av Budbolaget. Då den tidigare studien visat att lastvikterna varit lägre än vad som först beräknats så valdes en Volvo FH 540 6x4 som dragbil, vilket bidrog till att sänka bränsleförbrukningen något (se avsnitt 6.14 för mer detaljer). Hjulbasen är 3600mm och tjänstevikten är 10.160kg. A-dubbelekipaget är strax under 32 meter långt. Budbolaget har totalt fem semitrailrar som de har hyrt in från AG Trailer, samt ett flertal egna trailrar, och en dolly i systemet för containertransporter.



Budbolagets A-dubbel.

Dispenser och tillstånd

Dania och Budbolagets respektive ekipage har under projekttiden kört som HCT-ekipage med tillstånd för teknisk provning (TSV 2022-5687; 2023-03-08 till 2027-10-31) och hastighetsundantag (DR 258-37252-2023; 2023-10-09 till 2027-10-31) med tillåten bruttovikt på 80 ton och maxlängd 32m. Det är samma tillstånd som användes under Autofreight1, som utökades till två HCT-fordon och förlängdes i tid.

Chalmers A-dubbel med dragbil "Rhino"

För utveckling av ny teknik, backningstester, verifiering av algoritmer och liknande användes den A-dubbel som Volvo tillhandahåller REVERE-labbet på Chalmers. Det var samma fordonskombination som användes i Autofreight1 (se "Forskningsplattformen" i Larsson och Vesmes, 2022). Dragbilen som även kallas "Rhino" är en Volvo FH16 750 6x4. Hjulbasen är 3400mm och tjänstevikten är 9760kg. Dessutom finns två semitrailrar (containerreden) och en dolly för att erhålla en A-dubbel. A-dubbelekipaget är strax under 32 meter långt.



Chalmers A-dubbel.

Chalmers dragbil "Elephant"

För tester med elektriskt driven dragbil användes den dragbil som Volvo tillhandahåller REVERE-labbet, en FH Aero Electric 6x4 som även kallas "Elephant". Den har totalt 540kWh installerad batterikapacitet. Tre elektriska motorer ger totalt 490kW kontinuerlig effekt och 2400Nm elektriskt vridmoment före växellådan. Hjulbasen är 3900mm och tjänstevikten är 13020kg.



Chalmers eldrivna dragbil.

Elektriskt driven semitrailer - eTrailer

För att analysera energiförbrukning och avancerad reglering med en (delvis) eldriven fordonskombination användes en specialbyggd semitrailer med elektrisk drivning på första axeln. E-trailern har utvecklats av Volvo och har byggts i samverkan med trailertillverkaren Parator. Den har batterier som kan laddas upp innan körning och via ett interface till dragbilen regleras hur mycket e-trailern skall skjuta på, alternativt hjälpa till att bromsa genom regenerering. E-trailern är godkänd för körning på allmän väg, men även om den är utrustad med dragkoppling baktill så är den ännu inte godkänd för att ingå i längre fordonståg såsom A-dubbel. Total installerad batterikapacitet är 360kWh och elmotorn ger 145kW kontinuerlig effekt och 430Nm vridmoment.



E-Trailer utvecklad av Volvo och byggd i samverkan med Parator.

Sensorer

Flera olika typer av sensorer har använts på ett flertal olika fordon för att samla in olika typer av data. Här ges en övergripande beskrivning av vilka sensorer som har använts samt vilka sensorer som har monterats i vilka fordon.

Satellitnavigeringssystem

Flera olika typer av satellitnavigeringssystem (GNSS, Global Navigation Satellite System) har använts i projektet. GNSS används för att få reda på ett fordonets geografiska position. Genom att jämföra information om geografisk position över tid kan även exempelvis fordonets rörelseriktning och hastighet beräknas. GNSS-enheterna ger positionsinformation i form av koordinater i relation till ett fördefinierat koordinatsystem. I Figur 13 nedan illustreras några olika GNSS-enheter.

En eller flera antenner används för att ta emot signaler från GNSS-satelliter. Generellt gäller att ju fler satelliter som kan kopplas upp desto bättre blir positioneringen. Därför gäller det att montera antennerna så det finns så mycket ”fri himmel” ovanför dem som möjligt. Detta kan vara en utmaning då antenner skall monteras på exempelvis ett containerchassi som man sedan sätter en container ovanpå, eller på en dolly som till största delen placeras under en semitrailer. Även höga hus och tät bebyggelse kan begränsa signalerna från satelliterna.

I signalen från satelliterna finns också en mycket noggrann tidsangivelse (ner till nanosekunder) som anger global GNSS-tid. I de fall då data loggas i flera olika fordon samtidigt kan denna tidssignal användas för att (i efterhand) synkronisera data mellan olika enheter.

För positionering där några meters noggrannhet är tillräcklig användes relativt sett billiga GNSS-enheter (kostnad i storleksordningen 1–4.000kr). Dessa ger ofta tillräckligt bra information för att följa vilka vägar ett fordon kört på och med vilken hastighet. Oftast erhålls positionsdata med en uppdateringsfrekvens på omkring 1-10Hz. De använder endast en antenn varför fordonets riktning i relation till koordinatsystemet erhålls först då fordonet är i rörelse. Dessa användes också för så kallad geofencing som innebär att man väljer att styra hur exempelvis dataloggning används beroende på fordonets geografiska position.

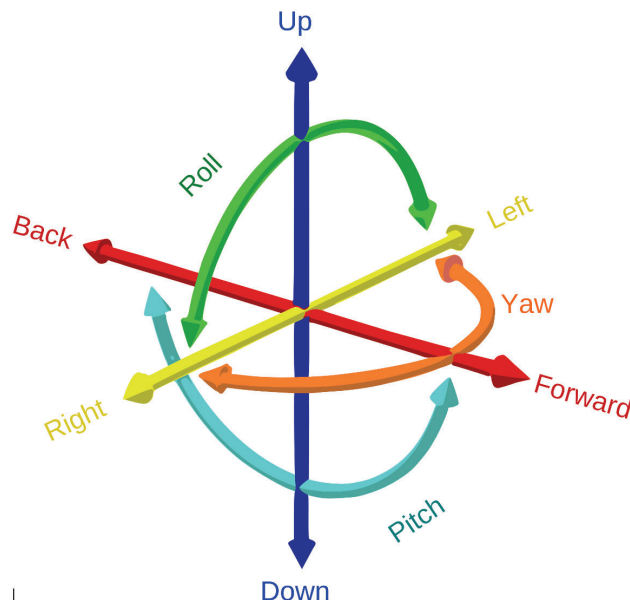


*Figur 13. Några olika GNSS-enheter som användes i projektet.
Dessa har även accelerometrar för tröghetsmätning (IMU).*

För vissa specifika tester, exempelvis backning av fordonskombinationer, vinterprov med A-dubbel, samt för utvärdering av de billigare GNSS-sensorerna, användes mer avancerade GNSS-enheter av typen OxTS RT3000 som ger positionering med mycket hög noggrannhet. Kombinerat med RTK (Real Time Kinematic) och information från accelerometrar (se nedan) kan en positioneringsnoggrannhet runt två centimeter erhållas. Då de använder två antenner kan fordonets riktning i relation till koordinatsystemet erhållas även vid stillastående. Dessa enheter ger positionsdata med en uppdateringsfrekvens på 100Hz.

Tröghetsmätningenheter

För att mäta hur ett fordon rör sig och roterar i olika riktningar används en kombination av flera olika accelerometrar, se illustration i Figur 14. Sådana enheter brukar kallas tröghetsmätningenheter eller IMU (Inertial Measurement Unit). Genom att montera en IMU i ett fordon kan man mäta fordonets acceleration longitudinellt (längdled), lateralt (sidled) och vertikalt (upp/ner) samt hur det roterar runt dessa tre axlar. Sådan information kan exempelvis användas för att detektera en kraftig inbromsning, ett filbyte, eller mäta hur mycket ett fordon kränger i sidled i en kurva. En IMU används ofta i kombination med GNSS då exempelvis information från IMU:n kan användas för att förbättra positionsnoggrannheten. I de fall då GNSS-antennerna hamnar i skugga (exempelvis i en tunnel) kan information från en IMU användas för att beräkna fordonets position över tid med hjälp av så kallad död räkning till dess att antennerna får kontakt med satelliterna igen.



Figur 14. Illustration av hur en IMU kan användas för att mäta ett fordonets rörelser i olika riktningar (Källa: Sagemotion).

I projektet användes både billigare IMU:er (framförallt PEAK PCAN-GPS och Axotec RGX-840 FLEX med gyroskop) och de mer avancerade OxTS RT3000 (se Figur 13). De senare har mycket hög precision och avancerad filtrering av data och användes bland annat som "ground truth" för kalibrering och utvärdering av de billigare enheterna.

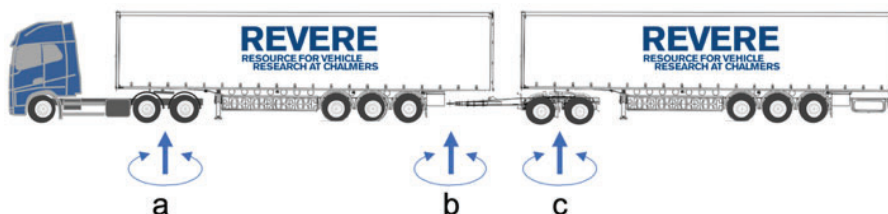
Kameror

Kameror har använts på flera olika fordon för att spela in video. För att filma omgivande trafik placerades kameror innanför vindrutan på dragbilen riktade framåt, samt på backspeglarna riktade bakåt. Video anonymiseras genom att information som registreringsskyltar och liknande suddas ut. Geofencing med hjälp av GNSS användes för att stänga av fordonens kameror inom hamnområdet i Göteborg då detta är ett skyddsobjekt. För att dokumentera väglaget, som komplement till lasersensorer för väglagsmätning, monterades ytterligare en kamera uppe i mitten av vindrutan som riktades ner mot vägbanan. För förarstödsystemet för tillkoppling av släp användes en kamera som med hjälp av en maskininlärningsalgoritm guidar föraren. Se avsnitt 6.12 för mer detaljer.

För att underlätta vid backning av exempelvis dragbil och semitrailer för tillkoppling av en dolly baktill på semitrailern används en trådlös kamera med magnetfäste som tillfälligt kan placeras baktill på semitrailern eller på dollyns drag. Då kan föraren se dragkopplingen och dragögla på en skärm i dragbilen vilket underlättar tillkopplingen.

Artikuleringsvinkelsensorer

En A-dubbel har totalt tre artikuleringsvinklar mellan fordonskombinationens olika delar; a) mellan dragbilen och första semitrailern (vändskiva och kingpin), b) mellan första semitrailern och dollyns dragstång (dragkoppling och dragögla), och c) mellan dollyn och andra semitrailern (vändskiva och kingpin). Se Figur 15.



Figur 15. Artikuleringspunkter i en A-dubbel.

För mätning av artikuleringsvinkel mellan kingpin och vändskiva användes en speciell kingpin som genomborrats vertikalt och försetts med en axel som överför vändskivans vridning relativt kingpin till en sensor i semitrailern. Sensorn (en Curtiss-Wright NRH-27C) mäter artikuleringsvinkeln med ca 0,2 graders noggrannhet. För mätning av artikuleringsvinkel mellan dragkoppling och dragögla användes en Wachendorff WDGA 36A vinkelsensor som monterades under dragkopplingen med en länkarm till dollyns dragstång. Den ger en noggrannhet på ca 0,35 grader.

I de fall artikuleringsvinkelmätare inte fanns på plats så kunde vinklarna uppskattas med hjälp av information från GNSS och IMU. Genom att mäta skillnaden i absolut girvinkel för exempelvis dragbil och första semitrailer erhålls ett mått på artikuleringsvinkeln mellan dessa fordon. Precisionen är dock mycket beroende på vilken typ av GNSS och IMU som används.

Däcksensorer

För att kontinuerligt mäta och följa upp däckens status monterades speciella däcksensorer från Goodyear. Sensorerna placeras mitt under slitbanan på insidan av däckets och limmas med ett speciellt lim. Parametrar som registreras av sensorn är däcktryck, däcktemperatur och acceleration. Med hjälp av däcksensordata kan man exempelvis härleda exakt när vilka axlar är lyfta och veta hur många mil ett specifikt däck har rullat. Varje fordonsenhet har en egen sensordatamottagare som placeras under chassit (se Figur 16). Data förs över från sensorerna i däck till mottagaren via radio. Mottagaren överför i sin tur data med två minuters intervall (längre tidsintervall kan väljas om man vill reducera mängden data som skickas) via mobilnätet till en server.



Figur 16. Goodyears datamottagare för däcksensorer monterad under en semitrailer.

Mottagaren har även inbyggd energilagring vilket gör att data genereras och skickas även när enheterna står parkerade utan strömförsörjning. Då reduceras uppladdningsfrekvensen till en gång per

timme. Det möjliggör varning för behov av intervention utan att exempelvis föraren är närvarande. Mottagaren förmedlar även sin geografiska position. Det ger möjlighet att identifiera vilka fordonsenheter som används samtidigt i samma fordonskombination, vilket var användbart då åkerierna hade flera semitrailrar i sina respektive transportsystem.

På Budbolagets dragbil kopplades mottagaren även direkt till Chalmers datalogger, vilket medgav datainsamling med högre frekvens. På de andra enheterna måste man avväga nivån för dataöverföringsmängden. Sensorerna som har ett batteri ska hushålla med en begränsad energimängd som ska räcka några år. Därför sänder sensorerna data i en tillräcklig men låg frekvens. De semitrailrar som användes i projektet gör relativt få mil per år och batteriet i däcksensorerna bör i idealfall fungera under däckets hela livslängd.

Anemometer

För mätning av vindstyrka och vindriktning installerades en Ultrasonic 2D Anemometer på Budbolagets dragbil. Modellen heter 4.382x. Anemometern placerades högst upp och längst fram på hytten för att få så lite störningar av turbulens som möjligt (se Figur 17).



Figur 17. Anemometern monterad på Budbolagets dragbil.

Den mäter vindriktning och vindhastighet genom att skicka ultraljud i två ortogonala riktningar till två mottagande mikrofoner. Tiden det tar för att ljudet att färdas mellan högtalarna och mikrofonerna är beroende av lufthastigheten och på så sätt kan vindhastighetens komponenter i de två ortogonala riktningarna (x och y) beräknas. Dessa två komponenter räknas sedan om till relativ vindhastighet och vindriktning via:

$$v_{wr} = \sqrt{v_{wx}^2 + v_{wy}^2}, \quad \theta_r = \text{atan}\left(\frac{v_{wy}}{v_{wx}}\right),$$

där v_{wr} är relativ vindhastighet, v_{wx} relativ lufthastighet i x-led, v_{wy} relativ lufthastighet i y-led och θ_r den relativa vindriktningen. Anemometern översätter v_{wr} och θ_r till analoga signaler i två kanaler i form av spänningar, 0-10V, där 0 V betyder 0 m/s respektive 0° och 5V 85 m/s respektive 360°. Dessa signaler kopplades sedan till en IPEtronic M-Sens modul som översätter spänningarna till CAN-signaler som sedan loggades tillsammans med övriga signaler.

En trolig komplikation är att fordonet kommer att störa luftflödet kring sensorn så att uppmätta vindhastigheter och vindriktningar avviker från ostörda vindförhållanden. I tidigare projekt har detta lösts genom att kalibrera både vindriktning och vindhastighet med en linjär kompensation, dvs:

$$v_{wc} = c_0 v_{wr},$$

$$\theta_c = c_1 \theta_r,$$

där c_0 och c_1 är kalibreringskoefficienter, v_{wc} kalibrerad relativ vindhastighet och θ_c kalibrerad vindriktning.

För att beräkna den absoluta vindhastigheten och vindriktningen, dvs den verkliga vindens hastighet och riktning, v_{wa} respektive θ_a räknar man bort fordonets hastighet, v_v , från v_{wc} , dvs:

$$v_{wa} = \sqrt{(v_{wc} - v_v)^2 + v_{wy}^2},$$

$$\theta_a = \text{atan}\left(\frac{v_{wy}}{v_{wc} - v_v}\right).$$

Tanken är att denna data samt annan väderdata som fordonen samlat in ska jämföras med data från SMHI:s och Trafikverkets närliggande stationer. SMHI:s och Trafikverkets stationer mäter inte vägvädret på exakt samma plats som fordonet kör på. Genom att dela in vägsträckan i segment ska mätdata från fordonet på dessa vägsegment korreleras mot närmast liggande vägväderstationer. Vissa vägsegment ligger tex mer skyddade från vind än andra och troligtvis leder detta till att det finns en systematisk skillnad i vindhastighet och vindriktning. Ett förväntat resultat från dessa studier är en modell som kan översätta vägvädret från befintliga väderstationer till mer exakt vägväder för varje vägsegment. Förhoppningen är att med bättre vägväderinformation så kan ett fordonens energiförbrukning bättre beräknas och därmed kan man tex mer exakt bestämma kvarvarande körsträcka innan fordonets primära energilager är tomt (range prediction, för eldrivna lastbilar).

Väglagssensor

För att mäta väglaget installerades Klimators system AHEAD på Budbolagets dragbil. Det är ett system som med hjälp av en framåtriktad kamera i överkant av vindrutan och två lasersensorer i fronten av fordonet kan detektera väglaget upp till 50 meter framför fordonet i realtid (se Figur 18). På så sätt ger systemet information om väglaget framför fordonet, inte bara den vägbana som redan har passerats. Systemet utvecklades ursprungligen för detektering av svartis men kan numera skilja på torr vägbana, våt vägbana, slask, snö, is och även ge friktionsestimat (se Figur 19).



Figur 18. Lasersensorer för väglagsmätning installerad i fronten på Budbolagets dragbil.

Lasersensorerna är av NIR-typ (Near Infrared) och arbetar med tre olika våglängder på 980, 1310 respektive 1550nm. Med hjälp av en detektor mäts hur mycket av ljuset från lasern som reflekteras. Genom att kombinera information från lasern, bildbehandling och odometri (information om fordonets rörelse) erhålls information om det aktuella väglaget och en skattning av friktionen. Data samlas in av en dedikerad dator med en samplingsfrekvens på 10Hz. Information om position, tid och väglag skickas sedan via mobilnätet (4G) till en server.



Figur 19. Exempel på hur systemet detekterar väglaget framför fordonet (källa Klimator).

Instrument för partikelmätning

För att samla in och mäta partiklar från vägbana och fordon utvecklades en metodik som beskrivs närmare i avsnitt 6.19. För att mäta och räkna partiklar användes ett optiskt spektrometerinstrument, TSI Optical Particle Sizer 3330 (här kallat OPS). Det är ett portabelt instrument som används för att snabbt och noggrant mäta luftburna partiklars koncentration och storleksfördelning i realtid. Den använder sig av tekniken "single particle counting" genom att mäta ljusspridningen från partiklar som passerar genom en laserstråle.

OPS 3330 kan hantera ett brett storleksintervall som sträcker sig från 0,3 till 10 μm . Detta intervall täcks genom att instrumentet kan rapportera data i upp till 16 individuella storlekskanaler, vilka användaren kan justera efter behov. Den optiska upplösningen är hög, med en storleksupplösning som är bättre än 5% vid 0,5 μm , vilket uppfyller kraven i standarder som ISO 21501-1.

Instrumentet kan hantera en hög koncentration av partiklar, upp till 3.000 partiklar per cm^3 . OPS:en drivs av batteri i upp till 12–20 timmar (beroende på batterikonfiguration). All data loggas internt, med en kapacitet för upp till 30.000 provtillfällen.

Sensorer i respektive fordon

I Figur 20 illustreras vilka sensorer som generellt användes i olika fordon/fordonskombinationer. Framförallt för Chalmers fordon (Rhino och Elephant) varierade sensorkonfigurationerna över tid. Testfordonet hos Kinnarps (DHEELS-projektet) användes för referensmätningar för GNSS och IMU.

