

Livsløpsvurdering LCA - Kjøretøy og drivstoff



Livsløpsvurdering (LCA - life cycle assessment) er en ISO-standardisert metode for systematisk og helhetlig kartlegging av produkters potensielle miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet. Metoden kan for eksempel brukes til å få innsikt i produkters verdikjeder og miljøaspekter, evaluere og rangere forskjellige teknologialternativer og identifisere forbedringsmuligheter. LCA er derfor et nyttig verktøy som blant annet brukes i produktutvikling, strategisk planlegging og fastsettelse av offentlig politikk og er for eksempel mye brukt innen forskning og industri og av beslutningstakere. Tiltaket fokuserer kjøretøy og drivstoff.

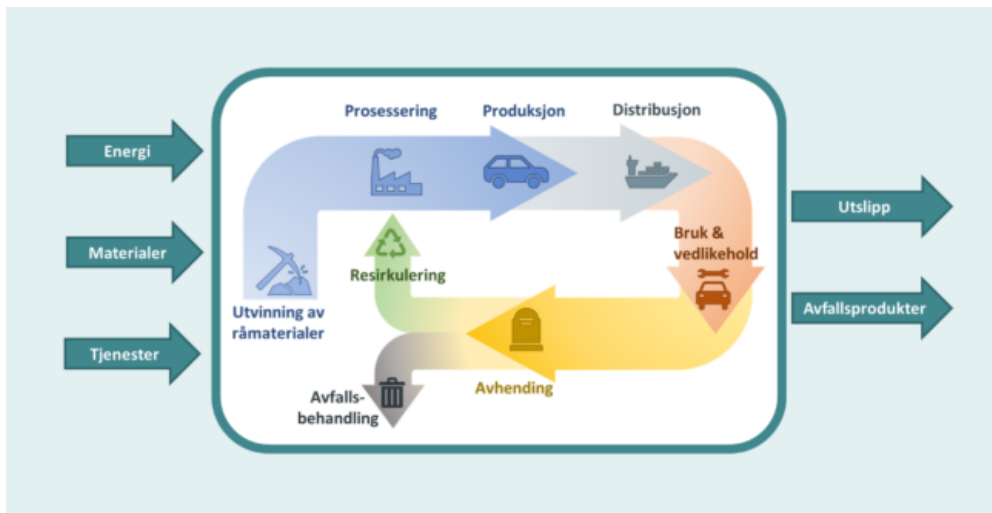
Kilde: Shutterstock

1 Problem og formål

LCA er en standardisert metode for systematisk og helhetlig kartlegging av produkters potensielle miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet - fra råvareutvinning, produksjon og distribusjon, gjennom bruk, vedlikehold og reparasjon, frem til og med avhending med resirkulering og/eller avfallsbehandling. For hver av produktets ulike livsløpsfaser kartlegges innsatsfaktorer (bruk av materialer, energi og tjenester) og utgangsfaktorer (generering av utslipp og avfall).

Figuren nedenfor har lengst til venstre tre piler merket «energi», «materialer» og «tjenester» som peker inn mot en boks som inneholder illustrasjoner av de ulike faser i produkters livsløp - utvinning av råmaterialer, prosessering, produksjon, distribusjon, bruk og avhending. Det vises to alternativer for avhending; avfallshåndtering og resirkulering som igjen peker tilbake til prosessering (og derfor resulterer i et sirkulært livsløp). Ut fra boksen peker to piler som

illustrerer livsløpets sluttresultat, nemlig utslipp og avfallsprodukter.



Figur 1: Oversikt over produkters ulike livsløpsfaser fra utvinning av materialer, prosessering, produksjon og distribusjon via bruk til avfallsprodukter samt inngangs- og utgangsfaktorer som påvirker livsløpet.

