asplan viak

Statens vegvesen Vegdirektoratet

LCA TRANSPORT LITTERATURSTUDIE
RAPPORT

Dato: 20.09.2018
Versjon: 01

Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver: Statens vegvesen Vegdirektoratet
Tittel på rapport: LCA Transport Litteraturstudie
Oppdragsnavn: Rammeavtale bistand til analyser for NTP Litteraturstudie
Oppdragsnummer: 618415-02
Utarbeidet av: Johanne Hammervold, Alexander Borg, Erlend Brenna Raabe, Oddbjørn Dahlstrøm, Mie Fuglseth
Oppdragsleder: Mie Fuglseth
Tilgjengelighet: Åpen

01	20.09.18	Nytt dokument	JH, AB, EBR, OD, MF	MF
VERSJON	**DATO**	**BESKRIVELSE**	**UARBEIDET AV**	**KS**

Sammendrag

Transport bidrar til nesten 30 % av de globale klimagassutslippene, og i tillegg krever infrastruktur store mengder av utslippsintensive materialer. Det er først i de siste 20 år at livsløpsperspektivet ble en del av utslippsvurderinger for transportsektoren, og bygging og vedlikehold av infrastruktur ble sett på som en del av transportsystemene. Fagfeltet har stadig fått økt omfang og i de senere år har denne typen analyser blitt tatt i bruk i planlegging av infrastrukturprosjekter.

Bruk av resultater fra klimabudsjett i Norge har endret seg fra utvikling av regneregler og metode til at resultater benyttes som innspill til valg av løsninger. Resultater fra klimabudsjett er i Norge brukt til blant annet innspill til trasévalg og til å finne alternative byggemetoder og materialer. For både Statens Vegvesen og Bane Nor er klimabudsjett også benyttet som grunnlag for å stille miljøkrav til materialer ved utbygging.

Denne rapporten presenterer en kartlegging av både forskningsarbeid og praktisk anvendelse innenfor livsløpsanalyser (Life Cycle Assessment, LCA) for transportmidler og transportinfrastruktur, med fokus på Norge og Norden. Hensikten med kartleggingen har vært å etablere et kunnskapsgrunnlag for å kunne prioritere mellom ulike transportformer, som en del av arbeidet med NTP 2022-2033.

Basert på et bredt litteratursøk, samt Asplan Viaks eksisterende kunnskap om arbeid som er gjort på livsløpsvurdering av transport, har vi valgt å trekke frem det vi anser som de viktigste analysene som er gjennomført siden 2010. Dette omfatter totalt 37 studier, hvorav 5 vurderer mer enn en transportform. De resterende studiene fordeler seg på 8 studier av veg, 8 av jernbane, 9 av sjøfart og 7 av luftfart. Metodikk, hovedresultater og viktigste følsomheter er beskrevet. Øvrige studier og analyser som er funnet i litteratursøket er presentert i vedlegg.

Ettersom det har vært gjort et vesentlig arbeid i Norge innenfor metode- og verktøyutvikling innen LCA av veg og bane, er studier som beskriver denne utviklingen trukket frem. En god del av litteraturen omfatter sammenligning av ulike drivstoff og teknologier for kjøretøy, mens det er relativt få studier som sammenligner ulike transportløsninger for person- og godstransport. For veg og jernbane er det gjennomført mange livsløpsvurderinger av infrastrukturen, mens det er funnet kun én studie på kai, og ingen på flyplasser.

Utvalgte vegprosjekter omfatter alternativ for fjordkrysning, tidligfasevurderinger for infrastrukturprosjekt, vurderinger med flere infrastruktur-case og studier som sammenligner ulike typer drivstoff og kjøretøyteknologier. Studiene av jernbanetransport omfatter metodeutvikling og bruk av miljø-/og klimabudsjettberegninger, der flere vurderer overført trafikk til andre transportformer. Studiene av sjøtransport omfatter analyser av virkemidler for reduksjon i klimagassutslipp, samt økt drivstoffeffektivitet, men også LCA analyser av havneinfrastruktur og alternative teknologier for sjøtransport som elektrisitet, hydrogen og biodrivstoff. Luftfartsanalysene omhandler i hovedsak livsløpsanalyser og scenarioframskrivninger for ulike typer passasjerfly, samt kartlegginger av miljøpåvirkning og potensiale for biojetdrivstoff.

Forord

Asplan Viak har på oppdrag fra Transportetatene og Avinor gjennomført en kartlegging av eksisterende litteratur på livsløpsanalyser for transportmidler og transportinfrastruktur siden 2010. Hensikten med kartleggingen har vært å etablere et kunnskapsgrunnlag for å kunne prioritere mellom ulike transportformer, som en del av arbeidet med NTP 2022-2033.

Johanne Hammervold, Alexander Borg, Oddbjørn Dahlstrøm, Erlend Brenna Raabe og Mie Fuglseth har deltatt i arbeidet med utredning og rapport. Mie Fuglseth har vært oppdragsleder for Asplan Viak. Kontaktperson hos Vegdirektoratet har vært Maja Karin Cimmerbeck.

Sandvika, 20.09.2018

Mie Fuglseth
Oppdragsleder

Innhold

1 INNLEDNING 5
1.1 Historikk og overblikk 5
1.2 Avgrensning og rapportens oppbygning 8

2 STUDIER AV FLERE TRANSPORTFORMER 9
2.1 Sjø- og vegtransport 9
2.2 Veg- og jernbanetransport 12
2.3 Veg-, jernbane og sjøtransport 15

3 ANALYSER AV VEG 17
3.1 Veginfrastruktur 17
3.2 Transportmidler og transportarbeid på veg 22

4 ANALYSER AV JERNBANE 30
4.1 Jernbaneinfrastruktur 30
4.2 Tog og transportarbeid med bane 41

5 ANALYSER AV SJØTRANSPORT 42
5.1 Kaier 42
5.2 Fartøy og sjøtransportarbeid 43

6 ANALYSER AV LUFTFART 60

7 KILDER 69

8 VEDLEGG 1: OVERSIKT OVER LCA-STUDIER 75

1 INNLEDNING

På oppdrag fra Transportetatene og Avinor har Asplan Viak gjennomført en kartlegging av hva som er gjort av livsløpsanalyser (Life Cycle Assessment, LCA) for transportmidler og transportinfrastruktur. Hensikten med kartleggingen har vært å etablere et kunnskapsgrunnlag for å kunne prioritere mellom ulike transportformer, som en del av arbeidet med NTP 2022-2033.

Transport bidrar til nesten 30 % av de globale klimagassutslippene, og i tillegg krever infrastruktur store mengder av utslippsintensive materialer. Det er først i de siste 20 år at livsløpsperspektivet ble en del av utslippsvurderinger for transportsektoren, og bygging og vedlikehold av infrastruktur ble sett på som en del av transportsystemene. Fagfeltet har stadig fått økt omfang og i de senere år har denne typen analyser blitt tatt i bruk i planlegging av infrastrukturprosjekter. Parallelt med dette har det blitt utvikler metoder og verktøy spesifikke for infrastrukturprosjekter, da hovedsakelig for veg- og jernbaneinfrastruktur. En god del av forskningen omfatter sammenligning av ulike transportløsninger for person- og godstransport, og ulike drivstoff og teknologier for kjøretøy.

1.1 Historikk og overblikk

Her gir vi en overordnet redegjørelse for utvikling i metodeutvikling og praksis for livsløpsvurderinger for transportinfrastruktur i Norge og Norden. Hovedvekten er på veg og jernbane, ettersom det er for disse transportformene det har blitt gjort mest LCA-rettet arbeid i Norge og Norden.

Den første livsløpsstudien for veginfrastruktur i Norge ble gjennomført i 2000 av Veritas på oppdrag for Bruseksjonen i Vegdirektoratet; *Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge* [1]. Denne omhandlet fire alternativer for fjordkrysning; betongbru, undersjøisk tunnel, ferge og kjøring rundt fjorden. Vegdirektoratet var partner i det Nordiske forskningsprosjektet ETSI (oppstart 2006), som omhandlet livsløpsoptimalisering av bruer med hensyn på miljø, økonomi og estetikk. Fase II (2007-2009) av prosjektet [2] omfattet utvikling av verktøy for livsløpsvurdering innen alle de tre aspekter. Verktøyet som omfattet miljøvurderinger, *BridgeLCA* (også kalt ETSI-bru) versjon 2.1 ble ferdigstilt i 2013.

Det ble i Klimaforliket i 2008 presisert at nye infrastruktur prosjekter skal rapportere på utslipp av klimagasser fra utbygging. Dette ble videre fulgt opp i NTP for 2010-2019, hvor det er definert at klimabudsjett skal levers for nye infrastruktur prosjekt. I Norge var det ikke standardisert eller definert hva som skulle inkluderes i et slikt klimabudsjett. I Sverige ble det i 2009 utarbeidet i 2009 et miljøbudsjett for Botniabanen. Dette arbeidet, sammen med utvikling av *Produktkategoriregler (PCR) for infrastruktur (2009)* og *Statens Vegvesens metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter (2009)* la grunnlaget for metodeutvikling i Norge fra 2009 og fremover.

Norges Naturvernforbund gjennomførte en studie i 2008[1] [3] med formål om å få et bedre bilde av energi- og klimaeffektene av høyhastighetsbaner i Norge. Studien omfattet høyhastighetstog, personbil med forbrenningsmotor eller elektrisk drift, ekspressbuss, fly, tilbringertransport, godstog og vogntog. For infrastrukturen ble 3 vegkategorier analysert; tofeltsveg, to-/trefeltsveg og firefeltsveg. En langt mer omfattende livsløpsvurdering av høyhastighetsbane ble utført av MiSA på oppdrag for Bane NOR og ble ferdigstilt i 2012 [4]. Denne omfattet baneinfrastrukturen, referansescenarier for alternative transportformer (normaltog, privatbiler, busser, hurtigbåt og fly, medregnet infrastruktur, drift og fremstilling av kjøretøyflåte – der utvikling i transportteknologier er inkludert).

Bane NOR (da Jernbaneverket) benyttet muligheten i prosjektet nytt dobbeltspor mellom Oslo og Ski (Follobanen) til å utvikle en pilot for miljøbudsjett. I piloten var både utvikling og definering av metode og systemgrenser, samt utarbeidelse av miljøbudsjett for utbygging og drift/vedlikehold av

[1] Noen mindre justeringer og korrigeringer er gjort frem til 2013

infrastrukturen inkludert. Resultater fra miljøbudsjett Follobanen ble systematisert i en veileder for utarbeidelse av miljøbudsjett/klimabudsjett for utbygging av jernbaneinfrastruktur i 2012 og et tidligfaseverktøy i 2015 (begge er beskrevet nærmere i kapittel 4.1I 2013 ble det i en masteroppgave på NTNU [5] testet om metodikken definert i *Veileder for utarbeidelse av miljøbudsjett/klimabudsjett* utarbeidet for jernbaneinfrastruktur også kunne benyttes for utbygging av veiinfrastruktur.).

Statens Vegvesen hadde så langt benyttet klimamodulen i kost/nytte-verktøyet EFFEKT blitt brukt for å beregne utslipp av klimagasser ved utbygging av infrastruktur. EFFEKT inneholder en klimamodul som gjør tidligfaseberegninger av klimagassutslipp i henhold til S*tatens Vegvesens metode for beregning av energiforbruk og klimagassutslipp for vegprosjekter.* En masteroppgave ved NTNU i 2013 [5] vurderte hvorvidt metodikken definert i *Veileder for utarbeidelse av miljøbudsjett/klimabudsjett for jernbaneinfrastruktur* også kunne benyttes for utbygging av veginfrastruktur. Studien kom frem til at metoden kunne benyttes på samme måte både for veg- og baneinfrastruktur. Studien avdekket også relativt store forskjeller i klimagassutslipp pr km infrastruktur, avhengig av om det ble benyttet metode i Bane NORs veileder eller Statens Vegvesens EFFEKT.

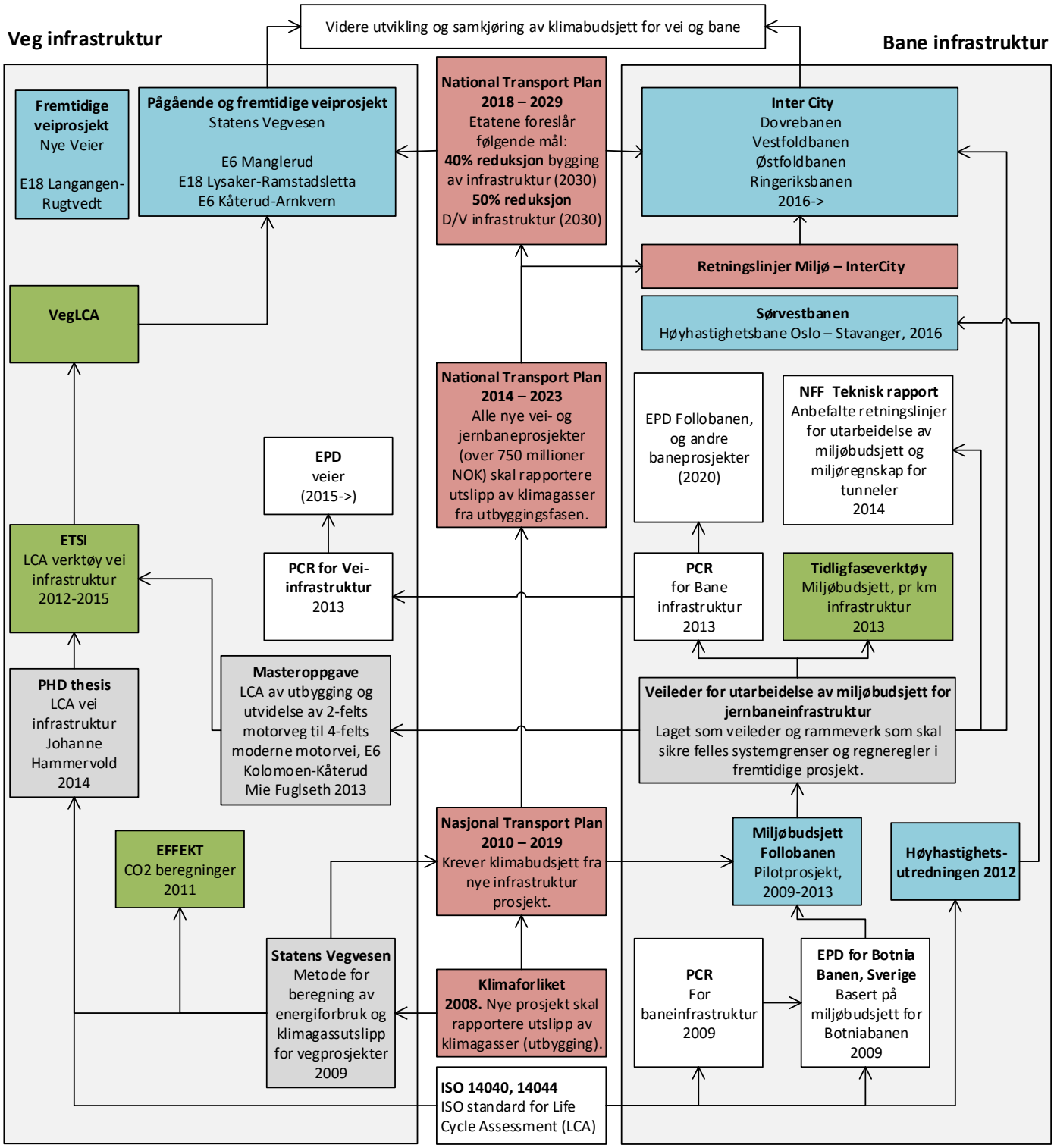
I 2014/15 ble BridgeLCA videreutviklet av Asplan Viak for Statens Vegvesen for bruk på hele veginfrastrukturen, under navnet VegLCA. VegLCA er utviklet for inndata på prosesskodenivå, og omfatter tilsvarende nivå som definert i Bane NORs veileder for utarbeidelse av klimabudsjett. Parallelt er det fra 2014 og utover utført flere klimabudsjett for både veg- og bane infrastruktur, basert på metodikk fra veilederen og med VegLCA som verktøy. Bortsett fra noen mangler på blant annet overbygning og jernbaneteknisk utstyr fungerer VegLCA også fint for utbygging av baneinfrastruktur. Dette er blant annet testet for fellesprosjektet E16 og Ringeriksbanen (se beskrivelse). For Bane NOR ble det fra rundt 2016 utarbeidet klimabudsjett for de ulike InterCity prosjektene på Østlandet: Dovrebanen, Østfoldbanen og Vestfoldbanen.

En viktig faktor som er detaljert beskrevet i *Veileder for utarbeidelse av miljøbudsjett/klimabudsjett for utbygging av jernbaneinfrastruktur* er utarbeidelse og bruk av klimabudsjett avhengig av hvilken planfase prosjektet er i. Dette har betydning både for hvilket datagrunnlag som er tilgjengelig og hvordan det er hensiktsmessig å bruke resultatene av beregninger. Avhengig av planfase og tilgang på data kan klimabudsjettet brukes til å gi innspill på hvilket konsept som har lavest utslipp (f.eks. kryssing av fjord: ferge, bru eller tunnel), hvilken trasé som har lavest utslipp (f.eks. trasé gjennom tunnel eller i dagsone med mye behov for grunnstabilisering), hvilken byggemetode (f.eks. sprenge tunnel eller tunnelboremaskin) eller stille miljøkrav til spesifikke materialer. Veilederen har definert mål og beskrivelse av arbeidsmetode for hver planfase.

Bruk av resultater fra klimabudsjett har endret seg fra utvikling av regneregler og metode rundt 2010 til at resultater benyttes som innspill til valg av løsninger. For flere klimabudsjett for InterCity på Østlandet er klimabudsjett brukt til blant annet innspill til kommunedelplan (hvilken trasé har lavest klimautslipp) og til å finne alternative byggemetoder og materialer. For både Statens Vegvesen og Bane Nor er klimabudsjett også benyttet som grunnlag for å stille miljøkrav til materialer ved utbygging.

I senere klimabudsjett (E16 og Ringeriksbanen) har man også inkludert beregninger for transportfasen, i tillegg til utslipp fra utbygging av infrastruktur. Det kan være interessant å se infrastruktur og transport i samme regnskap, for å vurdere klimamessig «tilbakebetaling» av utslipp fra utbygging av infrastruktur med fremtidige utslippsreduksjoner fra transport.

Figuren under illustrerer utviklingen utviklingen av verktøy, metoder og analyser for veg- og baneinfrastruktur i Norge og Norden fra og med 2009:



Norske klimagassberegninger for luftfart har i hovedsak fokusert på direkte utslipp fra flytransporten. SAS var tidlig ute (ca. 2007) med online miljøkalkulator[2] for direkte klimagassutslipp for sine ruter til bruk i beregning av klimakvoter. Tall fra denne er brukt videre i andre analyser, som NSB

[2] https://www.sasgroup.net/en/emission-calculator-and-carbon-offset/

Miljøkalkulator og Høyhastighetsutredningen. Internasjonalt er det gjort et mer omfattende arbeid for livsløpsanalyser for flytransport, både inkludert infrastruktur, flyteknologi og studier på alternative energikilder for fly, med spesielt fokus på biodrivstoff. Rambøll gjorde i samarbeid med Avinor, Norwegian og SAS gjort en omfattende analyse av det økonomiske, teknologiske og miljømessige potensialet til norskprodusert biodrivstoff i 2013. Analysen ble deretter oppdatert i 2017.

1.2 Avgrensning og rapportens oppbygning

En fullstendig kartlegging av eksisterende litteratur på LCA av transport og transportinfrastruktur er svært omfattende. Vi har derfor vært nødt til å avgrense oppgaven i henhold til tilgjengelig tid og ressurser. Utredningen bygger på Asplan Viaks eksisterende kunnskap om arbeid som er gjort på LCA av transportmidler og transportinfrastruktur. I tillegg har vi gjennomført et litteratursøk for å få en bredest mulig kartlegging av eksisterende litteratur. Kartleggingen omfatter analyser av ulike transportmidler, inkludert kjøretøy og fartøy, og sjø-, veg-, banetransport og luftfart, for både gods- og persontransport.

Litteratursøket er avgrenset fra ca. år 2010, med hovedvekt på de nyeste analysene og studiene. Det er lagt vekt på analyser som er relevante for, og har overføringsverdi til, norske forhold. Det finnes mye forskning som ser på en sannsynlig fremtidsutvikling for transportteknologi. Av hensyn til oppgavens omfang har vi i denne rapporten valgt å konsentrere oss om analyser av eksisterende systemer og tilgjengelig teknologi.

LCA vurderer ofte flere miljøparametere. I kartleggingen har vi lagt vekt på analyser som omhandler klimapåvirkning primært. Analyser som kun vurderer direkte utslipp, dvs. som ikke inkluderer verdikjede-/livsløpsperspektivet, og således ikke kan betegnes som fullverdig LCA, er kun inkludert der det er svært lite tilgang på mer omfattende analyser. ¨

Vi har tilstrebet å få en jevn fordeling mellom publiserte studier og rapporter som omhandler prosjektspesifikke analyser, ettersom begge deler er av like stor relevans for utredningen.

Alle funn som er gjort i litteratursøket er presentert overordnet i Vedlegg 1. I kapittel 2-6 omtales de studiene/analysene vi har trukket ut som de mest relevante for hver transportform, hhv. veg, jernbane, skipsfart og luftfart. Kapitlene for veg, bane og skipsfart er inndelt i delkapitler iht. hvorvidt funnene omhandler analyser av transportinfrastruktur (f.eks. veg) eller transportmidler og transportarbeid (f.eks. hhv. biler og transport med bil).

2 STUDIER AV FLERE TRANSPORTFORMER

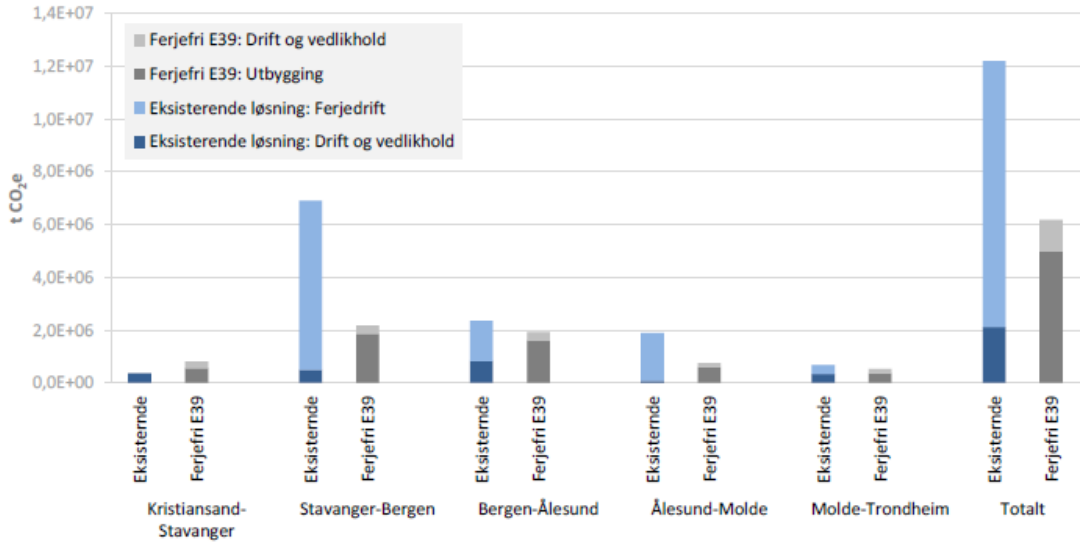
Her presenteres studier som vurderer flere transportformer. Både sammenligninger mellom veg, bane og sjøtransport er inkludert.

2.1 Sjø- og vegtransport

Tidligfase klimautredning for E39 [6]	**2015**
Utbyggingsprosjekt	E39 Kristiansand - Trondheim
Utført av:	Bergsdal, Håvard (Asplan Viak) Pettersen, Johan (Asplan Viak)
Forenklet livsløpsvurdering av utbygging og påfølgende drift av en ny ferjefri E39 mellom Kristiansand og Trondheim. Prosjektet er delt opp i 5 hovedstrekninger: Kristiansand – Stavanger, Stavanger – Bergen, Bergen – Ålesund, Ålesund – Molde, Molde – Trondheim.	
Systemgrenser:	Klimabudsjettet er basert på livsløpsmetodikk for beregning av utslipp fra produksjon av innsatsfaktorer (materialer og energi) for bygging, vedlikehold og drift av infrastrukturen, samt direkteutslipp fra de samme aktivitetene. Beregningsperiode 60 år. Alle delstrekninger antatt som komplett nye traséer. Trafikk på strekningen er ikke inkludert. Referansescenarioet er videreføring av dagensE39.
Funksjonell enhet:	Strekning Kristiansand – Trondheim i sin helhet med levetid på 60 år
Følsomhet/usikkerhet:	Det er knyttet relativ stor usikkerhet til fjordkrysningskonseptene, i og med at det ikke finnes empiriske data for denne typen mer ekstreme konstruksjoner. Klimagassutslipp knyttet til konvensjonell infrastruktur er beregnet med metodikken i klimamodulen i EFFEKT, som er basert på nøkkeltall for material- og energiforbruk. Det er dermed relativ høy usikkerhet knyttet til dette, og tidligere studier gir grunn til å tro at utslippsintensiteter for både veg i dagen, bruer og tunneler er underestimerte. Langs hele strekningen er det antatt komplett nye strekninger, mens det i realiteten vil være snakk om utvidelse av eksisterende veg på deler av strekningen, som gir lavere utslipp enn ny veg. Den største usikkerheten i analysen er imidlertid knyttet til fergedrift, på grunn av usikkerheter knyttet til kapasitetsutnyttelse og utvikling i teknologi og trafikkmengder. Her er en svært grov, og diskutabel antagelse lagt til grunn; både trafikkmengde og fergeteknologi er beholdt konstant gjennom analyseperioden på 60 år.
Beskrivelse av viktigste funn: Det ble funnet at ny E39 kommer best ut mht. klimagassutslipp. Byggefasen dominerer utslippene for ny E39, og fjordkrysningskonseptene er spesielt utslippsintensive. For videreføring av eksisterende E39 er det fergedrift som dominerer utslippene.	
Viktigste beregningsresultater: Resultatene indikerer at ny E39 gir i overkant av 50% av utslippene fra nullalternativet gjennom beregningsperioden på 60 år. For de enkelte delstrekningene er bildet mer nyansert, med store forskjeller mellom delstrekningene: • Kristiansand-Stavanger, utslipp fra ny E39 mer enn dobbelt så store som nullalternativet • Stavanger-Bergen, utslippene fra ny E39 rundt en tredjedel sammenlignet med nullalternativet • Bergen-Ålesund, rundt 80% av utslippene for ferjefri strekning relativt til nullalternativet • Ålesund-Molde, rundt 40% av utslippene for ferjefri strekning relativt til nullalternativet • Molde-Trondheim, rundt 80% av utslippene for ny utbygging i forhold til nullalternativet Den viktigste årsaken til forskjellene er knyttet til ferjesambandene og eventuelle nye fjordkryssingsløsninger for disse. For delstrekningen Kristiansand-Stavanger er det ingen fjordkryssinger og derfor heller ingen utslipp fra ferjetransport. En	

utbygging av ny 4-feltsveg gir dermed betydelig høyere utslipp enn nullalternativets videreføring av eksisterende veg. Som vist i Tabell 3 har delstrekningen mellom Stavanger og Bergen nesten 64% av antallet PBE-km (personbilekvivalent-km) for hele E39, og får dermed høye utslipp i nullalternativet. Men fjordkryssing for de samme sambandene gir også betydelige utslipp i alternativet med ny E39 som følge av store utslippsintensive konstruksjoner. Delstrekningen Ålesund-Molde har den tredje største andelen av ferjetrafikken målt i PBE-km, og dette gir også utslag i forholdet mellom nullalternativet og ny E39.