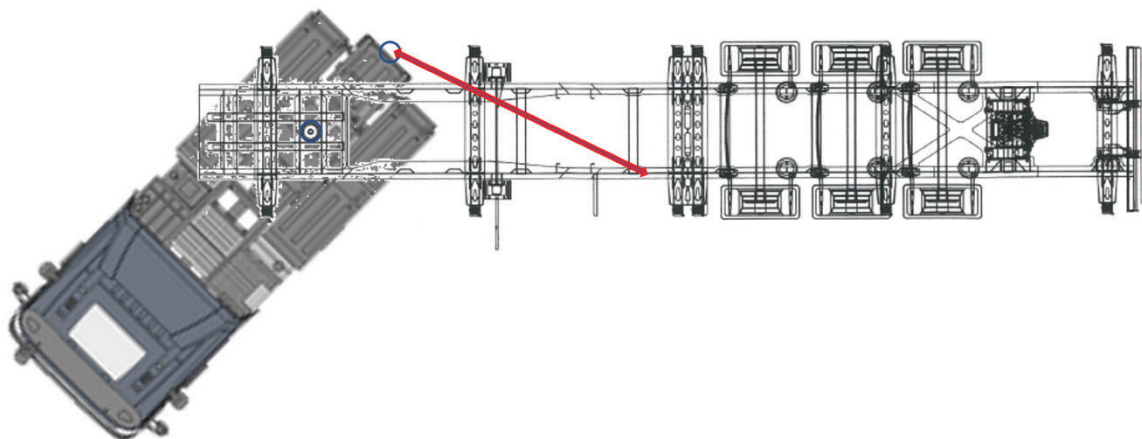
	Fordon/fordonskombination				
	Dania	Budbolaget	Rhino	Elephant	Kinnarps*
Dragfordon	Dragbil	Dragbil	Dragbil	Dragbil	Jämnlastbil
Kameror framåt	X	X			
Kameror bakåt	X	X		X	
GNSS (hög precision)			X	X	X
IMU (hög precision)			X	X	X
GNSS (låg kost)	X	X			X
IMU (låg kost)	X	X			X
Anemometer		X		X	
Väglagssensor		X			
Däcksensorer	X	X		X	
Partikelmätning		X	X	X	
Släpfordon	A-dubbel	A-dubbel	Semitrailer/eTrailer/ A-dubbel	Semitrailer/A-dubbel	C-dubbel
Artikuleringsvinkelsensorer			X	X	
GNSS (hög precision)			X	X	X
IMU (hög precision)			X	X	X
GNSS (låg kost)	X	X			X
IMU (låg kost)	X	X			X
Däcksensorer		X			

Figur 20. Sensorer som användes i olika fordon/fordonskombinationer.

Specialutrustning för vinterprov

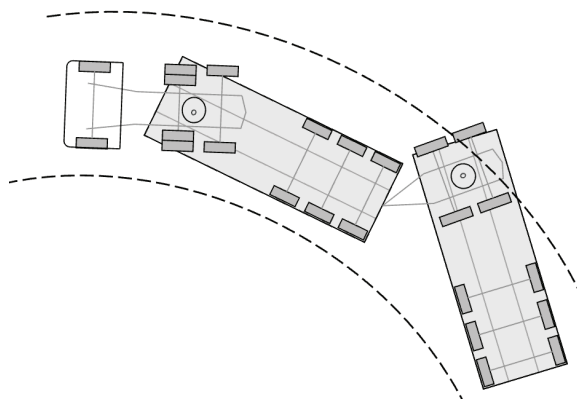
Särskilt vid halt väglag finns risk att fordon med en eller flera artikuleringspunkter ”viker ihop sig” på ett okontrollerat sätt vid exempelvis kraftig inbromsning, så kallad ”jackknifing”. Detta blir särskilt svårt att hantera på en A-dubbel med tre artikuleringspunkter. Normalt är detta inte ett stort problem vid vanlig körning då bland annat bromssystemet hjälper till att ”sträcka ut” fordonskombinationen genom att bromsa de bakre fordonsenheterna lite före de främre, så kallad ”stretch brake”. Avancerade vinterprov på snö eller is där gränserna för en lång fordonskombinations egenskaper testas till det yttersta ställer dock helt andra krav. För att göra testningen säker och undvika onödiga och kostsamma skador på fordonen konstruerades ett unikt system för att förhindra ”jackknifing” i en A-dubbel.

Volvo har sedan många år tillbaka använt jackknifskydd mellan dragbil och semitrailer vid vinterprov. Baktill på dragbilens chassi monteras en lådformad stålkonstruktion för infästning av ett kraftigt släpvagnsdrag. Under semitrailern, i rambalkarna strax bakom stödbenen, monteras en eller två (i vissa fall i längdled justerbara) fästöglor. Mellan släpvagnsdraget och fästöglorna kopplas sedan kraftiga vajrar med hjälp av schackel. Vajrarna gör att dragbilen bara kan svänga upp till en viss vinkel (exempelvis 45 grader) i relation till semitrailern innan det tar stopp (Figur 21). På så sätt förhindras att dragbil och semitrailer viks ihop så pass att exempelvis hytten slår i sidan på semitrailern.



Figur 21. Jackknifskydd mellan dragbil och semitrailer (toppvy). Den röda linjen illustrerar en sträckt stålvaier mellan dragbil och semitrailer.

Utmaningen med A-dubbeln är att det bakom första semitrailern finns ytterligare två fordonsenheter och två artikuleringspunkter. Dessa två artikuleringspunkter (mellan första semitrailern och dollyns dragstång, respektive dollyns vändskiva och king pin på andra semitrailern) gör dels att dollyn kan vrida sig och ställa sig på tvären, dels att andra semitrailern kan svinga ut (se Figur 22). Båda dessa fall måste förhindras. Det måste samtidigt gå att svänga med fordonskombinationen med en viss minsta radie.



Figur 22. Dollyn kan ställa sig på tvären.

För att lösa detta konstruerades ett system med totalt fyra vajrar mellan första och andra semitrailern. Två av vajrarna går från hörn till hörn på första och andra semitrailern på vänster respektive höger sida. Detta begränsar vinkeln mellan första och andra semitrailern. Två av vajrarna går i kors mellan hörnen på första och andra semitrailern. Detta gör att andra semitrailerns rörelse i sidled i relation till första semitrailern begränsas, vilket förhindrar dollyn från att ställa sig på tvären. Flera simuleringar gjordes för att verifiera geometrier och beräkna krafterna i systemet. Därefter konstruerades två kraftiga plåtar (tjocklek 25mm) som med klämförband runt ramens övre fläns monterades på bakdelen av första semitrailern och framdelen av andra semitrailern (se Figur 23).



Figur 23. Jackknifskydd mellan första och andra semitrailer som användes vid vinterprov.

6.3 Logistiksystemanalys

Översikt – sammanfattande huvudresultat

De taktiska och strategiska logistiska mål som Borås Stad ställde och som angavs i FFI – ansökan är väl uppfyllda i Autofreight. Här en sammanfattning av vad som har genomförts och uppnåtts, delvis under Autofreight1 men mest under Autiofreight2.

- a) Ett trafiksystem för HCT har etablerats med säkerställda resursmål, dels avseende miljöparametrar, dels avseende transportservice och kvalitet för användande partners.
- b) Transportutrustning, körteknik, leveransrutiner/-tider och uppföljning av förbrukning mm har förfinats och några återstående delar har identifierats och kan genomföras i närmaste framtiden
- c) Ekonomiska mål är godtagbara men har inte kunnat nå helt önskade nivåer. Begränsande faktorer som systemets slutenhet, relativt korta köravstånd, avsaknaden av en komplett torrhamn, samt yttre faktorer som störningar i hamnterminal och brist på volymer tidvis, för månader och för enstaka dagar i en vecka, inklusive de avsedda returflödena i exporten.
- d) En fungerande affärsmodell, med överenskomna ändringar, för transparent horisontell samverkan mellan deltagande varuägare och transportörer. Affärsmodellen kan vidareutvecklas.
- e) Affärsrelaterat mervärde för deltagande aktörer har identifierats på grund av miljöprofilen i HCT och det nationella och internationella logistiska nyhetsvärdet. Vissa partners har vägt in och exponerat dessa miljökonsekvenser som en lönsamhetshöjande komponent.
- f) Borås Stad har tagit en aktiv roll i det proaktiva logistiska arbetet med både partnerföretagen och ett stort antal andra aktörer som fått presentationer och besök, och med ambitionen att bli en HCT-transportförebild.
- g) Den kunskapsrelaterade grunden och de organisatoriska förutsättningarna är lagda. Det finns goda förutsättningar för en systemexpansion med tillkommande varuägare, transportföretag och rederier i framtiden. Begränsningar ligger i att få fram en torrhamn, och att berörda nya användare kan ändra sina avtal mot HCT lösningarna.
- h) Riktlinjer har utarbetats för en expanderad trafik inklusive nya lösningar med lokal torrhamn och ett större geografiskt område att betjäna, utanför Viared. Detaljerade underlag för torrhamnens anläggande och utveckling har utformats

Trafiksystemet och användarnas bedömning

Själva HCT trafiken med först ett och därefter två ekipage sen hösten 2023 har i stort fungerat som den avsågs och förväntades och användarna är mycket nöjda med servicen. Det har fungerat väl med chaufförerna hos båda transportörerna, även för manövrering i terminaler och hos kunder, liksom för att passa önskade tider för leverans så långt möjligt. Kunderna har värderat de stora miljöeffekterna och använt detta i sin profil för miljöeffektivitet. Borås Stad har värderat att kunna profilera sig ännu tydligare som en e-handelsstad med logistiklösningar i framkant och som aktivt arbetar för att skapa hållbara transportlösningar tillsammans med näringslivet.

Varje mottagande partner – Ellos, Fristads, NetOnNet och Kerry/KLN Freight – har haft lite olika förhållanden och ytor för mottagning av ekipaget. Ellos har stora ytor där det är relativt enkelt att backa till och ställa av, medan övriga har begränsningar i hur ekipaget kan röra sig. KLN i sin tur har även enheter som ska till annan plats än sin egen terminal, med varierande ytförhållanden, men även där har det fungerat bra.

En klar lärdom i Autofreight2 är att mottagarytornas storlek och form vid lager och terminal är högst väsentliga och bör mätas noga och när det är nödvändigt byggas om när HCT implementeras fullt ut i framtiden. Utifrån bland annat analys av HCT svängradier mm, samt de i bilaga A visade måtten för torrhamn, kan framtida nya eller ombyggda ytors form och mått beräknas. Dessa är svåra att ange generellt, då ytan påverkas av var in-/utfart ligger, lager-/terminalbyggnaders form och antal portar, antal HCT fordon, annan trafik mm.

För NetOnNet har det varit nödvändigt att köra in med endast en semitrailer i taget, alltså isärkoppling av A-dubbeln utanför terminalytan. Detta försvårades när parkeringsförbud infördes i Viareds industriområde och man tvingades köra till den tänkta torrhamnen som idag är en parkeringsyta utan bevakning.

Varje partner har lite olika värdering av Autofreight systemet. Vissa har satt in miljöfördelarna på ett mycket klart och evaluerande sätt, där bidrag med miljöeffekt har värderats särskilt utförligt i förhållande till sina satta utsläppsmål.

Marknaden för trafiksystemet

Under hela Autofreight2 har det mest besvärliga varit de stora volymsvängningarna mellan dagar och månader för respektive kund. Kunderna har tidvis haft mindre volymer än de som systemet är designat för. Flera andra potentiella intressenter, som transportföretagen Geodis, Greencarrier, JAS Sweden, C Land Logistics, fjärdepartslogistiker (4PL) som Speed Group, och varuägare som Hööks har haft en dialog med Autofreight och varit intresserade. Bindning till andra gällande transportavtal, och Autofreights begränsade geografiska körningsmöjligheter med Viared/Ulricehamn har bromsat insteg i projektet. Hade det funnits en komplett torrhamn, hade det klart gynnat möjligheterna till utökad trafik. Det absolut bästa vore dock om vägnätet öppnas upp så alla stora mottagare kan få direkttransport med HCT-fordon.

En rätt omfattande marknadsanalys hos Autofreights partners gjordes hösten 2023. Den behandlade både trafikflödet, mängden container i prognos och behov av tjänster kopplade till en torrhamn. Det var kort efter pandemin och i en svajig konjunktur, därför framkom stora osäkerheter hos alla deltagande varuägare och transportörer/speditörer. Den visade ändå på att trafikunderlaget för Autofreight var sådant att volymen som kunderna hade per vecka skulle vara ungefär det dubbla som Autofreight kunde transportera (max 40 containrar/vecka). Men, nedbrutet på olika månader och veckor och inom veckan, framkom alltmer de stora svängningarna. Detta är huvudproblemet. Överskott ena veckan och underskott andra. Det kom fram mycket bra underlag för både trafikens och torrhamnens marknadsbedömning: volymer för de olika tjänsterna, som redovisas mer längre fram och i bilagan.

Inom ramen för Autofreight2 har inte så stora insatser kunnat göras för att fånga in mer export, av den rätt begränsade som finns inom Viared. En målgrupp har ju varit rederierna, och tre av de största har varit med i diskussionsprocessen. Då torrhamnen inte har haft nog konkreta former och tidsplan, har rederierna valt att avvakta till den tid det finns mer att erbjuda.

Genom bland annat en workshop med potentiella nya användare och andra marknadskontakter, har ett bredare och stort intresse identifierats för framtiden. Då en del av dessa befinner sig flödesmässigt utanför Viared/Ulricehamn, har möjligheterna att försöka få med dem i Autofreightsystemet fått planeras att komma längre fram i tiden i och med att fler vägsträckor öppnas upp för HCT.

Ekonomi i trafiksystemet, HCT drift för körningarna

Med hittillsvarande bränsledrift, diesel

Kostnadsbilden att producera transporterna för var och en av de två HCT ekipagen har varit liknande, enbart några procents skillnad. Skillnaderna har mest rört chaufförstid, kostnad för chaufför och i viss mån dieselkostnad samt körda kilometer inom Viared. Olika diesel har använts och dragbilarna har olika motorstyrka och därmed viss skillnad i bränsleförbrukning per timma och körd sträcka. Vad gäller diesel så har både HVO100 och standard diesel använts, i ungefär lika stora andelar. En sammanställning av kostnader återfinns i Figur 24.

Antag: 5 trailer används, varav 4 är inhyrda
 Chaufför kostar för 40 h/vecka
 Kör 9 rundturer, dvs 4,5 dagar

Med enbart 40-45 fots conta, inte 20 ft

Grupp nr	Kostnadsgrupp resp. beskrivning	Antal	Motsvarar % av totalt
KOSTNADER i Viared trafik, helt ekipage			
Utrustning			
1	Dragbil från Volvo "nyttjanderätt"	1	11,2%
2a	Trailerhyra, modell enligt dispens 2020-2025	4	16,8%
2b	Kostn egen 5e trailer, används delvis, ibland vid behov	1	2,0%
3	Dolly hyra	1	5,1%
4	Däckskostnader	"alla"	<u>1,5%</u>
Totalt utrustning %			36,6%
Drift, mer rörligt			
5	Dieselskostnad	rundtur (9/vecka . * 4,2 v/m)	20,6%
6	Chaufför inkl allt. 40 h/v	1	27,9%
7	Admin, styrning, IT, försäkr, vinst. Ren skattning. Rimligt enl TJ	1	12,7%
8	Försäkring för bilen. För trailer?	1	1,2%
9	Väggavgifter, trängselskatt	1	<u>1,0%</u>
Totalt drift %			63,4%
			100%
TOTAL CA MÅNADSKOSTNAD		Per HCT ekipage	196 784
Antal körda container per vecka		antal cont / månad	Kostn per cont
Volym container som körs Viared		76	2 603
10	Antal cont 40-fots per vecka = 18 (4,2 veckor/mån. 11 mån / år)		att producera

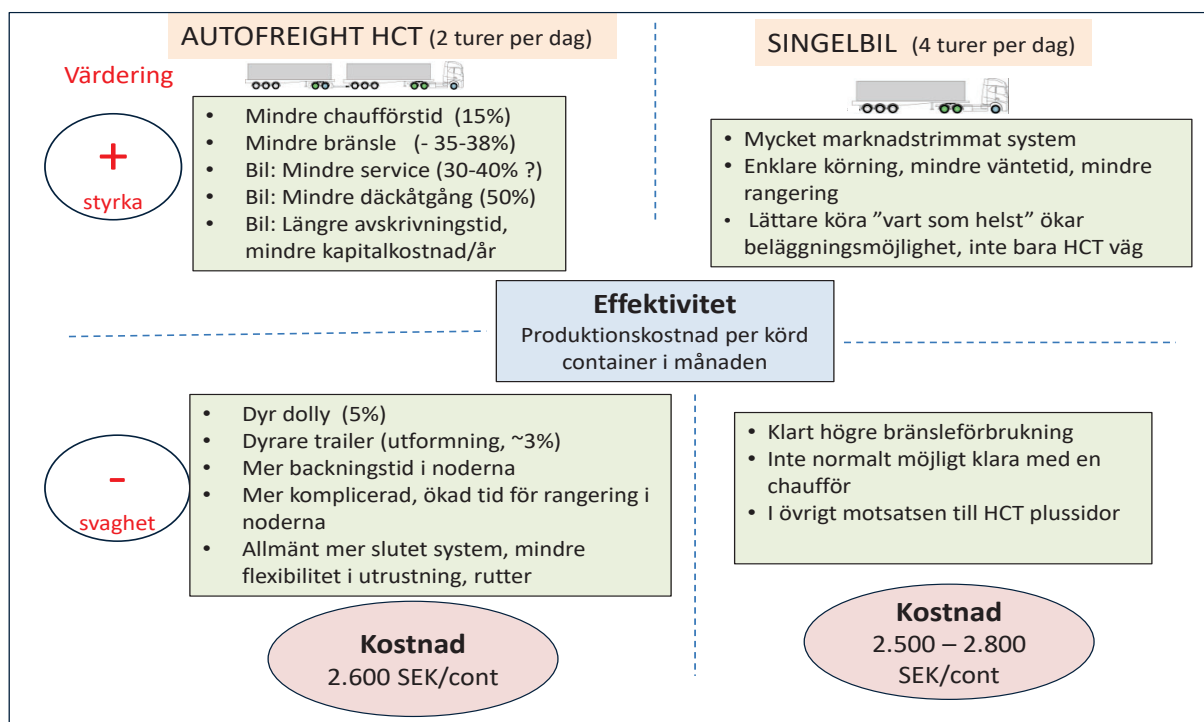
Figur 24. Sammanställning av kostnader per månad och per transporterad container.

Produktionskostnaden för en normal månad med full körning alla arbetsdagar (ca 21 dagar) och nio turer per vecka, har legat på ca 190–200 kSEK per ekipage, eller totalt ca 400 kSEK för hela Autofreighttrafiken med de två ekipagen.

Det framgår att de utrustningsrelaterade kostnaderna ligger runt 36%, så större delen är mer driftsrelaterad, milberoende mm. Största enskilda kostnadsgruppen är chaufför med ca 27%, medan bränsledelel ligger runt 20%, klart lägre än för singelbilar som ofta har minst 30% i den kategorin.

För transportörerna har ekonomin varierat mycket från månad/säsong till annan. Sett över hela projektperioden har de önskade ekonomiska målen inte klarats helt. Lite bättre för det ena ekipaget än det andra. Konkurrerande transportsystem är ju dels singelbilar som drar en semitrailer och B-dubbel med en kort och en lång container (20+40 fot).