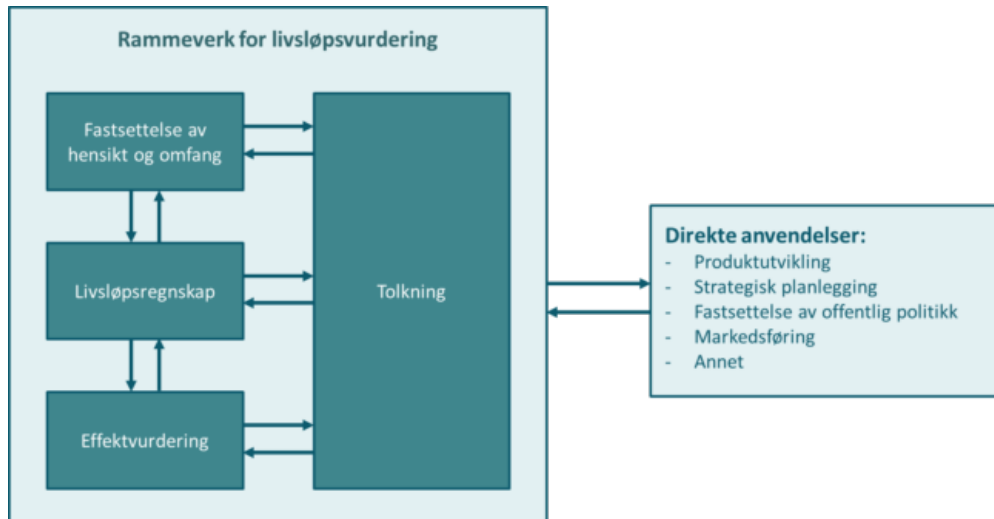
LCA-metoden brukes for å beregne potensielle miljøeffekter og gir innsikt i produkters komplekse, globale verdikjeder. En LCA kan for eksempel gi innsikt i hvor i verdikjeden utslipp oppstår og viktigheten til forskjellige livsløpsfaser, komponenter og prosesser. Denne informasjonen kan videre brukes til å identifisere forbedringsmuligheter.

En LCA-studie vil ofte betrakte flere forskjellige typer miljø- og ressursaspekter (f.eks. klimagassutslipp, forsurening, overgjødsling, nedbrytning av ozonlaget, etc.). Det holistiske livsløpsperspektivet kan bidra til å unngå problemflytting mellom ulike miljøaspekter (f.eks. lavere klimagassutslipp på bekostning økt sur nedbør), men også mellom regioner (f.eks. karbonlekkasje som følge av at ny teknologiproduksjon gjøres i et annet land) og livsløpsfaser (f.eks. redusert utslipp fra bruk som fører til økt utslipp fra produksjon).

LCA-metoden kan også brukes til å sammenligne og rangere ulike teknologialternativer. I sammenligningsstudier er det spesielt relevant å betrakte flere miljøaspekter og hele livsløpet ettersom ulike teknologier ofte har både miljømessige fordeler og ulemper som kan utfolde seg forskjellig gjennom de forskjellige teknologienes livsløp.

2 Beskrivelse av tiltaket

LCA-metoden er ISO-standardisert. Prinsipper og rammeverk beskrives i ISO 14040:2006 og krav og retningslinjer beskrives i ISO 14044:2006. En LCA deles inn fire faser, som vist i Figur 2. LCA er et verktøy som kan gi nyttig informasjon og innsikt. Eksempler på direkte anvendelser er listet til høyre i Figur 2.



Figur 2: LCAs fire trinn eller faser (Fastsettelse av hensikt, Livsløpsregnskap, Effektvurdering og Tolkning) samt eksempler på anvendelser. Kilde: ISO 14040:2006.

Fastsettelse av hensikt og omfang inkluderer definering av problemstillinger og bestemmelse av systemgrenser. Den systemgrensen som velges setter begrensninger for hvilke prosesser og aktiviteter som skal inkluderes i studien og må dessuten inkludere relevante forskjeller mellom ulike teknologialternativer. Systemgrensen for busser vil for eksempel inkludere prosesser og aktiviteter knyttet til energibærere og kjøretøy (jmf figur 4).

I denne fasen blir også den funksjonelle enheten bestemt. Den funksjonelle enheten angir et produkts ytelse i forhold til brukers krav og må representere funksjonen til produktet som studeres. Ettersom et produkt kan ha flere funksjoner, kan det være utfordrende å finne en passende funksjonell enhet. Bestemmelsen av den funksjonelle enheten er mindre kritisk i studier av en enkelt teknologi, men for studier der ulike teknologier skal sammenliknes er den kritisk for å gjennomføre en rettferdig og god analyse mellom teknologialternativene. Miljøpåvirkninger oppgis per funksjonell enhet, for eksempel per kg, liter, kWh, meter, etc.

