Triple F Lägesrapport

Halvtidsrapport (2025 II): Beräkningsmodeller och simulering av storskalig elektrifiering av godstransporter

Datum: 2026-01-30

Triple F projekt 2023.6.2.1

Anton Zackrisson, Einride & LiU
Albin Engholm, Einride
Jonas Hatzenbühler, Einride
Ou Tang, LiU

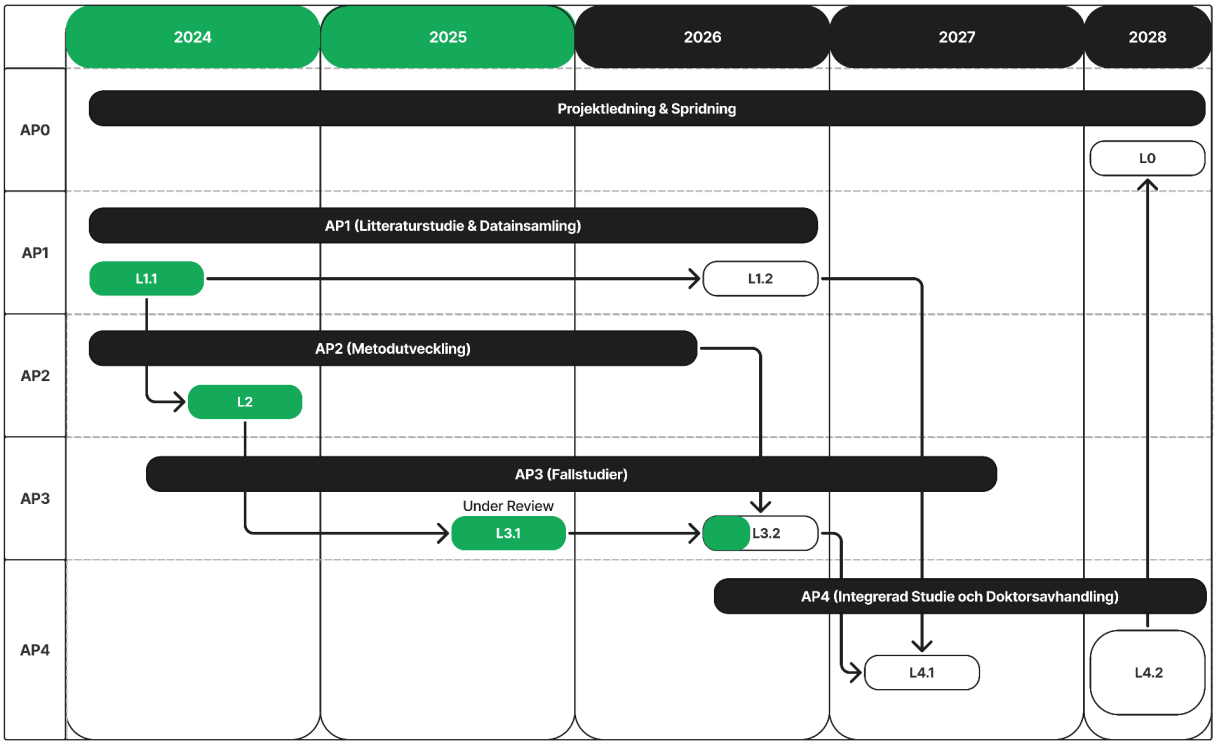
TRIPLEF
FOSSIL FREE FREIGHT

Status i projektet

Projektet har nu nått sitt mittpunkt, och arbetet har fortlöpt väl enligt forskningsplanen. Leverablerna hittills har levererats enligt plan, förutom det vetenskapliga artikeln L3.1 då den fortfarande är under granskning hos journal. Den förväntas vara publicerad inom kort tid och kommer att bifogas vid nästa rapporteringstillfälle.

Arbetet med metodutveckling har lett till nya metoder för att analysera operativa och strategiska beslut inom elektrifiering av tunga godstransporter, speciellt med hänsyn till 1) hur skillnader i tekno-ekonomiska karakteristik mellan el- och dieselfordon leder till divergenta driftsmönster och 2) hur detta påverkas av ökande skala av elektrifiering i blandade flottor. Detta metodarbete, med utgångspunkt i fallstudierna som gjorts hittills, kommer att utgöra grunden för kommande arbete i nästa halvdel av projektet.

Nästa större milstolpe för doktorandprojektet är Antons 60% seminarium på LiU, vilket görs istället för licentiatexamen då detta inte ingår i Antons studieplan eller doktorandprogram. Vid seminariet kommer doktorandens arbete granskas av extern sakkunnig, vilket kommer att rapporteras i ytterligare detalj vid nästa rapportering.