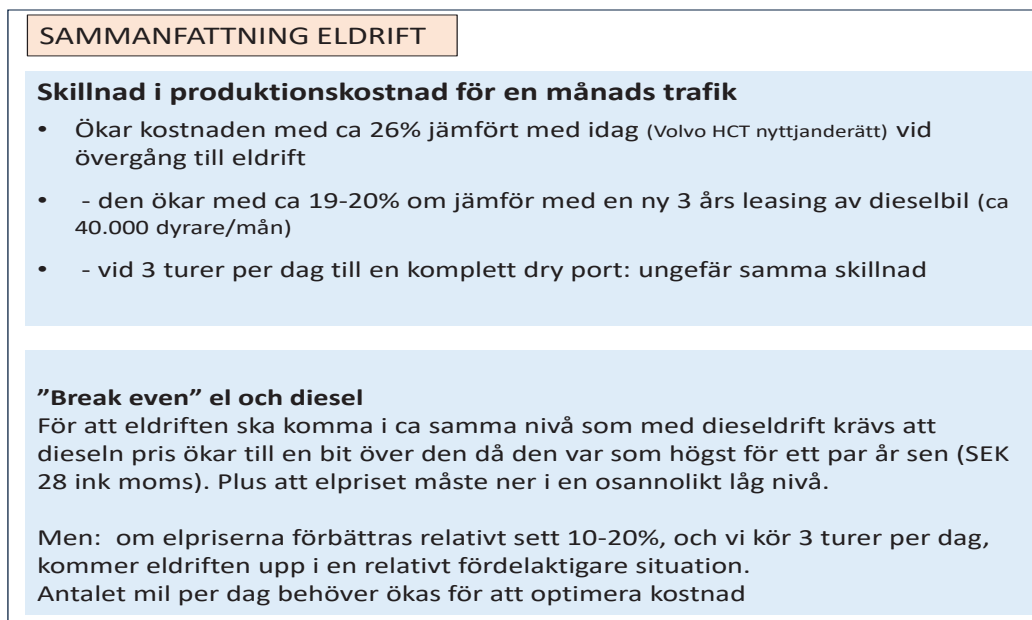
Ur kundsynpunkt – användare av systemet – har fraktpribilden för HCT i motsats till den alternativa singeltrafiken (dragbil med en semitrailer) för Autofreight kunnat ligga på en acceptabel nivå, dvs nära konkurrerande marknadspriser, detta utan exportretur (se Figur 25). Med det planerade upplägget med torrhamn som brytpunkt och efterföljande lokal distribution uppnås en bättre kostnadsbild. Kostnaden skulle då kunna ligga ca 20% lägre för Autofreightsystemet i snitt, även inklusive den lokala distributionen.



Figur 25. Borås Stads analys av HCT i jämförelse med singelbil med en container. Detta med Autofreights sätt att bedriva trafiken mellan Göteborg och Borås.

Eldrivna fordon – en möjlighet, men sämre ekonomi

Projektet har även studerat en möjlig senare användning av eldrift för HCT-transporterna. Baserat på en av Chalmersstudenter genomförd grundanalys över energiförbrukning för eldrift respektive dieseldrift, har Borås Stad genomfört en ekonomisk konsekvensanalys. Den har behandlat helheten med jämförelser, med brytpunkter för där energikostnaderna för ena eller andra går jämnt ut ekonomiskt.



Resultaten av denna analys visar klart att en övergång till eldrift i samma upplägg som Autofreight haft hittills, kommer att öka kostnaderna och därmed kundpriserna. Sannolikt med ca 20% i den nuvarande trafiken med två turer per dag, motsvarande en fraktprisökning om 450–500 kr per container.

Elprisernas variation har stor betydelse, här har en rimlig och vanlig nivå använts. Med en torrhamn och fler turer och därmed körda kilometer per dag, förbättras ekonomin avsevärt genom utspridning av

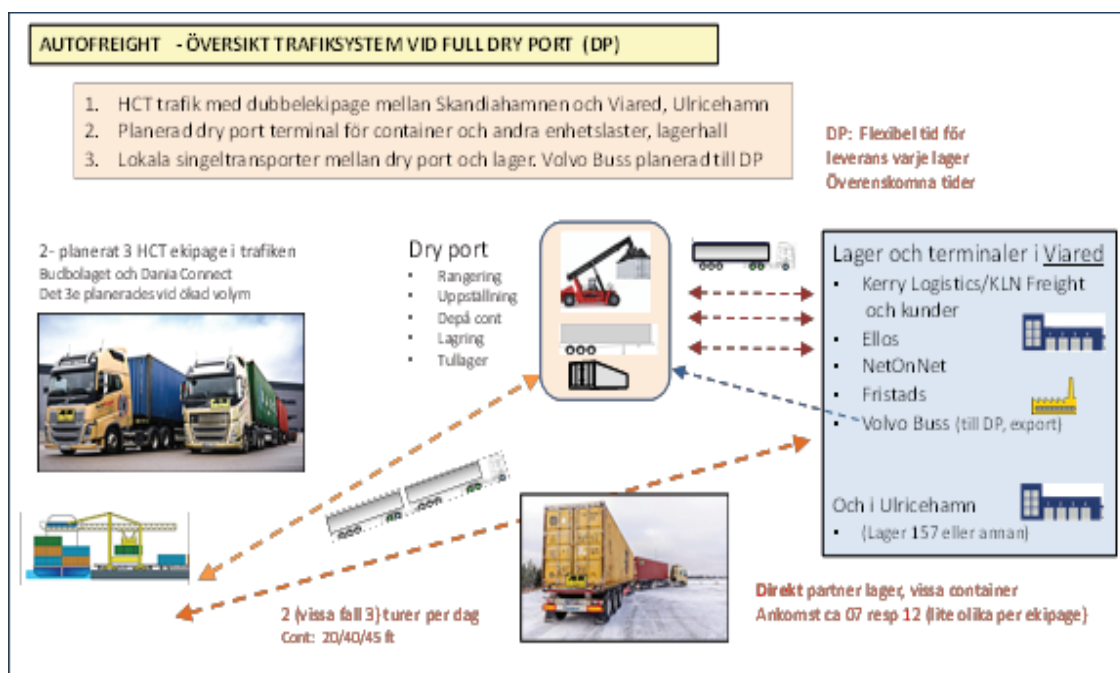
fasta kostnader. Det är svårt att få ut den fraktpriśökning som behövs från kunderna – här gäller att optimera alla produktionsmöjligheter.

Den högre kostnaden för leasing eller köp av den elektriskt drivna dragbilen är den stora nackdelen, som är mycket svår att kompensera för med eventuellt lägre energikostnader för eldriften. En viss ökning av chaufförstiden tillkommer också vid el.

I trafiklösningen med eldrift finns ju även möjlighet till ”last mile” distribution ut till mottagarna inom torrhamnens närhet, med eldrift. Här ställs ju med kortare avstånd inte så stora krav på energikapacitet och batterier, motorstyrka, laddningsplatser mm. Även detta har kalkylerats grovt – med en liknande bild om lite högre kostnadsnivå än dagens dieseldrift.

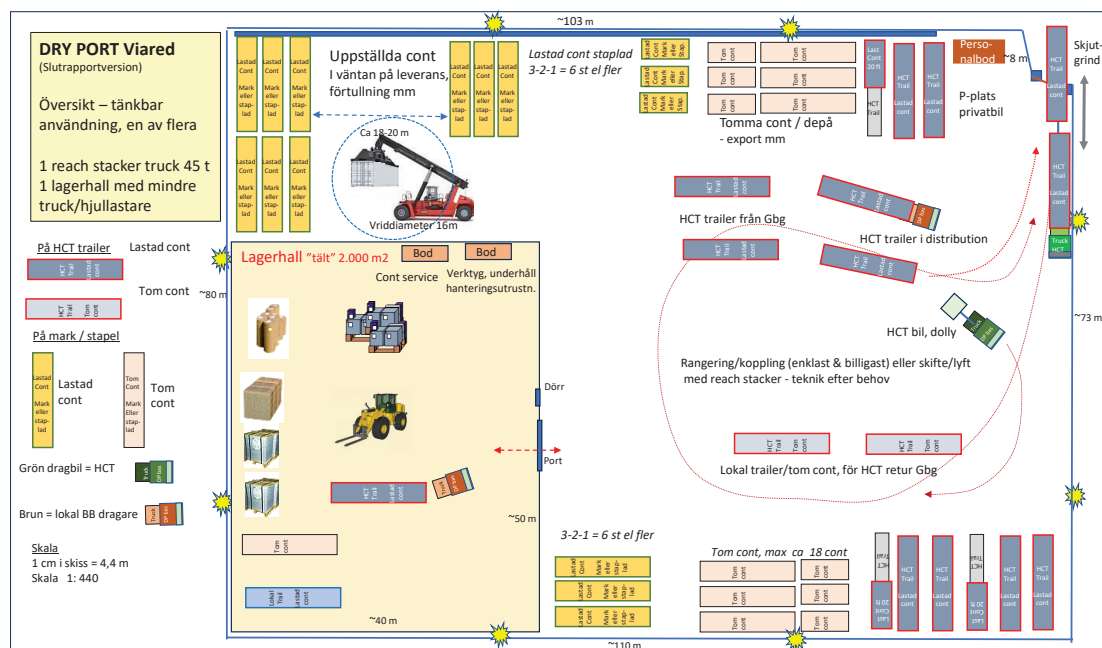
Torrhamn - planering

Under 2023 och 2024 planerades för en torrhamn i Viared som skulle ta en stor del av trafiken, även om en del volymer fortsatt skulle gå direkt till mottagare.



Ett möjligt upplägg för en torrhamn illustreras i Figur 26. Under oktober 2024, efter flera månaders dialog, kom vi fram till att de båda potentiella huvudfinansiärerna i Viared inte kunde investera i en torrhamn så länge inte marken går att köpa (detta begränsades av planerna på utbyggnad av järnvägen). Vi identifierade också att den möjliga markytan i Viared eventuellt skulle bli för liten på ett par års sikt, då även behov av andra tjänster som brytpunkt i andra flöden än sjöcontainer, lagring av skrymmande gods mm, framkommit.

Alternativ lokalisering av torrhamn utanför Viared har också börjat kartläggas. Både tidigare marknadsanalys och den i perioden genomförda workshopen (se nedan) pekar på tillräckligt intresse för att gå vidare när mark med rätt placering finns att tillgå.



Figur 26. Möjligt upplägg för en torrhamn.

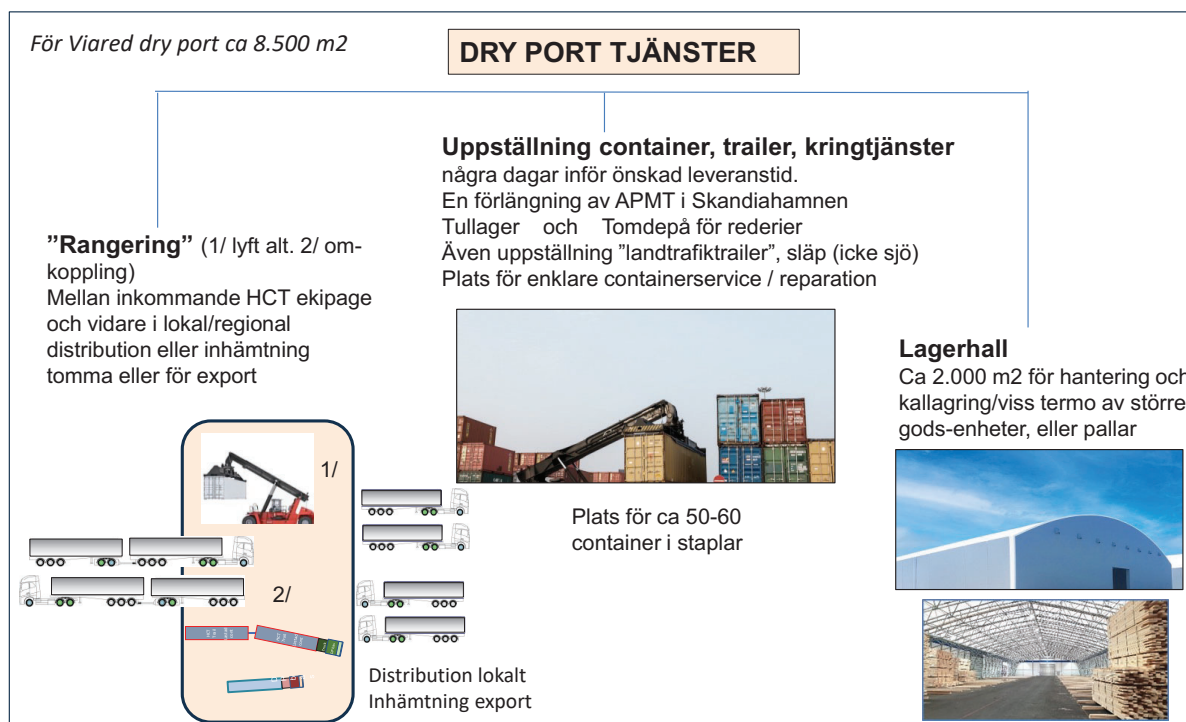
Den möjliga tomten i Viared har en max yta om ca 8500 kvadratmeter. För större behov måste torrhamnen placeras utanför Viared. Vi har kommit fram till att denna storlek skulle kunna fungera, men det är på gränsen.

I Figur 26 illustreras hur en torrhamn skulle kunna se ut. Infarten är i övre högra hörnet, varefter kommer rangeringsytan för antingen isärkoppling från HCT till lokal transport med singeltrailer, eller omlyft med truck. Nere till vänster finns lagerhall. I övrigt är det uppställningsytor för staplade container, med hänsyn till vändradier, höjder mm. Det finns även plats för semitrailer som ska köras nästa dag, exporttrailer mm. Beräkning har sedan även gjorts med ca 50–70% större yta dvs 13–15.000m². Det förbättrar möjligheterna till att rangera mer än ett ekipage åt gången och förkortar tiden för varje uppställningshantering (hämtning, lyft, körning). Dessutom utökas möjliga uppställningsvolymen för container med ytterligare minst hälften.

Drift av torrhamn och relaterade tjänster

En mycket detaljerad genomgång tillsammans med intresserade operatörer för driften av en torrhamn har genomförts, och dessa data kan lätt användas vid ett eventuellt återupptagande av projekteringen. Ungefär en tredjedel av ytan i torrhamnen går åt till var och en av de tre huvudtjänster som beskrivs nedan och illustreras i Figur 27. De ekonomiska kalkylerna har visat på troliga och möjliga intäkter och kostnader för var och en av tjänsterna. Störst betydelse har troligen uppställning av container under en längre tid. Mest utjämnande effekt har lagerverksamheten som mer kan kompensera för svängningar i övriga tjänster.

De för terminalen aktuella tjänsterna har identifierats och värderats i intäkter och lönsamhet – främst rangering och brytpunkt för semitrailer och container, vidare uppställning av container för kortare eller längre tid, depåverksamhet för rederier, lagerhall med inriktning på större godsenheter och kallagring samt tullager.



Figur 27. Huvudsakliga tjänster som skulle kunna utföras i torrhamnen.

För den primära lyftverksamheten av containrar behövs en så kallad reach stacker truck med 40–45 tons kapacitet och som kan hantera upp till 3 eller 4 container i höjd (se Figur 28). Den kan ha diesel eller eldrift, men en eldriven truck skulle i nuläget medföra en alltför hög kostnad. Egentligen kan det räcka med en truck med mindre lyftkapacitet, men den föreslagna typen är nästan standard när den ska kunna hantera den höjddispositionen av containrar. Därtill kommer en mindre truck och hjullastare för hantering kopplad till lagerverksamheten. Betjäningen av respektive truckar kan delvis ske med samma personal. Reach stackerns användning i tid är bara ett par tre timmar om dagen i snitt för dessa möjliga volymer.



Figur 28. En så kallad reach stacker som används för hantering av containrar.

Det har gjorts detaljerade kalkyler för hur terminalen och dess begränsade yta ska användas för de olika tjänsterna. Rangeringen mellan inkommande semitrailer där containrarna antingen ska lyftas över till lokala distributionstrailer, alternativt enbart kopplas om till dragbilen som utför lokala dragningar har beräknats tids-, yt- och kostnadsmissigt.

Ytan på Viaredstomten kan rymma upp till ett 50-tal container med en mix av kort- och långtidsuppställning, men det finns risk att hanteringsytans begränsning bromsar upp en tidsmässigt optimal hantering (lite mer tidsåtgång i minuter per hämtning/lyft). Vidare finns plats för den ca 2.000 kvadratmeter stora lagerhallen. Ytan för rangering in/ut av semitrailrar bör räcka till men kräver en bra planering för HCT transporterna in och ut under dagen. Det finns plats för ett A-dubbelekipage för hantering och rangering. Vid den större ytan på över 13.000 kan två ekipage servas samtidigt. Mängden semitrailrar för rangering och brytpunkt kan vara uppåt 40–50 per vecka eller ca 10 per dag. Mer information återfinns i bilaga A.

Ekonomi, finansiering och volymer i torrhamnen

Finansieringsbehovet beräknas ligga på knappt 11 MSEK för anläggningen som helhet, vid en viss mix av köp, lån och hyra för bland annat lagerhallen och en begagnad reach stacker. Driften skulle kosta runt 4 MSEK per år vid break-even volym. Hanteringen för uppställning (reach stacker truck och personal) skulle stå för ca 40%, lagerhallens verksamhet för ca 35% och resterande 25% är för markanläggning och inhägnad mm (investeringar/avskrivning), administration, styrning, vinst, tullagerhantering mm.

Både rangerings- och uppställningsverksamhetens intäkter bygger dels på kostnadsdelen, dels på en analys av marknadspriser för liknande tjänster, exempelvis hos APM:s terminal i Göteborgs Hamn. Där ligger prismodellen så att containrar har några fria dagar i hamnen, för att sedan öka betydligt efter tredje dagen. Detta ger incitament att hämta ut containrar och, om så behövs, lagra dessa på annan plats. En torrhamn har sin troligen största konkurrenskraft när det gäller lite längre uppställning, som en vecka eller mer.

Rangering skulle stå för 10%, uppställning för 40–45 och lager för ca 35%, plus en mindre del som kan komma från terminaltjänster som uppställning av icke sjögods, enkla containerreparationer och exempelvis semitrailer i annan utrikes eller inrikes trafik som inte berör APM:s terminal i hamnen.

Marknadsaktiviteter för utökning av trafikunderlaget

En ”workshop” genomfördes i december 2024, där ett tiotal företag i Borås deltog, varav sex var helt nya, alla med stora flöden. Syftet var dels att sälja in HCT-konceptet inklusive torrhamnsportkonceptet inom ramen för Autofreight, dels att kartlägga intresset för fortsatt trafik med högre volymer.

Resultatet blev intressant, även om det på kort sikt inte kom till nya direkta volymer. Särskilt stort var fokus på behovet av en torrhamn för trafiken och ökad service mot kunderna. Förutom viljan att fortsätta med HCT, lyftes önskemål om lättanvända program för att mäta miljöeffekter.

Återstår att knyta vidare kontakter. Viareds Företagarförening är en av dem, och här har minst två företag angett att de kan verka för vidare HCT flöden efter Autofreight, men det finns även andra intressenter. En möjlig väg är att kontakta E-handelsstaden Borås (ekonomisk förening) som verkar i Sjuhärad.

Vi har identifierat ett klart intresse för en fortsättning med HCT-trafik, samt torrhamnens betydelse för ökad leveransservice och breddning av tjänster, inklusive potentiella nya flöden. Det finns också ett stort intresse för fortsatt samverkan likt den som har utvecklats inom Autofreight. Kontakter har tagits med Viareds Företagarförening inför en fortsättning.

Utökning med kringverksamhet, utbildning för HCT

Söderkulla Tung Trafik som anslöt till Autofreight2-projektet i slutet av 2023 har tillsammans med Volvo och Oryx utvecklat trafikmiljöerna i mjukvaran inom körsimuleringstekniken (se avsnitt 6.18 för mer detaljer om körsimulatoren) och även startat utbildning för just HCT Trafik med Autofreight som utgångspunkt. Borås Stad har spelat en central roll när det gäller samordning, initiativ, projektering och viss kostnadstäckning.