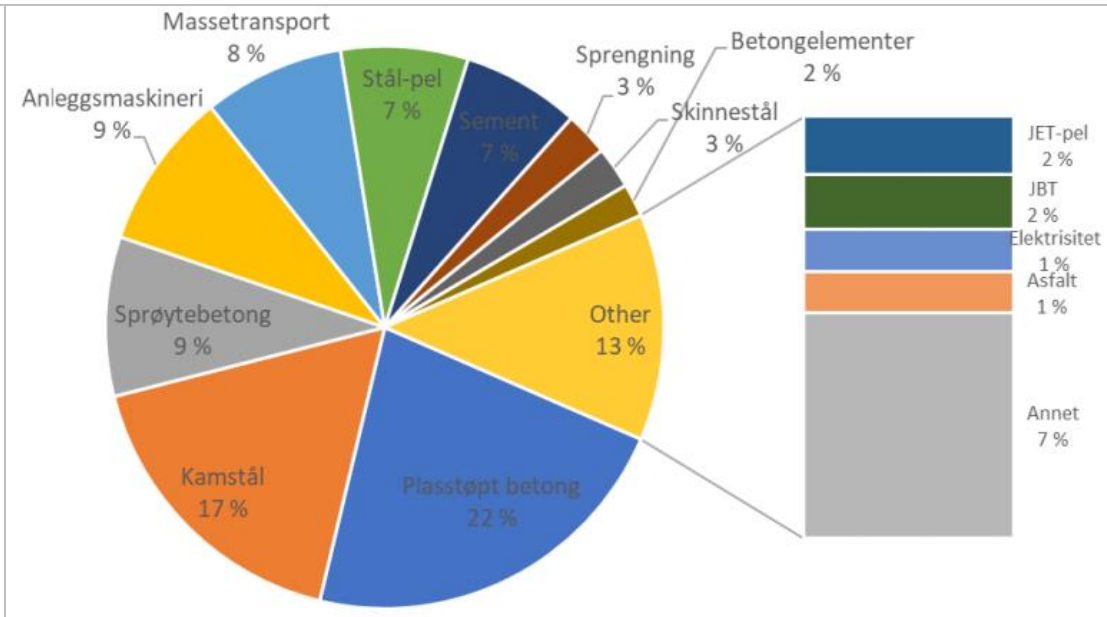
Sammenstilling (60 år)	Nullalternativ (eksisterende E39)			Ny E39		
	D&V, veg [t CO2e]	Ferjedrift [t CO2e]	*Totalt [t CO2e]*	Bygging [t CO2e]	D&V [t CO2e]	*Totalt [t CO2e]*
Kristiansand-Stavanger	0,37 mill	-	0,37 mill	0,56 mill	0,25 mill	0,81 mill
Stavanger-Bergen	0,50 mill	6,4 mill	6,9 mill	1,8 mill	0,32 mill	2,2 mill
Bergen-Ålesund	0,83 mill	1,5 mill	2,3 mill	1,6 mill	0,30 mill	1,9 mill
Ålesund-Molde	0,87 mill	1,8 mill	1,9 mill	0,59 mill	0,16 mill	0,74 mill
Molde-Trondheim	0,32 mill	0,35 mill	0,68 mill	0,36 mill	0,17 mill	0,53 mill
Totalt	**2,11 mill.**	**10,1 mill.**	**12,2 mill.**	**4,97 mill.**	**1,20 mill.**	**6,17 mill.**



Miljømessig sammenligning av skips- og vegtransport ved bruk av LCA [7]	**2011**
Analyse utført av	Brekke, Andreas Vold, Bjørn Ivar
Rapporten sammenligner transport på sjø med transport på veg for noen utvalgte scenarioer som ender i Oslo. Scenarioene tar for seg transportalternativer for produkter relatert til privatpersoner. Dette gjelder transport fra husmoduler fra Estland, kjøkkeninnredning fra Danmark, Tver fra Tyskland og containere fra Rotterdam.	
Metodikk:	Livsløpsanalyse av fire transportscenarioer for land- og sjøtransport. Miljøbelastningene som er undersøkt er utslipp av klimagasser, forsuring, og eutrofiering. Funksjonell enhet er miljøbelastning per tonn transportert last. Reelle transportdistanser for de ulike casene er brukt.
Systemgrenser:	Systemgrensen inkluderer transport fra produksjonssted til oppføringssted i Oslo. For alle scenarioer er det antatt bruk av lastebiler Euroklasse 5. • Produksjon av drivstoff • Produksjon av kjøretøy • Bruk av kjøretøy • Databasedata fra Ecoinvent v.2.1. For alle scenarioene utelates uttak og transport av råvarer og produksjon av varene som fraktes. Det er hovedsakelig brukt Ecoinvent-prosesser og -data i modelleringen av kjøretøy og fartøy. Forbruks- og utslippstall fra skipene er innhentet fra aktører hos aktuelle selskap nevnt i studien og ulike rapporter. I tillegg er det brukt utfyllende informasjon for å sammenligne innhentede tall med andre kilder.
Følsomhet/usikkerhet:	Det er gjennomført følsomhetsanalyse tilknyttet sentrale forutsetninger i studien. Blant annet er det sammenlignet ulike fyllingsgrader og hvordan de påvirker hvert scenario/case. I tillegg er det vurdert hvordan miljøpåvirkningen endrer seg hvis man benytter lastebiler i Euroklasse 3. Dette gir blant annet større forskjeller i nitrogen og svoveldioksid-utslipp.
Beskrivelse av viktigste funn:	I alle scenarioene kommer sjøtransport best mht. klimagassutslipp. Dette er uavhengig av fyllingsgrad for transportformene. Resultatene anses representative og skalerbare for andre transportdistanser i Norge.
Viktigste beregningsresultater:	Scenario A: Transport med skip: 75 kg CO_2e Transport med lastebil: 154 kg CO_2e Scenario B: Transport med skip: 34 kg CO_2e Transport med lastebil: 99 kg CO_2e Scenario C: Transport med skip: 104 kg CO_2e Transport med lastebil: 181 kg CO_2e Scenario D: Transport med skip: 10 kg CO_2e Transport med lastebil: 184 kg CO_2e

2.2 Veg- og jernbanetransport

Klimabudsjett fellesprosjektet E16 og Ringeriksbanen [27]	**2017-pågår**
Utbyggingsprosjekt:	
Analyse utført av:	Bane NOR og Statens Vegvesen
Analysen omfatter beregning av klimagassutslipp fra utbygging av E16 Skaret-Hønefoss og Ringeriksbanen mellom Sandvika-Hønefoss. Beregningen omfatter både utbygging av veg- og baneinfrastruktur og effekt av overført transport i driftsfasen. Prosjektet omfatter utbygging av 40 kilometer dobbeltsporet jernbane (Ringeriksbanen) fra Sandvika til Hønefoss, samt 15 kilometer ny firefelts motorveg E16 fra Høgkastet til Hønefoss. Ringeriksbanen planlegges med dobbeltspor med hastighet 250 km/t. E16 planlegges som firefelts motorveg med hastighet 110 km/t. Fellesprosjektet har som visjon å være Norges mest miljøtilpassede veg- og jernbaneutbygging, og har som miljøambisjon å arbeide for å redusere klimagassutslipp og energiforbruk fra anlegget med minst 40% sammenlignet med tradisjonelle løsninger. Resultatene fra klimabudsjettet kan blant annet brukes som grunnlag for å nå overordnet mål om 40% reduksjon av klimagassutslipp ved å identifisere hvilke forhold som forårsaker de største utslippsbidragene, og gi grunnlag for vurdering av alternative tekniske løsninger for reduserte utslipp, samt for å stille miljøkrav til materialer, produkter og anleggsgjennomføring. **Prosess for utslippsreduksjon:** Det har høsten 2018 vært utført 3 workshops med tema (1) konstruksjon og geoteknikk, (2) tunnel og tunnelinstallasjoner, (3) veg, LARK, VA og anleggsgjennomføring, hvor ulike fageksperter har skissert løsninger for utslippsreduksjon. Resultatet har vært rundt +- 200 innspill fra hver workshop på forslag til prosjektering, nye løsninger og alternativ bruk av materialer. Resultat fra workshops vil bli brukt videre for å finne tiltak som reduserer prosjektets totale klimagassutslipp.	
Metodikk:	Miljøpåvirkningene er beregnet basert på Bane NORs veileder for miljøbudsjett og med Statens Vegvesens program VegLCA v1.02. Grunnlaget er infrastruktur er mengdedata fra prosjektets kostnadsestimat. Jernbanetekniske elementer (skinner, sviller, jernbaneelektrisk og annet er manuelt lagt til resultater fra VegLCA.
Systemgrenser:	Utslippskoeffisienter for produksjon av norske gjennomsnittsmaterialer (materialer som er tilgjengelig på det norske markedet) er benyttet i beregningene, basert på data i VegLCA. Dette påvirker bl.a. produksjonsteknologi og miks av materialkvaliteter. For materialer som det er antatt er produsert i Norge er det benyttet norsk elektrisitetsmiks i produksjonen, for resterende materialer er det benyttet elektrisitetsmiks for det landet materialene er produsert. For betong er det antatt at all referansebetong (standardbetong) har utslipp tilsvarende bransjereferanse, iht. Norsk Betongforenings publikasjon 37 Lavkarbonbetong. For alt direkte elektrisitetsforbruk i både utbygging og drift og vedlikehold av infrastrukturen er det benyttet nordisk elektrisitetsmiks
Beskrivelse av viktigste funn:	Materialene som bidrar mest til utslipp av klimagasser er plasstøpt betong, sprøytebetong, armeringsstål, sement til sikring og massetransport/anleggsmaskiner, se figur.



Viktigste beregningsresultater:

Infrastruktur:

Resultatene viser at utbygging av ny veg- og baneinfrastruktur medfører følgende utslipp av klimagasser:

- Utbygging: 228 000 tonn CO2 ekv
- Materialproduksjon: 977 000 tonn CO2 ekv
- DV i 60 år 152 000 tonn CO2 ekv
- **Sum: 1 357 000 tonn CO2 ekv**

ca. 3,5 % høyere klimagassutslipp fra A-alternativet i forhold til B-alternativet. Samlede estimerte utslipp er henholdsvis 1,36 og 1,31 mill. tonn CO2-ekv.

Samlede resultater fra hele utbyggingen viser at de største utslippene er forbundet med materialproduksjon, som sammen med utslipp fra selve byggefasen utgjør hoveddelen av alle utslipp.

Transport:

Klimagassutslipp fra transport, utslipp over 60 år

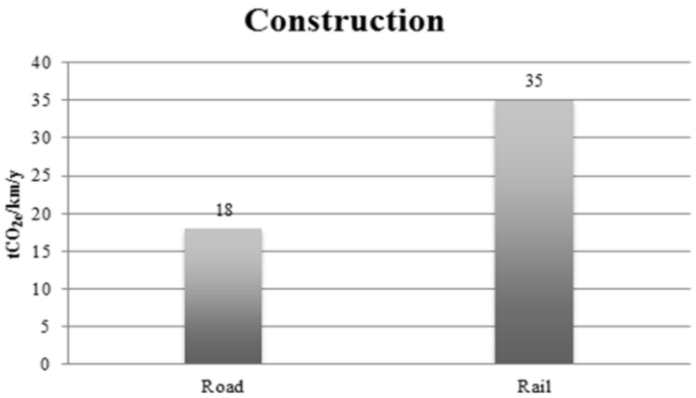
- Uten utbygging av FRE16 prosjektet: 198 135 100 tonn CO2 e
- Med utbygging av FRE16 prosjektet: 198 031 700 tonn CO2 e
- **Besparelse ved FRE16: 103 400 tonn CO2 e**

Den største forskjellen i utslipp er knyttet til reduserte utslipp fra busstransport. Mye av denne vil gå over til transport med Ringeriksbanen. Utslipp fra personbiler øker med utbygging av E16, spesielt for korte reiser. Utslipp fra transport med bane har en økning i samme størrelsesorden som utslipp fra korte bilreiser. Videre vil en reduksjon i flytransport ha relativt stor betydning. Det er i all hovedsak reduserte utslipp fra buss og fly som gir reduserte samlede transportutslipp ved utbygging av Ringeriksbanen og E16.

Samlet utslipp for infrastruktur og transport over 60 år

Resultatene ovenfor demonstrerer betydningen av de ulike utslippsberegningene; utbygging, drift og vedlikehold, samt endringer i transportutslipp som følge av en realisering av fellesprosjektet. Det fremgår klart at de største klimagassutslippene er forbundet med utbyggingsfasen og oppstår før infrastrukturen tas i bruk. Endringer i transportrelaterte utslipp bidrar til å redusere totalutslippene gjennom beregningsperioden på 60 år, men utgjør en mindre andel i forhold til utbyggingsfasen.

Det må investeres 1 357 000 tonn CO2 ekv i infrastruktur for å spare 103 400 tonn CO2 ekv i utslipp fra transport. Dette indikerer at det største potensialet for utslippsreduksjon er forbundet med infrastrukturen, og i hovedsak til utbyggingsfasen. Utbygging av Ringeriksbanen vil være en modernisering av en strekning på Bergensbanen, slik at fremtidige gevinster ved videre modernisering av Bergensbanen er avhengig av at Ringeriksbanen er ferdig utbygget. Klimagassutslipp ved utbygging av Ringeriksbanen bør derfor sees i en større sammenheng.

A Holistic Approach for Estimating Carbon Emissions of Road and Rail Transport Systems [8]	**2016**
Utbyggingsprosjekt:	**Utbygging av motorveg A2 og togstrekning Thessaloniki-Alexandroupolis i Hellas.**
Analyse utført av:	Dimoula, V., Kehagia, F., Tsakalidis, A.
Det er gjennomført en vugge-til-grav livsløpsanalyse som sammenligner klimagassutslipp av utbygging og bruk av en jernbane og motorveg i Hellas. Det er også gjennomført et litteraturstudie for livsløpsanalyser av europeiske infrastrukturprosjekt.	
Metodikk:	Analysen benytter litteraturdata for å beregne klimagassutslipp fra konstruksjon av infrastruktur og gjør egne beregninger for drivstofforbruket for tog og veg. Togene som er analysert går på fossilt drivstoff. Siden det er benyttet gjennomsnittsdata for konstruksjon og infrastruktur er det vanskelig å vite hvilke forutsetninger som ligger bak beregningene for selve prosjektet. Det gir imidlertid en grei oversikt over ulike internasjonale studier for klimagassutslipp fra veg og bane.
Systemgrenser:	• konstruksjon og vedlikehold av veg og bane • Drivstofforbruk for vegtransport og jernbanetransport. Det kommer ikke tydelig frem i studiet hvilken strømmiks som er forutsatt siden det benyttes gjennomsnittstall. Det virker som om største delen av utslippene kommer fra fossile brennstoff, og disse kan antas å være relativt like uavhengig av geografisk plassering.
Beskrivelse av viktigste funn:	Studiet kommer frem til at miljøpåvirkningen fra konstruksjon av veg er mindre enn miljøpåvirkningen fra konstruksjon av bane. Jernbanetransport er imidlertid mer energieffektivt både for last- og persontransport enn vegtransport og har dermed lavere klimagassutslipp per personkilometer og tonnkilometer.
Viktigste beregningsresultater:	 **Fig. 2.** Comparison of CO_{2e} emissions from road and rail construction (average value from literature review).

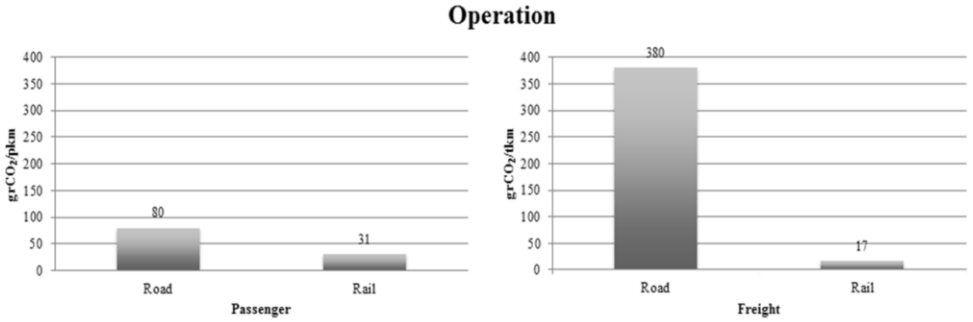
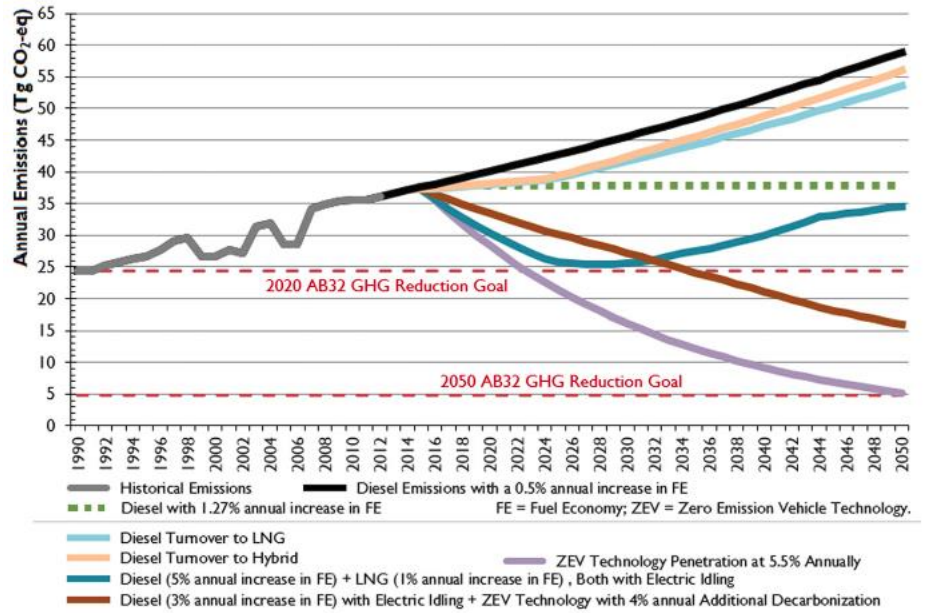


Fig. 3. Comparison of CO_{2e} emissions from road and rail operation in the axis Thessaloniki - Alexandroupolis (Greece).

2.3 Veg-, jernbane og sjøtransport

Goods Movement Life Cycle Assessment for Greenhouse Gas Reduction Goals [9]	**2015**
Artikkel:	Nahilik, J. M. et.al.
Livsløpsvurdering av alternativer for godstransport., Studien omfatter beregning av livsløpsutslipp for 1 tkm godstransport på bil, tog og båt. Dette er videre benyttet i utvikling av modell for godstransport inn og ut av, og innad i California. Modellen er benyttet for livsløpsanalyser av ulike scenarier for transportform(er). Modellen, som er regionspesifikk, er utviklet for å gi beslutningsstøtte vedrørende godstransport i regionen. Dette innebærer for eksempel at ulike scenarier for godstransport vil omfatte en eller flere transportformer, avhengig av stedsspesifikk geografi og infrastruktur.	
Systemgrenser:	Livsløpsutslippene omfatter transportmiddel (produksjon, drift og vedlikehold), drivstoff (utvinning, raffinering og distribusjon), infrastruktur (bygging og drift). Studien omfatter 2 alternativer for trailer (tung, 16 tonn, og medium, 40 tonn), ett for tog (dieseldrevet) og 2 for båt (container- og tankskip, begge tungoljedrevet). Tabellen under viser datakilder benyttet for inventarene: *Life cycle stage* / *Trucks* / *Rail* / *OGV* Vehicle operation/propulsion: EMFAC2011 / CARB (2006) / EMFAC2011 Vehicle manufacturing and maintenance: SimaPro and ecoinvent lorry processes / SimaPro and ecoinvent locomotive and goods wagon processes / SimaPro and ecoinvent transoceanic freight ship processes Infrastructure: PaLATE and freight truck routes / SimaPro and ecoinvent railway track processes / PaLATE for port asphalt and concrete; port equipment and facilities operation profiles Energy production: CA-GREET / CA-GREET / CA-GREET Miljøpåvirkningskategorier inkludert: akkumulert energi og utslipp til luft; CO_2-ekv, CO, NMVOC, NOx, SO_2, PM10 og PM2,5
Følsomhet/usikkerhet:	Klimagassutslippene for samlet lastebiltransport i California er projisert frem til 2010, med ulike scenarier for teknologiutvikling. Figuren nedenfor viser resultatene av denne følsomhetsanalysen, og det er tydelig at dette er en svært kritisk parameter.

<table>
<tr><td></td><td>


Det er ikke foretatt lignende følsomhetsanalyser for båt- og togtransport. For norske forhold vill det vært naturlig å inkludere scenario med el-drevne tog.
</td></tr>
<tr><td>**Funksjonell enhet:**</td><td>1 tkm (gjelder livsløpsutslipp for de ulike transportformene, og ikke scenario-beregningene for California totalt)

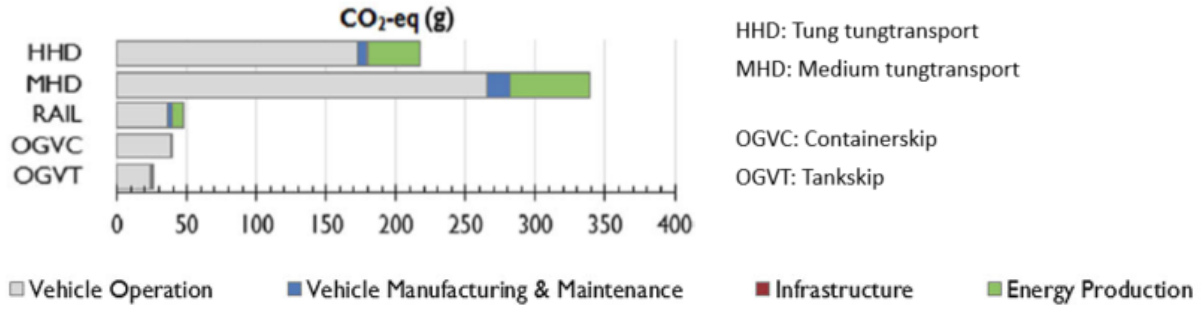
<u>Levetider</u>

Tung lastebil: 1,3E06 km, Medium lastebil: 8,6 E05 km, tog: 8,0E06 km, containerskip: 1,2E11 km og tankskip: 3,8E11 km</td></tr>
<tr><td>**Viktigste funn (klimapåvirkning):**</td><td>Drift dominerer klimagassutslippene for alle transportformene. Drivstoffproduksjon bidrar i vesentlig grad for lastebil- og togtransport (17 og 15 %).</td></tr>
<tr><td colspan="2">**Viktigste beregningsresultater:**

<u>Vegtransport</u> Tung tungtransport: 220 g CO_2/tkm, medium tungtransport: 340 CO_2/tkm

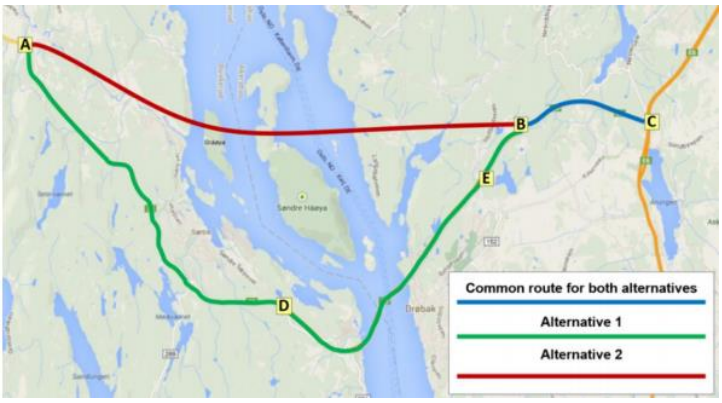
<u>Togtransport</u> 50 g CO_2/tkm

<u>Skipstransport</u> Containerskip: 40 g CO_2/tkm, tankskip: 25 g CO_2/tkm

 
</td></tr>
</table>

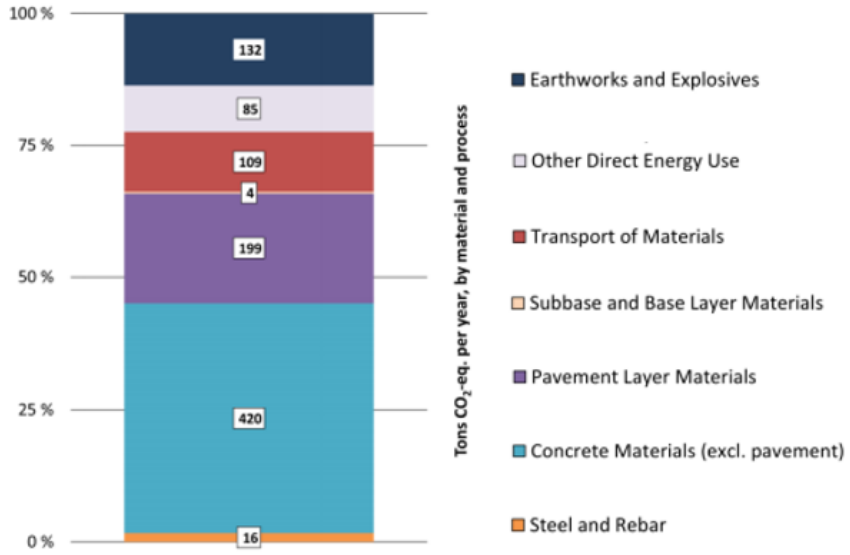
3 ANALYSER AV VEG

3.1 Veginfrastruktur

Quantifying energy demand and greenhouse gas emissions of road infrastructure projects: An LCA case study of the Oslo fjord crossing in Norway [10]	**2016**
Utbyggingsprosjekt	Krysning av Oslofjorden
Analyse utført av:	O'Born, R. et.al.
Oslotunnelen ble bygd som et hastetiltak og åpnet i 2000, med plan om videre utbygging for å møte fremtidig økning i trafikkmengde. Denne studien omfatter LCA for to alternative løsninger for dette.	
Systemgrenser:	Materialproduksjon, bygging, drift og vedlikehold av infrastrukturen, samt trafikk på infrastrukturen gjennom en levetid på 40 år. Alternativ 1 (A-B-C): utvidelse av eksisterende løsning, dvs. breddeutvidelse av eksisterende veger og en ny undersjøisk tunnel parallelt med den eksisterende (total lengde 24,4 km) Alternativ 2 (A-D-E-B-C): bygging av ny infrastruktur på alternativ trasé (total lengde 17,9 km)  Analysen omfatter klimagassutslipp og akkumulert energi. Inventar er i stor grad basert på LICCER-modellen [11].Inventar er i stor grad basert på LICCER-modellen [11].
Følsomhet/usikkerhet:	Trafikk på strekningene gjennom levetiden er beregnet ut fra dagens situasjon, og det er ikke lagt til grunn noen fremtidig endring i teknologi. Dette innebærer en (potensielt stor) overestimering av trafikkutslippene.
Funksjonell enhet:	Infrastruktur nødvendig for å imøtekomme trafikkbehov på strekningen A til B over Oslofjorden. Levetid: 40 år.
Beskrivelse av viktigste funn:	Utbygging, drift og vedlikehold av infrastruktur i Alternativ 2 medfører langt høyere klimagassutslipp enn Alternativ 1, men gjennom levetiden er dette et langt bedre når trafikkutslipp inkluderes, på grunn av langt kortere strekning
Viktigste beregningsresultater: Infrastrukturen for alternativ 1 gir et utslipp på 966 tonn CO_2-ekv per år for levetiden, mens årlige utslipp fra trafikk er 51 250 tonn CO_2-ekv. for alternativ 2 gir infrastrukturen 2,4 ganger høyere utslipp sammenlignet med Alternativ 1; 2 320 tonn CO_2-ekv. Mens trafikkutslippene er lavere; 27 793 tonn CO_2-ekv. For infrastrukturen er det materialproduksjon og drift og vedlikehold som bidrar mest til utslippene.	