Livsløpsregnskap omfatter datainnsamling og kvantifisering av relevante inngangs- og utgangsfaktorer for produktsystemet. Når man gjennomfører en LCA-studie skiller man mellom data som er samlet spesifikt for studien (forgrunnssystemet) og generiske data fra databaser (bakgrunnssystemet). Skillet mellom forgrunns- og bakgrunnssystemet har å gjøre med hvilken del av systemet som er under direkte påvirkning av den aktør som utfører LCA-studien. For den som gjennomfører LCA-studien vil ofte datatilgjengelighet være en av de største utfordringene, spesielt i studier som modellerer teknologier på et tidlig utviklingsstadium ettersom kunnskapen om teknologien er begrenset. Datainnsamlingen er en iterativ og ressurskrevende prosess, og er det mest tidkrevende steget i en LCA. Kvantifisering av inngangs- og utgangsfaktorer blir gjort i henhold til den funksjonelle enheten.

Effektvurdering grupperer utslipp og ressursuttak i henhold til typen miljøbelastninger de forårsaker gjennom hele livsløpet. Denne prosessen går ut på å koble livsløpsregnskapsdata til valgte miljøeffektkategorier (klassifisering) og beregning av resultater for ulike kategoriindikatorer (karakterisering). Miljøbelastninger uttrykkes her i utslippsekvivalenter. Et eksempel er klassifisering av klimagasser (f.eks. CO₂, CH₄ og N₂O) og karakterisering av klimagassutslipp uttrykt i CO₂-ekvivalenter.

Tolkning består av to prosesser. Den første prosessen inkluderer analyse og fremstilling av resultatene, og den andre prosessen er evalueringen av resultatene for å etablere tillit til resultatene. I en LCA blir kvaliteten og usikkerheten av data vurdert kontinuerlig. Tolkningen i form av konklusjoner og anbefalinger må samsvare med studiens hensikt og omfang. Tolkninger og konklusjoner fra LCA-studiers resultater bør gjenspeile det faktum at resultatene ikke gir et fasitsvar eller forutsier faktiske miljøpåvirkninger, men at resultatene bygger på en relativ framgangsmåte og at de antyder potensielle miljøeffekter.

Selv om de fire fasene er presentert i en sekvensiell rekkefølge, er LCA i praksis en iterativ prosess og de ulike fasene gjentas flere ganger i løpet av en studie.