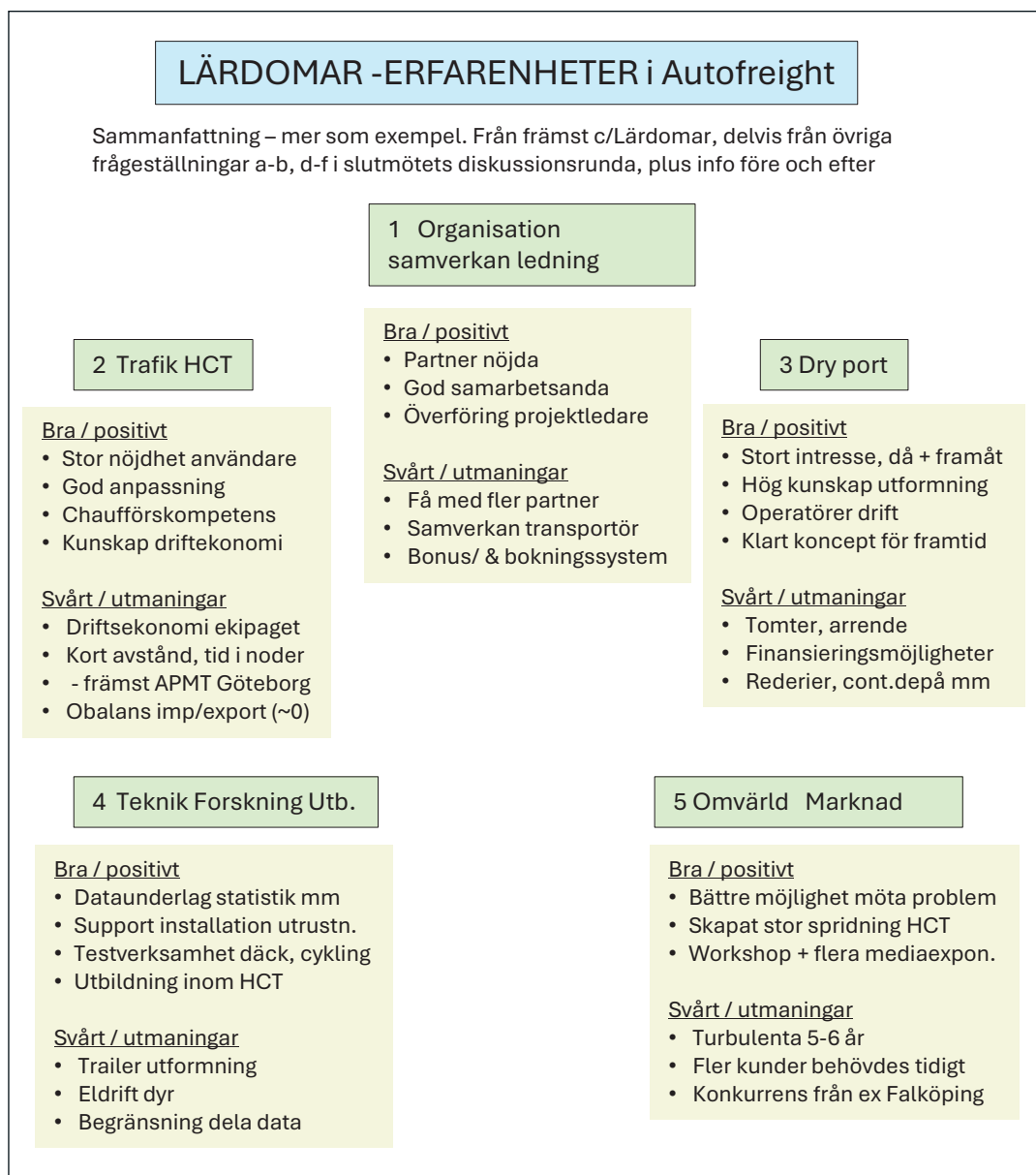
Simulatorn finns i Söderkullas anläggning i Viared. Det har skapats ett utbildningspaket för ingenjörer som ska ha körkort för lastbil och kompetens för HCT. Söderkulla har även ställt upp som ”stand-by” för behov inom HCT körning. Viktiga kunskaper och färdigheter som behövs är exempelvis backning

med A-dubbel, bedömning av ytbehov hos kunder, framkomlighet mm. En del av erfarenheterna kommer även projektet DHEELS tillgodo.

Lärdomar och erfarenheter

I slutfasen av projektet fick alla partners dela sina tankar och synpunkter på vad vi gemensamt lärt oss av de dryga sju åren som Autofreight har pågått, med extra fokus på tiden under Autofreight2. Det gjordes i anslutning till slutmötet i juni 2025, dels runt bordet, dels i form av inlämnade synpunkter. Resultatet återfinns i detaljerad form i bilaga C.

I koncentrat sammanfattas de mest centrala lärdomarna i punkterna 1–5 i bilden nedan, här i ett försök att gradera dem i Bra/Positivt och Svårt/utmaningar.



Några av de mest centrala slutsatserna, delvis urval från sammanställningen 1–5 ovan, är:

- Kunderna är generellt mycket nöjda med service och andra vinster som miljöeffekter. Det går att skapa en bra samverkan mellan många olika parter inom såväl logistik-trafik, teknikutveckling som forskning.
- HCT kräver öppenhet i systemet (utrustning ska kunna användas inom och utom HCT trafik, med fler möjliga vägsträckor). Helst 3–5 mil längre transportavstånd enkel väg än vad Autofreight har haft, utan komplett torrhamn – med direktkörning som hittills.

- c) Det behövs en torrhamn, och det finns ett brett intresse för den, i rätt läge och med rätt investeringsförutsättningar.
- d) Utbildningsbehov har identifierats och projektet har kunnat landa och genomföra sådana insatser.
- e) Omvärldsförändringar, svängningar i kundvolym, sjötrafikförhållanden mm har stor påverkan på ett så pass begränsat HCT som Autofreight varit.

Rekommendationer för kommande projekt och HCT trafiksystem

Här är några av de rekommendationer som framkom under slutmötet i Autofreight2, efter ovan beskrivna lärdomar och erfarenheter.

- a) Vid start av liknande samverkansprojekt – se till att få med alla aspekter som listats i dessa ”Lärdomar – erfarenheter”. Det behövs lite mer planering och insikt än vad vi hade 2017.
- b) Klargör så tydligt det går vilka genomsnittliga containervolymer som minst måste finnas – för trafiken och eventuell torrhamn. Vilka kunder och branscher som kan interagera/jämna ut. Det måste vara ett så stort antal att enstaka kan falla ifrån eller få avvikande volymer.
- c) Planera in och arbeta med allt som behövs för en stabil torrhamn så tidigt som möjligt i samband med andra kommande HCT uppstarter och torrhamn.
- d) Utan torrhamn bör HCT-avståndet enkel väg vara minst ca 10–15 mil. Säkerställ tillgången på för uppgiften lämpliga chaufförer.
- e) Om det planeras för en torrhamn i någon form, måste det ske fullt ut i detalj från början, inklusive mark, ägande, utbyggbarhet, koppling till annan terminalverksamhet som kombiterminal mm.
- f) Utveckla samlastningsidén (flera kunder på HCT ekipagen) inklusive exportkombinationen.
- g) Analysera från början hur man får bästa möjliga ekonomi vid användning av 34,5 m fordon för det är uppenbart att det är svårare än vad vi trodde för fem år sedan. Även hänsyn till fordonens energidrift, laddningspunkter, vilket vägnät som är öppet för långa fordon mm.

6.4 Ny lagstiftning för längre och tyngre fordon

Den 1 december 2023 trädde ny lagstiftning i kraft i Sverige som möjliggör användning av betydligt längre lastbils kombinationer än tidigare. Förändringen innebär att den maximalt tillåtna längden för tunga fordon kombinationer ökades från 25,25 meter till 34,5 meter. Syftet med reformen är att öka transporteffektiviteten, minska klimatpåverkan och stärka konkurrenskraften för den svenska transportsektorn. Projektet Autofreight2 har tillsammans med flera andra HCT-projekt bidragit med viktig input till bland annat Trafikverket inför beredningen av den nya lagstiftningen.

De längre fordonen är dock inte tillåtna på hela vägnätet. Trafikverket har pekat ut ett särskilt vägnät där 34,5 meter långa fordon kombinationer får framföras. Detta omfattar huvudsakligen större statliga vägar med tillräcklig bärighet, geometri och trafiksäkerhetsstandard. Vid införandet omfattade nätet cirka 590 mil statliga vägar (se bild till höger), inklusive både huvudstråk och anslutningsvägar. Kommuner och andra väghållare kan även välja att öppna kommunala vägar för dessa fordon, men detta kräver särskilda beslut. Det krävs mer samverkan mellan kommuner samt att dialogen med kommunerna intensifieras för att förstå fördelarna med denna typ av transport. Det är förarnas ansvar att säkerställa att hela färdvägen är godkänd för den aktuella fordonslängden. I praktiken måste digitala karttjänster och Trafikverkets väg-databaser (NVDB) användas för att planera sådana transporter.



När det gäller tekniska och trafiksäkerhetsmässiga krav gäller fortsatt att fordonen ska uppfylla Transportstyrelsens föreskrifter avseende bromsförmåga, stabilitet och manövrerbarhet. De längre kombinationerna ska kunna framföras på ett trafiksäkert sätt, bland annat genom att uppfylla krav kopplade till svängradier, bromsprestanda och stabilitet vid höga vikter. Vid införandet i december 2023 var det två fordonskombinationer som godkändes för 34,5 meter, A-dubbel och AB-dubbel. Lagstiftningen är skriven som funktions- och måttkrav vilka är enkla för polisman att kontrollera.



Ur ett trafik- och miljöperspektiv bedöms reformen ge tydliga vinster. Genom att mer gods kan transporteras per fordon minskar antalet körningar, vilket i sin tur leder till lägre bränsleförbrukning och minskade koldioxidutsläpp per transporterat tonkilometer. Trafikverket uppskattar att utsläppen från tunga vägtransporter på sikt kan minska med flera procent till följd av införandet av längre fordon. Samtidigt har analyser visat att trafiksäkerheten inte påverkas negativt i någon större utsträckning, förutsatt att fordonen används på avsedda vägar och i enlighet med regelverket.

Införandet av 34,5 meter långa fordon innebär också nya utmaningar. Längre fordon kräver längre omkörningssträckor och ställer högre krav på planering, förarbeteende och tekniska stödsystem. Dessa aspekter blir särskilt relevanta i kombination med nya fordonskoncept, såsom högkapacitetsfordon med elektrifierade släp och avancerade reglersystem.

Sedan den 15 april 2025 är tillåts även fordonskombinationer som är längre än 25,25m av typen B-dubbel (dragbil + en lång link-påhängsvagn + semitrailer), C-dubbel (jämnlastbil + släpkärra + släpkärra), samt nordisk kombination (jämnlastbil + dolly + semitrailer). I B-dubbelkombinationen får link-påhängsvagnen respektive semitrailern vara max 12m långa från king pin till bakkant. I den nordiska kombinationen får jämnlastbilen vara max 12m lång. Alla tre kombinationer har en total längd på cirka 27m. Transportstyrelsens föreskrift TSFS 2025:17 reglerar de tekniska krav som gäller för fordonskombinationer med en total längd mellan 25,25 och 34,5m.

6.5 Trafiksäkerhet för cyklister

Omlastningsterminaler ligger ofta i industriområden med tätortslignande miljö, och det förekommer att oskyddade trafikanter rör sig där. Kommuner har självbestämmanderätt över kommunala vägar vilket betyder att de avgör om längre fordonståg får framföras. Men liksom för landsvägar som ej är mötesseparerade så saknas det kunskapsunderlag för att bedöma hur trafiksäkerheten i tätortsmiljöer och oskyddade trafikanter skulle kunna påverkas av längre fordonståg. Ett underlag som kommuner efterfrågar. Därför genomfördes en studie inom ramen för projektet som fokuserade på trafiksäkerhet för cyklister.

I jämförelse med andra trafikantslag har antalet dödade och svårt skadade cyklister inte minskat. Cyklister omkommer framförallt i kollisioner med ett motorfordon (Niska och Eriksson, 2013) och om tunga lastbilar är inblandade så är dödligheten ännu högre (Frings m.fl., 2014; Pokorny och Pitera, 2019). En särskilt farlig situation är när den tunga lastbilen svänger höger medan cyklisten fortsätter rakt fram (Prati m.fl., 2017; Volvo, 2017). I oreglerade, ej trafikljusreglerade, korsningar har motorfordonets förare skyldighet att släppa fram cyklisten. Beroende på trafiksituationen kan olika konstellationer förekomma – lastbilen kan komma ifatt cyklisten innan korsningen, cyklisten kan komma ifatt lastbilen som redan väntar vid korsningen, eller så kan en kombination av båda uppstå. Utvecklingen i varje enskilt fall styrs i olika stor utsträckning av trafiksituationen (infrastruktur och annan trafik) och såväl lastbilsförarens som cyklistens beteende.

Studiens syfte och forskningsfrågor handlar om att förstå hur interaktionen mellan lastbilsförare och cyklister fungerar då lastbilar korsar en cykelväg, och om interaktionen påverkas av längre lastbilsekipage.

Studiens upplägg

I studien användes tre lastbilsekipage. Förutom det längre fordonståget på 32 meter som ingått i Autofreight2, så deltog även ett konventionellt 24-metersekipage och en femaxlig 10 meter lång anläggningslastbil från projektet HCT City, se Figur 29. Tre förare deltog i studien och de körde samma ekipage under hela studien. Tolv cyklister rekryterades lokalt genom sociala medier. De var vardagscyklister, elcyklister och erfarna landsvägscyklister. Lastbilsförarna var införstådda med studiens syfte, men det var inte de rekryterade cyklisterna.



Figur 29. De tre lastbilsekipagen som användes i studien. Från höger i bild en femaxlig 10 meter lång anläggningslastbil från projektet HCT City, i mitten ett konventionellt 24-metersekipage (nordisk kombination) och längst till vänster A-dubbeln på 32 meter som ingått i Autofreight2.

Studien utfördes i Viareds företagspark väster om Borås, Västra Götaland. Anledningen till platsvalet är att det längre lastbilsekipaget dagligen används för transporter av containrar mellan Göteborgs hamn och Viaredsområdet. Det längre lastbilsekipaget har därför tillstånd att köra på de aktuella vägarna i området.

Figur 30 visar den färdväg som lastbilarna kunde köra (i vitt). I övre högra hörnet går färdvägen genom en stor cirkulationsplats. Cyklisterna utgick från "Start" i övre högra hörnet. De cyklade sen på den blåmarkerade cykelvägen till "Mål" längst ner till vänster i figuren. Cykelvägen går parallellt utmed den vitmarkerade Viaredsvägen. Från Start till Mål är det knappt 2,5 km. Cyklisterna cyklade fram och tillbaka två gånger.

De gula ringarna i Figur 30 markerar de tre korsningarna som var utvalda för studien. Resterande vitmarkerade vägvägnitt används av lastbilsekipagen för att kunna nå varje korsning i olika ordning och från olika riktningar. Under tiden som cyklisterna cyklade fram och tillbaka utmed Viaredsvägen så cirkulerade de tre lastbilsekipagen på de vitmarkerade vägvägnitten för att nå de tre korsningarna samtidigt som cyklisterna.

Samtliga tre korsningar var T-korsningar och cykelbanan utmed Viaredsvägen är dubbelriktad i alla korsningar. Företagsgatan korsar Viaredsvägen vid två platser. Den första kallade vi Företagsgatan 1 och finns uppe till höger i Figur 30. Enligt Söderkulla Tung Trafik är den här korsningen lite utmanande för en lastbilsförare eftersom cykelvägen inte kommer vinkelrätt mot lastbilens färdväg. Cykelvägen går heller inte utmed lastbilens färdväg så lastbilsförarna ser inte cyklisten i god tid under tiden som denne hinns i kapp innan en högersväng. Cyklisten kan också skymmas av ett parti med mindre träd strax innan korsningen.



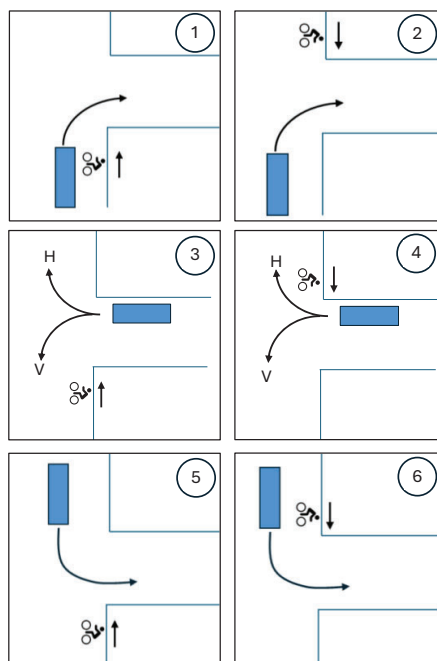
Figur 30. Det område i Viareds företagspark i vilken studien utförs. Färdvägen som lastbilarna kan köra är markerad med vitt. Lastbilsekipagen utgår från p-platsen. Cyklisterna utgår från "Start" och cyklar på den blåmarkerade cykelvägen till "Mål". De gula ringarna markerar de tre korsningarna som är specifikt utvalda för studien. Vitmarkerade vägvägnitt används av lastbilsekipagen för att kunna nå varje korsning i olika ordning.

I korsningen Bussgatan – Viaredsvägen finns ett vänstersvängfält, samt två trafikskyltar som föraren behöver hålla koll på när denne svänger höger in på Bussgatan. För att inte köra ner skyltarna så behöver föraren av det längre ekipaget ha koll på dessa samtidigt som en cyklist. Företagsgatan 2 kallas vi den andra platsen där Företagsgatan korsar Viaredsvägen, se längst ner till vänster i Figur 30. Korsningen liknar den vid Bussgatan men vänstersvängfält saknas, liksom trafikskyltar som lastbilsföraren behöver ha koll på. Företagsgatan 2 representerar på så sätt en okomplicerad korsning där lastbilsföraren endast behöver ha koll på cyklisten.

Insamlade data bestod av loggade mätdata, ljud- och filmmaterial från de cyklar och lastbilsekipage som ingick i studien. Mätdata avser cyklarnas och lastbilsekipagens GPS-positioner och hastighet strax innan och i korsningen. Deltagande cyklister och lastbilsförare kommenterade sina upplevelser under studien, vilka spelades in digitalt. Två av lastbilsförarna bar glasögon som registrerade var förarna tittade någonstans (eye-tracker). Dessa data består av filmmaterial som bearbetas med mjukvara i efterhand. Filmmaterial spelades också in med kameror som var placerade på de rekryterade cyklister- nas samt ledsagarnas cyklar.

Resultat

Sex situationer identifierades i vilka cyklister och lastbilar kunde interagera i korsningarna, se Figur 31. Antalet interaktioner uppgick till totalt 65. Tabellen nedan visar hur interaktionerna fördelades över de olika situationerna. Situation 1 med högersvängande lastbil var vanligast med 17 interaktioner, och lastbilen med flest interaktioner (49) var den drygt 10 meter långa HCT City. En rimlig förklaring till det är att den var enklare och smidigare att köra runt i företagsparken, vilket ökade chanserna till interaktioner med cyklister.



Figur 31. Sex olika sätt som cyklister och lastbilar kunde mötas i korsningarna. V och H betyder att lastbilsekipaget svängde vänster respektive höger i korsningen.

Situation	HCT city	Lastbilsekipage			Totalt
		24m*	32m		
1		15	10	7	32
2		4		1	5
3H		4	1	4	9
3V		4	2	9	15
4H		7	1		8
4V		5	8	8	21
5		1	1	1	3
6		9	6	6	21
Totalt		49	29	36	114

*Körde en halv dag mindre än de andra två

Fördelning av antal interaktioner över de sex situationerna som förekom under studien. Vid en del tillfällena förekom två eller tre lastbilar, men varje interaktion associerade med ett av lastbilsekipagen räknas som en interaktion. Analys av kommentarer från förare och cyklister pågår fortfarande.

Resultaten från studien är ännu inte publicerade, men planeras presenteras på konferensen HVT19 (International forum for Heavy Vehicles Transport and Technology) 2027 med preliminär titel "Long vehicle combinations and cyclists' perceived safety on country roads and intersections", samt publiceras under våren 2026 i en VTI-rapport med titeln "Långa fordonståg och cyklisters upplevda säkerhet på landsvägar och i korsningar".