Life cycle GHG emissions from infrastructure phase and traffic	(unit)	Alt 1	Alt 2
Production	ton CO_2-e/year	518	1 825
Construction	ton CO_2-e/year	136	183
Operation	ton CO_2-e/year	286	235
End-of-Life	ton CO_2-e/year	25	77
Infrastructure (total)	*ton CO_2-e/year*	*966*	*2 320*
Light vehicles gasoline	ton CO_2-e/year	12 289	6 663
Light vehicles diesel	ton CO_2-e/year	11 934	6 474
Light vehicles electricity	ton CO_2-e/year	391	212
Heavy vehicles diesel	ton CO_2-e/year	26 635	14 444
Traffic (total)	*ton CO_2-e/year*	*51 250*	*27 793*
Net total	**ton CO_2-e/year**	**52 216**	**30 113**

Figuren nedenfor viser klimagassutslipp for infrastrukturen, fordelt på materialer og prosesser.



Towards greener road infrastructure: Life cycle assessment of case studies and recommendations for impact reductions and planning of road infrastructure [12]	**2014**
Utbyggingsprosjekt:	2 vegprosjekter, 33 bruer, 10 tunneler og 9 veg-strekk, 5 alternative fjordkrysninger
Utført av:	Johanne Hammervold

PhD ved NTNU, program for Industriell Økologi.

Forskningen omfattet en detaljert livsløpsvurdering av 2 vegprosjekter. Det ble også gjennomført livsløpsvurderinger av 33 bruer, 10 tunneler og 9 veg-strekk, med relativt grovt datagrunnlag. Disse ble i tillegg analysert ved bruk av klimamodulen i EFFEKT [13]. Arbeidet omfattet også omfattende bidrag til utvikling av et livsløpsverktøy for bruer (BridgeLCA, også kalt ETSI-bru), utviklet som del av et Nordisk prosjekt[3] i samarbeid med blant andre Statens vegvesen. Det ble også gjennomført en sammenligning av 5 alternativer for fjordkrysning, der trafikken på infrastrukturen inkludert.

Systemgrenser:	Infrastruktur, hele livsløpet, 40 års levetid. Trafikk på infrastrukturen ikke inkludert. 18 påvirkningskategorier inkludert (ReCiPe 2008, midpoint [14]). For forbruk bygging, drift og materialproduksjon i Norge er det benyttet norsk el-miks.
Følsomhet/usikkerheter:	Datagrunnlag for vegprosjektene basert på tilbudsdokumenter og ikke faktisk forbrukte mengder i et ferdig bygget prosjekt. Inventar for vegelementene er på et grovt nivå. Det er usikkerhet knyttet til antagelser for energibruk i byggefasen i begge disse analysene.
Funksjonell enhet:	Effektivt overflateareal [m^2] (effektiv vegbredde = kjørebredde)

Viktigste funn (klimapåvirkning):

Vegprosjektene

Ett nytt 4-felts vegprosjekt og ett prosjekt med utvidelse av eksisterende veg fra 2 til 4 felt. Inventar er basert på tilbudsdokumenter. Totale klimagassutslipp per m^2 er henholdsvis 271 og 164 kg CO_2 for prosjektene. Asfalt, betong, stål (armering og rekkverk) og massetransport gir mest bidrag til klimagassutslippene gjennom livsløpet. Gjennom livsløpet er det materialproduksjon som dominerer (60 %), mens bygging og drift og vedlikehold utgjør 20 % hver.

Vegelementene

Disse analysene er basert på et langt grovere datagrunnlag. Tabellen viser resultater per effektivt overflateareal per vegelement. Det er skilt på tre-, betong- og stålbruer.

	Antall case	**Spenn i klimagassutslipp**	**Gjennomsnittlig klimagassutslipp**	**Viktigste bidragsytere til utslipp**
Veg i dagen	9	30 – 100 kg CO_2/m^2	64 kg CO_2/m^2	Asfalt (spesielt i vedlikehold), asfaltert pukk, sprengning, massetransport.
Betongbruer	19	510 - 1 700 kg CO_2/m^2	931 kg CO_2/m^2	Betong, armering, konstruksjonsstål
Stålbruer	9	720 – 1 210 kg CO_2/m^2	955 kg CO_2/m^2	Konstruksjonsstål, betong, armering
Trebruer	5	415 – 1 470 kg CO_2/m^2	787 kg CO_2/m^2	Betong, konstruksjonsstål, armering, limtre
Tunneler	10	208 – 570 kg CO_2/m^2	337 kg CO_2/m^2	Betong, armering, sprengning, asfalt

[3] ETSI: http://etsi.aalto.fi/

Rogfast Pluss, Tiltak for energi- og miljøoptimalisering i Rogfast	**2015 - pågående**
Utbyggingsprosjekt	E39 Rogfast; tunnel fra Harestad til Laupland
Analyse utført av:	Norconsult

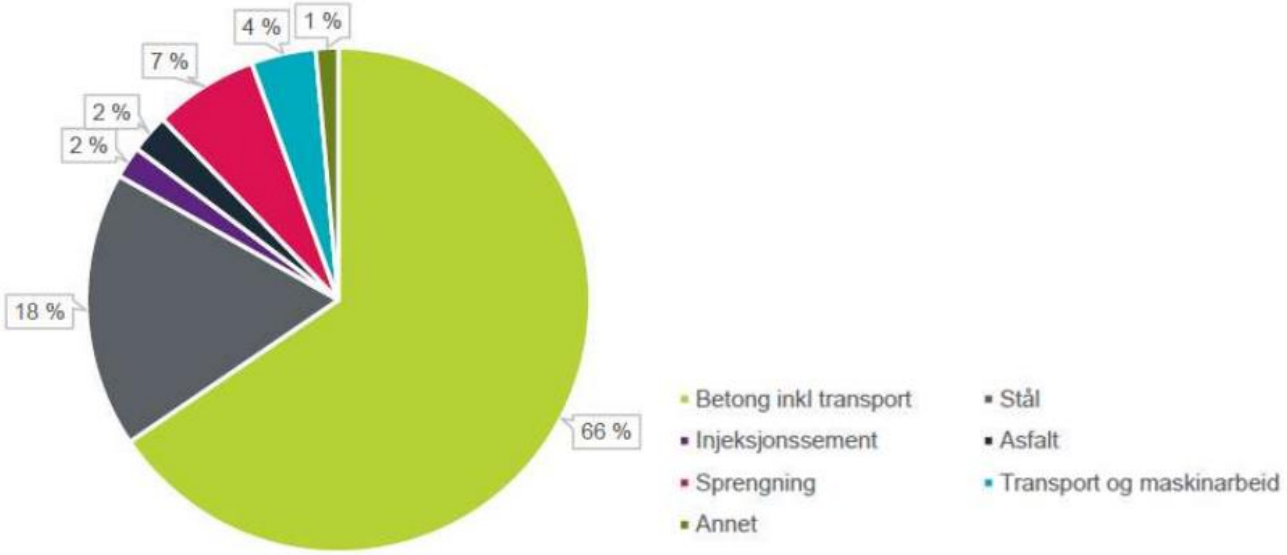
Prosjektet Rogfast skal bli et ledende samferdselsprosjekt innenfor optimal energiutnyttelse, utnyttelse av materialer og innhøsting av mulige energikilder der dette er mulig for på den måten bli så klimanøytralt som mulig. Forprosjektet «Rogfast Pluss» er igangsatt for å oppnå denne visjonen. Forprosjektet har som mål å finne prosjekteringsløsninger og andre typer tiltak som kan bidra til at Rogfast i sin helhet fra prosjektering til drift, oppnår lavest mulig CO2 fotavtrykk, optimal energiutnyttelse, redusert materialforbruk og innhøsting av ren energi

Utredningen er basert på klimabudsjett for Rogfast.

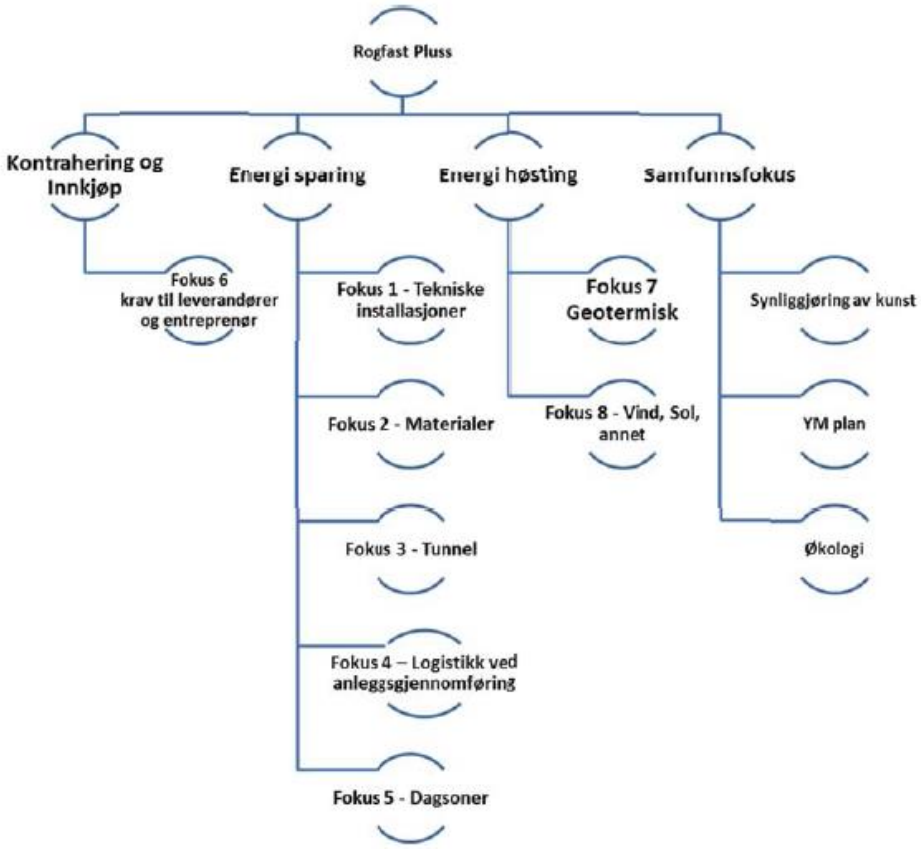
Systemgrenser:	Rogfastprosjektet defineres som tunellanlegget med dagsoner og tilførselsveger
Funksjonell enhet:	Rogfast-prosjektet i sin helhet med levetid 100 år

Viktigste funn:

Klimabudsjettet for Rogfast viste et totalt utslipp på 500 000 tonn CO_2-ekv. Dette utgjør baseline man måler besparelser mot [15]. Figuren nedenfor viser utslipp fordelt på materialer og byggeprosesser. Klimabudsjettet for Rogfast viste et totalt utslipp på 500 000 tonn CO_2-ekv. Dette utgjør baseline man måler besparelser mot [15]. Figuren nedenfor viser utslipp fordelt på materialer og byggeprosesser.



Rogfast Pluss utvikler seg langs fire dimensjoner; kontrahering og innkjøp, energisparing, energihøsting, og samfunnsfokus. Fokusområder innenfor disse er illustrert i figuren under.



I forprosjektet ble total 471 ideer om mulige Pluss-tiltak produsert og evaluert. Etter evaluering er 55 Pluss-tiltak akseptert. Disse omfatter løsninger for optimal materialbruk, lavere energibehov i drift og flere måter å høste fra tilgjengelige energikilder.

Utarbeidede kontraktskrav for prosjektet er beskrevet i en presentasjon[4] av Merete Landsgård (Ytre miljø-ansvarlig for prosjektet), fra mai 2018:

Krav for resirkuleringsgrad i stål:

- Armeringsstål, kamstål og armeringsnett: 90 %
- Bergbolter: 70 %
- Kabelstiger: 90 %
- Festebolter bak hvelv: 70 %
- Festebolter på trafikksiden: 90 %
- Stålrekkverk og armering i betongrekkverk: 90 %
- Konstruksjonsstål: 70 %
- Krav til lavkarbon-betong klasse B i alle konstruksjoner. Vurderer klasse A i noen elementer (fortsatt testing)

[4] https://www.klimapartnere.no/rogaland/wp-content/uploads/sites/5/2018/05/05-Statens-vegvesen.pdf?x47448

3.2 Transportmidler og transportarbeid på veg

Comparative Life Cycle Analysis of Conventional and Hybrid Heavy-Duty Trucks [16]	**2018**
Artikkel:	Rupp, M. et.al
LCA for sammenligning av hybrid-vogntog og konvensjonelle tunge vogntog (totalvekt 40 tonn) for langdistansetransport. Formål med studien; beregne utslippsbesparelse ved bruk av hybrid-vogntog og finne kjøredistansen der høyere utslipp knyttet til produksjon av hybrid-vogntoget kompenseres ved besparet utslipp i bruksfasen (Break-even).	
Systemgrenser:	Produksjon, drift og avhending av vogntog. Bruksfasen er delt inn i well-to-tank og tank-to-wheel. I studiet er det lagt til grunn en motorveg i kupert terreng, men mange oppbremsings- og akselerasjons-sykluser. Beregning av drivstoff-/elforbruk er beregnet ved en såkalt baklengs simulering (gjennomført i MATLAB/Simulink); dvs kjøresyklusen modellert for valgt kupert strekning ligger til grunn for beregningene.
Funksjonell enhet:	1 tkm (levetid på lastebiler. 8 år/1 040 000 km)
Følsomhet/usikkerheter:	Kupert terreng innebærer en fordel for hybrid-vogntoget. For avstander med jevn hastighet og lav gradient vil effekt-fordelene ved hybrid-motor bli lavere. Det ble gjennomført en følsomhetsanalyse ved å variere en rekke parametere, som bruk av biodiesel i stedet for vanlig diesel, utskiftning i batteri mm. Det ble funnet at break-even ville nås i løpet av første leveår for alle parameter-variasjoner som ble undersøkt.

Viktigste funn:

Produksjon av hybrid-vogntog forårsaker noe høyere klimagassutslipp enn produksjon av konvensjonelt vogntog, men disse utslippene spares inn i løpet av bruksfasen

Viktigste beregningsresultater:

Det ble funnet at drivstofforbruket hos hybrid-vogntoget er 6,2 % lavere enn for konvensjonelt vogntog, og at besparelsen av klimagassutslipp for 1 tkm transport over livsløpet er på 4,34 gram CO_2-ekv. Figuren nedenfor viser klimagassutslipp for hybrid-vogntog sammenlignet med konvensjonelt, per livsløpsfase.

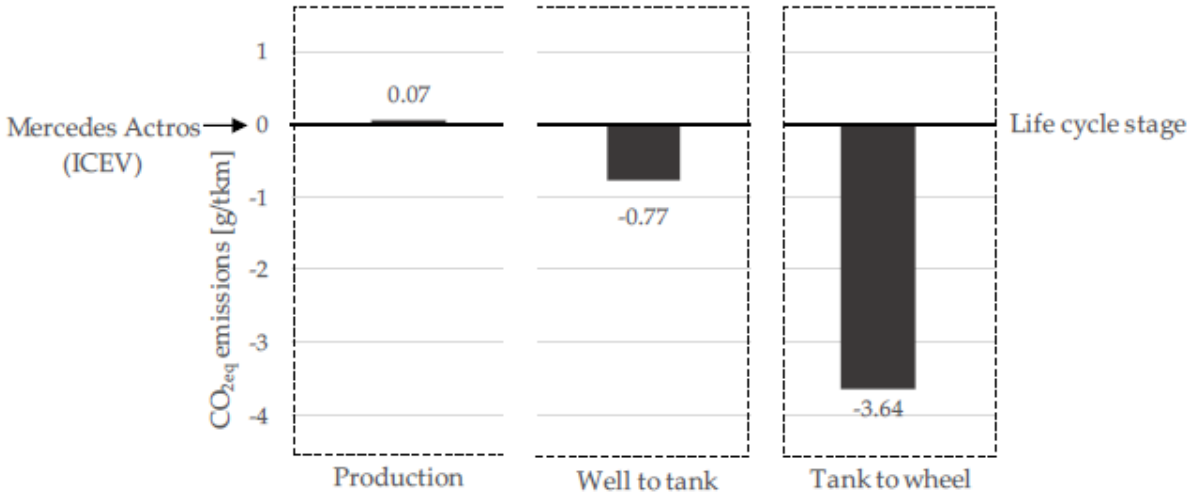
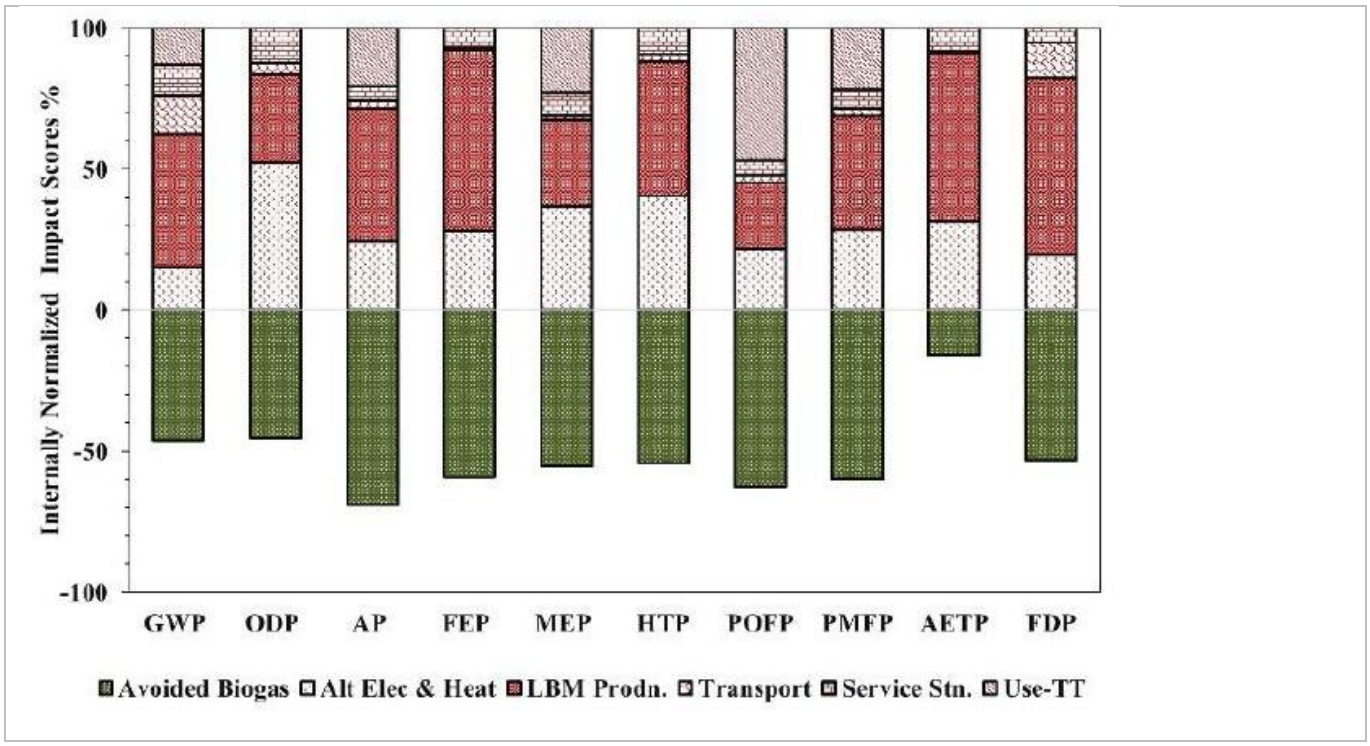


Figure 5. CO_{2eq} emission reduction potential of hybrid electric vehicle (HEV) compared to internal combustion engine vehicle (ICEV).

En break-even-analyse viser at ved 15 800 km er de høyere utslippene knyttet til produksjonen av vogntogene hentet inn.

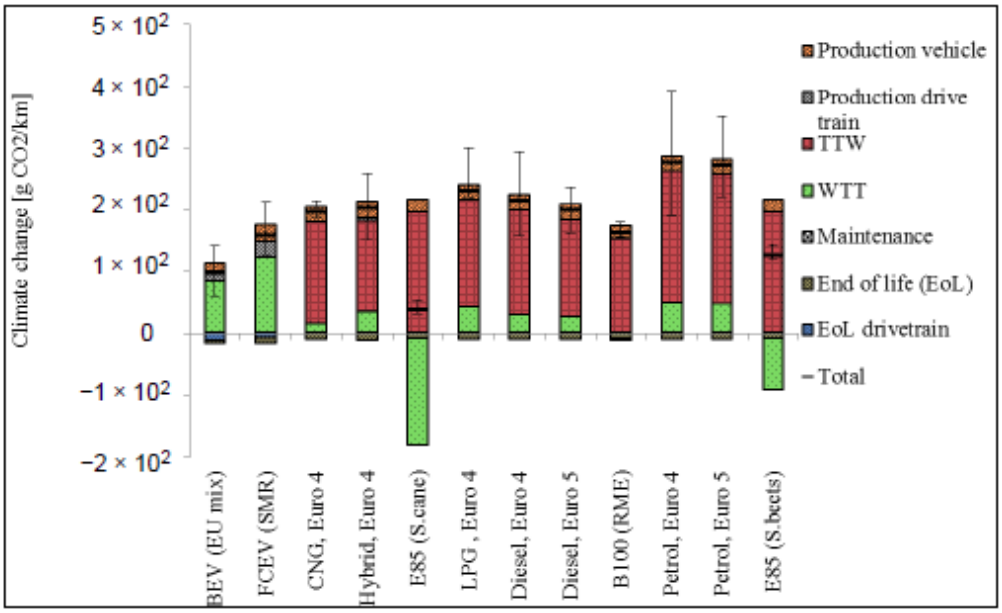
Use of Liquefied Biomethane (LBM) as a Vehicle Fuel for Road Freight Transportation: A Case Study Evaluating Environmental Performance of Using LBM for Operation of Tractor Trailers [17]	**2018**
Artikkel	Shanmugam, K. et.al.
Sammenligning av trailerdrift med flytende biogass (LBM) og diesel ved bruk av LCA	
Systemgrenser:	Livsløpsvurderingen omfatter råvareuttak, drivstoffproduksjon, transport og lagring av drivstoff, og fyllestasjon. Biogass er produsert ved anaerob nedbrytning på et renseanlegg for avløpsvann i Umeå, for så å raffineres og komprimeres til flytende form (biogass er et bi-produkt i nedbrytningsprosessen). Renseanlegget benytter i utgangspunktet biogass (levert fra ekstern leverandør) for produksjon av energi og varme. I denne studien antas denne biogassen erstattet med elektrisitet fra nettet og forbrenning av pellets. Miljøgevinsten ved dette er tilskrevet livsløpet til flytende biogass som drivstoff. 10 påvirkningskategorier (ReCiPe Midpoint)
Funksjonell enhet:	16 millioner tonnkm transportarbeid med lastebil (100 000 km gjennom levetid på 10 år, med gjennomsnittlig last på 16 tonn)
Følsomhet/usikkerheter:	Inventaret for produksjon av biogass er basert på ett spesifikt anlegg slik at overføringsverdien av resultatene er relativt lav. Fordelen er at inventar og antagelser er gitt, noe som legger til rette for tilpasninger til andre anlegg. Det er foretatt følsomhetsanalyse for produksjon av energi og varme fra britisk el-miks og naturgass.
Viktigste funn:	Transportarbeid med LBM som drivstoff gir lavest påvirkning i 7 av de 10 påvirkningskategoriene. Sammenlignet med transportarbeid med dieseldrevne trailere gir flytende biogass en besparelse på 87 % i klimagassutslipp gjennom livsløpet.
Viktigste beregningsresultater: Livsløpsfasenes bidrag til totale klimagassutslipp for alternativet med LBM: Rå biogass: 0 (dannes ved renseanlegget), Produksjon av LBM: 47 %, Bruk av elektrisitet og forbrenning av pellets: 15 %, transport og lagring av LBM: 25 %, transportarbeid: 13 % (utslipp fra forbrenning av LBM er antatt biogent, dvs 0 klimagassutslipp). Besparelse ved å skifte ut biogassen på renseanlegget er rundt 47 %. Resultatene for alle påvirkningskategorier er gitt i figur (ingen absolutte tall på resultater er gitt i artikkelen):	


Internally Normalized Impact Scores %
100
50
0
-50
-100
GWP
ODP
AP
FEP
MEP
HTP
POFP
PMFP
AETP
FDP
Avoided Biogas
Alt Elec & Heat
LBM Prodn.
Transport
Service Stn.
Use-TT

A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels [18]	**2014**
Artikkel	**Messagie, M. et.al.**
Studien omfatter livsløpsvurdering av ulike kjøretøyteknologier og drivstoff. Drivstofftyper inkludert i studiet: bensin (Euro 4 og 5), LPG (Euro 4), Diesel (Euro 4 og 5), biodiesel (basert på hhv sukkerrør og bete), raposolje, hybrid (Euro 4), komprimert naturgass (CNG) (Euro 4), Elbil m/batteri, elbil m/brenselscelle (hydrogen).	
Systemgrenser:	Alle 4 livsløpsfaser: Well-to-tank (produksjon og distribusjon av drivstoff og elektrisitet), Tank-to-wheel (direkteutslipp og slitasje på veg, dekk og bremser), produksjon av kjøretøy (produksjon av råmeterialer, komponenter og montering), produksjon av drivverk (lithium-batterier, NiHM-batterier, brenselsceller, hydrogentank, el-motorer og kontrollsystemer) og sluttbehandling (resirkulering/forbrenning/deponering). Påvirkningskategorier: klima, luftveger (partikler mm), forsuring, forbruk av mineralressurser.
Funksjonell enhet:	1 km kjøring i Europa (basert på antagelser: 230 000 km i 13,7 år)
Følsomhet/usikkerhet	Det er gjennomført følsomhetsanalyse for type elektrisitetsproduksjon for forbruk i elbilene (vind-, vann-, fossil- og kjernekraft og EU-miks. Fossil omfatter olje og gass). Det er også gjennomført Monte Carlo-simuleringer for å ta i betraktning variasjoner i vekten av kjøretøy, drivstofforbruk og direkte utslipp. For produksjon av biodiesel er CO2-opptak gjennom dyrking av sukkerrør og bete inkludert (negative utslipp). Dette er et omdiskutert tema. Resirkulering av komponenter og materialer ved endt levetid er inkludert ved besparelser i utslipp, dette er også en omdiskutert antagelse.
Beskrivelse av viktigste funn (klimapåvirkning):	Bensinbiler har høyest påvirkning på klima, tett etterfulgt av dieselbiler (Monte Carlo-analysen viser for øvrig en viss overlapp her). Elbiler med batteriteknologi gir lavest utslipp, med unntak av biodiesel produsert fra sukkerrør på grunn av CO2-opptak i dyrkingsfasen. Produksjonsteknologi for elektrisitet er en kritisk faktor, ved produksjon fra gass og olje gir elbil utslipp på høyde med dieselbiler.