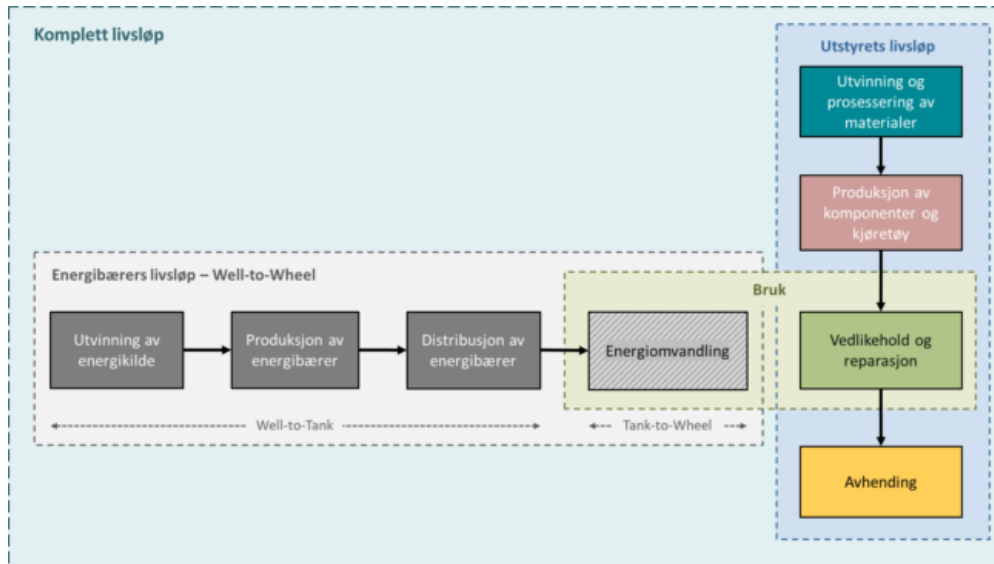
3 Supplerende tiltak

Livsløpsbetraktningen og metodene beskrevet i ISO 14040 er utviklet for å betrakte miljøaspekter, men kan i prinsippet også anvendes til å evaluere økonomiske og sosiale forhold. Ved å benytte livsløpsperspektivet for å vurdere de tre dimensjonene (miljø, økonomi og sosiale forhold) av bærekraft, kan en få fram en mer overordnet bærekraftsanalyse. Foreløpig er likevel slike overordnede bærekraftsanalyser lite utbredt, mens det er derimot mer vanlig å gjøre analyser som betrakter både miljø og økonomi. Det kan være fordi vurdering av alle tre dimensjoner i et livsløpsperspektiv vil være en veldig omfattende og resurskrevende prosess. Det kan også skyldes at mange sentrale sosiale problemstillinger rett og slett er vanskelige eller umulige å måle og kvantifisere, i motsetning til miljømessige og økonomiske aspekter.

4 Hvor er tiltaket egnet

Utslippsanalyser for kjøretøy og drivstoff har ofte kun betraktet de direkte utslipp knyttet til forbrenning av drivstoff i kjøretøy. Basert på dette begrensede utslippsperspektivet har elektriske kjøretøy ofte blitt omtalt som såkalte «nullutslipps»-kjøretøy. Nye og alternative energibærere og fremdriftsteknologier kan ha veldig forskjellige verdikjeder sammenlignet med konvensjonelle drivstoff og forbrenningsteknologi. Det trengs derfor et mer omfattende utslippsperspektiv som kan betrakte forskjeller i klima- og miljøpåvirkninger både oppstrøms- og nedstrøms (indirekte utslipp) for forbrenning av drivstoff (direkte utslipp), ikke bare de mest synlige knyttet til bruken.

En LCA studie av et kjøretøys livsløpsutslipp kan deles opp i to hovedkomponenter bestående av livsløpet til energibærer (f.eks. bensin, strøm, hydrogen, etc.) og utstyret (f.eks. personbil, buss, lastebil, etc.). Figur 3 illustrerer det komplette livsløpet, der energibærers livsløp er skissert med en grå bakgrunn mens utstyrets livsløp er skissert med blå bakgrunn. I tillegg er bruksfasen skissert med grønn bakgrunn. Bruksfasen er den livsløpsfasen som brukerne av kjøretøyet forholder seg til, men dette utgjør altså kun en del av det som betraktes i et kjøretøys komplette livsløp.



Figur 3: Oversikt over

kjøretøyets komplette livsløp der hovedkomponentene er energibærers livsløp og utstyrets livsløp. Energibærers livsløp, «Well-to-Wheel» (WTW) deles i: «Well-to-Tank» (WTT) og «Tank-to-Wheel» (TTW). WTT omfatter utvinning og produksjon av energikilde og distribusjon av produsert energibærer, mens TTW gjelder energiomvandling ombord i kjøretøyet.

Utstyrets livsløp omfatter alt fra utvinning og prosessering av materialer, produksjon av komponenter og kjøretøy, vedlikehold og reparasjon til avhending. Avhending kan inkludere avfallsbehandling og/eller resirkulering. Livsløpsfasene knyttet til utvinning og prosessering av materialer og produksjon av komponenter og kjøretøy omtales ofte som «*cradle-to-gate*», oversatt til «*vugge-til-port*» på norsk.

5 Bruk av tiltaket - Eksempler

LCA brukes blant annet innen forskning, industri, av beslutningstakere og som krav i offentlige anskaffelser.

Bruk av LCA kan spille en viktig rolle i tidlig forskning og utvikling ved å gi miljøveiledning, og ved å støtte oppskalering av produksjonen. Det er fordelaktig å bruke LCA fra et tidlig stadium i teknologiutviklingen. Det er da bedre muligheter for å endre og kontrollere utviklingen (det vil si at det er mange frihetsgrader i utviklingen) sammenlignet med et senere stadium når muligheten for å endre teknologien er redusert (det vil si at de fleste designparametere er låst). Bruk av LCA i forskningsprosjekter for teknologiutvikling blir i økende grad lagt inn som et kriterium i forskningsutlysninger, som f.eks. i flere [Horizon Europe](#) utlysninger. Innen transportforskning har LCA blitt brukt til en rekke studier, blant annet for å vurdere forskjellige typer kjøretøy (f.eks. personbiler og busser), infrastruktur (f.eks. ladere, veg og bane) og teknologivalg (f.eks. batteriteknologier og energibærere).