6.6 Vägagsmätning

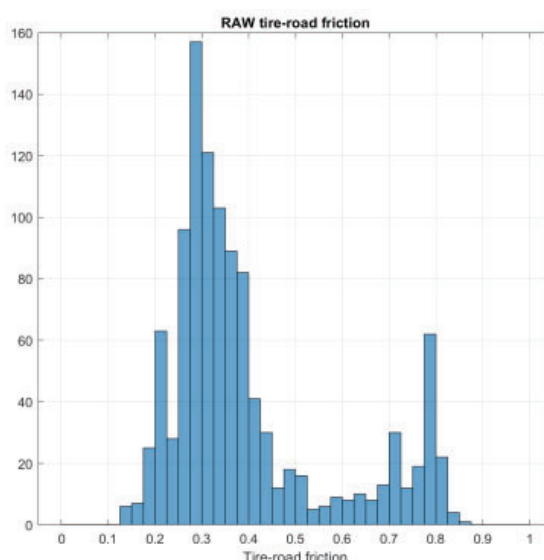
Luleå tekniska universitet har deltagit i Autofreight2-projektet som extern part och kunnat nyttja ett av testfordonen (Budbolagets dragbil) för mätningar av vägag. Inom projektet Friktionsanalys och modellutveckling av friktionsdata för vägar med flera körfält, finansierat av Trafikverket, har data som samlats in med AHEAD-systemet analyserats. AHEAD är ett kamera- och vägagssensorbaserat system från företaget Klimator som klassificerar väglaget över hela körbanan och, under dagtid, även i

intelligande körfält. Genom att montera systemet på en lastbil i reguljär trafik kan data samlas in under längre perioder. Insamlade data har använts för att verifiera friktionsdata från andra uppkopplade fordon.



I ett projekt med Trafikverket har Luleå tekniska universitet utvecklat en teknik för att omvandla data från uppkopplade bilar till information om vägfriktionen på en specifik plats. (DN, 2025; Foto: Adam Ihse/TT)

Möjligheten att använda lastbilen från Autofreight2 har varit värdefull, då den trafikerat väg 40 mellan Göteborg och Borås, där det även finns en stor mängd data från andra uppkopplade fordon under dygnets flesta timmar. Syftet med mätningarna var att använda AHEAD som referens på vägar med flera körfält för att förstå spridningen i friktion som kan uppkomma i data från uppkopplade fordon, se Figur 32, där friktionen (μ) på ett vägsegment upp till 550 m varierar från 0,12 till 0,88 under 1 timme. Friktionen uppskattas baserat på interna sensorer i fordonen och levereras som ett positionerat värde med ett konfidensmått. Konfidensmålet beror på vilka system som är aktiva i fordonet vid uppskattningen.

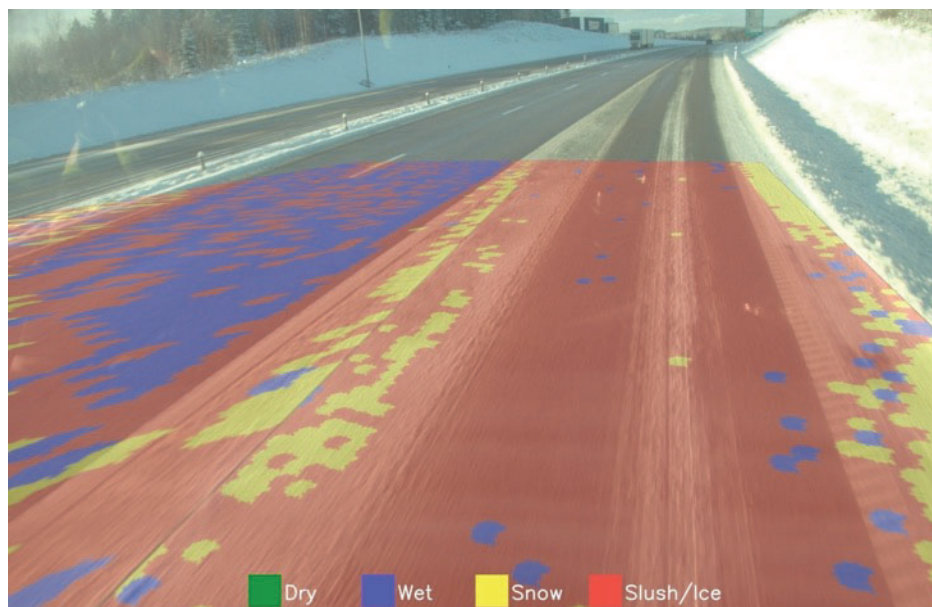


Figur 32. Fördelning av friktionen mellan däck och väg på en ett vägsegment upp till 550 meter. Här är det stor skillnad mellan friktionsvärdena med en spridning mellan 0,12 och 0,88 μ , där största andelen är låga värden.

Att friktionen uppvisar en stor spridning i Figur 32 kan förklaras av exempelbilden i Figur 33, där huvudkörfälten är blöta medan påfarten är isig. Detta ger fler observationer med låg friktion: när ett

fordon accelererar eller bromsar uppstår större däckkrafter, vilket triggar fler mätningar. Sammantaget indikerar detta att spridningen i friktionsvärden för vägsegmentet är rimlig givet den faktiska väglagsfördelningen.

Under projektets gång har vi samlat in data för ett helt års varierande väderförhållanden, vilket har kompletterats med data från en annan bil i Örebroområdet. Detta har gjort det möjligt att analysera och förstå olika beteenden i data från uppkopplade fordon. Arbetet har resulterat i en algoritm som tar hänsyn till både konfidensmättet och fördelningen av friktionsmätningarna för att beräkna ett friktionsutfall (bedömt friktionstal) på den aktuella sträckan.



Figur 33. Väglagsklassificering av en tvåfilig väg med påfartsramp. Vägens körfält är blöta medan rampen är isig.

Algoritmen baseras på relationen mellan olika konfidensnivåer och spridningen i friktion baserat på information om

- a) Nivå 3: ABS, ESP eller TCS har aktiverats i fordonet.
- b) Nivå 2: Slip (skillnaden mellan hjulens rotationshastighet och fordonets hastighet).

Övergripande gäller att om spridningen mellan friktionsvärdena är låg beräknas utfallet som ett medelvärde. Om spridningen är stor, prioriteras hög konfidens framför låg konfidens i förhållande till antal observationer, och medelvärdet viktas för att avvikande värden inte ska få samma genomslag.

Utan data från Autofreight-projektet hade valideringen av algoritmen inte kunnat genomföras med samma kvalitet och datamängd. En senare version av algoritmen är nu implementerad och används av Trafikverket i deras system för uppföljning av utförda åtgärder inom vinterväghållning.

6.7 Backning och rangering

Att backa en fordonskombination med släp är en utmanande uppgift. Graden av utmaning ökar med antalet släp, och därmed artikuleringar, och är även kopplat till fordonsdimensionerna. Förare behöver omfattande övning för att förstå relationen mellan rattens vinklar och rörelse å ena sidan och fordonskombinationens rörelse å andra sidan. Utmaningen att backa en fordonskombination med flera ledpunkter kan leda till att misstag begås och resultera i skador på både fordon och infrastruktur och en ökad säkerhetsrisk för andra trafikanter. Det är därför viktigt att erbjuda tillräckligt med support och stöd för förare av långa fordonskombinationer vid backning och att dessa stöd och supportfunktioner implementeras i praktiken.

Studien av backande artikulerade fordonskombinationer (se Ge, 2025) inleds med en undersökning av deras rörelsemönster, med fokus på varför manövrerbarhet vid backning är så annorlunda jämfört med

icke-artikulerade fordon. Det visar sig att för att styra en artikulerad fordonskombination vid backning i en önskad riktning är det viktigt att planera och agera med exakt rattinput för att kontrollera alla artikuleringsvinklar och därigenom uppnå vissa specifika positioner av kombinationen. En ny metod utvecklas för att hitta den grundläggande begränsningen hos backande fordonskombinationer med flera artikuleringspunkter utan interna kollisioner mellan enheterna i kombinationerna. Denna grundläggande begränsning är viktigt att förstå för att fullt ut kunna planera och reglera kombinationen och utnyttja dess fulla kapacitet. Eftersom de flesta banplanerings- och regleringsfunktioner är baserade på den kinematiska modellen har fordonstester på provbana genomförts för att utforska noggrannheten i dessa modeller och att kvantifiera detta i termer av parameterosäkerheter. Därigenom kan en förståelse uppnås av den robusthet som krävs för att tillämpa banplanering och reglerfunktioner på verkliga fordon. Förutom att endast använda dragbilens styrning, har även potentialen för ytterligare ställdon utforskats på släpvagnar, inklusive differentialbromsning och aktiv släpvalsstyrning. Detta har genomförts i form av två studentuppsatser (Honeder, 2024; Nagaraj och Krishnakumar, 2025).

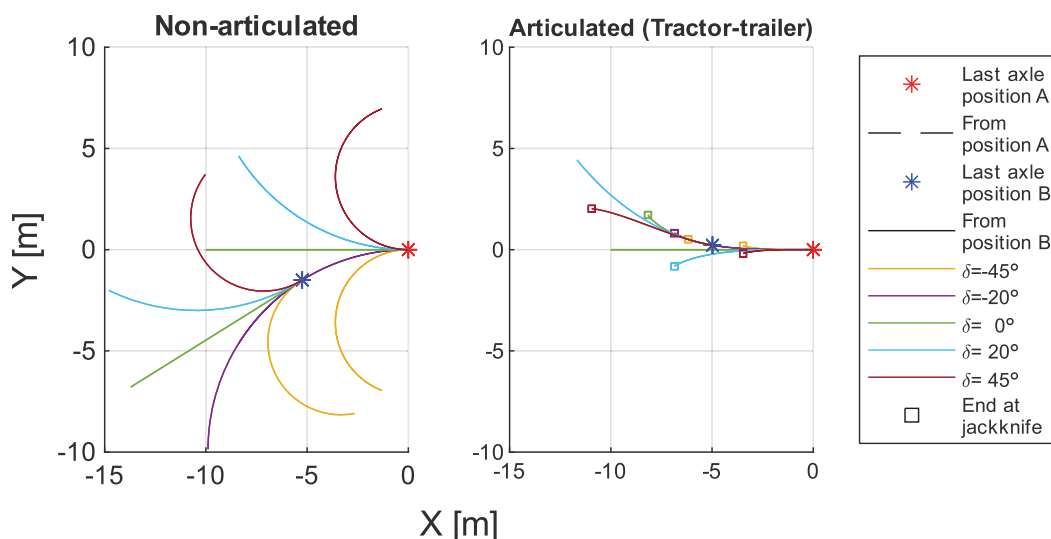
Backningsrörelse för artikulerade fordonskombinationer

Figur 34 jämför möjliga backningsvägar för ett icke-artikulerat fordon vid dess bakaxel samt för en dragbil-semitrailerkombination vid dess mittaxel på släpet. Dessa möjliga banor används som ett hjälpmedel vid backning för icke-artikulerade fordon, och visas ofta som dynamiska riktlinjer i en backkamera eller ur ett fågelperspektivssystem och är baserat på förarens rattvinkel. Riktlinjerna är användbara för exakt positionskontroll av fordonet, eftersom föraren kan förutse hur fordonet kommer att röra sig i förhållande till den yttre miljön och dess nuvarande position. Om den väg som når den önskade positionen kräver förändringar i kurvradien, kan riktlinjerna hjälpa föraren att planera vägen. Detta innebär att oavsett när och var föraren ändrar rattvinkeln, kan föraren förvänta sig samma uppsättning möjliga riktlinjer. Som visas i Figur 34 fungerar de streckade linjerna som riktlinjer för att backa till en initial position A. Efter att ha backat en viss sträcka når den sista axeln position B, med en ny uppsättning riktlinjer representerade av heldragna linjer. De möjliga väguppsättningarna som visas av de två riktlinjeuppsättningarna vid de två positionerna är identiska för det icke-artikulerade fordonet i dess fordonskoordinatsystem. Detta på grund av att det finns en direkt koppling mellan rattvinklar och möjliga vägar. Föraren kan lära sig denna uppsättning möjliga vägar genom att styra fordonet när det står stilla och observera förändringen i de dynamiska riktlinjerna, vilket hjälper till med vägplanering.

För det artikulerade fordonet definieras dock dess möjliga backningsvägar av rattvinkeln i kombination med artikuleringsvinklarna. Avsaknaden av direkt koppling skapar svårigheter vid kontroll och planering av backning. Efter att ha backat ett artikulerat fordon kommer artikuleringsvinklarna sannolikt att skilja sig från dem innan backningen påbörjades. Denna skillnad innebär att riktlinjeområdena också kommer att skilja sig, enligt resultaten som presenterats i föregående avsnitt.

Som visas av riktlinjeuppsättningarna för ett artikulerat fordon i Figur 34 är riktlinjeuppsättningen representerad av streckade linjer för position A inte densamma som riktlinjeuppsättningen representerad av heldragna linjer för samma fordon som backar till position A från B. Med andra ord fungerar inte längre riktlinjer som förutsäger fordonets rörelser baserat på artikuleringsvinklarna före backningen, efter att backningen har påbörjats, på grund av förändringar i artikuleringsvinklarna.

Därför, om föraren vill förutsäga backningsvägen med en icke-konstant rattvinkel innan backningen påbörjas, måste man först förutsäga artikuleringsvinklarna vid den tidpunkt då man avser att ändra rattvinkeln. Baserat på de förutsagda artikuleringsvinklarna kan man sedan förutsäga ett möjligt vägintervall för vidare vägplanering.



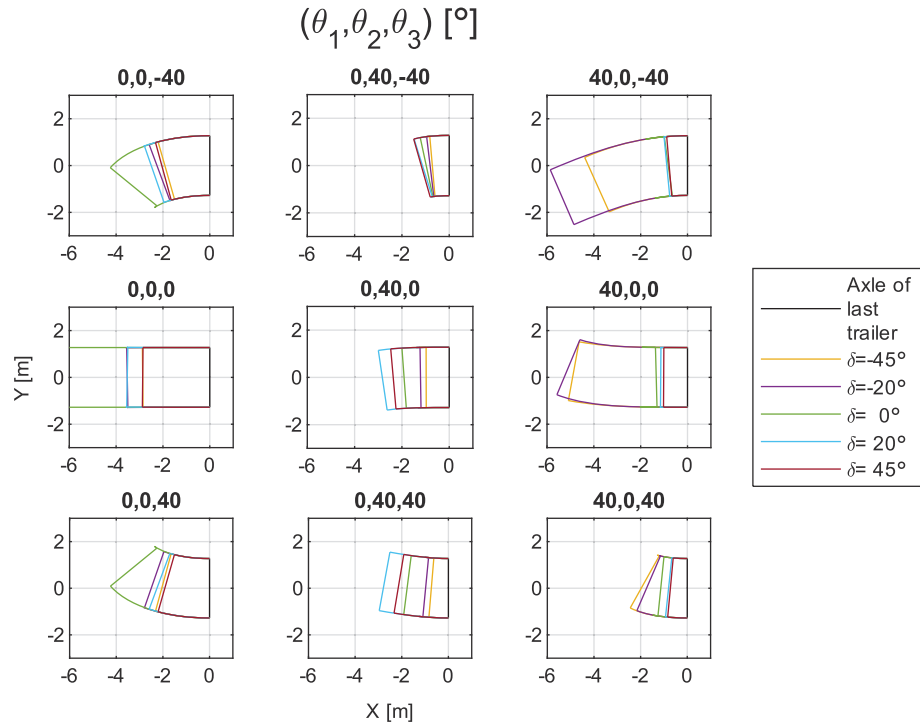
Figur 34. Backningsbanor för icke-artikulerat (vänster) och artikulerat fordon (höger) för olika styrhjulsvinklar δ .

Beroendet av möjliga backningsvägar i förhållande till artikuleringsvinklar är betydligt större för multi-artikulerade fordon, såsom A-dubbel kombinationen. Med andra ord, även om man varierar styrvinkeln inom dess begränsningar, kan påverkan på den sista släpvagnens bana vara mycket begränsad. I Figur 35 visas förutsagda banor för den mellersta axeln på den sista släpvagnen i en A-dubbel kombination. Ett öppet slut mellan de förutsagda banorna för vänster och höger sida av axeln innebär att dragfordonet kan backa mer än 10 meter utan att en intern kollision mellan enheterna sker; ett stängt slut indikerar att en sådan kollision inträffade när den sista släpvagnen nådde det slutet.

De förutsagda banorna från olika fasta styrvinklar har nästan samma riktning för varje kombination av initiala artikuleringsvinklar. Däremot kan banornas längd variera eftersom vissa fasta styrvinklar kan leda till att fordonet bryter mot kollisionsbegränsningen tidigare än andra. När man backar från ett rakt utgångsläge (alla vinklar är noll), rör sig de sista enheterna i positiv Y-riktning med positiva styrvinklar och i negativ Y-riktning med negativa styrvinklar. Det är dock svårt att se skillnaderna i Y-riktning i Figur 35 eftersom banradierna är relativt stora för alla styrvinklar. Därför liknar alla förutsagda banor den raka bana som skapas med noll styrvinkel.

Denna egenskap innebär att den sista släpvagnens färdriktning måste styras genom att manipulera artikuleringsvinkeln via styrning av dragfordonet, vilket kräver planering över en backsträcka som är längre än vad som kan visas med en förutsagd bana baserad på en fast styrvinkel. Utan hjälp av planeringshjälpmedel krävs fortfarande att föraren gör egna bedömningar för att vidta styråtgärder i förväg och på exakta positioner, för att säkerställa att den sista artikuleringsvinkeln når önskat värde vid önskad position.

Sammanfattningsvis, på grund av den betydande påverkan som artikuleringsvinklar har på den sista släpvagnens återgångsbana i multi-artikulerade fordon, är det avgörande att ha ett system som hjälper föraren att planera och kontrollera alla vinklar inom det ledade fordonet i enlighet med den önskade färdvägen.



Figur 35. Möjlig backningsbana för den sista semitrailern i en A-dubbel för olika initiala artikuleringsvinklar (titeln på varje diagram) med olika fasta styrhjulsvinklar δ (olika färger). Exempelvis "0, 0, 0" anger att A-dubbeln står helt rakt medan "40,0,0" anger att dragbilen har 40 graders vinkel mot första trailern och att A-dubbeln i övrigt står rakt. Ett öppet slut på banan innebär att kombinationen kan backa mer än 10 meter till (se "0,0,0") medan en sluten bana innebär att en intern kollision mellan släpen inträffar.

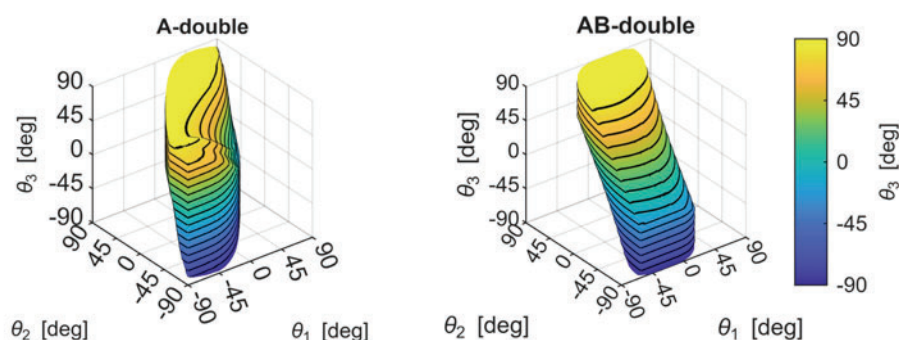
Fundamentala begränsningar för utvärdering av regulatorprestanda

Det framgår tydligt av tidigare diskussioner att regleralgoritmer behövs för att ge bättre stöd vid backning av artikulerade fordon. Befintlig forskning visar på olika regleralgoritmer, med hjälp av simuleringar eller experiment, som kan backa enkla eller flera artikulerade fordon längs specifika banor eller upprätthålla stabiliteten hos artikuleringsvinklarna. Frågan är hur man ska utvärdera prestandan hos befintliga lösningar, i termer av om de fullt ut kan utnyttja den flexibilitet som vinklarna i ett fordon ger och rätta upp det genom att backa från ett brett spektrum av initiala kombinationer av vinklar.