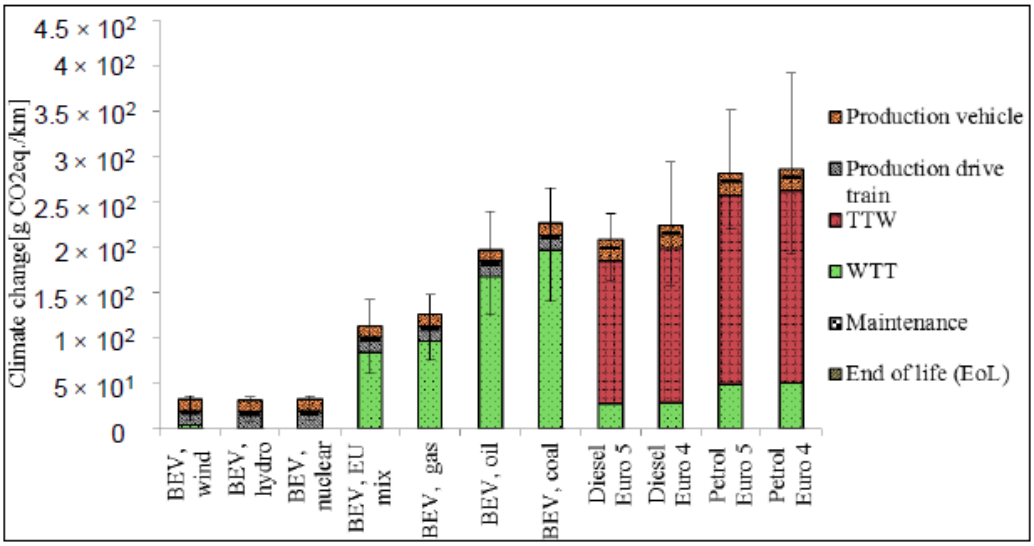
Viktigste beregningsresultater:

Figuren nedenfor viser resultatene for klima, inkludert spennet i resultater som følge av Monte Carlo-simuleringene.



(TTW: tank-to-wheel, WTT: well-to-tank)

Figuren nedenfor viser resultater for elbiler med batteriteknologi, med de ulike antagelsene for elektrisitetsproduksjon sammenlignet med diesel- og bensinbiler



Artikkelen gir ikke kvantitative resultater utover figurene

Oppdatering av koeffisienter 2017 for drivstofforbruk, for inkludering i EFFEKT [19]	**2017**
Analyse utført av	Johanne Hammervold (Asplan Viak) for SINTEF
I 2017 ble koeffisienter til klimamodulen i EFFEKT (Statens Vegvesens programvare for kost/nytte-beregninger for vegprosjekter) oppdatert [19]. Oppdateringen omfattet koeffisienter for klimagassutslipp og akkumulert energi for ulike transportmidler og drivstoff[5]. Disse planlegges implementert i EFFEKT 6.70 (høst 2018) eller 6.71 (vår 2019). Hydrogen som drivstoff skiller seg noe ut fra de andre, da produksjonsmetode for denne har stort utslag i klimagassutslippene. Det er derfor inkludert 4 produksjonsmetoder for hydrogen: 1) elektrolyse med elektrisitet fra strømnettet, 2) elektrolyse med strøm fra vindkraft, 3) dampreformasjon basert på naturgass, 4) dampreformasjon basert på naturgass med karbonfangst.	
Systemgrenser:	Produksjon og drift av (dvs slitasje på) transportmidler og transportinfrastruktur, samt produksjon av drivstoff
Følsomhet/usikkerhet:	Klimagassutslipp ved produksjon av hydrogen med dampreformasjon er basert på enkeltstudier
Funksjonell enhet:	Én enhet drivstoff forbrukt
Viktigste funn/resultater: For alle drivstoff er det utarbeidet koeffisienter med både norsk og nordisk elektrisitet lagt til grunn. Koeffisientene for klimagassutslipp er gitt i tabell under. Merk at koeffisientene gjelder *per enhet* drivstoff forbruk, og er dermed ikke direkte sammenlignbare. De første kolonnene angir totale livsløpsutslipp. Direkte utslipp og slitasje på kjøretøy og veg er skilt ut i egne kolonner.	

[5] Oppdateringen er foreløpig ikke inkludert i programvaren, da siste oppdatering av denne var i 2015 (EFFEKT 6.6)

KLIMAGASSUTSLIPP					
		Nordisk el	Norsk el	Direkte utslipp	Slitasje kjøretøy og veg
Kjøretøy og drivstoff	**Enhet**	***kg CO2e***	***kg CO2e***	***kg CO2e***	***kg CO2e***
Hydrogen, personbil (elektrolyse, strømnett)	*kg*	10,20	6,05	0,00	4,26
Hydrogen, personbil (elektrolyse, vindkraft)	*kg*	5,04	5,04	0,00	4,26
Hydrogen, personbil (dampref., naturgass)	*kg*	16,26	16,26	0,00	4,26
Hydrogen, personbil (dampref. m/karbonfangst, naturgass)	*kg*	4,76	4,76	0,00	4,26
Elbil, personbil	*kWh*	0,31	0,25	0,00	0,21
Bensin, personbil	*l*	4,00	4,00	2,34	0,93
Diesel, personbil	*l*	4,11	4,11	2,67	0,95
Biogass, personbil	*kg*	3,32	3,32	0,00	2,96
Diesel, buss	*l*	3,43	3,43	2,67	0,24
Biogass, buss	*kg*	2,70	2,70	2,52	0,18
Biodiesel, buss	*l*	2,30	2,30	0,13	0,23
Diesel, lastebil	*l*	3,24	3,24	2,67	0,23
Biodiesel, lastebil	*l*	2,51	2,51	1,89	0,23
Biogass, lastebil	*kg*	2,97	2,97	2,52	0,18
Diesel, anleggsmaskin	*l*	3,17	3,17	2,67	0,00
Elektrisitet	*kWh*	0,10	0,03	-	-
MGO, ferge	*kg*	3,27	3,27	3,20	-
LNG, ferge	*kg*	1,13	1,13	1,10	-

Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles [20]	**2012**
Artikkel	Hawkins et.al
Sammenligning av elbiler og konvensjonelle biler ved bruk av LCA. Et detaljert og oversiktlig inventar for elbiler og konvensjonelle biler ligger til grunn for analysen, og dette er gjengitt i tilleggsmateriale tilgjengelig online. Inventar for et generisk kjøretøy ble utviklet, ekskludert komponenter spesifikke for biler med henholdsvis forbrennings- og elektrisk motor, for å sikre sammenlignbarhet.	
Systemgrenser:	Produksjon, bruk og sluttbehandling av kjøretøy, samt oppstrøms-prosesser for alle relevante innsatsfaktorer. To batteriteknologier ble vurdert; $LiFePO_4$ og LiNCM. Komponenter som er inkludert i de casene er gitt i tabeller under. Komponentene består av rundt 140 sub-komponenter.

Category	*Component*	*ICEV*	*EV, $LiFePO_4$*	*EV, LiNCM*
Glider	Body and doors	X	X	X
	Brakes	X	X	X
	Chassis	X	X	X
	Final assembly	X	X	X
	Interior and exterior	X	X	X
	Tires and wheels	X	X	X

Category	*Component*	*ICEV*	*EV, $LiFePO_4$*	*EV, LiNCM*
ICEV	Engine	X		
	Fluids	X		
	Other powertrain	X		
	Transmission	X		
	PbA batteries	X		
EV	Motor, control, and inverter		X	X
	Fluids		X	X
	Differential		X	X
	$LiFePO_4$ battery		X	
	LiNCM battery			X

(ICEV: Internal combustion engine vehicle)

Ecoinvent v2.2 ligger til grunn for inventarene fra sub-komponentene, mens for komponentene gitt i tabellen ble det samlet inn gjennomsnittlige data publisert av industrien (produktspesifikke data ble ikke benyttet på grunn av ønsket om transparens).

Miljøpåvirkningskategorier som er inkludert: klima, forsuring, partikkelutslipp, fotokjemisk smog, toksisitet, eutrofiering og utarming av mineral- og fossilressurser,

Følsomhet/usikkerhet:	For elektrisitetsproduksjon er det benyttet 3 alternativer; europeisk miks, og produksjon fra naturgass og strøm. En renere el-miks ville gitt en betydelig reduksjon i livsløpsutslippet for el-bilene i og med at driftsfasen utgjør over halvparten av totale utslipp for disse. Levetid er en viktig faktor ved livsløpsanalyser av el-biler, i og med at produksjonsfasen har relativt stor betydning sammenlignet med konvensjonelle biler.
Funksjonell enhet:	1 km i Europa (levetid kjøretøy: 150 000 km)
Beskrivelse av viktigste funn:	Av elbilene er det den med LiNCM-batteri som gir lavest klimagassutslipp

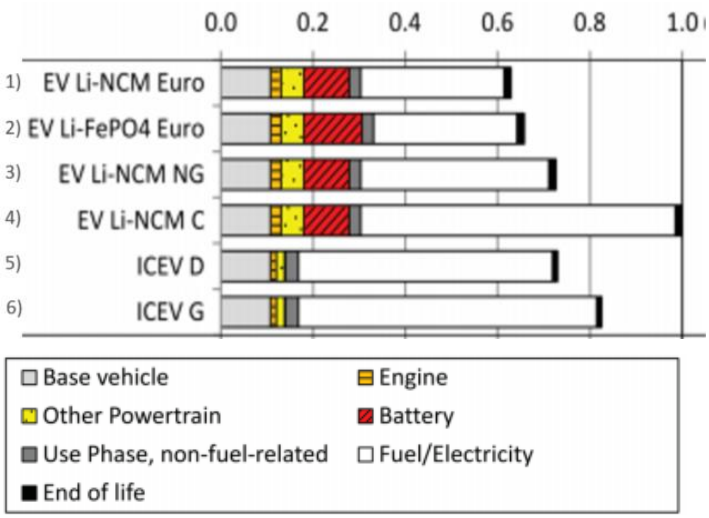
Viktigste beregningsresultater:

Transportteknologier vurdert: 1) og 2): Elbiler med hhv LiNCM- og $LiFePO_4$-batterier drevet av europeisk elektrisitetsmiks, 3) og 4): elbiler med LiNCM-batteri drevet av elektrisitet produsert fra hhv naturgass og kull og 5) og 6): konvensjonelle biler med forbrenningsmotor drevet av hhv bensin og diesel.

For alle case er det forbruk av drivstoff som forårsaker størsteparten av utslippene. Produksjon av batterier til el-bilene utgjør 35 – 41 % av utslippene knyttet til produksjonsfasen.

El-biler gir 20 – 24 % reduksjon i klimagassutslipp sammenlignet med bensinbiler, og 10 – 14 % sammenlignet med dieselbiler. Dersom levetiden antas økt til 200 000 km ville tilsvarende besparelser vært 27 – 29 % sammenlignet med

bensinbiler og 17 – 20 % sammenlignet med dieselbiler. Dette på grunn av at utslippene ved produksjon av el-biler vil fordeles over lengre brukstid.



Tabellen nedenfor gir totale klimagassutslipp per km for el-bilene, med europeisk el-miks. For de øvrige transportteknologiene er det ikke gitt tallverdier.

Biltype	**Klimaintensiteter**
El-bil, LiNCM-batteri, Europeisk el-miks	197 g CO_2-ekv/km
El-bil, $LiFePO_4$-batteri, Europeisk el-miks	206 g CO_2-ekv/km

4 ANALYSER AV JERNBANE

4.1 Jernbaneinfrastruktur

Klimagassberegning: Utbygging av Sørvestbanen [21]	**2016**
Utbyggingsprosjekt:	Sørvestbanen, dobbeltsporet jernbane mellom Oslo og Stavanger
Analyse utført av	Asplan Viak, v/ Oddbjørn Dahlstrøm
116 km dobbeltsporet jernbane var utbygget på analysetidspunktet, analysen omfatter utbygging av resterende 386 km dobbeltspor. Denne utbyggingen av infrastruktur medfører store investeringskostnader og utslipp av klimagasser i forbindelse med energi- og materialforbruk. Hvordan vil utbygging av en dobbeltsporet jernbane langs kysten fra Oslo til Stavanger påvirke totale klimagassutslipp fra transport mellom byene, når man regner med effekt av overført transport til høyhastighetsbane, InterCity trafikk og godstransport?	
Metodikk:	Beregninger av klimagassutslipp fra transport med dagens og fremtidens tog, fly, buss, bil og høyhastighetstog er primært basert på beregninger gjort i Høyhastighetsutredningen fra 2012. I tillegg er det lagt til klimagassutslipp fra dagens og fremtidens godstog og lastebil samt fremtidens InterCity tog. Det er inkludert mange scenarier for ulik utvikling av fremtidens transport.
Systemgrenser:	Klimagassutslipp fra • utbygging og vedlikehold av ny dobbeltsporet jernbaneinfrastruktur • elektrisk energi til drift av tog • reduserte utslipp på grunn av overført transport fra fly, dagens tog, buss, bil og lastebil til transport med Sørvestbanen Klimagassutslipp fra strømforbruk er beregnet etter nordisk kraftmiks (inkludert import) og er på 136 g CO2 e/kWh (snitt høyspent nordisk strømmiks 2010-2014).
Beskrivelse av viktigste funn:	Tabellen viser resultatet av usikkerhetsberegningene og konsekvens de ulike scenarioene har for tilbakebetalingstiden mtp. klimagassutslipp Regnes det med de beste antakelsene (scenario 1 og 3) vil tilbakebetalingstiden mtp. klimagassutslipp reduseres med hhv 7 år og 6 år, fra 28 år til 21 år og 22 år. En kombinasjon av ulike «positive» scenario (for eksempel ved å stille gode miljøkrav til materialer ved utbyggingen, 50 % økt godstransport på jernbane istedenfor 20% og lavere klimagassutslipp fra produksjon av elektrisk energi) vil redusere tilbakebetalingstiden mtp. klimagassutslipp ned mot 15 år. Leseeksempel, scenario 5: Ved å gå fra dagens bilpark til 100% elektrisk bilpark i 2024 blir tilbakebetalingstiden økt fra 28 år til 33 år. En fullstendig elektrifisering av bilparken kan således ikke være et argument mot utbygging av bane, da inviteringen i ny jernbaneinfrastruktur likevel er «nedbetalt» etter 33 år.

Scenario	Dagens transportsystem (referanse)	Utbygging av Sør-vestbanen	Besparelse over 60 år	Besparelse pr år	Tilbake-betalingstid mtp klima
	mill tonn CO_2 ekv			tonn CO_2 ekv	Antall år
Standard i beregninger	14,9	9,4	5,5	91 500	**28 år**
1: Norsk kraftmiks	13,9	6,4	7,6	126 000	**21 år**
2: Europeisk kraftmiks	16,2	13,5	2,7	45 000	**41 år**
3: Miljøkrav til materialer	14,9	8,4	6,6	110 000	**22 år**
4: Økt belegg på fly fra 60% til 75%	13,6	9,4	4,2	70 000	**32 år**
5: 100% elektrisk bilpark i hele beregningsperioden	13,5	9,4	4,0	67 500	**33 år**
6: Kun overført trafikk til høyhastighetsbane og gods[15]	11,1	9,4	1,6	27 500	**46 år**
7: 50 % økt godstransport på jernbane istedenfor 20%	16,0	9,6	6,4	107 000	**25 år**

I Høyhastighetsutredningen fra 2012 ble utbygging av banen mellom Oslo og Stavanger nedbetalt mtp. klimagassutslipp etter over 60 år. Ved å inkludere overført effekt av lokaltransport og godstransport i tillegg til overført effekt av langtransport (høyhastighetsbane) blir utbyggingen av banen nedbetalt etter kun 28 år. Dette viser at når det ført skal bygges ut infrastruktur for bane bør denne brukes så mye som mulig for å fordele utslippene på mest mulig nytte i form av transport.

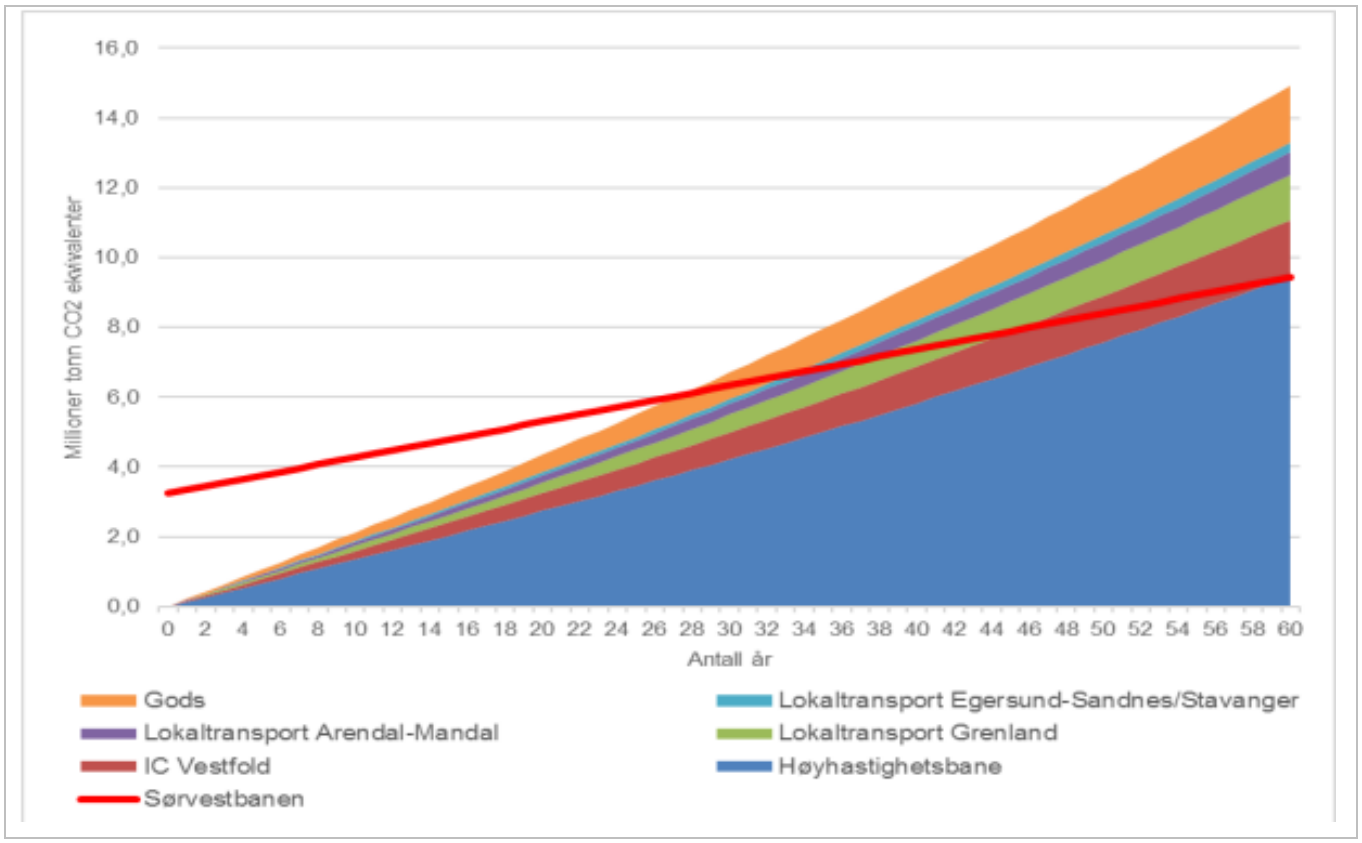
Viktigste beregningsresultater:

Klimagassutslipp fra utbygging og drift/vedlikehold av dobbeltsporet jernbaneinfrastruktur mellom Oslo og Stavanger, samt drift av høyhastighetstog, InterCity-tog og godstog medfører over 60 år et **totalt klimagassutslipp på rundt 9,5 millioner tonn CO2-ekvivalenter**, eller 157 000 tonn CO2-ekvivalenter hvert år.

Skulle tilsvarende personer (og gods) som er beregnet til å ta ferdig utbygget dobbeltsporet jernbane mellom Oslo og Stavanger istedenfor reist med dagens Sørlandsbane, fly, buss, bil, godstog og lastebil, dvs. det som er dagens situasjon, vil **totale klimagassutslipp over 60 år være på rundt 14,9 millioner tonn CO2 ekvivalenter**, eller 249 000 tonn CO2 ekvivalenter hvert år.

Utbygging og drift/vedlikehold av tog og infrastruktur for Sørvestbanen vil medføre en **reduksjon av klimagassutslipp på 5,5 millioner tonn CO2 ekvivalenter over en 60 års beregningsperiode**, eller 91 500 tonn CO2-ekvivalenter hvert år.

I figur er akkumulerte klimagassutslipp fra referansen (transport på dagens infrastruktur) vist i blå, rød, grønn, lilla, turkis og oransje farge. Akkumulerte klimagassutslipp fra Sørvestbanen (utbygging, drift/vedlikehold av infrastruktur og drift/vedlikehold av tog) er vist i rød linje. Krysningspunktet mellom disse viser når tiltaket er tilbakebetalt mtp klimagassutslipp. **Tilbakebetalingstiden er beregnet til rundt 28 år.**


16,0
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
Millioner tonn CO2 ekvivalenter
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60
Antall år
Gods
Lokaltransport Egersund-Sandnes/Stavanger
Lokaltransport Arendal-Mandal
Lokaltransport Grenland
IC Vestfold
Høyhastighetsbane
Sørvestbanen

Follobanen og Veileder for utarbeidelse av miljøbudsjett/klimabudsjett for jernbaneinfrastruktur [22] [23]	**2011**
Utbyggingsprosjekt og metodeutvikling:	Bane NOR
Analyse utført av:	Asplan Viak og MiSA

Miljøbudsjett for Follobanen

Livsløpsvurdering av nytt dobbeltspor mellom Oslo og Ski som beslutnings-, oppfølgings, og styringsverktøy for prosjektets totale miljøprestasjon.

Veileder for utarbeidelse av miljøbudsjett/klimabudsjett for jernbaneinfrastruktur, basert på miljøbudsjett for Follobanen (2012)

Veilederen beskriver retningslinjer og metodikk for utarbeidelse av livsløpsbaserte miljøbudsjett/klimabudsjett for utbygging av jernbaneinfrastruktur i Bane NOR, og bidrar til konsistent metode, forutsetninger og dokumentasjon av klimabudsjett for utbygging av jernbane.

Målgruppe for veilederen

Målgruppen for veilederen er prosjekteiere, oppdragsansvarlige, prosjektledere, prosessledere for klimabudsjett, miljøansvarlige hos Bane NOR, rådgivere som utarbeider klimabudsjett, fagansvarlige leverandører av grunnlagsdata og andre fagpersoner som er involvert i utarbeidelse og bruk av klimabudsjett i utbyggingsprosjekter i Bane NOR.

Veilederen er inndelt i fire hoveddeler:

Del 1: Innføring i generell teori, prinsipper og metodikk for livsløpsvurderinger (LCA).

Del 2: Innføring i metodikk og metodeverktøy for utarbeidelse av klimabudsjett for jernbaneinfrastruktur.

Del 3: Praktisk brukervegledning for utarbeidelse og bruk av klimabudsjett i alle planfaser i UPB-prosessen. Det blir her beskrevet hvordan metoden og metodeverktøyet som beskrevet i del 2 benyttes for å utarbeide og oppdatere klimabudsjett i alle planfaser.

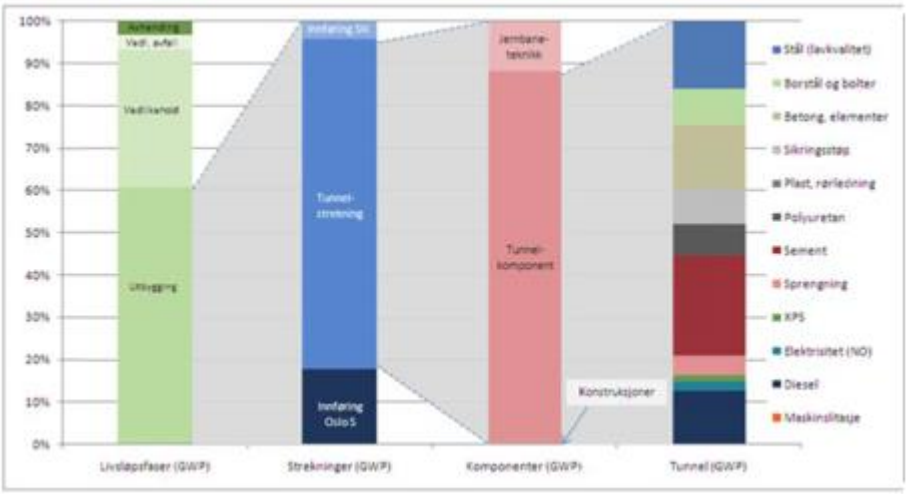
Del 4: Erfaringer, råd og eksempler for utarbeidelse av klimabudsjett samt en oversikt over fagterminologi og definisjoner som kan være til nytte og støtte i arbeidet med og kommunikasjonen av klimabudsjett.

Systemgrenser:	Utbygging, drift, vedlikehold og avhending av jernbaneinfrastrukturen. Under- og overbygning er fordelt på 4 komponenter: **1: Daganlegg** (rigg- og anleggsområder med adkomstveger for utbygging, drift og vedlikeholdsarbeid **2: Konstruksjoner** (konstruksjon av støttemurer, broer og kulverter) **3: Tunneler** (driving av tunnel og tverrslag, utstøping, vann-, frost- og stabilitetssikring) **4: Jernbaneteknikk** (teknisk infrastruktur og installasjoner, skinnegang – inkl. ballast og sviller)
Funksjonell enhet:	Follobanen som helhet, med beregningsperiode på 60 år
Beskrivelse av viktigste funn:	Utbyggingsfasen bidrar mest til klimagassutslippene, og innsatsfaktorene som bidrar mest her er stål, betong og sement

Viktigste beregningsresultater:

Totale klimagassutslipp for Follobanen er beregnet til 671 kt CO2-ekv, der utbyggingsfasen utgjør 61 %, vedlikehold 33 %, vedlikeholdsavfall 3 % og avhending 3 %.

Figuren nedenfor viser fordeling av utslipp på ulike nivåer.