LCA brukes også av produserende industri, blant annet av personbil- og tungtransportprodusenter. En studie som vurderte bruken av LCA blant personbilprodusenter fant at blant verdens 15 største (85% av produserte biler på verdensbasis), jobbet så mange som 13 av produsentene med LCA (Tarne et al. 2017). Det er ikke bare de store personbilprodusentene som f.eks. Toyota (2022) og Mercedes-Benz (Daimler 2022) som bruker LCA, mindre produsenter som Volvo (2021) og Polestar (2020) gjør det også. LCA brukes også i økende grad av både buss- (Volvo busses 2022) og godsbilprodusenter (Scania

2021).

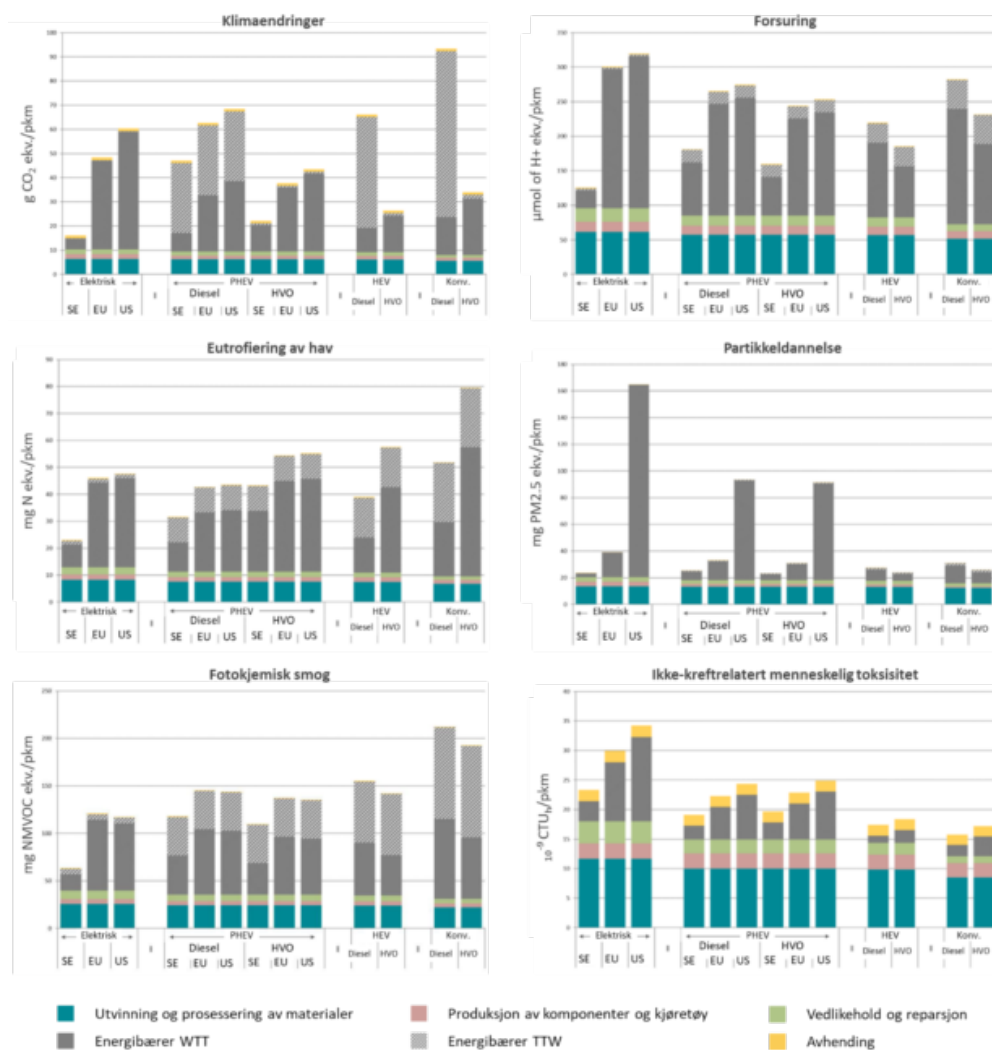
EU-kommisjonen betrakter LCA som det «beste rammeverket for å vurdere potensielle miljøpåvirkninger av produkter» og har dannet en egen plattform for LCA (European Commission 2022). Plattformen fremmer LCA som støtte for EUs politikkutformingsprosesser og ambisjonen om Green Deal og mange andre politiske initiativer. Bruken av LCA i EUs politikkutforming er utstrakt (Sala mfl. 2021), og metodikken danner blant annet grunnlaget for beregning av karbonfotavtrykket til elbilbatterier i det nylige vedtatte forslaget til ny Batteriforordning (EU Proposal 2019/1020) og livsløpsutslipp fra biodrivstoff i Fornybardirektivet (EU 2018/2001).