Arbetspaket		Aktivitet		Leverabel	
AP0	**Project Management and Dissemination of Results**	**A0.1**	Resultatspridning	**L0**	Slutrapport
		A0.2	Organisation		
		A0.3	Sammanställning av resultat		
AP1	**Literature Review and Data Collection**	**A1.1**	Litteraturstudie	**L1.1**	Litteraturstudie [Levererad]
		A4.1	Studie om Nätverkskaraktäristik	**L1.2**	Vetenskaplig Artikel
		A4.3	Studie om Laddningsnätverkskarakt äristik		
		A4.2	Studie om Efterfrågekaraktäristik		
		A4.4	Integrera de 3-nivåerna av Nätverkskaraktäristik		
AP2	**Method Development**	**A2.2**	Beräkningsansatser	**L2**	Vetenskaplig Artikel [Levererad] **Data-driven analysis of strategic–operational interfaces in freight electrification under deep uncertainty** Transportation Research Part D: Transport and Environment https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104524
		A2.3.1	Utveckla Beräkningsmodell		
		A2.3.2	Evaluera Beräkningsmodell		
		A2.4.1	Utveckla Simuleringsmetodik		
		A2.4.2	Evaluera Simuleringsmetodik		
AP3	**Case Studies**	**A3.1**	Studie om Strategiska Beslut & Elektrifieringspotential	**L3.1**	Rapport **Beyond replacing diesel trucks: how optimized fleet planning increases electrification and lowers transportation costs** Fraunhofer ISI https://doi.org/10.24406/publica-4574 Vetenskaplig Artikel [Under Review] **Quantifying the Impact of Fleet Planning Re-Optimization on Truck Electrification in Distribution Logistics** under review
		A3.2	Studie om Fasad Utrullning av Elektrifiering (Pareto Frontier)	**L3.2**	Vetenskaplig Artikel Konferenspapper [accepterad] **Framework for Assessing the Scalability and Performance of Electrification in Heavy-Duty Freight Networks** 24th International Working Seminar on Production Economics 2026
		A3.3	Studie om Fasad Utrullning av Elektrifiering (Real Options Analysis)		
AP4	**Integrated Study and Dissertation**	**A4**	Utöka de utvecklade metoderna för att beakta nätverks-, laddnätverks- och efterfrågekarakteristik	**L4.1**	Vetenskaplig Artikel
			Integrerad Studie om Beräkningsmodellering & Simulering, syntes av tidigare arbetspaket	**L4.2**	Doktorsavhandling

Output och nyckelresultat hittills

L2: Strategisk-Operativa Gränssnitt (Zackrisson et al., 2025)

Denna artikel utvecklar en metod för att 1) evaluera TCO (total ägandekostnad) för tunga godstransporter och 2) att evaluera känslighetsparametrar utifrån osäkerhet. Detta för att adressera två forskningsluckor; att ta hänsyn till både operativa aspekter i detalj och strategiska beslut samt interaktionerna däremellan när man räknar fram TCO respektive att fallstudier som evaluerar TCO har svårigheter att generaliseras då vikten av osäkerheten kring parametrarna är okända. Metoden använder en detaljerad modell för strategiska investeringsbeslut för fordon och laddinfrastruktur på systemnivå samt operativ optimering av ruttning, laddning, och allokering mellan sändningar och fordon. Endast ett fåtal studier om elektrifiering använder data på hur, var, och när fordon kör, lastar, och laddar; de flesta använder sig istället av aggregerade eller extrapolerade data. Då förloras vikten av operativa skillnader mellan el- och dieselfordon, vilket gör att det saknas insikt i hur elektrifiering påverkar ett åkeri eller annan operatör av flottors verksamhet. Samtidigt så tenderar studier i litteraturen att analysera strategiska beslut antingen *a priori* eller *a posteriori* de operativa aspekterna, utan att ta hänsyn till hur dessa kan interagera med varandra.

Studien analyserade över 100 000 scenarier och nätverk för att se vilka parametrar som var generaliserbart signifikant för alla scenarier. Nyckelresultaten från studien är att operativa aspekter dominerar elektrifierbarhet snarare än marknadspriser på el eller batterier, och att elektrifieringens kostnadskonkurrenskraft styrs istället av nätverkets struktur och skala. Större flottor drar större nytta av optimering av rutter och allokering av sändningsefterfrågan, och är därför mer kostnadseffektivt elektrifierbara än mindre flottor. I nästan samtliga fall krävs det att elfordon planeras och driftas på ett sätt som skiljer sig åt från motsvarande dieselfordon, ett resultat som byggs vidare på i följande studier.

L3.1: Storskalig Fallstudie (Engholm et al., 2025; Zackrisson et al., 2026)

Denna fallstudie utgick från Tysklands näst största dagligvaruhandlare REWE i nordöstra Tyskland. Fallstudien täckte ett nätverk med två distributionscentraler och över 500 filialer med över 38 000 sändningar i datasetet. För att mäta hur stor skillnaden mellan optimal diesel-planering kontra optimal el-planering så jämfördes två elektrifieringsansatser: att byta ut diesellastbilar mot batterielektriska lastbilar “ett-till-ett” utan att ändra operativa planeringen för den ursprungliga dieselflottan och att göra en ny optimerad transportplanering som integrerar rutt- och laddningsplanering för en blandad flotta av el- och dieselfordon.