I utbyggingsfasene er utslippene i hovedsak knyttet til stål, lavkvalitet (23 %), betong (21 %), sement (20 %) stål, høykvalitet (13 %), dieselforbruk (9,7 %), polyuretan (5,1 %) og sprengning (3,4 %)

High Speed Rail JBV [24]	**2012**
Utbyggingsprosjekt:	Korridor nord: Oslo – Trondheim (2 alternative traséer) Korridor sør: Oslo – Kristiansand – Stavenger (2 alternative traséer) Korridor vest: Oslo – Bergen (4 alternative traséer) Korridor øst: Sverige (2 alternative traséer mellom Oslo og Stockholm og 2 alternative traséer mellom Oslo og Gøteborg)
Analyse utført av:	MiSA (Håvard Bergsdal m.fl.), for Jernbaneverket (Bane NOR)
Det er beregnet klimabudsjett for 12 alternative traséer for høyhastighetstog, på 4 ulike korridorer. Det er vurdert hvorvidt utbygging av infrastrukturen vil føre til utslippsbesparelser gjennom overført trafikk gjennom levetiden, relatert til referansescenario uten HSR. For hver korridor er tilbakebetalingstid beregnet, dvs hvor mange år det vil ta før utslippene fra utbyggingen er nullet ut ved utslippsbesparelser i bruksfasen. Bruksfasen er definert som 60 år, og tilbakebetalingstid lavere enn dette er betegnet som positiv tilbakebetalingstid	
Systemgrenser:	Innsatsfaktorer, bygging, drift og vedlikehold av infrastrukturen Overført trafikk Referansescenario omfatter: tradisjonelle tog, privatbil, langdistanse-buss, hurtigbåter/-ferger og fly (inkludert infrastruktur, drift og kjøretøy). Teknologisk utvikling for disse er hensyntatt
Følsomhet/usikkerhet:	Estimater for volum og andel av trafikk overført fra fly er en svært viktig parameter. Nordisk elektrisitetsmiks er lagt til grunn, og det er gjennomført en sensitivitetsanalyse med norsk og europeisk miks.
Funksjonell enhet:	Hver av korridorene i sin helhet over en beregningsperiode på 60 år
Beskrivelse av viktigste funn:	Det er store forskjeller i resultater og konklusjoner for de ulike korridorene, og kun 3 av 12 korridoralternativer kommer ut med positiv tilbakebetalingstid (én på korridor nord og 2 på korridor vest). Tre nøkkelkriterier er identifisert som mest kritiske for totale resultater og tilbakebetalingstiden: - andel av total strekning som består av tunneler - marked; antall reisende og overført trafikk fra andre transportformer - andel overført trafikk fra lufttransport
Viktigste beregningsresultater: For Korridor Nord har alternativet gjennom Østerdalen positiv tilbakebetalingstid; 36 år. For Korridor Vest har alternativet via Hallingdal og alternativet via Numedal positive tilbakebetalingstider, henholdsvis 47 og 39 år. For Korridor Øst er det ingen av alternativene som kan konkluderes med positiv tilbakebetalingstid. De 2 alternative traséene mellom Oslo og Gøteborg er oppgitt med positiv tilbakebetalingstid i tabellen nedenfor, men siden ikke hele infrastrukturen er inkludert i beregningene (kun til Karlstad) kan det ikke dras endelig konklusjon her. Besparelser i klimagassutslipp gjennom levetiden som følge av utbygging av HRS: Korridor Nord via Østerdalen: 2 310 kt CO_2-ekv Korridor Vest via Hallingdal: 870 kt CO_2-ekv Korridor Vest via Numedal: 1 550 kt CO_2-ekv Tabellen nedenfor viser resultatene for alle Korridor-alternativene.	

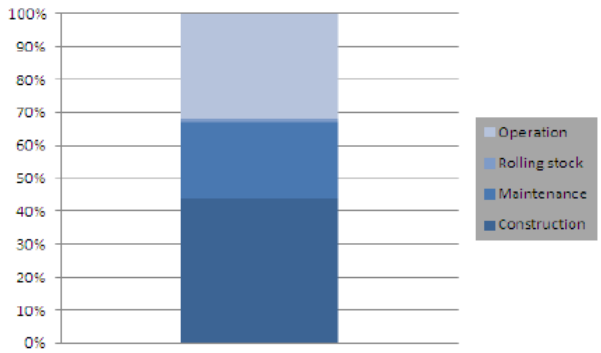
Corridor	Alignment	HSR minus non-HSR, mill. tons CO2e Baseline (low/high)	Payback period (years) Baseline (low-high)
North	**Ø2:P**	**-2.31 (-4.25/-0.69)**	**36 (26-50)**
North	G3:Y	0.42 (-1.94/2.40)	> 60 (42 - > 60)
South	S2:P	1.52 (-0.88/3.53)	> 60 (51 - > 60)
South	S8:Q	1.30 (-0.85/3.10)	> 60 (50 - > 60)
West	**Ha2:P**	**-0.87 (-2.64/0.61)**	**47 (33 - > 60)**
West	H1:P	2.06 (-4.07/7.21)	> 60 (36 - > 60)
West	BS1:P	2.56 (1.39/3.53)	> 60 (> 60 - > 60)
West	**N1:Q**	**-1.55 (-3.31/-0.082)**	**39 (27-58)**
East	ST3:R *	-0.61 (-2.27/0.78)	39 (19 - > 60)
East	ST5:U *	-0.34 (-2.07/1.11)	47 (22 - > 60)
East	GO1:S **	1.98 (0.79/2.97)	> 60 (> 60 - > 60)
East	GO3:Q **	1.91 (0.76/2.87)	> 60 (> 60 - > 60)

* Infrastructure planning only until Karlstad
** Infrastructure planning only until Öxnered

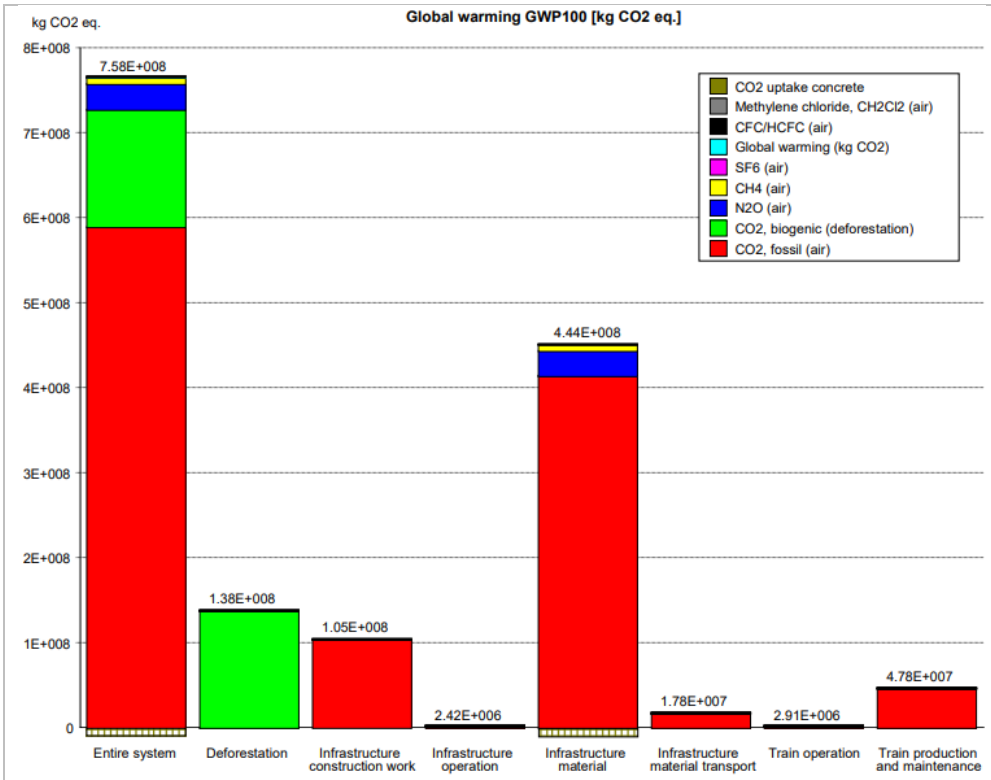
Baseline er med nordisk el-miks, mens *low* og *high* er scenarier med henholdsvis norsk og europeisk el-miks.

Resultater for Korridor Vest, via Hallingdal (som eksempel)

For infrastrukturen isolert er det tunneler som bidrar mest til klimagassutslippene (over 80 %), da over halvparten av strekningen består av tunnel. Totalt for korridoren fordeler utslippene seg på livsløpsfasene som vist i figuren nedenfor.



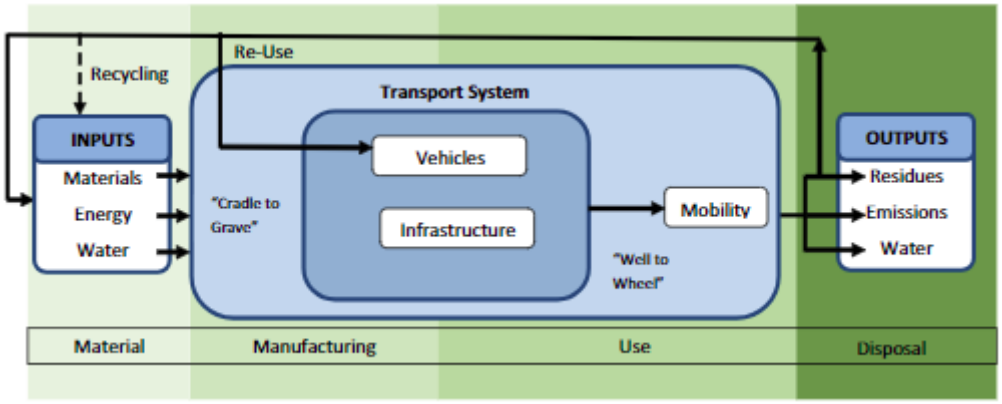
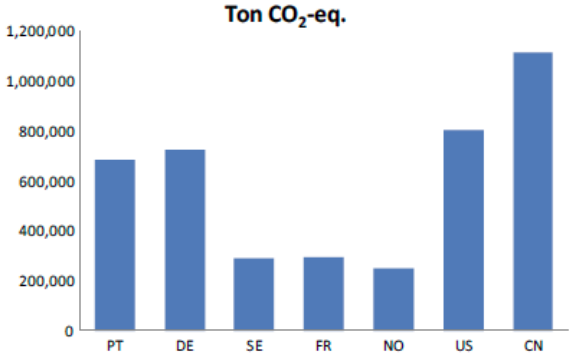
Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line [25]	**2010**
Utbyggingsprosjekt:	Botniabanan
Analyse utført av	Stripple m.fl.
Utvikling av komponent-modul bestående av generiske jernbane-komponenter: underbygning, overbygning, elektrisitets- og kontrollsystem, tunnel, bru, stasjon for passasjerer, fraktterminaler, person- og frakttog inkludert drift av disse. Disse komponent-modulene ble benyttet til beregning av miljøprestasjon og til utarbeidelse av EPD for Botniabanen.	
Systemgrenser:	Studiet omfatter produksjon og transport av materialer og komponenter, bygging, drift og vedlikehold av infrastruktur, produksjon og drift av tog, avskoging og karbonopptak i betong gjennom infrastrukturens levetid. Det er også gjort analyser for gods- og persontransport. Miljøpåvirkningskategorier som er inkludert: akkumulert energi (inndelt i fornybar og ikke-fornybar), klima, nedbrytning av ozonlaget, eutrofiering, forsuring og fotokjemisk smog. Lengdespesifikasjoner for Botniabanen: Total lengde: 209 000 m, hvorav 10 930 m total brulengde (fordelt på 90 stk) og 24 538 m total tunnellengde (fordelt på 16 stk). I tillegg kommer servicetunneler (14 360 m) og adkomsttunneler (2 107 m). Studiet har en svært høy detaljeringsgrad der et stort antall materialer, komponenter, prosesser og beregningsparametere er inkludert. Totalt inkluderer modellene omfatter rundt 32 000 variabler. Forgrunnsdata er basert på faktiske data for Botniabanen, som var ferdig utbygd da studien ble gjennomført.
Følsomhet/usikkerhet:	Elektrisitetsmiks er av stor betydning for analyser av transport med el-drevne tog. I denne analysen er det benyttet en spesifikk «grønn» el-miks (99,2 % vannkraft og 0,8 % bio), basert på at innkjøp av «grønn» strøm var del av den svenske jernbaneadministrasjonens miljøstrategi. Denne miksen ligger nært opp mot norsk el-miks, men det er omdiskutert hvorvidt det er riktig å legge norsk el-miks til grunn i Norske studier.
Funksjonell enhet:	Botniabanen i sin helhet og 1 tkm/1 pkm, analyseperiode på 60 år.
Beskrivelse av viktigste funn:	Resultater er gitt for hver av de generiske modulene, samt de respektive moduler for den spesifikke analysen av Botniabanen. Her omtales resultater for infrastrukturen totalt, inkludert tog og fremdrift av tog.
Viktigste beregningsresultater: Totale klimagassutslipp for Botniabanen inkludert transport er 758 kt CO_2-ekv, hvorav materialer som inngår i infrastrukturen utgjør nesten 60 %. Avskoging utgjør 18 % og bygging av infrastrukturen 14 %. Fremdrift av togene utgjør kun i overkant av 2 %. Resultatene er vist i figuren nedenfor.	



Klimagassutslipp fra infrastrukturen isolert sett er 708 kt CO_2-ekv (bygging (inkl materialer): 73,3 %, Vedlikehold: 26,4 % og drift: 0,3 %.

Resultater for person- og godstransport på Botniabanen:

	Infrastruktur			**Tog**		**Totalt**
	Bygging	Drift	Vedlikehold	Bygging og vedlikehold	Drift	
Passasjertransport [kg CO_2-ekv/pkm]	7,93E-03	3,67E-05	2,85E-03	2,05E-03	7,93E-05	1,29E-02
Godstransport [kg CO_2-ekv/pkm]	1,17E-02	5,41E-05	4,21E-03	1,80E-04	4,22E-05	1,62E-02

Life cycle assessment of high-speed rail: a case study in Portugal [26]	**2016**
Utbyggingsprosjekt:	Høyhastighetstog mellom Lisboa og Porto
Analyse utført av:	Jones, H., Moura, F., Domingos, T.
LCA av høyhastighetstog mellom Lisboa og Porto. Det er beregnet totale utslipp for utbyggingen og utslipp per personkm transport. Det er også foretatt sammenligninger med tidligere relevante studier.	
Metodikk:	Modellering i SimaPro og bruk av ecoinvent v3 transport-datasett. Data er tilpasset portugisiske forhold ved endring av el-miks, innenlandsk produksjon av materialer mm.
Systemgrenser:	Systemgrenser for analysen er vist i figuren nedenfor 
Følsomhet/usikkerhet:	Portugisisk el-miks består for en stor del av produksjon fra fossile kilder; 50-60 %. Det er foretatt en følsomhetsanalyse med el-mikser for de landene de sammenlignbare studiene er gjort (Norge, Sverige, Frankrike, Tyskland, USA og Kina):  Sammenlignet med norsk HSR-utredning ser det ut til at denne har et noe forenklet inventar for infrastrukturen, samt at det ikke er noen store konstruksjoner eller tunneler inkludert.
Funksjonell enhet:	Funksjonell enhet: 1 km og 1 pkm, analyseperiode på 35 år
Beskrivelse av viktigste funn:	Fremdrift av togene forårsaker størstedelen av klimagassutslippene gjennom levetiden, mens i motsetning til den norske utredningen bidrar utbygging infrastrukturen i svært liten grad.
Viktigste beregningsresultater:	Totale klimagassutslipp for prosjektet ble beregnet til 684 kt CO_2-ekv. størsteparten av utslippene er knyttet til fremdrift av togene (68,6 %), produksjon av togsettene (13,3 %), vedlikehold av togsettene (10,1 %) og utbygging av infrastrukturen (1,9 %).

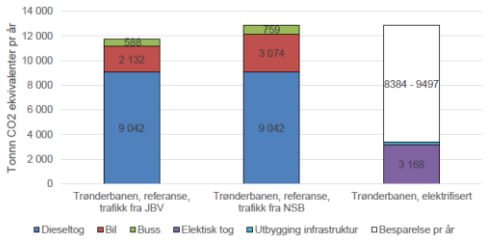
Tidligfaseverktøy for klimabudsjett av jernbaneinfrastruktur [28]	**2015**
Utbyggingsprosjekt:	**Basert på metodikk og systemgrenser som i veileder for utarbeidelse av jernbaneinfrastruktur**
Analyse utført av	Bane NOR
Tidligfaseverktøyet er et verktøy i Excel, basert på standardprofiler av jernbaneinfrastruktur for dagsone, tunnel med ett eller to løp, bru, kulvert og plattform. På grunnlag av løpemeter standard jernbaneprofiler i de(n) planlagte trasé(er/en) vil beregninger med tidligfaseverktøyet gi en indikasjon på klimapåvirkning og andre utslipp fra ulike konsept og trasévalg. Tidligfaseverktøyet er et verktøy for utarbeidelse av klima-/miljøbudsjett for planlagte tiltak/traséer i tidlige utrednings- og planleggingsfaser. Verktøyet viser miljøpåvirkning fra utbygging og drift/vedlikehold over infrastrukturens livsløp, men inkluderer ikke miljøpåvirkning fra trafikken på infrastrukturen. Resultatene fra verktøyet kan brukes til å analysere og dokumentere alternative konsept, identifisere deler av strekningen som representerer en stor andel av miljøpåvirkningnene, anbefale konsept med lavest miljøpåvirkning gjennom livsløpet, samt gi grunnlag for klimabudsjett for planlagt jernbaneinfrastruktur iht. krav til dokumentasjon og rapportering fra NTP, Samferdselsdepartementet og Miljøverndepartementet.	
Metodikk og systemgrenser	Beregninger er basert på metodikk og systemgrenser som i veileder for utarbeidelse av jernbaneinfrastruktur, og resultater er på nivå med Miljøbudjsett Follobanen.
Beskrivelse av viktigste funn:	**Hva kan verktøyet ikke brukes til?** Tidligfaseverktøyet er bygget på generelle antakelser om mengder materialer/energi, samt bruker generelle utslippsdata fra anerkjente databaser. Det vil si at verktøyet ikke reflekterer prosjektspesifikke detaljer. Det kan dermed ikke brukes til å ta prosjektspesifikke avgjørelser om materialvalg og særskilte byggemetoder. Verkøtyet kan heller ikke brukes til å dokumentere klimagassutslipp fra et ferdig prosjekt (klimaregnskap) da kalkulatoren viser kun antatte utslipp i tidlig fase.
Viktigste beregningsresultater: 1 km dobbelstpor, utbygging og DV over 60 år • Daglinje: 3 990 tonn CO2 e/km • Tunnel: 19 600 tonn CO2 e/km • Bru: 13 800 tonn CO2 e/km • Kulvert: 13 700 tonn CO2 e/km	

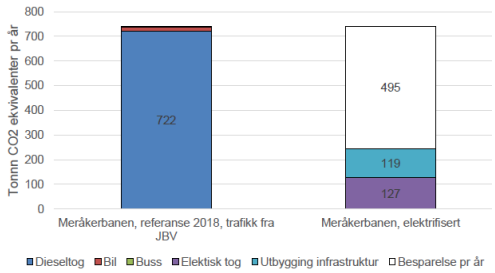
4.2 Tog og transportarbeid med bane

Klimagassberegning elektrifisering av Trønder- og Meråkerbanen [29]	**2016**
Utbyggingsprosjekt:	**Trønder- og Meråkerbanen**
Analyse utført av	Asplan Viak, v/ Oddbjørn Dahlstrøm & Anna-Rita Korsmo
Beregning av endringer i klimagassutslipp som følge av å gå fra dieseltog til eltog (inkludert produksjon av elektrisitet) og overføring fra buss og bil til eltog for togstrekningene Trondheim- Steinkjer (Trønderbanen) og Stjørdal-Meråker (Meråkerbanen). Utbygging og vedlikehold av ny infrastruktur er inkludert.	
Metodikk:	Klimagassutslippsfaktorer benyttet er basert på faktorer i NSB sin miljøkalkulator. Siden disse tallene er fra 2012 er de oppdatert med energi. Og dieselforbruk for NSB fra 2015 [30] Nordisk elmisk på 136 kg CO_2e/kWh er benyttet til analysen.
Systemgrenser:	• Reduserte klimagassutslipp forbrundet med overgang fra dieseltog til eltog (inkludert produksjon av elektrisitet) • Overføring av trafikk fra buss og bil til eltog • Utbygging og vedlikehold av infrastruktur for elektrifisering.
Følsomhet/usikkerhet:	Klimautslipp fra utbygging av infrastruktur er beregnet i egen rapport og bygget på Veileder for utarbeidelse av Miljøbudsjett for jernbaneinfrastruktur og anses derfor som pålitelige. Det er avvik i fremtidig overført trafikk fra bil og buss beregnet av Jernbaneverket og NSB. Det er for Trønderbanen derfor utført klimagassberegninger basert på overført trafikk med tall både fra JBV og NSB for å se hvor stort utslag disse forskjellene utgjør. Siden hoveddelen av utslippene for diesel- og eltog kommer fra selve drift av togene vil ikke usikkerhetene i de andre beregningene har stor innvirkning på konklusjonen.
Funksjonell enhet:	Elektrifisering og drift av jernbane med en levetid på 75 år. Utslippene fra infrastruktur er fordelt på klimagassutslipp per år.
Beskrivelse av viktigste funn:	Det er en klar reduksjon i klimagassutslipp ved elektrifisering av både Meråkerbanen og Trønderbanen. Tilbakebetalingstiden på klimagassutslipp som følge av elektrifisering av jernbanen er på cirka 1,5 år.

Viktigste beregningsresultater:

Figurene viser reduksjon i klimagassutslipp for Trønderbanen og Meråkerbanen, sammenlignet med et referansecase hvor jernbanen driftes som dieseltog.





Samlet årlig reduksjon for elektrisering:

	Tall fra JBV	Tall fra NSB
Trønderbanen	8 384	9 497
Meråkerbanen	495	Tall ikke tilgjengelig
Besparelse, tonn CO2e/år	8 897	9 497

Ulikt tallgrunnlag for overført trafikk fra JBV og NSB for Trønderbanen

5 ANALYSER AV SJØTRANSPORT

5.1 Kaier

Port Infrastructures in a System Perspective [31]	**2016**
Analyse utført av	Stripple, Håkan Fridell, Erik Winnes, Hulda
Artikkelen presenterer en LCA av eksisterende havneinfrastruktur i Göteborg bygget med dagens teknologi. Resultatene kan skaleres for andre havner for å finne andel miljøpåvirkning for havnedrift- og infrastruktur for ulike typer last.	
Metodikk:	LCA beregninger av infrastruktur er modulbasert for ulike typer havner. Den funksjonelle enheten er 1 tonn last for hver av infrastrukturmodulene. Levetiden på havnen er 60 år. Følgende havnemoduler er inkludert: Oljeterminal, containerterminal, RoRo-terminal RoRo-bilterminal, RoPax-terminal. Vurderte miljøparametere: • Primærenergiforbruk (MJ) • Materialbruk (kg) • Klimagasspåvirkning (kg CO_2 ekv.) • Forsuringspotensiale (kg SO_2 ekv.) • Eutrofieringspotensiale (kg PO_4 ekv.) • Photochemical Ozone Creation Potential, POCP (kg ethene ekv.) • Ozonlagsuttømmingspotensiale, ODP (kg CFC-11 ekv.)
Systemgrenser:	Følgende havneinfrastruktur er inkludert, modellen inkluderer konstruksjon, drift og vedlikehold av havneinfrastrukturen. • Bygg • Fundament • Asfaltering • Redskaper og drift av havneanlegg Klimagassutslipp fra strømforbruk er beregnet etter svensk kraftmiks (inkludert import) og består av vannkraft: 46%, atomkraft 43%, <2,5% fra fossile brennstoff, annet vind og biomasse hovedsakelig combined heat and power (CHP). Svensk kraftmiks brukes, og havnen er i Sverige. Dette er nordiske forhold og kan dermed være overførbart til Norske forhold.
Beskrivelse av viktigste funn:	Miljøpåvirkning varierer i stor grad for de ulike terminalene. RoRo bilterminal har høye klimautslipp hovedsakelig på grunn av lavt transportvolum, for containerhavn har driftsteknikker stor betydning for miljøpåvirkningen. Oljeterminalen har lave miljøpåvirkningsverdier på grunn av enkel behandling av innkommende råolje (pumpes i rør). Ulike typer terminaler har ulik funksjon og kan ikke sammenlignes mellom hverandre. Resultatene anses representative og skalerbare for andre havner.
Viktigste beregningsresultater: Klimagassutslipp for en beregningsperiode på 60 år • Oljeterminal: 0,3 kg CO_2 ekv./tonn last • Containerterminal 2,2 kg CO_2 ekv./tonn last • RoRo-terminal 0,5 kg CO_2 ekv./tonn last • RoRo-car terminal 5,1 kg CO_2 ekv./tonn last • RoPax-terminal 0,4 kg CO_2 ekv./tonn last	

	1,1 kg CO_2 ekv./passasjer

5.2 Fartøy og sjøtransportarbeid

State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – a review [32]	**2017**
Analyse utført av	Bouman, Evert A. Lindstad, Elizabeth Rialland, Agathe I. Strømman, Anders H.
Artikkelen presenterer en litteraturgjennomgang av omtrent 150 studier, som gir en oversikt over reduksjonspotensiale og tiltak for å redusere klimagassutslipp. Målet er å identifisere de mest lovende områdene tilknyttet teknologisk og operasjonell praksis, samt å kvantifisere kombinert reduksjonspotensial fra alle tiltak.	
Metodikk:	Litteraturgjennomgangen fokuserer på tidligere studier som tar for seg sjøfartøy og tilhørende drivstofforbruk og klimagassutslipp, med en oppsummering av potensielle tiltak for reduksjon. Gjennomgangen tar i all hovedsak for seg rapporterte resultater, men ikke hvilke metoder som er anvendt. Valg av relevante studier er basert på en kvalitativ vurdering. Inkluderer kun studier publisert etter 2009. Det nevnes ikke noe om livsløpsanalyse og indirekte utslipp, så det tyder på at fokuset i studien er på direkte utslipp via forbruk av drivstoff, som følge av tiltak gjennomført enten i produksjonsfasen eller driftsfasen.
Systemgrenser:	Studiet er en litteraturstudie og belyser dermed ikke systemgrense på samme måte. Samtidig er omfanget for studien å vurdere litteratur som tar for seg utslippsreduksjoner i driftsfasen, ved bruk av tiltak som gjelder i produksjonsfasen og driftsfasen.
Beskrivelse av viktigste funn:	Studiet presenterer en oversikt over 22 individuelle tiltak, klassifisert innenfor 5 ulike tiltakskategorier: - Skrogdesign - Kraft- og fremdriftssystem - Alternative drivstoff - Alternative energikilder - Driftsfasen Oversikten viser kun reduksjonspotensialet i prosent, og dermed gir studien ingen oversikt over utslippsintensiteter innenfor disse kategoriene. Det gis også en oversikt over maksimalt reduksjonspotensiale av CO2 fra shipping. Dette beskrives på flåtenivå, og tar for seg et Business-as-Usual referanse scenario mot ulike scenarioer med reduksjonspotensialer for 2020 og 2030. Analysen inkluderer også usikkerheter i scenarioene, og ulike antagelser som implementeringshastighet på tiltak og global maritim fremtidig vekst. BAU-scenarioet forteller at utslipp fra shipping kan øke med 150-250% mellom perioden 2012 og 2050. I tillegg problematiseres bruk av biodrivstoff og klimagassutslipp forbundet med produksjon av dette. Karbonnøytralitet, rotasjonsperioden til avlingen, lokasjonen til avlingen, direkte og indirekte albedoendringer på grunn av høsting, nevnes alle som aktiviteter og faktorer som påvirker klimagassutslippet. Samtidig beskrives det ikke hva som ligger til grunn i modelleringen av biodrivstoffet i studien.
Viktigste beregningsresultater: Viktigste tiltak på bakgrunn av potensiell utslippsreduksjon per tiltakskategori: Skrogdesign: Størrelse på fartøy –> 4-83% CO_2-utslippsreduksjon.	