Krav om LCA-dokumentasjon brukes også i transportsektoren i Norge. Miljødirektoratet pålegger alle omsettere av drivstoff å bruke den LCA-baserte metodikken beskrevet i produktforskriften (Lovdata 2020 basert på EUs Fornybardirektiv) for å beregne livssyklusutslipp av klimagasser fra biodrivstoff (Miljødirektoratet 2021). Videre har Ruter lagt inn krav om LCA-dokumentasjon i sine anskaffelser (Ruter 2021) og Statens vegvesen pålegger alle prosjekter over 51 millioner kroner å bruke LCA-verktøyet VegLCA for å beregne klimagassutslipp (Statens vegvesen 2022).

6 Miljø- og klimavirkninger

Det finnes mange LCA-studier på forskjellige typer transportmidler og energibærere. LCA studier belyser blant annet hvor i livsløpet miljøpåvirkninger oppstår, hva kilden til miljøpåvirkningene er, viktigheten av faktorer på tvers av ulike miljøaspekter og mulige implikasjoner. For å gi et konkret eksempel på informasjon og innsikt som LCA-studier har bidratt til innen transport-forskning, skal vi se på resultater fra Chalmers LCA-studie som vurderer livsløpsutslipp til bybusser med forskjellige fremdriftssystemer og energibærere (Nordelöf et al. 2019). I studien betraktes [Elbusser](#) elektriske busser med en 76 kWh batteripakke (BEV), ladbare hybride busser (PHEV), ikke-ladbare hybride busser (HEV) og konvensjonelle busser med forbrenningsmotor. For elektriske og ladbare busser vurderes tre forskjellige strømmikser: svensk, EU og amerikansk (US). Av drivstoff for ladbare, ikke-ladbare og konvensjonelle busser vurderes to dieselvarianter: vanlig vegdiesel innblandet 7% [biodrivstoff](#) fra raps og ublandet fornybar biodiesel (HVO).

Chalmers studie belyser livsløpsutslippet i ni forskjellige miljøkategorier. Her har vi begrenset oss til resultater for seks; klimaendringer, forsurening, eutrofiering av hav, partikkeldannelse, fotokjemisk smog og ikke-kreftrelatert menneskelig toksisitet, se figur 4. Effekten av ulike busstyper er beregnet per personkilometer (pkm) og utslipp er fordelt på faser i livsløpet; utvinning og prosessering av materialer (turkis), produksjon av komponenter og kjøretøy (rosa), vedlikehold og reparasjon (grønn), WTT (mørk grå), TTW (skravert grå) og avhending (gul).



Figur 3: Utslippspotensiale for

klimaendringer, forsurening, eutrofiering av hav, partikkeldannelse, fotokjemisk smog og ikke-kreftrelatert menneskelig toksisitet fordelt på ulike livsløpsfaser for 13 bybusser med ulike fremdriftssystemer og energibærere. Resultatene er beregnet per personkilometer (pkm). Kilde: Nordelöf et al. 2019.

På et overordnet nivå viser resultatene fra studien at med økende grad av elektrifisering øker miljøbelastningene knyttet til kjøretøyutstyret, men det kan kompenseres for med lavere miljøbelastning knyttet til energibærer - gitt at strømproduksjon (WTT) har lave nok utslipp. Selv om elektriske kjøretøy med forholdsvis ren strømmiks ofte vil kunne gi en miljøfordel, er det likevel ikke gitt under alle omstendigheter.

For miljøaspekter som i stor grad påvirkes av utvinning av metaller (f.eks. toksisitet og forringelse av ikke-fornybare ressurser), vil elektriske kjøretøy ofte ha høyere utstyrsutslipp hovedsakelig på grunn av batteriene. Dette er noe som selv strøm basert på fornybar energi ikke alltid vil kunne kompensere for. Derfor kan altså elektriske kjøretøy ha høyere miljøbelastning over livsløpet enn konvensjonelle kjøretøy med fossilbasert drivstoff. De fleste helelektriske busser som produseres i dag har betraktelig større batteripakker (200 - 600 kWh) enn det som er betraktet i Chalmers studie (76 kWh). Dette forsterker problemforskyvning mellom de livsløpsfaser og miljøaspekter som er observert i studien. Samtidig skjer en utvikling i batteriteknologi og produksjon, med mindre forbruk av ulike mineraler i forhold til kWh.