Den traditionella lösningen för att utvärdera prestandan hos en backningsregulator för artikulerade fordon är att bedöma det slutna systemet, som inkluderar både regulatoren och fordonet. Omöjliga initiala positioner och lägen för det ledade fordonet kan identifieras genom sådana utvärderingar och måste undvikas i drift. Regulatoren kan misslyckas med att följa en given bana eller stabilisera ledvinklarna på grund av två typer av begränsningar. Den första typen är regulatorns konstruktionsbegränsning; olika styralgoritmer och parametrar kan resultera i olika slutna system, vilket leder till varierande möjliga arbetsområden. Att tillämpa nya styralgoritmer eller justera befintliga regulatorer kan övervinna denna konstruktionsbegränsning. Den andra typen är en grundläggande begränsning hos artikulerade fordon, som beror på begränsningar i styr- och artikuleringsvinklar. Den andra begränsningen kan inte övervinnas genom förbättrad regulatordesign. Vilken typ av begränsning som gör att vissa initiala tillstånd hamnar inom det omöjliga arbetsområdet kan inte avgöras enbart genom analys av det slutna systemet som kombinerar banföljningsregulatoren och fordonet. Därför är det avgörande att förstå de grundläggande begränsningarna vid backning av artikulerade fordon för att avgöra var en rimlig målfunktion för vad det slutna systemet kan uppnås. En tydlig beskrivning av de grundläggande begränsningarna vid backning av artikulerade fordon är avgörande för att utveckla körassistans och automatiserade lösningar för rangering med artikulerade fordon, eftersom det kan ge vägledning om

var en regulator behöver justeras eller var en ny algoritm bör tillämpas inom det omöjliga arbetsområdet.

I denna del av projektet betraktas fordonslägen definierade av artikuleringsvinklar inom den grundläggande gränsen, under antagandet att utvecklingen av vinkeln kan förändras. Detta omfattar två egenskaper. För det första ska fordonet kunna backa utan att överskrida gränserna för vinklarna för att undvika kollisioner mellan enheter. För det andra ska det behålla förmågan att nå ett rakt läge, vilket ofta krävs i vanliga lastnings-/lossningssituationer. En ny metod har utvecklats i detta projekt som erbjuder en mindre konservativ grundläggande gräns än befintliga metoder. Den nya metoden bygger på två antaganden om dynamiken hos artikuleringsvinklar när fordon körs i låg hastighet, inklusive förekomsten av en antikausal egenskap och ett slutet område från det raka läget i artikuleringsvinkelrummet. Den antikausala egenskapen ärvt inom den kinematiska modellen, som vanligtvis används för lågfartsdynamik hos fordon. Den bevaras inte helt i högupplösta modeller, men med en regulator för artikuleringsvinkelföljning är antagandet fortfarande tillräckligt bra för att fastställa den grundläggande gränsen. Det senare antagandet är giltigt för typiska artikulerade fordon som används i Sverige, inklusive dragbil med semitrailer, nordiska kombinationer, dubbel center-axeltrailer, A-dubbel, AB-dubbel osv. Figur 36 visar de fastställda grundläggande begränsningarna för backning av en A-dubbel och en AB-dubbel. De grundläggande begränsningarna varierar beroende på fordonens dimensioner, mekaniska gränser för artikulerings- och styrvinkel.



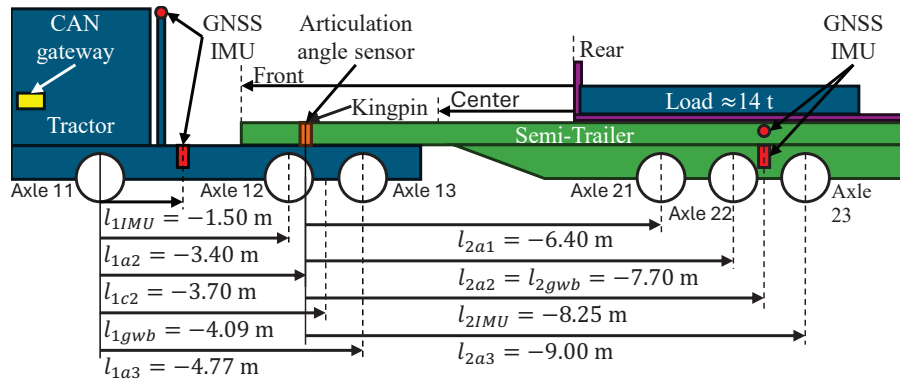
Figur 36. Fundamentala begränsningar för backning med A-dubbel respektive AB-dubbel där θ_1 , θ_2 , och θ_3 är artikuleringsvinklarna mellan fordonen. Dvs de vinklar på artikuleringarna som gör att man kan backa sig till en rak position igen. Om man har någon artikuleringsvinkel som ligger utanför volymen i diagrammen kommer man aldrig kunna backa sig till en rak position av kombinationen.

Robusthetskrav för reglerfunktioner

De flesta assistanslösningar presenterade i forskningslitteraturen använder modellbaserade regulatorer. Den kinematiska modellen används i stor utsträckning i dessa regulatorer tack vare dess enkelhet när det gäller nödvändiga parametrar och dess förmåga att beskriva artikuleringsdynamiken. Felet i den kinematiska modellen jämfört med en förfinad modell över rörelsen observeras när den grundläggande begränsningen fastställs. Feedback från förare i detta projekt tyder på att den kinematiska modellen kan sakna förmågan att fånga effekten av förändringar i lastförhållanden, vilket kräver att förarna justerar sin styrstrategi vid backning. Förändringar i lastförhållanden omfattar både total last och lastfördelning, vilka båda saknas i den kinematiska modellen. Om felet mellan den kinematiska modellen och det verkliga fordonet under typiska lågfartsmanövrar kan modelleras som parameterosäkerheter i den kinematiska modellen, skulle det vara enkelt att kontrollera robustheten hos befintliga lösningar i forskningslitteraturen.

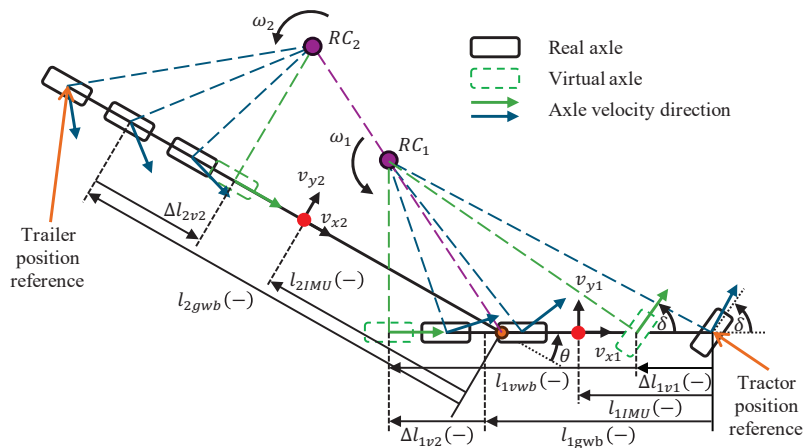
En preliminär studie i detta ämne genomfördes med en lastbil och släp, bestående av en 6x4 dragbil och en semitrailer med 45-fots containerchassi. Sensorsystemet för datainsamling visas i Figur 37. Styrvinkeln registreras via dragbilens CAN-buss. En vinkelgivare mäter artikuleringsvinkeln. Två kombinerade GNSS- och IMU-system är installerade på dragbilen respektive semitrailern. RTK-mätningar används under testerna för hög noggrannhet hos de båda positionssensorerna. Semitrailern är antingen tom eller lastad med cirka 14 ton. Det finns två fordonskonfigurationer med olastad semitrailer, V1 och V5. V1 har alla axlar nedfällade och V5 har dragbilens sista axel och semitrailerns första

axel upplyfta. Tre fordonskonfigurationer med lastad semitrailer är numrerade V2, V3 och V4. V2 har last placerad bak, V3 i mitten, och V4 framtill på semitrailern. För alla manövrar styr förarna manuellt dragbilens hastighet på en bekväm nivå för de aktuella uppgifterna. Alla manövrar utförs både framåt och bakåt. Manövrarna omfattar slutna tester med konstant radie och öppna tester med konstant styrvinkel.



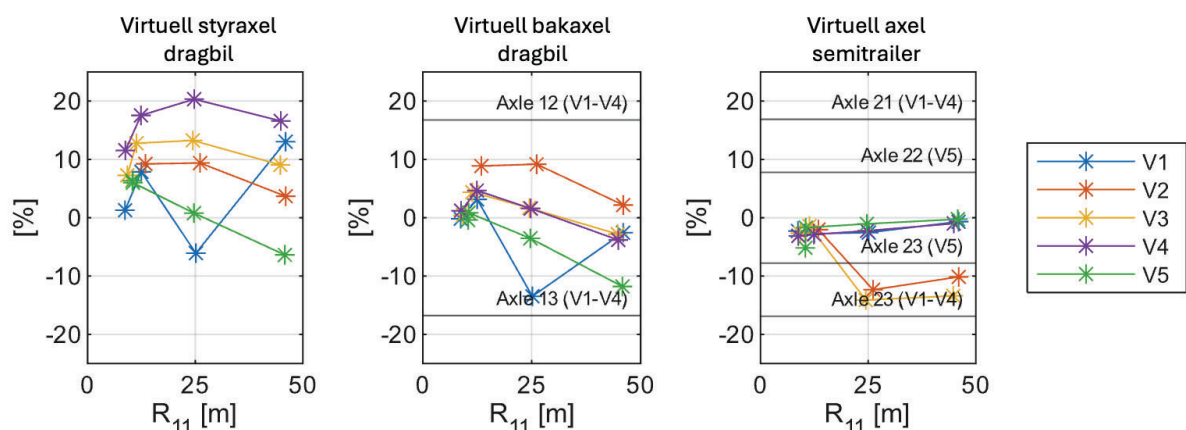
Figur 37. Testfordonet och dess dimensioner när alla axlar är nerfällda.

De uppmätta data används för att utvärdera avvikelser mellan virtuella axelpositioner med noll slipp (avdriftsvinkel) och motsvarande geometriska ekvivalenta axelpositioner. Som visas i Figur 38 är dragbilens geometriska hjulbas, l_{1gwb} , avståndet från dess framaxel till centrum av bakre boggin; semitrailerns geometriska hjulbas, l_{2gwb} , är avståndet från artikuleringspunkten till semitrailerns boggi-centrum. Dessa två hjulbasparametrar är ett vanligt val vid uppbyggnad av den kinematiska modellen för ett fordon med boggier. De virtuella axelpositionerna med noll slipp, representerade av gröna rundade rektanglar, uppskattas med hjälp av uppmätta data. Avvikelsen från en geometrisk ekvivalent axel till motsvarande virtuell axel betecknas som Δl .



Figur 38. Ett dragbil-semitrailer-ekipage och dess virtuella nollslip axlar (punkt med noll lateral relativ hastighet).

Figur 39 visar ett antal exempelresultat från denna studie, där axelförskjutningar är normaliserade med den geometriska hjulbasen för dragbilen eller semitrailern, beroende på axelns position. För dragbilen gäller att med ökande svängradie uppvisar majoriteten av de normaliserade förskjutningarna liknande trender. Dragbilens verkliga axelförskjutningar minskar, och dess hjulbasförskjutningar minskar eller förblir på liknande nivåer. För tester med samma radie är effekterna av lastpositionen likartade. Till exempel är hjulbasförskjutningarna alltid i ordningen baklastad, mittlastad och frontlastad. För semitrailern ligger den virtuella axeln alltid mellan dess första och sista fysiska axel. Endast bak- och mittlastad semitrailer uppvisar stora förskjutningar.



Figur 39. Virtuell axelförflyttning vid körning framåt med olika konstanta cirkelradier (R_{11} anger cirkelradien för dragbilens styrande axel), dvs hur det fysiska fordonet faktiskt rörde sig i förhållande till hur den förenklade kinematiska modellen skulle ha förutspått rörelsen, uttryckt som procentuell avvikelse.

Sammanfattningsvis, baserat på observationerna från genomförda tester, kan avvikelserna mellan virtuella axelpositioner med noll slipp och motsvarande geometriska ekvivalenta axelpositioner uppgå till 25 % av dragbilens eller släpets geometriska hjulbas. Modellbaserade banplanerare eller banföljningsregulatorer som använder kinematiska modeller bör därför vara tillräckligt robusta för att hantera denna nivå av parameterosäkerheter. Faktorer som kan påverka positionerna för slippfria axlar inkluderar rattmanövrar, hastighet och acceleration, last och dess fördelning samt färdriktning. Dessa bör beaktas i den fordonmodell som ska användas för att verifiera relevanta lågfartsfunktioner, såsom backningsassistansfunktioner.

Potential med andra aktuatorer

Potentialen för backningsassistans i artikulerade fordon med extra aktuatorer på släpen har undersökts i två examensarbeten, för differentialbromsning (Honeder, 2024) och aktiv styrning (Nagaraj och Krishnakumar, 2025). Potentialen för differentialbromsning att förbättra backningsprestandan har studerats med en dragbil och semitrailer.

Differentialbromsning kan effektivt stabilisera artikuleringsvinkeln inom ett specifikt intervall vid backning utan styrkorrigering. Den kan också underlätta förändring av artikuleringsvinkeln genom att tillföra extra girmoment på släpet. Detta är såklart på bekostnad av ett högre däckslitage.

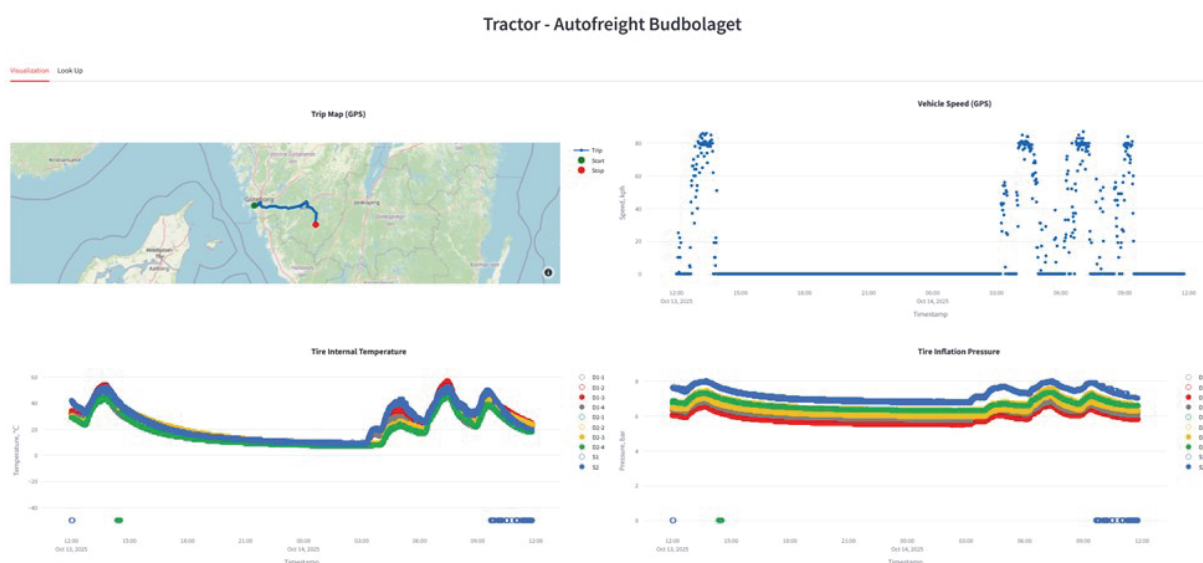
Potentialen för aktiv styrning har undersökts genom att utrusta den sista semitrailern i en A-dubbel med en aktivt styrbar axel. Detta ger då två styrbara axlar vid backning: en på dragbilen och en på släpet. De två styrbara axlarna styrs i kombination med framkoppling och återkoppling (linjärvadratisk optimalstyrning) baserat på förarens önskemål om det sista släpets bana. Dock så visar studien att påverkan från dessa åtgärder inte ger så mycket effekt på fordonskombinationens bana. Till detta så ökar också däckslitage signifikant i en riktig tillämpning. Denna effekt ignorerades i dessa arbeten.

6.8 Däcksövervakning

Inom Autofreight2 har Goodyear utrustat i stort sett samtliga fordon som används i A-dubbelkombinationerna med speciella däcksensorer (se avsnitt 6.8 för en teknisk beskrivning). Genom att göra däckerna "intelligenta" var målet att öka kunskapen om hur däckerna kan användas mer effektivt och även öka trafiksäkerheten. På Danias ekipage monterades däcksensorer på dragbilen samt en dolly och fem semitrailrar, och för Budbolaget monterades däcksensorer på dragbilen, en dolly och fyra semitrailrar. I många fall har man däcksensorer enbart på dragbilen och mer sällan på en tillkopplad semitrailer, så detta omfattande test med två kompletta A-dubbelkombinationer där flera semitrailrar "roterar" i systemet får anses unikt. Många lastbilar är idag utrustade med TPMS (Tyre Pressure Monitoring System, eller däckstrycksövervakning). Där används en sensor som är en del av ventilen (som sitter i

fälgen) och därmed skyddas från externa påfrestningar i högtryckskammaren. Goodyears sensorer limmas istället på insidan av slitbanan inuti själva däck, vilket medger noggrann mätning av exempelvis temperatur nära däckets slitbana.

I Autofreight2 fick man nu för första gången möjlighet att övervaka i realtid, samla in och dela alla däckens driftsparametrar i ett verkligt transportscenario. Goodyears representant i projektet fick tillgång till ett övervakningsverktyg där data från samtliga fordonsenheter visualiseras, se Figur 40. Där framgår både momentana och historiska data. Verktöget togs fram av Goodyear för Autofreight2 men används numera även för andra aktiviteter. Det används även för att tidigt spåra parametrar som verkar vara orimliga och kunna göra verifieringar samt förbättringar av systemet. Speciellt efter att man har behövt byta eller laga ett däck har det varit väldigt värdefullt att kunna uppdatera systemet på distans. Det initiala målet att kunna överföra relevant info i realtid direkt till föraren/åkaren kunde emellertid inte uppnås inom ramen för projektet. Detta bidrog i sin tur till att projektet ”Grundmodeller för fordonsseriedata i stor skala” startades (se avsnitt 6.20).



Figur 40. Illustration av Goodyears verktyg för övervakning av däck.

Teknologin och standardisering för däcksmonterade sensorer är fortfarande i en stark utvecklingsfas. Intelligent däck förväntas bli en typ av utrustning som kan ge mervärde på många olika sätt. Att lära sig hur de kan användas på ett effektivt sätt i forskning och utveckling är värdefullt för många olika aktörer. Här presenteras några av de lärdomar och erfarenheter som kom fram under projektet.

Parning av sensorerna i däcken med mottagen som sitter på respektive fordons chassi skulle varit automatisk och möjlig med OTA (over the air) kommando enligt tillverkaren, men det visade sig att troligen på grund av A-dubbelkonfigurationen där flera liknande enheter är nära varandra så kan felaktig däcksidentifiering förekomma. En lärdom är att man i dagsläget behöver göra en aktiv parning av sensorerna med sensormottagaren. Väl i drift visar det sig att systemet har varit väldigt robust och pålitligt.

Under projektet detekterades ett flertal långsamma punkteringar. Det är inte osannolikt att någon eller några av dessa hade kunnat resultera i oplanerade stillestånd som kunde varit på en väldigt olämplig plats med möjlig stor påverkan på trafikflödet runt Göteborg. Alla dessa punkteringar kunde nu i stället tas om hand innan de skapade mer omfattande kostnader och störningar.

Generellt finns en tendens att lastbilar kör omkring med högre tryck i däcken än det som är optimalt. Dels beror det på att man vill ha marginalen på sin sida ifall en skada uppstår, dels för att däcktrycksövervakningssystem (TPMS) fortfarande är ovanliga, särskilt på semitrailrar. Många är övertygade om att det även spar bränsle. Det är dock inte givet att så är fallet och mer forskning behövs kring sambandet mellan lufttryck, däcktemperatur och rullmotstånd, vilket bland annat påverkar fordonets energiförbrukning. Undvikande av för högt däckstryck kan även minska slitaget på infrastrukturen och själva däck.