Kraft- og fremdriftssystem: Ekstra hybridelektrisk hjelpesystem –> 2-45% CO_2-utslippsreduksjon.

Alternative drivstoff

- Biobrensel –> 25-84% CO_2-utslippsreduksjon.
- LNG –> 5-30% CO_2-utslippsreduksjon.

Alternative energikilder: Vindkraft ifm. seil, kite –> 1-50% CO_2-utslippsreduksjon.

Driftsfasen: Optimalisering av fart –> 1-60% CO_2-utslippsreduksjon.

A comparative life cycle assessment of marine fuels: Liquefied natural gas and three other fossil fuels [33]	**2011**
Analyse utført av	Bengtsson, S. Andersson, K. Fridell, E.
Artikkelen analyserer miljøprestasjonen av ulike marine drivstoff fra produksjon til drift i et livsløpsperspektiv. Fire fossile drivstoff er sammenlignet: tung fyringsolje (HFO), marin gassolje, gas-til-væske (GTL) og flytende naturgass (LNG) kombinert med to renseteknikker: «open-loop scrubber» og selektiv katalytisk reduksjon.	
Metodikk:	Funksjonell enhet er transport av et (1) tonn med last en (1) km med et RoRo lasteskip. Miljøpåvirkningskategorier • Global oppvarmingspotensial (GWP) • Forsuringspotensial (AP) • Eutrofieringspotensial (EP) Karakteriseringsfaktorene brukt i påvirkningskategoriene er tatt fra en database utarbeidet av institutt for miljøvitenskap ved Universitetet i Leiden, som er CML karakteriseringsfaktorene publisert i 2009.
Systemgrenser:	Klimagassutslipp fra • Utvinning av råmaterialer • Produksjon og transport • Bunkring og lagring • Forbrenning av drivstoff under drift av skipene Geografisk område er SECA i Nord-Europa (Engelske kanal, Nordsjøen og det Baltiske hav). Naturgass er produsert enten i Nordsjøen, eller i Qatar. LNG produsert i Qatar fraktes først til Zeebrugge og deretter til Gøteborg. Tidshorisonten er mellom 2010 og 2020.
Følsomhet/usikkerhet	Påpekes at det er usikkerhet i store LCA-studier, blant annet på grunn av mangel på kunnskap, valg av modell og ulike forutsetninger valgt. Det er påpekt at usikkerheter er ikke evaluert nevneverdig i denne studien, og dermed kan ikke usikkerhetsområdet bli vurdert. Samtidig er det parametere som har stor påvirkning på resultatet, blant annet utslipp av CH_4 og NO_x fra gassmotoren, og at usikkerheten rundt disse utslippene er store. Det nevnes også at det er usikkerhet knyttet til allokeringsmetode, systemgrense og tidshorisont. To viktige usikkerheter relatert til modelleringsvalg er beskrevet i studien: - Allokeringsmetode for HFO og MGO ved raffineri er basert på energiinnholdet til brennstoff. - Ikke tatt hensyn til teknologiendringer i raffineri for produksjon av marine brennstoff. Det nevnes ikke hvilken elektrisitetsmiks som brukes i de ulike produksjonskjedene til drivstoffene. Det nevnes tidshorisont, men ikke noe om levetid på ulike komponenter/systemer i verdikjedene til drivstoffene.
Beskrivelse av viktigste funn:	Bruk av LNG drivstoff reduserer forsuring og eutrofieringspotensialet med 78-90% i et livsløpsperspektiv sammenlignet med HFO. Samtidig øker bruken av LNG klimagassutslippet med mellom 8-20%, avhengig av mengden metan som frigjøres i gassmotoren. Ingen av de fossile brenslene vil redusere utslipp av klimagasser betydelig i et livsløpsperspektiv. Det høyeste klimagassutslippet kommer fra bruk av GLT.

	Tank-to-propeller fasen til marin transport har høyest påvirkning i et livsløpsperspektiv, og representerer 50-99% av totale livsløpsutslipp, avhengig av miljøpåvirkningskategori og hvilket drivstoff man vurderer.

Viktigste beregningsresultater:

Metanutslipp fra LNG tilsvarer 4 g CO_2e/tkm sammenlignet med 1 g CO_2e/tkm fra de andre alternativene.

Studien indikerer at HFO er det mest energieffektive brenselet, mens LNG fra Nordsjøen er drivstoffet med lavest GWP. Samtidig er forskjellene små. LNG har klimagassutslipp på 38 g CO_2e/tkm, HFO har 43 g CO_2e/tkm. Forskjellen mellom LNG produsert i Nordsjøen og LNG produsert i Qatar er også svært liten.

Sammendrag av resultater:

Energibruk: enhet MJ

Global oppvarmingspotensial: enhet i g CO_2- ekvivalenter

Forsuringspotensial (acidification potential): enhet i g SO_2- ekvivalenter

Eutrofieringspotensial: enhet i g PO^{3-}_4 - ekvivalenter

Table 5 Summary of the results from the LCA

	Energy use	Global warming	Acidification	Eutrophication
Fuel alternatives complying with SECA requirements 2010:				
HFO	**0.53**	**43**	**0.82**	**0.10**
Well-to-tank	0.04	4.2	0.03	0.0012
Tank-to-propeller	0.49[a]	39	0.80	0.103
Fuel alternatives complying with SECA requirements 2015:				
HFO with scrubber	**0.54**	**44**	**0.62**	**0.11**
Well-to-tank	0.04	4.3	0.03	0.0013
Tank-to-propeller	0.50[a]	40	0.59	0.11
MGO	**0.58**	**42**	**0.58**	**0.10**
Well-to-tank	0.08	4.5	0.03	0.0013
Tank-to-propeller	0.50	37	0.55	0.098
GTL	**0.79**	**48**	**0.59**	**0.10**
Well-to-tank	0.29	10	0.06	0.0060
Tank-to-propeller	0.50	37	0.53	0.0975
Fuel alternatives complying with SECA requirements 2015 and Tier III:				
MGO with SCR	**0.60**	**43**	**0.14**	**0.02**
Well-to-tank	0.10	6.1	0.04	0.0022
Tank-to-propeller	0.50	37	0.10	0.015
GTL with SCR	**0.81**	**49**	**0.15**	**0.022**
Well-to-tank	0.31	12	0.07	0.0069
Tank-to-propeller	0.50	37	0.08	0.015
LNG from North Sea	**0.57**	**38**	**0.08**	**0.01**
Well-to-tank	0.05	4.8	0.02	0.0011
Tank-to-propeller	0.52	33	0.06	0.012
LNG from Qatar	**0.61**	**40**	**0.08**	**0.01**
Well-to-tank	0.09	7.0	0.02	0.0013
Tank-to-propeller	0.52	33	0.06	0.012

Eco Island Ferry - Comparative LCA of island ferry with carbon composite based and steel based structures [34]	**2013**
Analyse utført av	Schmidt, J.H Watson, J
2.-0 LCA Consultants er firmaet som har gjennomført analysen. Det er en sammenlignende livsløpsanalyse av en konvensjonell ferge av stål (Tun Island Ferry) og en ferge av karbonfiberforsterket polymerkompositt (Eco Island Ferry).	
Metodikk:	Funksjonell enhet er drift av Tunø fergeruten i Danmark over ett år. Dette inkluderer blant annet: • 700 reiser per år • Reisetid på 2 timer • Distanse på 2 ganger 18 km tur/retur • Kapasitet på 200 passasjerer og 6 biler (eller 4 biler og 1 lastebil) Livsløpsanalysen er gjennomført i henhold til ISO standard for LCA: ISO 14040 (2006) og ISO 14044 (2006). 16 påvirkningskategorier er undersøkt, blant annet global oppvarmingspotensial, forsuringspotensial og eutrofieringspotensial, på bakgrunn av ReCiPe Midpoint metoden.
Systemgrenser:	Systemgrensen representerer et vugge-til-grav perspektiv for drift av en ferge. Inkluderer: • produksjon av materialer • fergekonstruksjon ved verft • vedlikehold av verft • drift av ferge • bruk av elektrisitet og transport til produksjon og drift av ferge • avhending og resirkulering Levetid på 30 år for den konvensjonelle fergen og 40 år for øko-fergen. Fergene bruker diesel som brennstoff. Elektrisitet på medium spenningsnivå er brukt på alle aktiviteter – inkluderer produksjon, høyspenningsnett, mellomspenningsnett og tap i nett. Hvilken elektrisitetsmiks som brukes avhenger av hvor i verdikjeden man er, og det er blant annet brukt elektrisitetsmiks fra Europa, Danmark og Sverige, på bakgrunn av Ecoinvent-data.
Følsomhet/usikkerhet	Studien gjennomfører sensitivitetsanalyser på ulike parametere som blant annet levetid på ferge, elektrisitet, dieselforbruk, og avhending av ferge. Relatert til levetid viser sensitiviteten at å endre levetid for øko-fergen til 30 år, gir ubetydelig påvirkning på klimagassutslipp. Elektrisitetsmiks er modellert med et fremtidig konsekvensscenario. Sensitivitetsanalysen inkluderer klimapåvirkningen av å endre elektrisitetsmiksen til kullbasert og til en gjennomsnittlig miks fra år 2008. Der vises det også at elektrisitetsmiks har liten betydning på totalregnskapet.

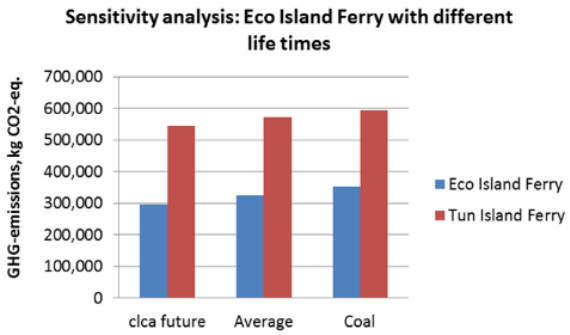
<table>
<tr><td></td><td> 

Figure 9.2: GHG-emissions for Eco Island and Tun Island Ferries calculated with different electricity models The results represent the functional unit: servicing the Tunø ferry route in one year.</td></tr>
<tr><td>Beskrivelse av viktigste funn:</td><td>Eco Island Ferry presterer bedre enn Tun Island Ferry på alle miljøpåvirkningskategorier, generelt sett er miljøpåvirkningen halvert.

Drift av fergene er i all hovedsak den viktigste kilden til klimagassutslipp, står for henholdsvis 90% og 83% av totale klimagassutslipp for Eco og Tun Island Ferry.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Viktigste beregningsresultater:

Eco Island Ferry: 295 154 kg CO_2e per funksjonell enhet

Tun Island Ferry: 546 305 kg CO_2e per funksjonell enhet</td></tr>
</table>

Energieffektiv og klimavennlig ferjedrift [35]	**2013**
Analyse utført av	LMG Marin CMR Prototech Norsk Energi
Rapporten er en oppsummering av en studie som kartlegger energieffektiv og klima- og miljøvennlig fergedrift. Utgangspunktet for studien er å vurdere pendelferger i størrelse 20 til 290 PBE (personbilenheter) som opererer på typisk norsk riksveg- og fylkessamband. Fergealternativene har enkeltskrog og katamaran skrogkonsept bygget i stål eller aluminium i kombinasjon med kommersielt tilgjengelig teknologi, samt et utvalg av nye potensielle teknologier. Teknologiene inkluderer: • dieselmekanisk fremdrift – både fossilt og biologisk fremstilt drivstoff • gasselektrisk fremdrift • diesel/gasselektrisk batterihybride løsninger • ren batteridrift • hydrogendrift	
Metodikk:	Klima- og miljøvurderingene til de ulike analyserte drivstoffene er basert på metodikken for livsløpsanalyser. Vurderte miljøutslipp er klimagasser i CO_2e, NOx, SO_2 og partikler (PM10).
Systemgrenser:	Systemgrensen omfatter all ressurs- og energibruk i løpet av produktets levetid. Dette tilsvarer utslipp forbundet med produksjon (inkludert transport, distribusjon og lagring) av drivstoffene og bruk (forbrenning) av drivstoffet. Miljøpåvirkning fra produksjon av selve fergene er dermed ikke inkludert. Utslipp for de ulike drivstoffene presenteres per kWh fremdrift og per passasjerkilometer for ulike fergetyper. Data relatert til drivstoff er hovedsakelig hentet fra litteraturen. Da rapporten er norsk, antas det også at analysen gjelder for norske forhold. Data for utslipp fra elektrisitet omfatter produksjon av norsk elektrisitet hentet fra databasen Ecoinvent v.3, samt fra bakgrunnsrapporten for klimakalkulatoren. Elektrisitetsmiksen er modellert med klimafotavtrykk på 25,67 g CO_2e/kWh.
Følsomhet/usikkerhet	Det er ikke spesifisert levetid på ulike komponenter eller systemer i analysen, da mye av datagrunnlaget er hentet fra annen litteratur. Det er ikke gjennomført sensitivitetsanalyser på ulike følsomme parametere. Det vil foreligge usikkerhet tilknyttet fremtidige teknologier og hvordan de presterer ut i fra et klima- og miljøperspektiv. Utslipp fra biodiesel og biodrivstoff tar ikke hensyn til utslipp fra direkte og indirekte arealbruksendringer eller eventuell reduksjon av skogens karbonlager.
Beskrivelse av viktigste funn:	Hydrogen og brenselceller kan fungere som et fullverdig energieffektivt alternativ for lavutslippsferger. Brenselceller kan være særlig fornuftig for lengre strekninger, spesielt der batteridrift ikke er mulig pga. vekt og ladekapasitet. Drivstoff representerer i all hovedsak den største kostnadsposten. For å oppnå høyeste grad av energieffektivisering og lavest mulig klimagassutslipp må det legges til rette for optimal drift av sambandet. I tillegg bør det etableres et fullskala demoprosjekt for å prøve å oppnå en kommersialisering av hydrogenteknologi som et fullverdig nullutslippsalternativ.
Viktigste beregningsresultater: Modellert utslipp i studien: • Diesel gassolje: 650-700 g CO_2/kWh	

- Naturgass: 550 g CO_2/kWh når uforbrent metan ikke inkluderes som utslipp. Hvis det inkluderes, vil utslippet være tilsvarende som for diesel gassolje
- Biodiesel: 165 g CO_2e/kWh
- Biogass: 55 g CO_2e/kWh. Må dog alltid kompenseres for CO_2e tilsvarende uforbrent metan i aktuell forbrenningsprosess.
- Elektrisitet fra nett: Nordisk miks tilsvarende 75 g CO_2e/kWh. Vil være forskjellig klimautslipp i andre geografiske områder.

Tabellen nedenfor viser livsløpsutslipp, energiforbruk og relativ kostnad fra ulike fergealternativer.

Konsept	1 x 50 PBE + 1 x 70 PBE 10/10,4 knop & 6,8 km				1 x 120 PBE 10 knop & 6,8 km				1 x 120 PBE 12,9 knop & 6,8 km			
	Relativ kostnad [%]	Energi-forbruk [MJ/PBE-km]	CO_{2EKV} [g/PBE-km]	CO_{2EKV} [g/kWt]	Relativ kostnad [%]	Energi-forbruk [MJ/PBE-km]	CO_{2EKV} [g/PBE-km]	CO_{2EKV} [g/kWt]	Relativ kostnad [%]	Energi-forbruk [MJ/PBE-km]	CO_{2EKV} [g/PBE-km]	CO_{2EKV} [g/kWt]
Diesel mekanisk på vanlig fossil diesel	100	5,0	374	694	104	4,4	327	703	117	6,4	480	717
Diesel mekanisk med 100% biodiesel	108	5,0	87	161	112	4,4	76	162	128	6,4	109	162
Diesel/batteri hybrid uten lading fra land	110	4,9	366	641	110	4,3	319	648	123	6,3	466	649
Plugg-inn hybrid med diesel	141	4,1	255	413	125	3,3	193	370	141	5,3	344	457
Plugg-inn hybrid med 100% biodiesel og generelle tiltak	134	2,8	55	116	119	2,2	44	108	138	3,9	74	125
Ren batteriferge med generelle tiltak	135	1,8	37	75	116	1,5	31	75	131	2,2	46	75
Hydrogenferge	-	3,4	105	188	-	2,9	92	-	158	4,3	136	194

Tabellen viser en oversikt over valgte drivstoff, og hvordan utslippene fordeler seg på produksjon og forbrenning innenfor de ulike utslippskategoriene. Elektrisitet er også inkludert.

Tabell 1: Klima- og miljøpåvirkning fra produksjon og bruk av marine drivstoff

	Enhet	Produksjon	Forbrenning	Total
MGO	CO_2 (g/kg)	301,63	3 177,34	3 478,97
	CO_2-ekvivalenter (g/kg)	397,22	3 218,36	3 615,58
	NO_x (g/kg)	0,88	65,02	65,91
	SO_2 (g/kg)	1,75	2,00	3,75
	PM_{10} (g/kg)	0,13	1,48	1,61
MGO med SCR	CO2 (g/kg)	301,63	3 177,34	3 478,97
	CO2-ekvivalenter (g/kg)	397,22	3 218,36	3 615,58
	NOx (g/kg)	0,88	7,26	8,14
	SO2 (g/kg)	1,75	2,00	3,75
	PM10 (g/kg)	0,13	0,47	0,60
LNG	CO_2 (g/kg)	365,20	2 376,00	2 741,20
	CO_2-ekvivalenter (g/kg)	407,84	3 250,72	3 658,56
	NO_x (g/kg)	0,42	4,84	5,26
	SO_2 (g/kg)	0,04	0,25	0,28
	PM_{10} (g/kg)	0,01	0,19	0,20
Elektrisitet, Norsk EcoInvent v.3	CO_2 (g/kWh)	19,12		19,12
	CO_2-ekvivalenter (g/kWh)	25,67		25,67
	NO_x (g/kWh)	0,05		0,05
	SO_2 (g/kWh)	0,10		0,10
	PM_{10} (g/kWh)	0,03		0,03
Elektrisitet, Norsk miks	CO_2 (g/kWh)	-		-
	CO_2-ekvivalenter (g/kWh)	50,00		50,00
	NO_x (g/kWh)	-		-
	SO_2 (g/kWh)	-		-
	PM_{10} (g/kWh)	-		-
Elektrisitet, Nordisk miks	CO_2 (g/kWh)	-		-
	CO_2-ekvivalenter (g/kWh)	200,00		200,00
	NO_x (g/kWh)	-		-
	SO_2 (g/kWh)	-		-
	PM_{10} (g/kWh)	-		-
Elektrisitet, Europeisk miks	CO_2 (g/kWh)	-		-
	CO_2-ekvivalenter (g/kWh)	542,00		542,00
	NO_x (g/kWh)	-		-
	SO_2 (g/kWh)	-		-
	PM_{10} (g/kWh)	-		-
Elektrisitet, Anbudskrav	CO_2 (g/kWh)	-		-
	CO_2-ekvivalenter (g/kWh)	75,00		75,00
	NO_x (g/kWh)	-		-
	SO_2 (g/kWh)	-		-
	PM_{10} (g/kWh)	-		-

Environmental Assessment of Present and Future Marine Fuels [36]	**2014**
Analyse utført av	Brynolf, Selma
En doktorgrad som gjennomfører en livsløpsanalyse og en global energisystemmodellering av shippingindustrien, både for dagens konvensjonelle og fremtidige drivstoff.	
Metodikk:	Undersøker livsløpsprestasjonen til marine brensler, og sammenligner de opp mot hverandre. Geografisk avgrenset til skip som opererer i Nord-Europa. Funksjonell enhet er utrykt i MJ brenstoff forbrent i en firetakters dieselmotor. Alle påvirkningskategorier fra ReCiPe er undersøkt: klimagasser, partikkelutslipp, eutrofiering, fotokjemisk smog, landbruk, ressursbruk. Menneskelig og økotoksisitet er ikke inkludert
Systemgrenser:	Systemgrensene for studien gjelder drivstoffet som helhet. Dermed dekkes • Uttak av råmaterialer • Produksjon av drivstoff • Distribusjon • Forbruk av drivstoff Produksjon av kapitalvarer (som produksjon av havner, skip, renseteknologier for eksos) er ikke inkludert. Det antas at drivstoffbruken tilknyttet skip har en dominerende del av et skips livsløpsutslipp. Studien har en tidshorisont på perioden 2010-2025. Geografisk begrenset til skip som opererer i Nord-Europa. En rekke ulike brenseltyper er undersøkt, blant annet tungolje, marin gassolje, LNG og biodiesel. Elektrisitetsmiks for verdikjeden til biodrivstoff er antatt å være gjennomsnittlig Europeisk elmiks. Elmiksen for produksjon av naturgass er antatt å være elmiksen til landet naturgassen er produsert i, Norge. Data for Europeisk og Norsk elmiks er hentet fra IEA. Funksjonell enhet presenteres i enhet av 1 MJ drivstoff som forbrennes for å skape et enklere sammenligningsgrunnlag med andre drivstoff og andre studier. Studien tar ikke med i betraktningen at ulike drivstoff bruker ulike mengder for det samme transportarbeidet, grunnet ulike lagringskrav for drivstoffene. Forfatteren påpeker at det dermed blir enklere for leser av studien å potensielt adoptere og bruke dataen hvis ønskelig for spesifikke fartøy og energikrav.
Følsomhet/usikkerhet	Teknologisk utvikling i fremtiden vil alltid ha usikkerhet tilknyttet modelleringen. Det brede omfanget til studien gjorde at det ikke har blitt samlet inn primærdata. Det er kun blitt tatt i bruk data fra gratis og tilgjengelige kilder. Kan være misvisende å bruke funksjonell enhet 1 MJ drivstoff forbrent når man inkorporerer renseteknologier. For eksempel vil et skrubbersystem gi økt drivstofforbruk, og vil ikke fanges opp med funksjonell enhet 1 MJ drivstoff forbrent. Antatt lik motoreffektivitet uavhengig av drivstoff. Allokering av HFO og MGO produksjon i raffineriene er basert på energiinnholdet til drivstoffene. En annen metode er systemekspansjon, som ville ha inkludert flere prosesser inkludert i systemet. Klimapåvirkning fra landbruksendringer ved produksjon av biodrivstoff er ikke inkludert i modelleringen.
Beskrivelse av viktigste funn:	Studien konkluderer med at det er et betydelig potensiale for å redusere miljøpåvirkning fra shipping ved å endre drivstofftype og/eller ved bruk av renseteknologier for eksos. Et bytte fra tungolje til andre alternative drivstoff vil redusere den totale miljøpåvirkningen. På bakgrunn av LCA resultatene, tyder mye på at bruk av biobrensel kan være en mulig måte å redusere påvirkningen til global oppvarming fra shipping.

	Tre andre fokusområder er også belyst: • Viktigheten av å redusere NOx utslipp fra skipsmotorer • Regulere metantap fra gassmotorer • En endring i drivstoff i shipping vil ikke nødvendigvis redusere påvirkningen på klima

Viktigste beregningsresultater:

Viktige utslippsfaktorer:

HFO (Heavy fuel oil) – 87 g CO_2e/MJ
MGO (Marine gas oil) – 84 g CO_2e/MJ
GTL (Synthetic diesel) – 95 g CO_2e/MJ
RME (Rapeseed methyl ester) – 41 g CO_2e/MJ
BTLw (Synthetic biodiesel)– 21 g CO_2e/MJ
LNG (Liquefied natural gas) – 79 g CO_2e/MJ
LBGar (liquefied biogas – agricultural residues)– 50 g CO_2e/MJ
LBGw (liquefied biogas – forest residues)– 51 g CO_2e/MJ
MeOHng (Methanol – natural gas)– 89 g CO_2e/MJ
MeOHw (Methanol – biomass)– 18 g CO_2e/MJ

En sammenligning av utslippsfaktorer med en annen studie:

Table 5-4 Greenhouse gas balances of selected pathways in the European well-to-wheel study (g CO_2-eq./MJ) (Edwards et al., 2013b).

	Well-to-tank (best estimate)	Well-to-tank (range)	Well-to-propeller[a] (indicative values)	Well-to-propeller (this work)
Diesel	15.4	13.8-17	89.4-93.4 (74-78)	84-87
LNG, road (GRLG1)	19.4	18.7-20.6	91.4 (72)	81
Biogas from municipal waste	14.8	11.3-18.1	32.8 (18)	
Biogas from liquid manure (closed storage)	-69.9	-71.3 to -68.8	-51.9 (18)	50
Biogas from liquid manure (open storage)	-45.2	-46.6 to -44.2	-27.2 (18)	
Synthetic methane	3.3	2.2-4.1	21.3 (18)	56
RME (meal as AF, glycerol as chemical) (ROFA1)	53.9	46.0-59.8	53.9 (0)	41
RME (meal and glycerol to biogas) (ROFA4)	37.3	29.7-44.3	37.3 (0)	
GTL (GRSD1)	23.4	20.5-27.3	96.4 (73)	95
BTL (WFSD1)	7.0	5.3-19.6	7.0 (0)	27
MeOH from natural gas (GRME1)	24.9	23.7-26.8	93.9	89
MeOH from wood (WFME1)	6.6	5.2-18.8	6.6 (0)	24

[a]Added values of g CO_2-eq./MJ emitted when fuels are combusted in marine engines; the values added are in parenthesis.

Life cycle analysis of batteries in maritime sector [37]	**2016**
Analyse utført av	Næringslivets NOx-fond Maritime Battery Forum ABB Grenland Energy
Rapporten gjennomfører en livsløpsanalyse av batterier brukt i en maritim setting. To ulike caser blir undersøkt, et hybrid plattform forsyningsfartøy (PSV) og en fullelektrisk ferge. Disse blir sammenlignet opp mot hver sitt konvensjonelle skip driftet på diesel.	
Metodikk:	Studien er gjennomført i form av en kost-nytte analyse hvor de ekstra kostnader det vil være ved å sette opp et batterisystem, er sammenlignet opp mot utslippsreduksjon ved bruk av batteriet. I tillegg er den miljømessige tilbakebetalingsperioden beregnet. Utslipp undersøkt i studien er klimagassutslipp (GWP) og NOx utslipp. Livssyklusutslipp for de forskjellige komponentene til systemene er hentet fra Ecoinvent-databasen v.3.2. Funksjonell enhet på drift av skipet i ti år er valgt i studien. ReCiPe hierarkisk metode er brukt for å beregne klimapåvirkningspotensial (GWP). Tilsvarer utslipp av klimagasser med effekt på klimaet i atmosfæren over en periode på 100 år.
Systemgrenser:	Siden målet med studien er å sammenligne skip som bruker batterier med konvensjonelle systemer, er kun ekstra miljøkostnader og besparelser assosiert med batteriet beregnet. Det gir følgende livsløpsfaser og systemgrense: • Battericeller og omkringliggende system • Annet utstyr relatert til batteriet • Endring i drivstofforbruk over en 10 års periode • Dagens elektrisitetsmiks fra nettet En rekke ulike brenseltyper er undersøkt, blant annet tungolje, marin gassolje, LNG og biodiesel. Livssyklusinventar for batterisystemet for den hybride PSV og den elektriske fergen er utarbeidet med produktinformasjon fra Grenland Energi og ABB. Der produksjonslokasjonen for spesifikke systemer tilknyttet batteriet var ukjent, ble det antatt et globalt gjennomsnitt.
Følsomhet/usikkerhet	Vanskelig å fastslå hvordan endringer i drivstofforbruk vil bli de neste 10 årene. Levetiden på systemet kan også variere. Følsomhet tilknyttet bruk av norsk elmiks. Som beregningsresultatene viser, gir det store utslag i tilbakebetalingstiden. Usikkerhet relatert til fullstendigheten til inventaret, da studien kun har fokusert på de største komponentene til kraftkonverteringen og energilagringen. Tilbakebetalingstiden til den elektriske fergen er underestimert fordi besparelsen ved å ikke lage dieselmotoren ikke er inkludert. Resultatene viser at de viktigste aspektene til systemet er drivstofforbruk og elektrisitetsbruken til skipene, samt energibehovet til å produsere battericellene.
Beskrivelse av viktigste funn:	For hybrid PSV er tilbakebetalingsperioden for GWP og NOx på henholdsvis 1,5 og 0,3 mnd. De den fullelektriske fergen har en tilbakebetalingsperiode for GWP og NOx på henholdsvis 1,4 og 0,3 mnd. Dette er med forutsetning om at den norske elmiksen er utgangspunktet. Størsteparten av utslippene kommer fra produksjon av energilagring, som f.eks. battericeller og pakking, for de to fartøyalternativene. Prosessenergien som brukes til å lage battericellene er antatt å være global elektrisitetsmiks fra Ecoinvent.