Resultaten för 150–200 lastbilar bekräftade resultaten i L2 och visade att ansatsen för elektrifieringen var av stor betydelse för TCO. Nästan dubbla mängden kan elektrifieras om man optimerar om transportplaneringen och med mer än dubbla kostnadsbesparingen jämt den ursprungliga dieselflottan på 8% kontra 3%. Detta visar hur stor diskrepansen är om man försöker elektrifiera utan att anpassa sin planering för elektriska fordons operativa behov och karakteristik. Denna fallstudie, tillsammans med de i L2, utmanar tidigare ansatser i forskningslitteraturen om att man kan abstrahera eller enkelt aggregera operativa aspekter av elektrifiering och fortfarande fånga upp de viktigaste faktorerna som utgör elektrifierbarhet.

Följande publikationer har producerats i samband med projektet:

Zackrisson, A., Engholm, A., & Tang, O. (2025). Data-driven analysis of strategic–operational interfaces in freight electrification under deep uncertainty. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 139(104524), 104524. doi:10.1016/j.trd.2024.104524

Engholm, A., Zackrisson, A., Bengtsson, T., Link, S., & Plötz, P. (2025). Beyond replacing diesel trucks: how optimized fleet planning increases electrification and lowers transportation costs. *Fraunhofer ISI* doi:10.24406/PUBLICA-4574

Zackrisson, A., Engholm, A., Bengtsson, T., Link, S., & Plötz, P. (2026). *Quantifying the impact of fleet planning re-optimization on truck electrification in distribution logistics* [Manuscript submitted to and under review at *NPJ Sustainable Mobility and Transport*].

Följande konferenspresentationer har getts i samband med projektet:

Zackrisson, A., Engholm, A., & Tang, O. (2025, September 18–19). *Electrification scaling curve for phased electrification decisions in heavy duty freight* [Conference presentation]. Logistics Management 2025 Conference, Milan, Italy.

Zackrisson, A., Engholm, A., Akbarian, M., & Tang, O. (2025, June 1–4). *Electrification scaling curve for phased electrification decisions in heavy duty freight* [Conference presentation]. 15th Annual EDSI Conference 2025, Gothenburg, Sweden.

Zackrisson, A., Engholm, A., Bengtsson, T., Link, S., Akbarian, M., & Plötz, P**.** (2025, June 15–18). *How optimization-driven planning enables large-scale electrification of heavy-duty freight* [Paper presentation]. 38th International Electric Vehicle Symposium & Exhibition (EVS38), Gothenburg, Sweden.

Engholm, A., Zackrisson, A., Bengtsson, T., Link, S., & Plötz, P. (2025, January 15–16). *Using data-driven optimization tools to increase electrification potential: A case study for multi-depot battery electric truck delivery in Germany* [Conference presentation]. Transportforum 2025, Linköping, Sweden.

Zackrisson, A., Engholm, A., & Tang, O. (2024, February 14–18). *Total cost of ownership for electric truck fleets* [Paper presentation]. 23rd International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck, Austria.

Pågående och planerat arbete

Leverabel L3.1, baserat på första fallstudien (aktivitet A3.1), är under granskning hos journal med en *minor revision* kvarstående och förväntas publiceras inom kort tid. Ett abstract för leverabel L3.2 presenterades vid *Logistics Management 2025 Conference* i Milano som arrangerades av *Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft*s (tysk akademisk förening för forskare och lärare inom företagsekonomi) vetenskapliga kommission för logistik. Arbetet utvecklades vidare till en konferensartikel som blev accepterad vid *24th International Working Seminar on Production Economics* och skall presenteras där i Innsbruck i slutet av Februari. Arbetet beskriver övergången från småskalig till storskalig elektrifiering genom att visa samband mellan hur optimala operativa beslut och ekonomisk prestanda ändras över tid med en fasad utrullning av batteri-elektriska fordon inom en flotta.

För att färdigställa L3.2 kräver stora mängder beräkningar, och därför har arbete påbörjats med att bygga modeller och kod som möjliggör att beräkningarna kan utföras på distribuerade superdatorer (exempelvis vid NAISS/NSC), vilket ska säkerställa att fler och större analyser skall kunna utföras. Under rapporteringsperioden har även preliminärt arbete med leverabel L1.2 påbörjats där det fanns överlapp med L3.2. Ytterligare förberedande arbete kommer att påbörjas inom kort tid med datainsamling och utveckling av metodik samt utvärdering av hur mycket beräkningskraft som kommer att krävas för att genomföra leverabeln.

Utöver detta så förbereds en utlandsvistelse som gästforskare mellan höstterminen 2026 och vårterminen 2027 vid ett amerikanskt lärosäte med stöd av Fulbright och Sverige-Amerika Stiftelsen. Ett samarbete med en forskningsmiljö i USA med expertis inom både logistik/transport och beräkningsmetodik förväntas att stärka projektets internationella relevans och skapa långsiktiga synergier som bidrar till både kunskapsutbyte och bredare spridning av studiens resultat. Mer detaljer kring detta kommer att meddelas vid nästa halvårs lägesrapportering då mottagande lärosäte har fastställts .

Kommande konferenspresentationer:

Zackrisson, A. & Tang, O. (2026, February 23–27). *Framework for assessing the scalability and performance of electrification in heavy-duty freight networks* [Paper presentation]. 24th International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck, Austria.