Ett lägre däckstryck kan även hjälpa till att förbättra framkomligheten. Den däckstyp som användes i Autofreight2 var inte utvecklad specifikt för väldigt utmanande vinterförhållanden. Vägarna som man kör på är generellt sett väl underhållna och i bra skick. Man behöver även ta hänsyn till energieffektiviteten. I framtiden kommer lagstiftningen troligen tvinga däcksmarknaden mer till denna typ av däck och en verifiering av framkomligheten med denna typ av däck i Autofreight2 skapar förtroende för framtida HCT. Med hjälp av däckstrycksövervakningen kunde det säkerställas att däckstrycket på drivande axlar, som i hög grad påverkar framkomligheten, kunde hållas optimalt. Det var särskilt viktigt i de fall då fördelningen av lasten gjorde att man fick relativt låg drivaxellast, vilket kan resultera i att fordonet inte kan komma igång och blir stående. De lägsta drivaxellasterna som uppmättes var ca 12% av totalvikten på dragbilens drivande axlar. Dessa låga laster uppmättes framförallt i fall då semitrailern saknade lyftbar axel och därmed kunde lastvikten inte omfördelas.

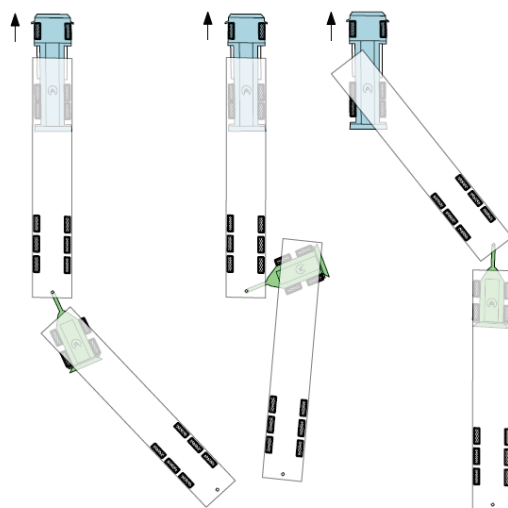
Att använda och handha ett TPMS på bästa och mest effektiva sätt är också en stor utmaning för yrkestrafikbranschen. Man kunde observera det också i hur Volvos standard TPMS används i praktiken av åkaren. Det finns ett klart behov av att skapa mer medvetenhet om hur systemet kan stödja föraren och åkeriet bättre. Vem som ansvarar för inställning av tryckmålvärden i fordonet bör vara tydligt. Idag kan flera individer ändra inställningarna.

I och med det efterföljande projektet ”Grundmodeller för fordonsseriedata i stor skala” kommer Goodyear och andra parter kunna använda data från Autofreight2 i fortsatta utvecklingsaktiviteter. Att ha tillgång till ett komplett dataset med det innehåll som finns här är ganska unikt. Många har försökt liknande tidigare men inte lyckats.

6.9 Stabilitetstest av A-dubbel med elektriskt driven semitrailer på halt underlag

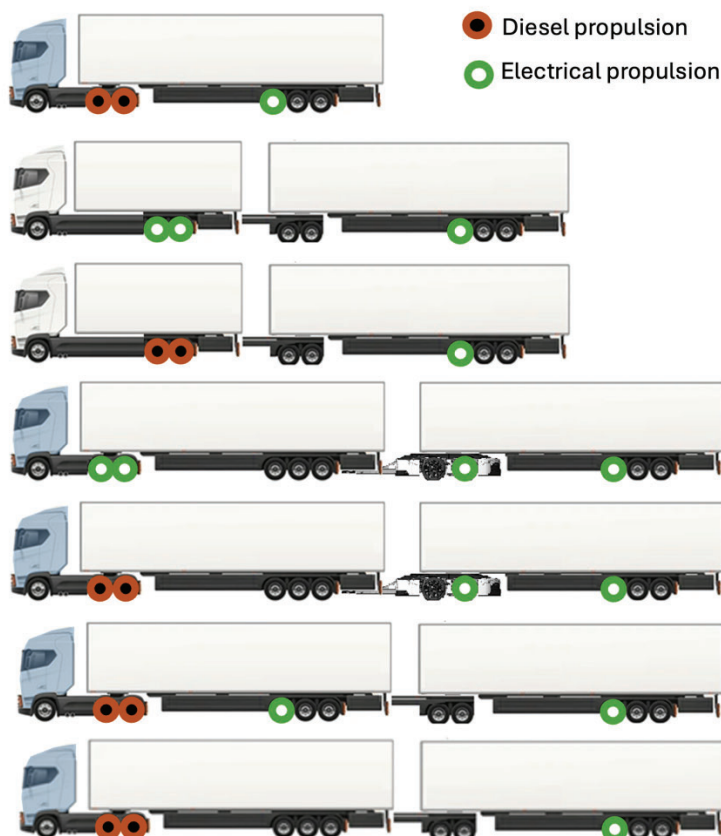
Genom att elektrifiera exempelvis dolly eller semitrailer i en fordonskombination kan även efterföljande fordon i kombinationen bidra med framdrivning och regenerativ bromsning. Detta öppnar för nya möjligheter till energieffektivisering. Ytterligare fördelar inkluderar förbättrad acceleration, möjlighet till elektrisk körning i vissa situationer samt ökad flexibilitet i energiförsörjning, exempelvis genom laddning från elnätet. Samtidigt introduceras ny komplexitet i fordonens dynamik, styrning och säkerhet. I fordonskombinationer med flera ledpunkter kan krafter som genereras långt bak i kombinationen få stor påverkan på stabiliteten i hela kombinationen, se Figur 41. En utmaning är därför att optimera energieffektiviteten samtidigt som säkerheten garanteras.

I samverkan med projektet HELPED (se Ghandriz m.fl., 2026) genomfördes under våren 2025 vintertester på is och snö vid provbanan Colmis i Arjeplog för att studera stabilitet och säkerhet i en A-dubbel med en elektriskt driven semitrailer. Den utrustning som togs fram för att kunna genomföra testerna säkert beskrivs närmare i avsnitt 6.2. Här ges en övergripande beskrivning av resultaten och dess implikationer för långa fordonskombinationer. För mer detaljerad information om exempelvis fordonsmodellering och testresultat hänvisas till slutrapporten för projektet HELPED som publiceras under våren 2026.



Figur 41. Exempel på instabilitet i en lång fordonskombination vid halt väglag.

En elektrifierad dolly (eDolly) eller semitrailer (eTrailer) innebär att fordonet utrustats med elektrisk drivlina och ett energilager (batteri). Detta möjliggör att driv- eller bromsmoment appliceras på axlar som traditionellt varit passiva (dvs endast rullande). Många olika kombinationer kan skapas av diesel- respektive eldrivna fordon, se Figur 42. För vintertesterna i Arjeplog användes en dieseldriven dragbil och en eTrailer som andratrailer i en A-dubbel (kombinationen längst ner i bilden).



Figur 42. Exempel på olika fordonskombinationer med elektriskt drivna släpfordon.

Uppdelningen av drivning mellan flera fordonsenheter innebär en ökad frihetsgrad i fördelningen av drivkraft mellan dessa enheter, vilket i sin tur innebär att nya prestandamått och styrstrategier krävs. Traditionella reglerstrategier, som ofta är lokala för varje fordon, är inte tillräckliga när flera enheter aktivt påverkar varandra. Detta gäller särskilt i situationer med låg friktion, ojämn lastfördelning eller snabba manövrar.

Ett centralt problem med elektrifierade fordonsenheter är risken för dynamisk instabilitet om de inte regleras korrekt. När en fordonsenhet genererar stora longitudinella krafter (drivning eller bromsning) kan den förlora lateralt grepp, vilket kan leda till sladd, pendelrörelser eller jackknife mellan olika fordon i kombinationen. Dessa fenomen är särskilt kritiska på halt underlag, såsom is eller snö. Instabiliteten kan uppstå av flera skäl. Den elektriska drivningen kan göra att däckens friktionsgränser överskrids, vilket kan leda till förlorat grepp och/eller styrförmåga. Ojämn lastfördelning kan göra att vissa axlar belastas hårdare medan andra axlar avlastas vilket ger upphov till förändrade dynamiska egenskaper. När krafter appliceras bakifrån i fordonståget kan dessa förstärkas genom de mekaniska kopplingarna mellan enheterna.

För att analysera dessa effekter krävs detaljerade modeller av både longitudinell och lateral dynamik. I detta arbete används kombinerade däckslipmodeller, där både longitudinell slip (glidning mellan däck och underlag som uppstår på grund av skillnad mellan hjulens rotationshastighet och fordonets hastighet) och lateral slip (glidning mellan däck och underlag i sidled). Med hjälp av dessa modeller kan en realistisk beskrivning göras av hur däckkrafter utvecklas nära friktionsgränsen.

Inom projektet HELPED utvecklades PVMEM (Predictive Vehicle Motion and Energy Management) som ett övergripande reglerkoncept som syftar till att balansera mellan energieffektivitet och säkerhet.

Grundidén är att behandla fordonsrörelse och energihantering som ett sammanhängande optimeringsproblem, snarare än som separata funktioner. Metoden bygger på prediktiv reglering, där fordonets framtida beteende förutsägs över en given tidshorisont baserat på modeller av fordonsdynamik, drivlinor och omgivande förhållanden. Optimeringen formuleras som ett icke-linjärt reglerproblem, där målfunktionen kan inkludera flera termer såsom bränsleförbrukning, elektrisk energianvändning, energiförluster och avvikelser från önskad restid.

Begränsningar införs för att säkerställa att fysiska och säkerhetsrelaterade gränser respekteras. Detta inkluderar exempelvis maximala och minimala moment i motorer och bromsar, batteriets egenskaper, däckens friktionsbegränsningar samt stabilitetskriterier för hela fordonskombinationen. På detta sätt kan PVMEM generera reglersinaler som både är energieffektiva och säkrar stabiliteten.

För att verifiera PVMEM i praktiken genomfördes omfattande vintertester på Colmis provbana i Arjeplog. Testmiljön erbjöd kontrollerade förhållanden med låg friktion, vilket är särskilt lämpat för att studera stabilitetsproblem. Den dynamiska testytan bestod av en cirkulär bana med cirka 170 meters diameter samt en raksträcka för acceleration och bromsning.

Innan testerna kunde genomföras gjordes omfattande förberedelser. Utöver påbyggnation av utrustning för att förhindra jackknifing (se Figur 43) och installation av sensorer och testutrustning gjordes kalibrering av sensorer, vägning av alla fordon i kombinationen, samt test av nödstopp och liknande innan testerna kunde påbörjas.



Figur 43. Vagnar som monterats på semitrailrar för att förhindra jackknifing.

Testprogrammet omfattade sedan ett stort antal manövrar, bland annat kurvtagning med maximal regenerativ bromsning, acceleration och inbromsning i kurva samt start och stopp på is. Försök genomfördes både med aktiv PVMEM-reglering och med avstängd kontroll, vilket tydligt visade skillnaden mellan stabil och instabil kraftfördelning. Resultaten visar att PVMEM effektivt kan förhindra instabilitet även vid extrema manövrar och låg friktion. När eTrailern reglerades utan samordnad kontroll med dragbilens drivlina observerades tydliga sladd- och jackknife-tendenser. Med PVMEM begränsades istället de longitudinella krafterna så att däckens laterala grepp bibehölls.



Testerna visade därmed att reglermodeller som PVMEM kan bidra till att göra fordonskombinationer med drivna fordonsenheter säkra, även på underlag med låg friktion. De studier som gjorts inom ramen för projektet HELPED har också visat att sådana reglermodeller kan ett mer energieffektivt och

hållbart transportsystem. Samtidigt framgår att den ökade komplexiteten i fordonsdynamiken ställer höga krav på regelsystem, sensorer och kommunikation mellan fordonsenheter. PVMEM erbjuder ett kraftfullt och generellt ramverk för att hantera dessa utmaningar, men dess praktiska tillämpning kräver robusta och tillförlitliga systemlösningar. De problem som uppstod under vintertesterna, exempelvis med sensornoggrannhet och kommunikationsavbrott, belyser vikten av vidare utveckling och validering. Frågor kring standardisering, lagstiftning och ansvarsfördelning mellan olika fordonsenheter är också centrala för en framtida implementering.

6.10 Utvärdering av fordonsdynamik med hjälp av lågkostnadssensorer

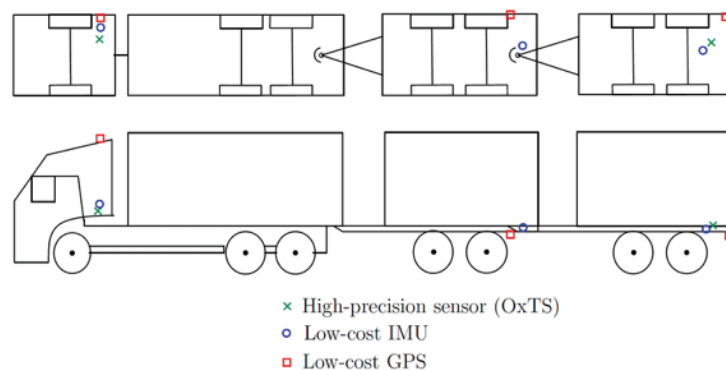
För att studera fordonskombinationers dynamiska egenskaper kopplat till exempelvis säkerhet och manövrerbarhet kan man använda olika prestandabaserade kriterier eller PBS (Performance Based Standards). Exempel på ett PBS-mått av intresse för en lång A-dubbel med flera ledpunkter är *bakåtförstärkning*, eller Rearward Amplification (RWA). Då utvärderas fordonskombinationens stabilitet i hög hastighet genom att mäta hur en rörelse i första fordonet förstärks bakåt i kombinationen till sista fordonet. Ett annat intressant PBS-mått är *svepyta* vid låg hastighet, eller Low Speed Swept Path (LSSP). Då mäter man hur mycket yta fordonskombinationen rör sig över när den svänger, exempelvis genom en cirkulationsplats. För att mäta och utvärdera de fordonsdynamiska egenskaperna hos en A-dubbel behövs flera olika sensorer. Framförallt kan accelerometrar som mäter acceleration samt rotation i olika riktningar (x, y, z) för varje enskilt fordon i fordonskombinationen ge intressant information. En sådan sensor kallas IMU (Inertial Measurement Unit) och kombineras ofta med en GPS för att också få fordonets position och hastighet.

För ändamålet finns mycket avancerade enheter med IMU+GPS som ger mycket hög noggrannhet. Dessa är emellertid mycket dyra (kostnad i storleksordningen 200–400 kSEK per enhet) så det var inte möjligt att inom ramen för projektet montera sådana sensorer i ett flertal fordon. Sammantaget behövdes sensorer i en dragbil, en dolly och fyra semitrailrar. Därför testades och utvärderades huruvida relativt billiga sensorer (kostnad i storleksordningen 4.000 SEK) skulle kunna användas för ändamålet. Se Behera (2025) och Behera m.fl. (2026) för mer detaljerad information om denna studie. Här nedan ges en övergripande beskrivning av studien och dess resultat.



Figur 44. Kinnarps DUOCAT-ekipage (även kallat C-dubbel).

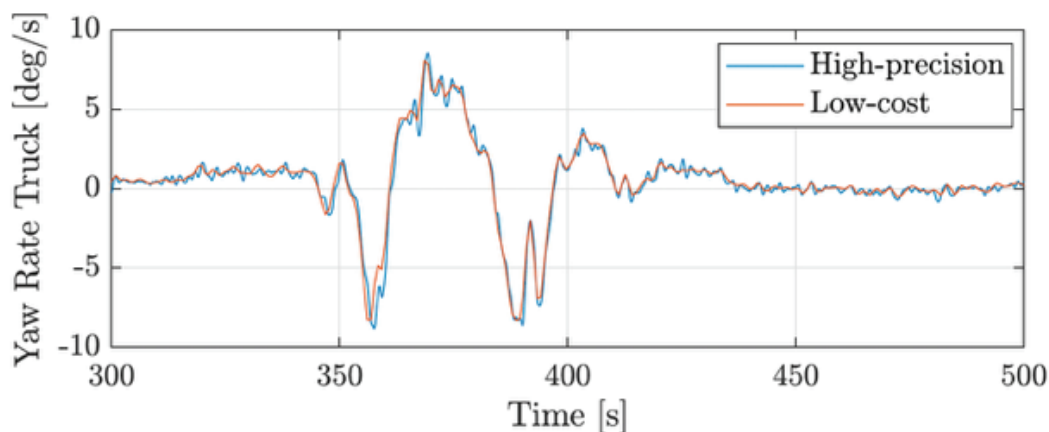
I forskningsprojektet DHEELS hade sedan tidigare två mätenheter med IMU+GPS med mycket hög precision (OxTS modell RT3000) monterats i ett av företaget Kinnarps DUOCAT-ekipage (även kallat C-dubbel). Det består av en jämnlastbil med två tillkopplade släpkärror (center-axle trailers, CAT), se Figur 44. De två mätenheterna var monterade i lastbilens hytt samt baktill på den bakre kärnan. Utöver dessa monterades tre relativt billiga mätenheter (Axotec modell RGX-840 FLEX) med IMU+GPS i lastbilens hytt, på främre kärnan samt på bakre kärnan, se Figur 45. Detta gav därmed möjlighet att jämföra data mellan OxTS och Axotec. Medan OxTS levererar data med 100Hz uppdateringsfrekvens så gav Axotec GPS-data med 1 Hz och IMU-data med 10Hz.



Figur 45. Placering av mätenheter på DUOCAT-ekipaget.

Innan Axotec-enheterna monterades på DUOCAT-fordonet gjordes först en analys av signalbrus från dessa sensorer. De tre Axotec-enheterna fick ligga stilla på ett stabilt bord under ca 16 timmar och data loggades med en samplingsfrekvens på 1,28Hz. Utifrån denna data kunde sedan avvikelser som uppstår över tid beräknas. Exempelvis kan "random walk" uppskattas, vilket innebär att små slumpmässiga avvikelser ackumuleras över tid och kan leda till avvikelser i exempelvis mätning av hastighet eller orientering. Sammantaget visade analysen att Axotec-enheterna gav acceptabla nivåer av brus, varav något högre nivåer för accelerometersignalerna (x, y, z). Det var viktigt att känna till brusnivåerna för att kunna göra en bra modellering av det Kalmanfilter som sen användes för att filtrera och förbättra mätdata för Axotec-enheterna (OxTS tillämpar också flera olika filter). Ett Kalmanfilter är ett rekursivt filter eller algoritm, som utifrån en mängd inkompleta och brusiga mätningar uppskattar tillståndet hos ett dynamiskt system. I det här fallet tillämpades ett så kallat utökat Kalmanfilter (Extended Kalman Filter), vilket lämpar sig för icke-linjära system.

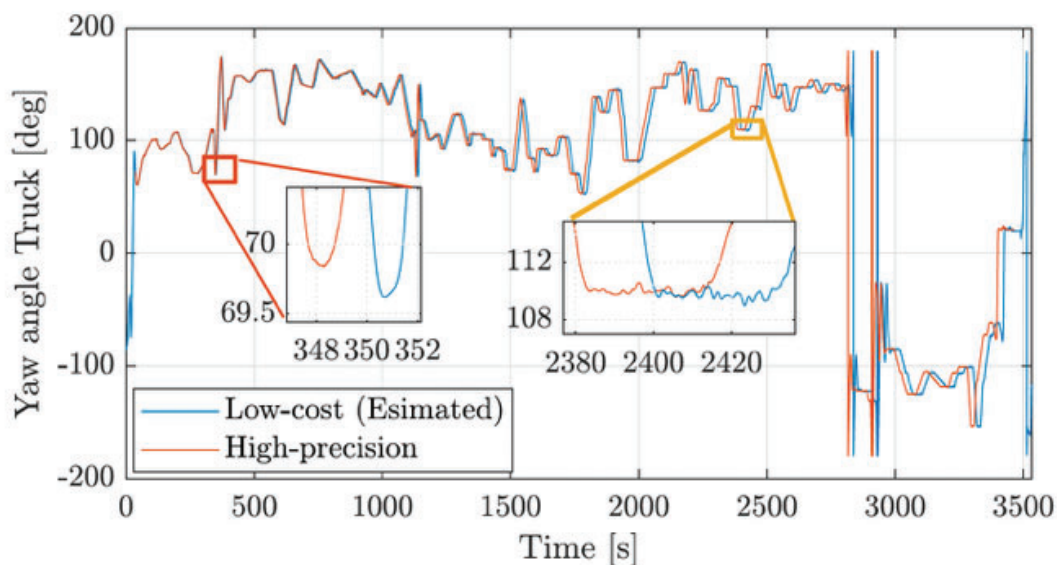
Data samlades sedan på två olika resvägar med DUOCAT-ekipaget som gick både på landsväg och motorväg. Särskilt data för filbyten och körningar i rondeller analyserades närmare. I Figur 46 illustreras girhastighet (yaw rate) för lastbilen. "High precision" är data från OxTS och "Low cost" är (filtre-rad) data från Axotec. Det finns en god samstämmighet mellan signalerna.