Viktigste beregningsresultater:

Viktig utslippsdata:

Produksjon av MGO (Marine gas oil) – 0,5 kg CO_2e og 0,00167 kg NOx per kg MGO

Forbrenning av MGO (Marine gas oil) – 3,2 kg CO_2e per kg MGO og 0,044 kg NOx per kg MGO

Hybrid PSV:

119 tonn CO_2e og 0,3 tonn NOx per funksjonell enhet.

Tilsvarer besparelse på 962 tonn CO_2e per år, og 13 tonn NOx per år sammenlignet med konvensjonell drift.

Fullelektrisk ferge:

429 tonn CO_2e og 1,2 tonn NOx

Tilsvarer besparelse på omtrent 3 500 tonn CO_2e per år, og omtrent 45 tonn NOx per år.

Tilbakebetalingsperiode for fullelektrisk med EU og global elmiks:

EU: 2,5 mnd. for GWP og 0,32 mnd. for NOx

GLO: 11,8 mnd. for GWP og 0,35 mnd. for NOx

GWP for energilagringsdelen av batterisystemet for henholdsvis hybrid PSV og fullelektrisk ferge:

Henholdsvis 285 kg CO_2e/kWh og 273 kg CO_2e/kWh.

I studien nevnes det at Li-ion batterier for biler har et utslipp på mellom 60-173 kg CO_2e/kWh, noe som er lavere sammenlignet med fergene. Forskjellen kommer av at pakking og kontrollsystemet er større for fergene.

Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels [38]	**2018**
Analyse utført av	Gilbert, Paul Walsh, Conor Traut, Michael Kesieme, Uchenna Pazouki, Kayvan Murphy, Alan
Studien presenterer en liste av konvensjonelle og alternative brennstoff for shippingssektoren, og det gjennomføres livsløpsvurdering av disse brennstoffene med hensyn på klimagassutslipp og andre lokale miljøgifter.	
Metodikk:	Livsløpsanalyse fordelt på drivstoff tilknyttet marine fartøy. Sekundærdata hentet fra industri og litteratur er brukt i studien. Funksjonell enhet er gram utslipp per kWh levert til akselen på skipet. Klimagassutslipp (CO_2, CH_4, N_2O), og andre lokale miljøgifter er analysert i studien.
Systemgrenser:	Well-to-propeller (WTP) er utført. Dette inkluderer alle livsløpene tilknyttet drivstoffet til et skip, bortsett fra avfallshåndtering av drivstoffet. Flere av drivstoffene er produsert i henhold til Europeisk standard, og kan dermed vurderes som representative for bruk i norske farvann. De ulike verdikjedene for drivstoffene er modellert på bakgrunn av konsultasjon med akademia og industrielle partnere, samt basert på akademisk litteratur.
Følsomhet/usikkerhet	Fremtidig drivstoff modelleres for å bidra til dekarbonisering av shippingindustrien, og det foreligger usikkerhet i slike modelleringer. De tre første drivstoffene og deres usikkerheter presenteres her: HFO – modellert med Europeisk produksjonsdata. Masseallokering og allokering på energiinnhold mellom HFO og MDO i raffineriprosessen. Hoved livssyklus hot-spot inkluderer effektiviteten til raffinering, og transportdistanse. Derimot er ikke disse parameterne undersøkt i en sensitivitetsanalyse da produksjonsvegen er ansett som moden. MDO – modellert samme som HFO, samme hot-spots som HFO, og dermed ikke vurdert i sensitivitetsanalysen. LNG – Naturgassen er utvunnet både offshore og onshore i Europa. Naturgassen transporteres ved lavtemperatur (kryogenisk transport) 460 km til den sentrale huben og lagres før bruk. Hoved livssyklus hot-spot er kondenseringseffektiviteten, omfang av lufting og fakling, og utilsiktet metanutslipp under drift av skipet. Disse hot-spots er inkludert i sensitivitetsanalysen. Hovedfunn fra sensitivitetsanalysen er at transportdistanse for frakt av drivstoff ikke skaper stor forskjell mellom de ulike drivstoffene. Base case for hydrogen krever betydelig energiinput ved produksjon, både fossilt brennstoff og elektrisitet. Derimot er det mulig med betydelige kutt hvis en større andel fornybar energi fases inn i elektrisitetsmiksen. Utslipp fra landbruksendringer er store, og kritiske for biodrivstoff. Ved å inkludere utslipp fra landbruksendringer, vil biodrivstoff fra raps kun oppnå en utslippsreduksjon på 23% sammenlignet med HFO-drivstoff. Ekskluderes landbruksendringer derimot ligger utslippsreduksjonen på 58%. Denne forskjellen er enda mer drastisk hvis vi ser på soya (76% til 25% utslippsreduksjon).
Beskrivelse av viktigste funn:	Analysen viser at det ikke eksisterer et brennstoff som leverer på både reduksjon av klimagasser og reduksjon av lokal forurensning. Det finnes alternative drivstoff som har potensiale, men da må en rekke barrierer overvinnes. Hydrogen og andre syntetiske brennstoff er avhengig av dekarbonisering av energi-input til produksjon av brennstoff og annet råmateriale for å oppnå reduksjon i klimagassutslipp.

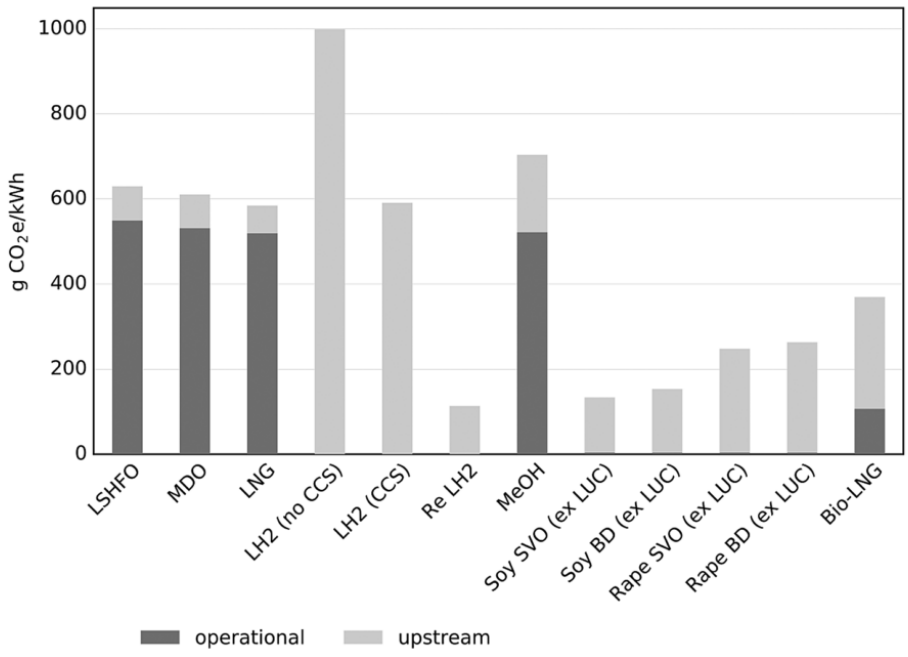
	Bio-brennstoff kan være et alternativ så lenge man forsikrer seg om at det ikke påvirker landbruk på negativ måte. Eksemplene nevnt ovenfor viser også at det er avgjørende barrierer som er lokalisert oppstrøms for de ulike brennstoffene som det må rettes fokus mot, både for shippingssektoren og andre påvirkede sektorer.

Viktigste beregningsresultater:

Figuren nedenfor viser en oversikt over potensielle utslippsstørrelser fordelt på drift og oppstrøms utslipp, og vi kan se at utslippene varierer mellom 1000 og 100 g CO_2e/kWh for ulike drivstoffalternativer.

Blant annet viser studien at utslipp LH2 uten CCS (carbon capture and storage) har det høyeste klimagassutslippet. Derimot ved bruk av fornybar energi (Re LH2) vil det være en betydelig reduksjon i klimagassutslipp.

Det er også beskrevet utslippsmengder i kg CO_2e per kg drivstoff i studien.



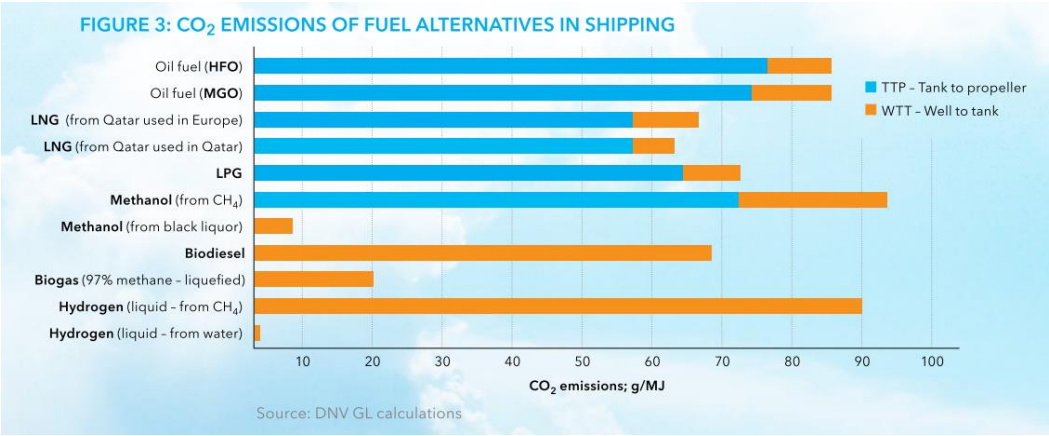
Utslippsfaktor under drift (g CO_2e/kWh):

- LSHFO (Low Sulphur heavy fuel oil): 541 g CO_2e/kWh
- MDO (Marine diesel oil): 524 g CO_2e/kWh
- LNG (Liquefied Natural gas): 412 g CO_2e/kWh
- LH_2 (liquefied hydrogen): 0 g CO_2e/kWh
- Metanol: 522 g CO_2e/kWh

Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies [39]	**2018**
Analyse utført av	DNV GL
Studien presenterer en introduksjon til alternative drivstoff og teknologiløsninger. Det inkluderer en oversikt over alternative brennstoff som LNG, LPG, metanol, biobrensel og hydrogen. I tillegg presenteres potensielle teknologier som batterier, brenselcelle-systemer, og vindassistert fremdrift.	
Metodikk:	Det beskrives ikke hvilken metode som er brukt i beregningene, men henvises til at det er livsløpsvurderinger av brennstoffene som ligger til grunn i beregningene gjennomført av DNV GL.
Systemgrenser:	Utslippene dekker kun utslipp fra drivstoff. Utslipp tilknyttet utvinning av råmaterialer, til drift av drivstoffet er inkludert. Gir en overordnet oversikt over de ulike drivstoffene. Funksjonell enhet er utslipp av CO_2/MJ drivstoff forbrent.
Følsomhet/usikkerhet	Vanskelig å kontrollere metodikk, datagrunnlag og forutsetninger for beregningene. Kunne med fordel nevnt antagelser i forbindelse med produksjonslokasjon av fossilt drivstoff, elektrisitetsmiks i drift av batterier og hvor biodrivstoff er produsert. I tillegg er ikke levetidsbetraktninger beskrevet. Det er heller ikke beskrevet hvilke komponenter i produksjonsfasen for de relevante drivstoffene som bidrar til utslippene. Det er også kun modellert CO_2-utslipp, ikke andre klimagasser eller andre miljøpåvirkningskategorier. Studien nevner at de største miljøutfordringene relatert til drivstoff er drivstoffkompatibilitet, tilgjengelighet av tilstrekkelig mengde drivstoff til shippingindustrien, drivstoffkostnader og internasjonale reguleringer fra IGF koden (The international Code of Safety for Ships using Gases or other Low-Flashpoint Fuels).
Beskrivelse av viktigste funn:	Av relevante fossile brennstoff ser vi at naturgass gir de laveste klimagassutslippene. Karbonfotavtrykket fra hydrogen og metanol produsert av naturgass er høyere enn fra HFO og MGO drivstoff. Betydelige fordeler oppnås ved bruk av fornybare energikilder til å produsere drivstoffet, og spesielt hydrogen kommer her godt ut.

Viktigste beregningsresultater:

Oversikt over livsløpsutslipp fra ulike drivstoff for marine fartøy, i g CO_2-utslipp per MJ. Merk at blant annet biogass modelleres med null utslipp i driftsfasen.



HFO (oil fuel):

Totalt CO_2 utslipp: 87,5 g/MJ

Well-to-tank (WWT): 9,80 g/MJ

Tank-to-propeller (TTP): 77,70 g/MJ

MGO (oil fuel):

Totalt CO_2 utslipp: 87,10 g/MJ

Well-to-tank (WWT): 12,70 g/MJ

Tank-to-propeller (TTP): 74,40 g/MJ

LNG (fra Qatar brukt i Europa):

Totalt CO_2 utslipp: 80,20 g/MJ

Well-to-tank (WWT): 10,70 g/MJ

Tank-to-propeller (TTP): 69,50 g/MJ

LNG (fra Qatar brukt i Qatar):

Totalt CO_2 utslipp: 77,20 g/MJ

Well-to-tank (WWT): 7,70 g/MJ

Tank-to-propeller (TTP): 69,50 g/MJ

6 ANALYSER AV LUFTFART

Life cycle assessment of air transportation and the Swiss commercial air transport fleet [40]	**2018**
Analyse utført av	Cox, Brian Jemiolo, Wojchiech Mutel, Chris
Metodikk	Det er beregnet miljøpåvirkning for individuelle typer luftfartøy så vel som hele den sveitsiske luftfartsflåten, med to framskrivningsscenarier mot 2050. Alle miljøpåvirkningskategorier i ReCiPe er inkludert og finnes i tilleggsinformasjon for artikkelen. Europeisk elmiks er brukt i beregningene for infrastruktur med en utslippsfaktor på 0,455 kg CO_2 ekv/kWh.
Systemgrenser:	• **Flyplass:** konstruksjon, drift, vedlikehold, og avhending – Kilde: Livsløpsanalyse av Zurich lufthavn, Ecoinvent. • **Fly:** konstruksjon, drift og avhending, Ecoinvent. • **Drivstoff:** produksjon, raffinering, og transport til flyplass, Ecoinvent. • **Luftfartsutslipp** i løpet av levetiden – modellert separat for LTO (Landing and take-off) og cruise-faser, basert på data fra EEA/EMEP inventory guidebook. Da resultatene representerer fly brukt i den sveitsiske flåten, som må anses som en relativt effektiv europeisk flåte, vurderes de å være representative for norske forhold. REG / SNB / LNB / SWB / LWB Seating capacity (max.): 50 / 125 / 200 / 440 / 620 Typical flight distance (Km): 300 / 1000 / 4000 / 6000 / 10000 Operating empty weight (ton): 13,40 / 34,4 / 56,6 / 135,3 / 202 Lifetime flight distance (mill. km): 30 / 40 / 50 / 90 / 115 Parametere er representative for 2015. Størrelseskategorier for luftfartøy: Regional (REG), Small Narrow Body (SNB), Large Narrow Body (LNB), Small Wide Body (SWB), Large Wide Body (LWB).
Beskrivelse av viktigste funn:	Det er funnet stor variasjon i livsløpsutslipp per passasjerkilometer for ulike flytyper, med spesielt høye utslipp per passasjerkm for kortdistansefly. Selv om utslipp per passasjerkm er forventet å synke frem mot 2050 er total klimapåvirkning fra den sveitsiske luftflåten forventet å stige med 86-243% innen 2050.

Viktigste beregningsresultater

kg CO_2 ekv./passasjerkm		typisk distanse (km)
REG	0,38	500
SNB	0,22	1 000
LNB	0,14	4 000
SWB	0,12	6 000
LWB	0,12	10 000

g CO_2 ekv./passasjerkm	REG	SNB	LNB	SWB	LWB
Aircraft	0,54	0,41	0,29	0,16	0,13
Airport	9,64	4,82	1,21	0,80	0,48
Induced cloudiness	59,25	19,70	3,54	1,66	0,90
Cruise	216,42	149,84	118,83	105,31	106,63

Fuel production	32,73	18,58	11,47	9,76	9,60
LTO	56,82	24,97	5,22	3,10	1,84
SUM	375,40	218,32	140,56	120,79	119,59

A life cycle assessment of the passenger air transport system using three flight scenarios [41]	**2013**
Analyse utført av	Lewis, Tyler
Metodikk	Masteroppgave ved NTNU. Analyserte flymodeller er Airbus A320, A330-200 and A380. Andre klimaeffekter som skyformasjon som følge av kondensstriper og partikkelutslipp er inkludert, men ikke disaggregert i totalregnskapet. Et reisescenario per flymodell er analysert: kortdistanse (A320), mellomdistanse (A330) og langdistanse (A380), med spesifikt drivstofforbruk for avgang, landing og cruise. Det er brukt en hybrid-LCA metode ved livsløpsanalyse for drivstoffproduksjon og Input-output analyse basert på økonomiske data for produksjon av lufthavn og luftfartøy.
Systemgrenser:	• **Lufthavn** Konstruksjon, drift og vedlikehold – Input Output Analysis • **Luftfartøy** Konstruksjon – Input output Analysis • **Luftfartøy** Operasjon – Hentet fra Eurocontrol Advanced Emissions Model (AEM). • **Drivstoff** Produksjon – Ecoinvent Norsk studie – anses som representativt for norske forhold.
Beskrivelse av viktigste funn:	Resultatene er ganske sammenfallende med Cox et al. (2018) og viser at 16-21% av miljøpåvirkningen fra flytrafikk skyldes indirekte utslipp i livsløpet.

Viktigste beregningsresultater

	g CO_2 ekv./pkm	distanse (km)
A320:	180	935
A330:	110	5 538
A380:	120	9 582

Bærekraftig drivstoff for luftfart [42], [43]	**2013/2017**
Analyse utført av	Rambøll Avinor Norwegian SAS
Metodikk	Teknologisk, økonomisk og miljømessig analyse basert på livsløpsanalyse for norsk produksjon av biodrivstoff til flytransport. Ulike teknologier og verdikjeder er analysert med hensyn til disse parameterne. Det er satt lagt spesiell vekt på produksjon av bærekraftig drivstoff (Jet-A-1). Rapporten er oppdatert i 2017 for økonomiske og teknologiske analyser, men ikke for klimagassutslipp.
Systemgrenser	• Avvirkning av biomasse • Transport av råvarer • Konvertering/prosessering • Transport av Jet-A-1 • Forbrenning i jetmotor
Beskrivelse av viktigste funn:	Klimagassutslipp fra biodrivstoff produsert med norsk verdikjede er lavere enn for konvensjonelt drivstoff. Det er også teknologisk og økonomisk mulig å produsere biodrivstoff i Norge ved hjelp av ulike tilskuddsordninger og fond.

Viktigste beregningsresultater:

Det oppnås en reduksjon på henholdsvis 65% og 81% for fornybar Jet A-1 og Termo-kjemisk FT-biodrivstoff. Indirekte arealbruksendringer er ikke inkludert i analysen.

Jet A-1: 29 g CO_2 ekv./MJ

Termo-kjemisk FT-anlegg: 16 g CO_2 ekv./MJ

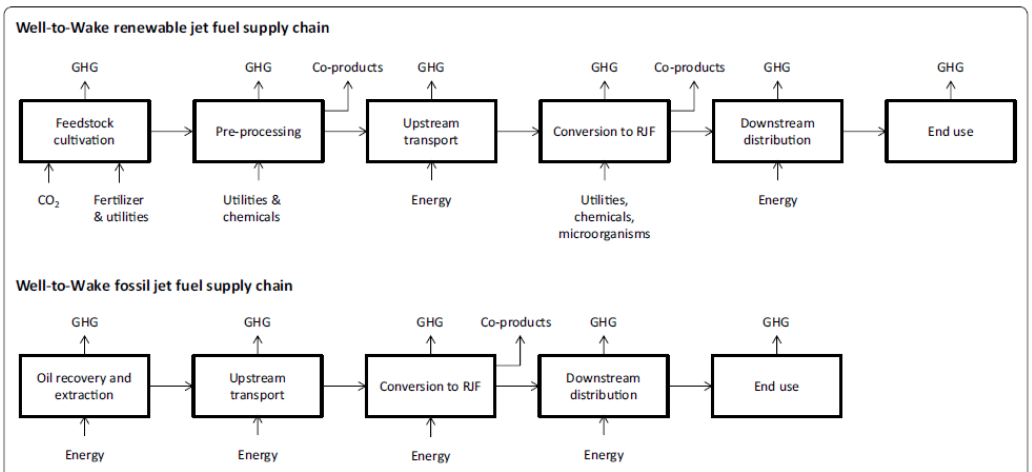
Referanse-case: Fossil Jet-A-1: 84 g CO_2 ekv./MJ

Markedsutsikter i oppdatert analyse, 2017

Den oppdaterte analysen i 2017 gjennomgår en mulig tilrettelegging for økt produksjon biojetdrivstoff ved bruk av skogsavfall og massevirke som råstoff. Rapporten skisserer en fondsløsning hvor avgiftsinntektene fra CO_2 - avgiften og eventuelt flypassasjeravgiften blir brukt til å kjøpe inn så mye biojetdrivstoff som mulig, og dermed bidra til økt produksjon. Det bør være et mål å trappe ned finansieringen av fondet over tid, slik at leveransene av biojetdrivstoff etter hvert skjer på rene kommersielle vilkår. Det bør stilles krav til at biojetdrivstoffet skal produseres bærekraftig og ikke gå på bekostning av matproduksjon, noe som kan stimulere norsk produksjon. Dagens CO_2 avgift er for lav til å dekke merkostnadene ved å produsere biojetdrivstoff.

En overordnet framdriftsplan for mot første leveranse av bærekraftig, norsk biojetdrivstoff inkluderer følgende momenter:

- **År 0-2**
  - Utredning av organisering og finansiering av fond og anskaffelse
  - Utforming av konkurranse
  - ESA-notifisering
- **År 2-3**
  - Gjennomføring av første konkurranse
  - Inngåelse av avtaler
- **År 3-6**
  - Bygging av anlegg
  - Start første leveranse
  - Gjennomføring av andre konkurranse

Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel [44]	**2017**
Analyse utført av	De Jong, Sierk Antonissen, Kay Hoefnagels, Ric Lonza, Laura Wang, Michael Faaij, André Junginger, Martin
Metodikk	Studiet gjør en Well-To-Wake (WtWa) analyse av jetbiodrivstoff sammenlignet med fossilt jetdrivstoff. Det er valgt ut teknologier for biodrivstoffproduksjon som er forventet å være kommersielt tilgjengelig i nærmeste fremtid. Disse er: Hydroprosesserte estere og fettsyrer (HEFA), Fischer-Tropsch (FT), Hydrotermisk kondesasjon (HTL), pyrolyse, Alkohol-til-jet (ATJ) og direkte sukkere og hydrokarboner (DSHC). De valgte råstoffene er sukker/stivelse (sukkerrør og mais), lignocellulose(poppel, selje, mais- og skogsrester), og oljeråstoff (brukt matolje, jatropha og kamelina). Det er vurdert ulike allokeringsmetoder for restprodukter av biodrivstoffet og det er kommet fremt til to fordelingsmetoder: Energiallokering og energiallokering pluss systemutvidelse i form av erstattede restprodukter. Analysen understreker at landbruksendringer som følge av biodrivstoffproduksjon i stor grad vil variere i ulike tilfeller. Faktorer som har innflytelse på dette er jordtyper, tidligere arealbruk og arealforvaltningspraksis. Videre argumenteres det for at kvantifisering av arealbrukseffekter burde sees i en større sammenheng, eksempelvis arealbrukspolitikk og effektivisering av eksisterende landbruk. Siden studiet fokuserer på teknologier og verdikjeder for ulik biodrivstoff er arealbruksendringer ekskludert fra analysen.
Systemgrenser	Studiet ser på produksjon og konsumpsjon av produktene i USA, bortsett fra sukkerrørs-basert DSHC og ATJ hvor sukkerrørene antas produsert i Brasil. Det er dermed brukt en amerikansk utslippsfaktor for elektrisitetsforbruk.  **Fig. 1** A schematic overview of the RJF supply chain and the system boundaries used in this study
Beskrivelse av viktigste funn:	Analysen viser at lignocellulose- og restprodukter gir lave CO_2 utslipp, uavhengig av produksjonsteknologi eller allokeringsmetode. Mat- og oljeavlinger har generelt høyere klimagassutslipp, spesielt på grunn av høyt gjødselforbruk. Med hensyn til teknolgier, har hydrogenforbruk og virkningsgrad av teknologien stor innflytelse på miljøprestasjonen. Oppstrøms transport og nedstrøms distribusjon har liten innvirkning på totale klimagassutslipp. På bakgrunn av disse funnene anses rapporten å være relevant for europeiske forhold. At studiet ekskluderer arealbruksendringer anses derimot å være en stor svakhet med hensyn til total klimapåvirkning ved bruk av biodrivstoff.
Viktigste beregningsresultater:	