Økende andel biodrivstoff gir generelt lavere miljøbelastning sammenlignet med vanlig

veg diesel, men også her kan man få en problemforskyving ved at produksjon av HVO kan være mer miljøbelastende enn produksjon av fossil diesel.

Resultatene fra Chalmers (vist i figur 4) samsvarer med det flere andre LCA-studier rapporterer (Xia and Li 2022, Held and Schücking 2019, Bauer et al. 2015, Sacchi et al. 2022, Velandia Vargas et al. 2019, Ternel et al. 2021). Utslippsprofilene for elektriske og konvensjonelle kjøretøy er forskjellige og på tvers av flere miljøaspekter er det ikke én teknologi som er best på alle måter.

For elektriske kjøretøy er miljøbelastninger knyttet til produksjon av utstyr høyere enn for konvensjonelle kjøretøy. Over livsløpet kan de elektriske kjøretøyene ofte, men ikke alltid, kompensere ved å ha lavere miljøbelastninger knyttet til energibærer, men det avhenger av strømprduksjonen. Strømprduksjon og batteri er viktige faktorer for elektriske kjøretøys livsløpsutslipp og kan være avgjørende for hvorvidt de har lavere miljøbelastninger enn konvensjonelle kjøretøy eller ikke.

7 Andre virkninger

Tiltakets andre virkninger er ikke vurdert her.

8 Kostnader

LCA er ressurskrevende, spesielt fordi datainnsamling ofte er en veldig tidkrevende prosess. Ettersom omfanget av en LCA kommer an på emnet og tiltenkt bruk, vil også kostnaden for LCA-studier kunne variere betraktelig. Man kan forenkle analysen ved å bruke LCA-metodikken på kun deler av livsløpet, for eksempel «vugge-til-(fabrikk)port», dersom det kan være hensiktsmessig for tiltenkt bruk. I henhold til ISO-standarder må hele livsløpet betraktes for at det skal være en LCA-studie. Selv om det er kostnader knyttet til gjennomføring av LCA, kan det likevel også føre til økt verdiskapning og konkurranseevne som følge av f.eks. ressurseffektiviseringer eller bedre forbrukeromdømme.

9 Formelt ansvar

Bruk av LCA er utstrakt og gjøres for ulike formål, derfor vil ansvaret for gjennomføring av LCA-studier variere.

10 Utfordringer og muligheter

Selv om LCA-studier kan gi nyttig informasjon og innsikt, bør man være forsiktig med å tolke og bruke resultatene ukritisk. For eksempel bør man være varsom med å sammenligne resultater fra ulike studier ettersom forutsetninger, systemgrenser, antagelser og metodevalg kan være vidt forskjellige, selv om de vurderer samme teknologi. Ved sammenligning av resultater fra forskjellige studier, kan man risikere å trekke uriktige eller upresise konklusjoner. Man bør også være oppmerksom på at oppskalering av resultater kan føre til uriktige konklusjoner ettersom det ikke nødvendigvis er en lineær sammenheng mellom effekter på produktnivå (for eksempel buss) og systemnivå (for eksempel bussflåte).

En annen utfordring er at analyser som vurderer teknologier under utvikling har begrenset tidsgyldighet. Dette er spesielt relevant for batteriteknologi, produksjon og ombruk. Det er derfor nødvendig med regelmessige oppdateringer av livsløpsutslippene til nyere teknologier.\

11 Referanser

Bauer, Christian, Johannes Hofer, Hans-Jörg Althaus, Andrea Del Duce, and Andrew Simons. 2019. "The Environmental Performance of Current and Future Passenger Vehicles: Life Cycle Assessment Based on a Novel Scenario Analysis Framework." *Applied Energy*, 2015, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.09>.

Daimler. 2022. "Mercedes-Benz Models with Environmental Certificates." Accessed December 23, 2022. <https://group.mercedes-benz.com/sustainability/environmental-certificates/>.

"DIRECTIVES DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources (Recast),"

European Commission. 2022. "European Platform on Life Cycle Assessment." Accessed December 27, 2022. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/aboutUs.html#menu1>.