Figur 46. Girhastighet (yaw rate) med de olika mätenheterna i lastbilen.

När man sedan jämför girvinkel (yaw angle) mellan de olika mätsystemen så syns emellertid en förskjutning i tid som tenderar att öka över tiden, se Figur 47. Efter 350 sekunder var avvikelsen 3 sekunder och efter 2400 sekunder hade den ökat till 18 sekunder. Exakt vad detta beror på är fortfarande inte klart. För jämförelse av analysresultaten från de olika mätsystem används därför positionskoordinaterna för att synkronisera händelser av intresse (filbyte och rondeller) mellan dem, istället för tid. Dessutom observerades en intern tidsfördröjning mellan enheterna i det billigare mätsystemet, vilket bör kompenseras för beräkning av "high speed off-tracking" vid filbyten och LSSP i rondeller. En trolig orsak till denna fördröjning kan vara felaktig tidssynkronisering eller latens i dataloggning inom

det billigare mätsystemet. Det antogs att denna fördröjning förblir konstant, och därför användes signalerna från högprecisionssensorerna för att beräkna dem och kompensera för den under hela mätperioden.



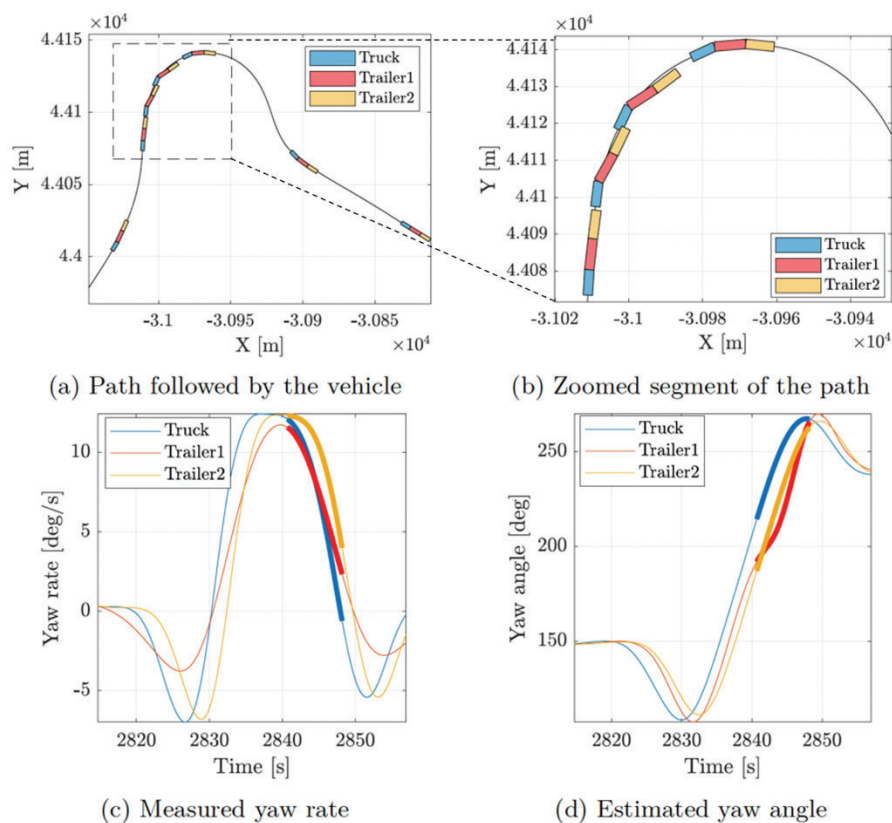
Figur 47. Girvinkel (yaw angle) med de olika mätenheterna.

Analys av bakåtförstärkning (RWA) gjordes genom att dividera största värdet för girhastigheten (yaw rate) för den bakre centeraxelkärran med största värdet för girhastigheten för lastbilen under filbyten. Värden större än 1,0 indikerar en bakåtförstärkning. Resultaten visade på en bra överensstämmelse mellan data från OxTS och Axotec. Avvikelsen mellan systemen var i genomsnitt ca 6%. Det bör dock noteras att för de filbyten som analyserades låg de uppmätta värdena för RWA strax över 1,0 och upp till ca 1,3. Eftersom högre RWA-värden är mer säkerhetskritiska så skulle mätningarna också behöva bekräftas under mer extrema förhållanden.

Analys av svepyta vid låg hastighet (LSSP) gjordes genom att jämföra data mellan OxTS och Axotec vid körning i cirkulationsplatser. Avvikelser i position låg då omkring 13%. I vissa lägen erhålls dock lite märkliga värden för centeraxelkärran, vilket illustreras i Figur 48. Felet tycks ligga i girhastigheten. Detta kan bero på flera olika saker, exempelvis för hög nivå av brus i girsignalerna, behov av att finjustera vissa parametrar i Kalmanfiltret, eller problemet med tidssynkronisering mellan enheterna. Mätningen av LSSP är här mer känslig än mätningen av RWA eftersom RWA främst baseras på girhastighet medan LSSP baseras på girvinkel som beräknas via Kalmanfiltret. För att bättre ställa in parametrarna (kovarianser) för Kalmanfiltret studeras en specifik körning i en cirkulationsplats närmare och sedan appliceras samma parametervärden för övriga körfall.

Sammantaget visar studien att billigare sensorer i viss utsträckning kan användas för att detektera och analysera bakåtförstärkning (RWA) och svepyta vid låg hastighet (LSSP). I de flesta fall ligger avvikelserna med de billigare sensorerna inom 20% jämfört med högprecisionssystemet. Genom att gå till botten med problemet med tidssynkronisering kan noggrannheten ökas ytterligare. Vidare kan Kalmanfiltret troligen göras mer robust genom att lägga till data från fler (billiga) sensorer, exempelvis hjulenkodrar (sensor som mäter ett hjuls rotation).

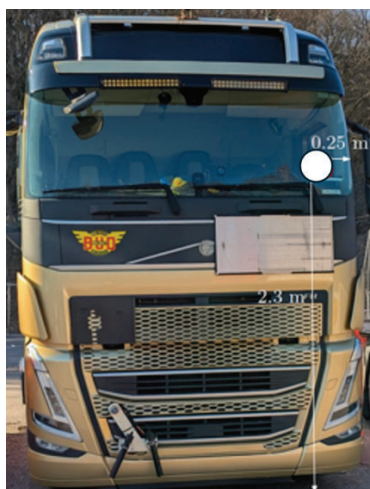
I ett nästa steg installerades dataloggrar med Axotecenheter i en av de två A-dubbelkombinationer som kördes inom ramen för Autofreight2-projektet. Totalt används fyra olika semitrailrar inom samma containerflöde så utöver den datalogger som redan fanns i dragbilen installerades loggrar i en dolly samt dessa fyra semitrailrar. Se avsnitt 6.2 för mer detaljer.



Figur 48. Svepyta vid låg hastighet i cirkulationsplats. I (a) och (b) kör DUOCAT-ekipaget från höger till vänster genom en rondell.

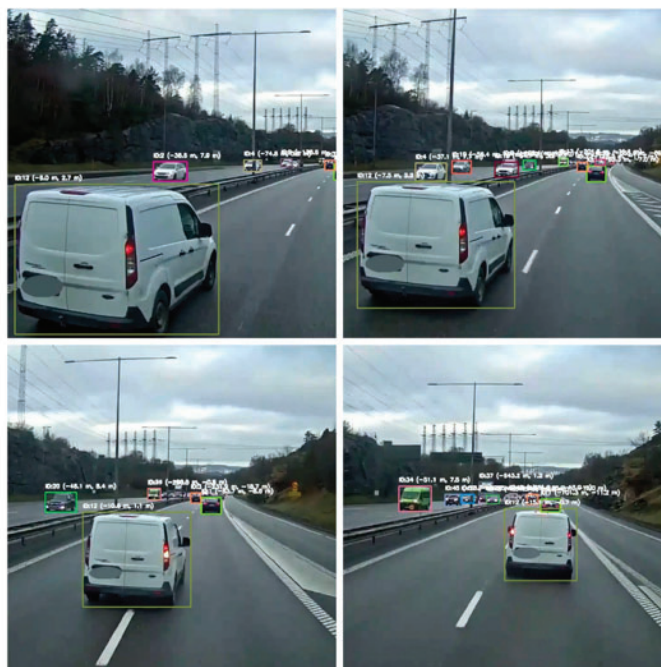
6.11 Analys av omgivande trafik med hjälp av kamerainformation

Storleken på en A-dubbel och dess dynamiska egenskaper ger särskilda utmaningar ur trafiksäkerhets- och framkomlighetsperspektiv. Traditionellt så har utvärdering av sådan prestanda främst baserats på Performance-Based Standards (PBS), vilka främst fokuserar på fordonets stabilitet, spårning och manövrerbarhet. PBS fångar dock endast i begränsad omfattning interaktioner mellan en A-dubbel och omgivande trafik. Därför genomfördes en studie där information från en kamera som monterats på Budbolagets A-dubbel (se Figur 49) användes för att analysera hur fordonet framfördes i relation till andra trafikanter. Här ges en övergripande beskrivning av studien. Mer detaljerad information återfinns i Behera (2025) och Behera m.fl. (2026).



Figur 49. Placering av kameran på Budbolagets bil.

Noggrann positionsestimering förutsätter tillförlitlig detektion och spårning av omgivande fordon över tid. För objekt-detektion användes en förtränad och fritt tillgänglig algoritm kallad YOLO (You Only Look Once), som kan tillämpas utan att specifik inlärning krävs. Detektionen resulterar i rektangulära avgränsningsrutor med tillhörande koordinater och klassificering av objekten, vilka ligger till grund för efterföljande spårning (se Figur 50).



Figur 50. Detektion av ett fordon med hjälp av YOLO.

För att koppla samman detekterade objekt över flera bildrutor används algoritmen Simple Online Real time Tracking (SORT), vilken kombinerar Kalmanfiltrering för rörelseprediktion med en algoritm för dataassociation. I studien introduceras två väsentliga utvidgningar av den ursprungliga SORT-modellen. Dels används en konstant-accelerationsmodell för att bättre fånga fordonens verkliga dynamik, dels modelleras bredd och höjd hos avgränsningsrutorna som separata tillstånd med egen dynamik. Detta möjliggör mer realistisk hantering av förändringar i objektens skenbara storlek över tid.

För att veta hur specifika punkter i omgivningen projiceras i bildplanet i kameran är det viktigt att kalibrera kameran. Detta gjordes genom att använda en skiva med ett schackrutigt mönster (rutorna var 10x10cm). Genom att analysera hur kameran avbildar rutorna kan dess intrinsiska parametrar beräknas. Kalibreringen hjälper även till att uppskatta parametrar för distorsion i bilden, vilka sen kan användas för att kompensera för distorsion och på så sätt "räta upp" bilderna. I kalibreringen ingår även att definiera fordonets koordinatsystem i relation till omvärldens koordinatsystem.

För analysen i studien användes data från några dagars körning med Budbolagets A-dubbel. Totalt identifieras 32 körfältsbyten i det analyserade datamaterialet, varav 11 körfältsbyten åt vänster- och 21 körfältsbyten åt höger. Körfältsbyten åt vänster motsvarar i huvudsak omkörningsmanövrer, medan körfältsbyten åt höger främst beror på att tunga fordon generellt håller till höger för att underlätta för annan trafik.

Analysen visar att A-dubbeln i samtliga körfältsbyten åt vänster initierade omkörningar vid relativt små avstånd till framförvarande fordon i det aktuella körfältet. Dessa så kallade accelererande omkörningar förekommer i tät trafik, där föraren utnyttjar begränsade tidsluckor i det vänstra körfältet. Den genomsnittliga tidsluckan till framförvarande fordon är ofta mindre än en sekund, vid en hastighet kring 22 m/s (cirka 80 km/h). Detta resultat ligger i linje med tidigare simulatorbaserade studier, vilka rapporterat liknande beteendemönster.

Avståndet till andra fordon i körfältet man vill byta till är ofta små vid manövernens början, vilket förklaras av att omkörningen vanligtvis initieras kort efter att ett snabbare fordon har passerat A-dubbeln i vänster körfält. För körfältsbyten åt höger observerades generellt större luckor i körfältet man vill byta

till, men när sådana större luckor saknas uppvisar beteendet likheter med de accelererande omkörningarna.

En fördjupad analys av tre specifika omkörningsfall med små initiala avstånd i både det aktuella körfältet och det körfält man önskar byta till visar att förarens beslut att initiera manövern tycks bero på antingen att fordonet i mål-körfältet accelererar snabbare än A-dubbeln, eller att en tillräckligt stor lucka finns för att möjliggöra reaktion vid en nödsituation. Hastighets- och avståndsprofiler indikerar ett komplext samspel mellan fordonen under hela förloppet.

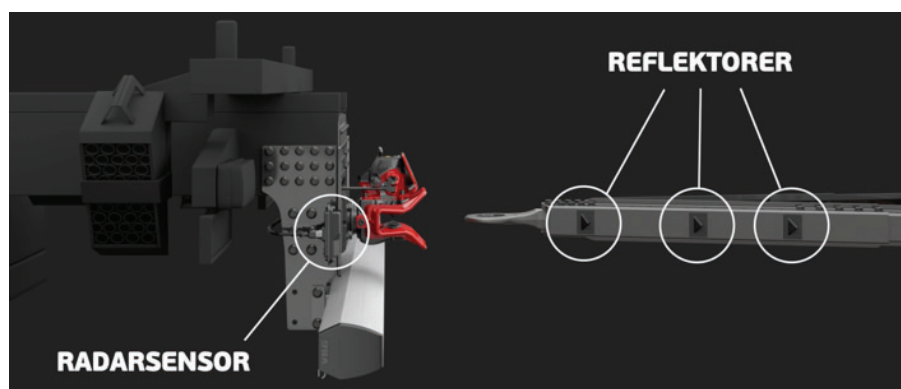
Studien visar (i kombination med den studie som beskrivits i avsnitt 6.10) att det är möjligt att med hjälp av lågkostnadssensorer och klassiska datorseendemetoder analysera verkliga trafikinteraktioner kring en A-dubbel på ett detaljerat sätt. Den föreslagna metodiken kompletterar befintliga PBS-mått genom att explicit beakta omgivande trafik och förarbeteende, något som i stor utsträckning saknas i dagens regelverk och utvärderingsmetoder.

Samtidigt begränsas möjligheterna att dra slutsatser av det relativt begränsade datamaterialet, vilket innebär att observationerna inte kan generaliseras till alla trafikförhållanden eller förare. Vidare introducerar antagandena om plan väg och konstant pitch systematiska fel i positionsestimeringen, särskilt vid kurvtagning och varierande topografi.

För framtida arbete föreslås utökad datainsamling under mer varierade trafikförhållanden samt integrering av bakåtriktade kameror för att möjliggöra fullständig 360-graders analys av trafikinteraktioner. Vidare kan förbättrad modellering av väglutning och fordonspitch, exempelvis genom utökad IMU-integration eller stereo- och multikamerasystem, bidra till ökad noggrannhet i avstånds- och hastighetsestimat.

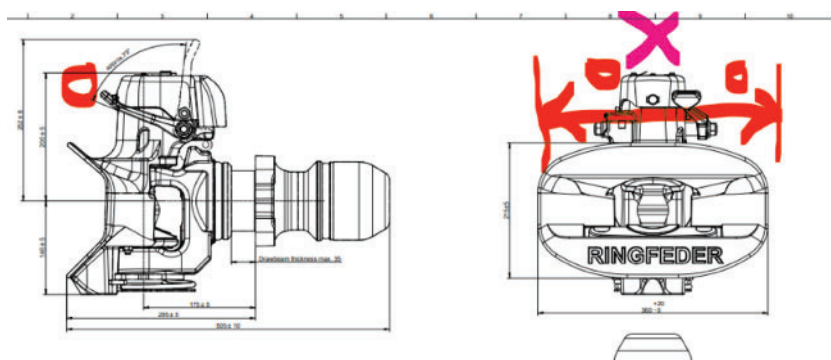
6.12 Förarstödssystem för tillkoppling av släp

Vid tillkoppling av en släpvagn med dragstång, exempelvis då dragbil och semitrailer skall backas till en dolly med semitrailer för att få ihop en A-dubbel, kan det vara en utmaning att få dragkopplingen korrekt positionerad i förhållande till dragöglan på släpets dragstång. Särskilt om fordonet med dragkopplingen inte kan backas rakt bakåt mot släpet med dragöglan så är det svårt för föraren att komma rätt. Vidare kan fordonet med dragkopplingen behöva justeras i höjddled gentemot dragöglan. VBG som har varit partner i projektet och som utvecklar och tillverkar dragkopplingar har idag ett förarstödssystem som guidar föraren vid tillbackning till släpvagn med dragstång. Systemet kallas VBG Driver Assist och bygger på radarsensorer placerade baktill på lastbilen och speciella reflektorer som placeras på dragstången (se Figur 51). Föraren informeras via ljudsignaler om hur dragfordonet (eller första semitrailern i en A-dubbel) skall backas och positioneras (höger/vänster/upp/ner) för att dragkopplingen skall träffa rätt mot dragöglan. För att eliminera behovet av speciella reflektorer på dragstången och för att testa alternativ till radartekniken initierades ett delprojekt inom ramen för en projektkurs på Chalmers för att undersöka möjligheten att använda ett kamerabaserat system som med hjälp av maskininlärning guidar föraren. Här ges en översiktlig beskrivning av systemet och resultaten. I rapporten "Drawbar Eye Identification and Guiding" (Garg m.fl., 2024) finns mer utförlig information.



Figur 51. Illustration av VBG Driver Assist (källa VBG).

Alla lastbilar är olika utformade med olika påbyggnader, utrustning, belysning mm, så vad som finns runt omkring dragkopplingen baktill på en lastbil varierar väldigt mycket. Vidare skulle olika placeringar av en kamera i relation till dragkopplingen kräva olika träning av systemet som baseras på maskininlärning (skulle ge olika kameravinklar). Därför drogs tidigt slutsatsen att kameran måste placeras på en fast position inom dragkopplingens ”eget” område, se Figur 52.



Figur 52. Möjliga kamerapositioner vid dragkopplingen.

Två olika typer av kameraobjektiv utvärderades. Först testades en kamera med rätlinjigt (”rectilinear”) objektiv. Det är ett objektiv som ger minimal distorsion eller krökning i bilden. Det innebär att parallella linjer i den verkliga världen också framstår som parallella i den skapade bilden. Sedan testades en kamera med fiskögeobjektiv (”fisheye lens”). Den ger extrem vidvinkel men samtidigt en kraftig optisk distorsion, dvs förvrängning av bilden. En fördel med fiskögeobjektivet är att det kan täcka in ett mycket större område, men distorsionen gör att bilden måste kalibreras noggrant för att bildinformationen skall bli användbar. Kamerorna placerades på dragkopplingen (se Figur 53) för att se hur nära respektive hur långt bort dragögglan var synlig i den genererade bilden. För att få med så mycket som möjligt vinklades kamerorna nedåt med 25 graders vinkel i förhållande till horisontalplanet. Det stod ganska snart klart att en kamera med fiskögeobjektiv måste användas för att täcka in både närområdet runt dragkopplingen och kunna se dragögglan på flera meters avstånd från dragkopplingen.



Figur 53. Kamera placerad på dragkopplingen.

För att först kunna samla in data för träning av systemet och sedan testa och utvärdera detsamma användes två olika testutrustningar. Som ett första steg monterades en dragkoppling på en gaffeltruck (se Figur 54) och en motsvarande dragögla monterades på en fast ställning. På så sätt kunde de initiala testerna utföras inomhus i labbmiljö. Dragkopplingen kunde då lyftas och sänkas för att simulera luftfjädringen på en lastbil. För att simulera olika scenarier där lastbilen kommer lite snett i förhållande till släpet så kördes trucken med dragkopplingen mot dragögglan i olika vinklar, upp till ca 30 grader åt vardera håll.