Held, Michael, and Maximilian Schücking. 2019. "Utilization Effects on Battery Electric Vehicle Life-Cycle Assessment: A Case-Driven Analysis of Two Commercial Mobility Applications." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 75, no. August (2019): 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.005>.

ISO 14040:2006. "Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Prinsipper og Rammeverk,"

ISO 14044:2006. Krav og retningslinjer.

Lovdata. 2020. Forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter (produktforskriften). https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922/KAPITTEL_5#KAPITTEL_5.

Miljødirektoratet. 2021. "Krav Til Reduksjon Av Klimagassutslipp Fra Drivstoff," <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-naringsliv/biodrivstoff-veileder/krav-til-reduksjon-av-klimagassutslipp-fra-drivstoff/>.

Nordelöf, Anders, Mia Romare, and Johan Tivander. 2019. "Life Cycle Assessment of City Buses Powered by Electricity, Hydrogenated Vegetable Oil or Diesel." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 75, no. September (2019): 211-222K. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.08.019>.

Polestar. 2020. "Life Cycle Assessment – Carbon Footprint of Polestar 2,"
EUProposal 2019. for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL Concerning Batteries and Waste Batteries, Repealing Directive 2006/66/EC and Amending Regulation (EU) No 2019/1020," 2020.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020PC0798>.

Ruter 2021. "Livssyklusanalyse (LCA): En Introduksjon,".

<https://ruter.no/contentassets/337d5c99b65648c7a1afac4f8ed45bca/2021-12-08-livssyklusanalyse-dialogkonferanse-oslo-ost.pdf?id=23036>.

Sacchi, R., C. Bauer, B. Cox, and C. Mutel. 2022. "When, Where and How Can the Electrification of Passenger Cars Reduce Greenhouse Gas Emissions?" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 162, no. March (2022).

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112475>.

Sala, Serenella, Andrea Martino Amadei, Antoine Beylot, and Fulvio Ardente. 2021. "The Evolution of Life Cycle Assessment in European Policies over Three Decades." *International Journal of Life Cycle Assessment* 26, no. 12 (2021): 2295-2314.

<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01893-2>.

Scania 2021. "Life Cycle Assessment of Distribution Vehicles – Battery Electric vs Diesel Driven," 2021.

Tarne, Peter, Marzia Traverso, and Matthias Finkbeiner. 2017. "Review of Life Cycle Sustainability Assessment and Potential for Its Adoption at an Automotive Company." *Sustainability (Switzerland)* 9, no. 4 (April 23, 2017): 670. <https://doi.org/10.3390/su9040670>.

Ternel, Cyprien, Anne Bouter, and Joris Melgar. 2021. "Life Cycle Assessment of Mid-Range Passenger Cars Powered by Liquid and Gaseous Biofuels: Comparison with Greenhouse Gas Emissions of Electric Vehicles and Forecast to 2030." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 97 (August 1, 2021): 102897.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102897>.

Toyota 2022. "Toyota Vehicle Life Cycle Assessment." Accessed December 23, 2022.

<https://www.toyota-europe.com/sustainability/carbon-neutrality/vehicle-life-cycle-assessment> s.

Statens Vegvesen, 2022. . "Bruk Av VegLCA,"

<https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/klima-miljo-og-omgivelser/utslipp-av-klimagasser/bruk-av-veg-lca/>.

Velandia Vargas, Jorge Enrique, Daniela Godoy Falco, Arnaldo César da Silva Walter, Carla Kazue Nakao Cavaliero, and Joaquim Eugênio Abel Seabra. 2019. "Life Cycle Assessment of Electric Vehicles and Buses in Brazil: Effects of Local Manufacturing, Mass Reduction, and Energy Consumption Evolution." *International Journal of Life Cycle Assessment* 24, no. 10 (2019): 1878-97. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01615-9>.

Volvo. 2021. "Carbon Footprint Report – Battery Electric XC40 Recharge and the XC40 ICE," 1-43.

Volvo Buses. 2022. "How LCA Helps to Understand the True Environmental Impact of Electric Buses," <https://www.volvobuses.com/en/news-stories/insights/lca-for-electric-buses.html>.

Xia, Xiaoning, and Pengwei Li. 2021. "A Review of the Life Cycle Assessment of Electric Vehicles: Considering the Influence of Batteries." *Science of the Total Environment* 814 (2022): 15+2870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152870>.