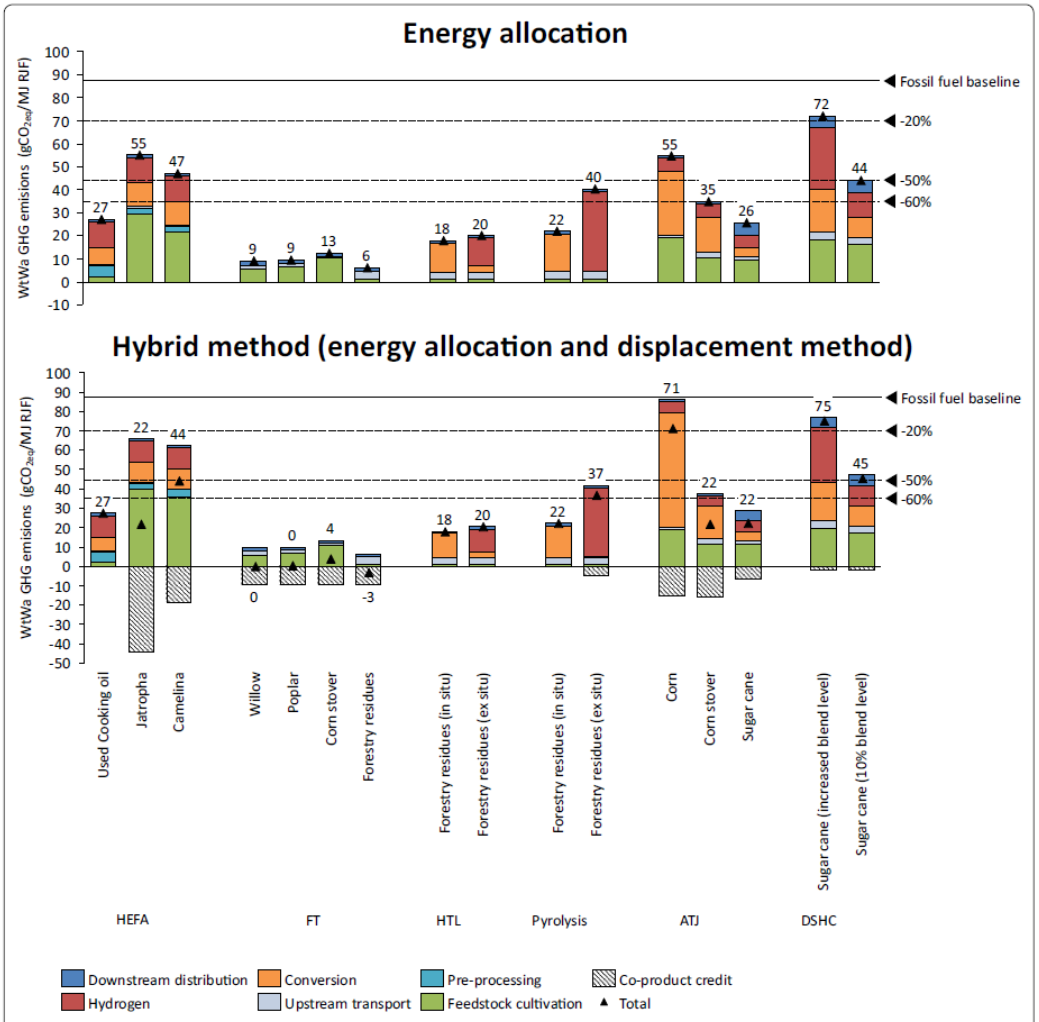
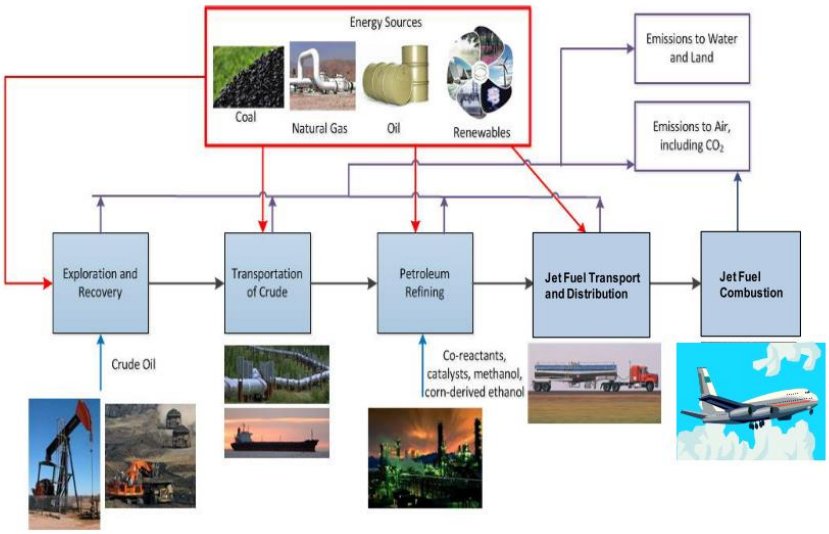
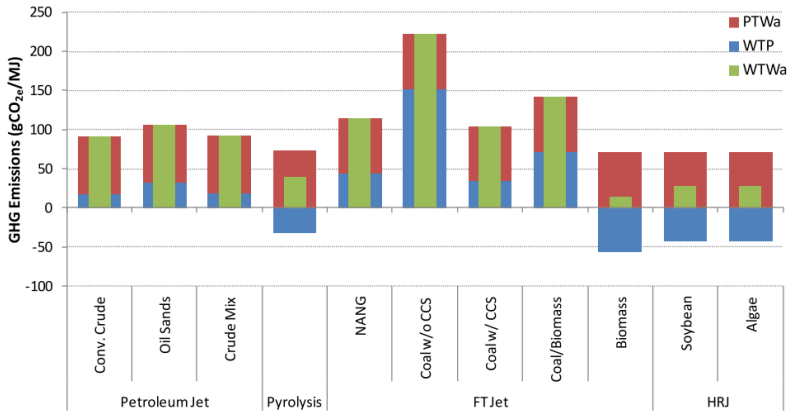


Fig. 3 WtWa GHG emission performance of RJF conversion pathways

Life-Cycle Analysis of Alternative Aviation Fuels in GREET [45]	**2012**
Analyse utført av	Elgowainy, Amgad Han, Jeongwoo Wang, Michael Carter, N Stratton, R Hileman, J Malwitz, A Balasubramanian, S
Metodikk	Amerikansk studie som analyserer WTWa (Well-to-wake) – utslipp for ulike fossil- og biodrivstoff brukt i flytransport. Verdikjedene som er analysert inkluderer ulike typer petroleumsbaserte drivstoff; Fisher-Tropsch (FT) drivstoff fra naturgass, kull og biomasse; biodrivstoff fra pyrolyse av cellulose-basert materiale; og biodrivstoff fra plantebaserte, hydroprosesserte estere og fettsyrer. For drift av fly er det analysert seks passasjerflyklasser og fire godsflyklasser. Indirekte landbruksendringer er ikke inkludert for biodrivstoffet som analyseres. Det er antatt kort rotasjonsperiode i avlingene der det brukes biomasse, og biogene CO_2 utslipp tildeles derfor ingen klimapåvirkning.
Systemgrenser	
Beskrivelse av viktigste funn	Kan oppnå livsløpsreduksjon i klimagassutslipp på 55%-85% avhengig av råvarekilde, teknologi for drivstoffproduksjon. Studiet anses som en god oversikt over ulike produksjonsprosesser for flydrivstoff, men metodikk for utslippsberegninger fra biogene kilder kan være utdatert.

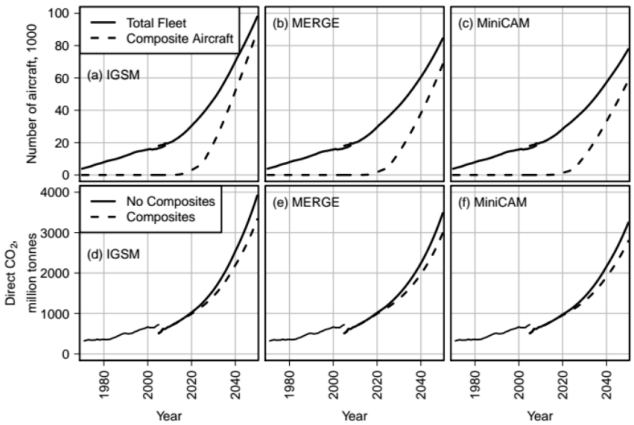
Viktigste beregningsresultater



Figur 6-1 – Livsløpsutslipp fra ulike drivstoff fordelt på well-to-pump (WTP) og pump-to-wake (PTW). Pyrolyse er biobasert pyrolyse, NANG er naturgass.

Environmental impact assessment of aviation emission reduction through the implementation of composite materials [46]	**2015**
Analyse utført av	Timmis, Andrew J. Hodzic, Alma Koh, Lenny Bonner, Michael Soutis, Constantinos Schäfer, Andreas W. Dray, Lynnette
Metodikk:	Studiet undersøker reduksjon i livsløpsutslipp ved bruk av karbonfiberforsterket polymer (CFRP) i flyskrog sammenlignet med to ulike alauminiumsskrog. Innvirkningen av lettere flyskrog på drivstofforbruk og dermed klimagassutslipp er analysert. Det er også gjennomført en scenarioanalyse av fremtidige markedsutsikter for flyskrog med komposittmateriale mot 2050.
Systemgrenser:	• Produksjon av komposittmateriale brukt i flyskrog. • Produksjon av aluminiumskrog brukt i standard fly. • Klimagassutslipp i bruksfasen • Avfallsbehandling av flydeler. Det virker ikke som om produksjon av drivstoff og transport av drivstoff og flydeler er inkludert i analysen. Det er brukt en gjennomsnittlig italiensk produksjonsmiks for elektrisitetsbruk ved materialproduksjon. I følge Ecoinvent har denne en utslippsfaktor på 425 g CO_2 ekv/kWh.
Beskrivelse av viktigste funn:	Produksjon av komposittmateriale har høyere klimagassutslipp enn de to aluminiumsskrogene på grunn av høyere energibruk i karbonfiberproduksjon. Totale reduksjoner av direkte CO_2-utslipp på grunn av introduksjon av komposittmaterialer er beregnet til å være 14-15% innen 2050. Industrimålet om 50% reduksjon i klimagassutslipp per passasjerkm innen 2020 kan ikke nås ved introduksjon av komposittmateriale i flyskroget alene, selv om teknologien anses for å være et viktig ledd i reduksjon av klimagassutslipp. Introduksjon av en markedsbasert mekanisme for prising av CO_2 utslipp vil bidra til introduksjon av komposittmaterialer i flyskrog på grunn av økt kostnadseffektivitet av drivstoffbesparelser. Hoveddriveren for overgang til komposittmateriale i flyskroget er den fremtidige oljeprisen som dikterer kostnadseffektiviteten av drivstoffbesparende teknologier. Siden studiet skisserer en generell teknologisk forbedring, anses resultatene å være overførbare til norske forhold.

Viktigste beregningsresultater



Figuren viser antall fly som bruker komposittmateriale i flyskroget og totale CO_2 utslipp for den globale flyflåten med og uten komposittmaterialer for tre ulike sosio-økonomiske scenarioer.

Tilbakebetalingsdistansen i klimagassutslipp for komposittmaterialer mot standard flyskrog er på 95-17 000 km for CO_2 og 70-90 000 km for N_2O.

7 KILDER

[1] T. Johnsen, A. S. Estensen, and I. Nestaas, “Miljøsammenligning av bro, tunnel og ferge : livsløpsanalyse som grunnlag for sammenligning av alternative fjordkrysninger,” Statens vegvesen. Vegdirektoratet, 2000.

[2] S. Aitta, H. Bohman, H. Brattebø, J. Hammervold, E. Høysæter, A. Jutila, R. Karoumi, O. Kleppe, P. Larsen, J. Nygård, M. Piispanen, M. Reenaas, L. Salokangas, H. Sundquist, M.-K. Söderqvisst, and T. Tirkkonen, “ETSI PROJECT (Stage II) Bridge Life Cycle Optimisation,” 2009.

[3] A. H. Schlaupitz and N. Naturvernforbund, “Energi-og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer Effekter ved bygging av høyhastighetsbaner i Norge,” 2008.

[4] H. Bergsdal, J. B. Pettersen, C. Solli, C. Hung, C. Grossrieder, and J. Hammervold, “Norwegian High Speed Railway Environmental Analysis Project Phase 3,” 2012.

[5] Fuglseth M.S., “Livsløpsvurdering av utbygging og utvidelse av 2-felts motorveg til 4-felts moderne motorvei,” 2013.

[6] H. Bergsdal and J. B. Pettersen, “Tidligfase klimautredning for ny E39,” 2015.

[7] J. Hammervold, “Klimamodulen i EFFEKT - Oppdatering av koeffisienter 2017 for drivstofforbruk,” 2017.

[8] A. Brekke and I. Vold, “Miljømessig sammenligning av skips- og veitransport ved bruk av LCA,” 2011.

[9] V. Dimoula, F. Kehagia, and A. Tsakalidis, “A holistic approach for estimating carbon emissions of road and rail transport systems,” *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 16, no. 1, pp. 61–68, 2016.

[10] M. J. Nahlik, A. T. Kaehr, M. V. Chester, A. Horvath, and M. N. Taptich, “Goods Movement Life Cycle Assessment for Greenhouse Gas Reduction Goals,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 20, no. 2, pp. 317–328, Apr. 2016.

[11] R. O’born, H. Brattebø, O. Magnus, K. Iversen, S. Miliutenko, and J. Potting, “Quantifying energy demand and greenhouse gas emissions of road infrastructure projects: An LCA case study of the Oslo fjord crossing in Norway,” *EJTIR Issue*, vol. 16, no. 3, pp. 445–466, 2016.

[12] J. Potting, K. Royal, H. Brattebø, N. Harpa Birgisdottir, H. Birgisdottir Consulting, and D. Kristina Lundberg, “LICCER Model Technical Report Account of technical backgrounds of the LICCER model,” 2013.

[13] J. Hammervold, “Towards greener road infrastructure : life cycle assessment of case studies and recommendations for impact reductions and planning of road infrastructure,” NTNU, 2014.

[14] J. Hammervold, “EFFEKT - Klimamodul.” SINTEF, 2016.

[15] M. Goedkoop, R. Heijungs, A. De Schryver, J. Struijs, and R. Van Zelm, “ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level First edition (version 1.08) Report I: Characterisation Mark Huijbregts 3),” 2013.

[16] M. Landsgård, “Reduksjon av klima-og miljøutslipp i Rogfast Merete Landsgård Ytre miljø-ansvarlig,” 2018.

[17] K. Shanmugam, M. Tysklind, and V. K. K. Upadhyayula, “Use of Liquefied Biomethane (LBM) as a Vehicle Fuel for Road Freight Transportation: A Case Study Evaluating Environmental Performance of Using LBM for Operation of Tractor Trailers,” in *CIRP Life Cycle Engineering*,

2018.

[18] M. Messagie, F.-S. Boureima, T. Coosemans, C. Macharis, and J. Van Mierlo, “A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels,” *Energies*, 2014.

[19] T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strømman, “Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 17, no. 1, pp. 53–64, Feb. 2013.

[20] O. Dahlstrøm and H. Bergsdal, “Klimagassberegning : Utbygging av Sørvestbanen,” 2016.

[21] H. Bergsdal, J. Pettersen, C. Solli, C. Hung, C. Grossrieder, and J. Hammervold, “Environmental analysis Energy consumption Norwegian High Speed Railway Project Phase 3 Final report,” 2012.

[22] H. Stripple and S. Uppenberg, “Life cycle assessment of railways and rail transports,” 2010.

[23] H. Jones, F. Moura, and T. Domingos, “Life cycle assessment of high-speed rail: a case study in Portugal,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 22, no. 3, pp. 410–422, Mar. 2017.

[24] BaneNOR og Statens Vegvesen, “Klimabudsjett for infrastruktur og transport Reguleringsplan med konsekvensutredning (KU) Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 Høgkastet-Hønefoss,” 2018.

[25] Bane NOR, “Tidligfaseverktøy for klimabudsjett av jernbaneinfrastruktur,” 2015. [Online]. Available: http://www.banenor.no/contentassets/077e2394dcd646c781d391474c92c01d/tidligfaseverkoty-klima-kopi-2017.xlsx . [Accessed: 20-Sep-2018].

[26] O. Dahlstrøm and A.-R. Korsmo, “Klimagassberegning elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen,” 2016.

[27] M. Fuglseth, “NSB Klimakalkulator,” 2013. [Online]. Available: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/5/1/014003/meta.

[28] H. Stripple, E. Fridell, and H. Winnes, “Port Infrastructures in a System Perspective,” no. C, 2016.

[29] E. A. Bouman, E. Lindstad, A. I. Rialland, and A. H. Strømman, “State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 52, pp. 408–421, 2017.

[30] S. Bengtsson, K. Andersson, and E. Fridell, “A comparative life cycle assessment of marine fuels: Liquefied natural gas and three other fossil fuels,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.*, vol. 225, no. 2, pp. 97–110, 2011.

[31] J. . Schmidt and J. Watson, “Eco Island Ferry - Comparative LCA of island ferry with carbon composite based and steel based structures,” Aalborg, Denmark, 2013.

[32] LMG Marin, CMR Prototech, and Norsk Energi, “Energieffektiv og klimavennlig ferjedrift,” 2013.

[33] S. Brynolf, “Environmental Assessment of Present and Future Marine Fuels,” 2014.

[34] Næringslivets NOx-fond, Maritime Battery Forum, ABB, and Grenland Energy, “Life cycle analysis of batteries in maritime sector,” 2016.

[35] P. Gilbert, C. Walsh, M. Traut, U. Kesieme, K. Pazouki, and A. Murphy, “Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels,” *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 855–866, Jan. 2018.

[36] DNV GL, “Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies,” no. June, pp. 1–48, 2018.

[37] B. Cox, W. Jemiolo, and C. Mutel, “Life cycle assessment of air transportation and the Swiss commercial air transport fleet,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 58, no. November 2017, pp. 1–13, 2018.

[38] T. Lewis, “A Life Cycle Assessment of the Passenger Air Transport System Using Three Flight Scenarios,” 2013.

[39] Rambøll, “Bærekraftig biodrivstoff for luftfart,” *Utredning*, vol. 1, p. https://avinor.no/globalassets/_konsern/miljo-loka, 2013.

[40] Rambøll, “Bærekraftig drivstoff til luftfart - status 2017,” 2017.

[41] S. De Jong, K. Antonissen, R. Hoefnagels, L. Lonza, M. Wang, A. Faaij, and M. Junginger, “Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel production,” *Biotechnol. Biofuels*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18, 2017.

[42] A. Elgowainy, J. Han, M. Wang, N. Carter, R. Stratton, J. Hileman, A. Malwitz, and S. Balasubramanian, “Life-Cycle Analysis of Alternative Aviation Fuels in GREET,” Chicago, 2012.

[43] A. J. Timmis, A. Hodzic, L. Koh, M. Bonner, C. Soutis, A. W. Schäfer, and L. Dray, “Environmental impact assessment of aviation emission reduction through the implementation of composite materials,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 20, no. 2, pp. 233–243, 2015.

[44] M. Rupp, S. Schulze, I. Kuperjans, M. Rupp, S. Schulze, and I. Kuperjans, “Comparative Life Cycle Analysis of Conventional and Hybrid Heavy-Duty Trucks,” *World Electr. Veh. J.*, vol. 9, no. 2, p. 33, Aug. 2018.

[45] BaneNOR og Statens Vegvesen, “Klimabudsjett for infrastruktur og transport Reguleringsplan med konsekvensutredning (KU) Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 Høgkastet-Hønefoss,” 2018.

[46] R. J. O’Born, “Life cycle assessment of large scale timber bridges: A case study from the world’s longest timber bridge design in Norway,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 59, pp. 301–312, Mar. 2018.

[47] A. Balaguera, G. I. Carvajal, J. Albertí, and P. Fullana-i-Palmer, “Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 132, pp. 37–48, May 2018.

[48] K. Shanmugam, M. Tysklind, and V. K. K. Upadhyayula, “Use of Liquefied Biomethane (LBM) as a Vehicle Fuel for Road Freight Transportation: A Case Study Evaluating Environmental Performance of Using LBM for Operation of Tractor Trailers,” in *CIRP Life Cycle Engineering*, 2018.

[49] J. L. Osorio-Tejada, E. Llera-Sastresa, and S. Scarpellini, “A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems,” *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, vol. 42, pp. 169–186, Jun. 2017.

[50] R. O’born, P. Candidate, and K. Vertes, “Comparative life cycle assessment of a concrete and timber road bridge deck designs,” *3rd Int. Conf. Timber Bridg. 2017 - Skellefteå, Sweden*, 2017.

[51] C. S. J. Karlsson, S. Miliutenko, A. Björklund, U. Mörtberg, B. Olofsson, and S. Toller, “Life cycle assessment in road infrastructure planning using spatial geological data,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 22, no. 8, pp. 1302–1317, Aug. 2017.

[52] F. Kehagia, “A Holistic Approach for Estimating Carbon Emissions of Road and Rail Transport

Systems TRIMIS-Transport Research and Innovation Monitoring and Information System View project," 2016.

[53] S. Inti, M. Sharma, and V. Tandon, "An Approach for Performing Life Cycle Impact Assessment of Pavements for Evaluating Alternative Pavement Designs," *Procedia Eng.*, vol. 145, pp. 964–971, Jan. 2016.

[54] S. Miliutenko, "Consideration of life cycle energy use and greenhouse gas emissions for improved road infrastructure planning," Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2016.

[55] R. F. Flores, C. M.-P. Montoliu, and E. G. Bustamante, "Life Cycle Engineering for Roads (LCE4ROADS), The New Sustainability Certification System for Roads from the LCE4ROADS FP7 Project," *Transp. Res. Procedia*, vol. 14, pp. 896–905, Jan. 2016.

[56] R. O'born, H. Brattebø, O. Magnus, K. Iversen, S. Miliutenko, and J. Potting, "Quantifying energy demand and greenhouse gas emissions of road infrastructure projects: An LCA case study of the Oslo fjord crossing in Norway," *EJTIR Issue*, vol. 16, no. 3, pp. 445–466, 2016.

[57] A. Simons, "Road transport: new life cycle inventories for fossil-fuelled passenger cars and non-exhaust emissions in ecoinvent v3," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 21, no. 9, pp. 1299–1313, Sep. 2016.

[58] L. Trupia, T. Parry, L. C. Neves, and D. Lo Presti, "Rolling resistance contribution to a road pavement life cycle carbon footprint analysis," *Int. J. Life Cycle Assess.*

[59] L. A. Ellingsen, B. Singh, and A. H. Strømman, "The size and range effect : lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles," *Environ. Res. Lett.*, vol. 11, no. 5, pp. 1–8, 2016.

[60] T. Buø and K. Steen-Olsen, "Environmental Assessment of Bus Transport in the Trondheim Region Evaluation of Relevant Bus and Fuel Technologies and their Potential for Mitigating Emissions from Passenger Transportation."

[61] C. Celauro, F. Corriere, M. Guerrieri, and B. Lo Casto, "Environmentally appraising different pavement and construction scenarios: A comparative analysis for a typical local road," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 34, pp. 41–51, Jan. 2015.

[62] C. Thiel, T. Stengel, and C. Gehlen, "Life cycle assessment (LCA) of road pavement materials," *Eco-efficient Constr. Build. Mater.*, pp. 368–403, Jan. 2014.

[63] J. Harvey, J. Meijer, and A. Kendall, "LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PAVEMENTS," 2014.

[64] J. Hammervold, "Towards greener road infrastructure : life cycle assessment of case studies and recommendations for impact reductions and planning of road infrastructure," NTNU, 2014.

[65] oG, "Environmental Product Declaration "N-340 road"," 2013.

[66] E. A. Nanaki and C. J. Koroneos, "Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation," *J. Clean. Prod.*, vol. 20, no. 1, pp. 14–19, Jan. 2012.

[67] S. Miliutenko, J. Åkerman, and A. Björklund, "Energy Use and Greenhouse Gas Emissions during the Life Cycle Stages of a Road Tunnel - the Swedish Case Norra Länken," *Eur. J. Transp. Infrastruct. Res.*, vol. 2012, no. 12(1), pp. 39–62, 2012.

[68] M. Hegedić, N. Štefanić, and M. Nikšić, "Life cycle assessment: assessing the environmental impact in the railway maintenance."

[69] K. Vassaas, "Brenselcelleteknologi i jernbanen : hydrogenisering - en bærekraftig fremtid for Nordlandsbanen?," Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2016.

[70] H. Jones, F. Moura, and T. Domingos, "Life cycle assessment of high-speed rail: a case study in

Portugal," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 22, no. 3, pp. 410–422, Mar. 2017.

[71] Y. Yue, T. Wang, S. Liang, J. Yang, P. Hou, S. Qu, J. Zhou, X. Jia, H. Wang, and M. Xu, "Life cycle assessment of High Speed Rail in China," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 41, pp. 367–376, Dec. 2015.

[72] N. Fries and S. Hellweg, "LCA of land-based freight transportation: facilitating practical application and including accidents in LCIA," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 3, pp. 546–557, Mar. 2014.

[73] P. O. Vandanjon, A. Coiret, B. Muresan, A. Fargier, M. Dauvergne, R. Bosquet, A. Jullien, and D. Francois, "Practical guidelines for Life Cycle Assessment applied to railways project," 2012.

[74] B. Chang and A. Kendall, "Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 16, no. 6, pp. 429–434, Aug. 2011.

[75] M. Chester and A. Horvath, "Life-cycle assessment of high-speed rail: the case of California," *Environ. Res. Lett.*, vol. 5, no. 1, p. 014003, Jan. 2010.

[76] F. Werner, R. Schrägle, K. Richter, A. Holz, and E. Dübendorf, "Life cycle assessment (LCA) of railway sleepers," 2009.

[77] DNV GL, "Analyse av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk," 2018.

[78] E. A. Van Rynbach, K. E. Briers, and N. J. Delgatto, "Analysis of Fuel Alternatives for Commercial Ships in the ECA Era," 2018.

[79] M. Svanberg, J. Ellis, J. Lundgren, and I. Landälv, "Renewable methanol as a fuel for the shipping industry," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 94, pp. 1217–1228, 2018.

[80] V. Nian and J. Yuan, "A method for analysis of maritime transportation systems in the life cycle approach – The oil tanker example," *Appl. Energy*, vol. 206, pp. 1579–1589, Nov. 2017.

[81] N. Olmer, B. Comer, B. Roy, X. Mao, D. Rutherford, T. Smith, J. Faber, R. Schuitmaker, J. Holskotte, J. Fela, and J. Schultz, "GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM GLOBAL SHIPPING, 2013-2015," 2017.

[82] E. Nordtveit, "Life Cycle Assessment of a Battery Passenger Ferry," 2017.

[83] M. Silva, "Life Cycle Assessment of Marine Fuel Production," 2017.

[84] A. Ringvold, "Prospective Life Cycle Assessment of Container Shipping," 2017.

[85] European Commission, "Study on differentiated port infrastructure charges to promote environmentally friendly maritime transport activities and sustainable transportation," 2017.

[86] A. B. Kullmann, "A Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and All-Electric Car Ferries," 2016.

[87] J. Ling-Chin and A. P. Roskilly, "A comparative life cycle assessment of marine power systems," 2016.

[88] K. Moirangthem and D. Baxter, "Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways," 2016.

[89] J. Ling-Chin and A. P. Roskilly, "Investigating a conventional and retrofit power plant on-board a Roll-on/Roll-off cargo ship from a sustainability perspective - A life cycle assessment case study," *Energy Convers. Manag.*, 2016.

[90] M. S. Eide, H. Gundersen, L. Laugen, M. Lande, E. Nyhus, and S. Mossevig, "Reduksjon av klimagassutslipp fra norsk innenriks skipsfart," 2016.

[91] S. D. Chatzinikolaou and N. P. Ventikos, "Holistic framework for studying ship air emissions in

a life cycle perspective," *Ocean Eng.*, vol. 110, pp. 113–122, Dec. 2015.

[92] V. N. Armstrong and C. Banks, "Integrated approach to vessel energy efficiency," *Ocean Eng.*, vol. 110, pp. 39–48, 2015.

[93] H. Lindstad and G. S. Eskeland, "Low carbon maritime transport: How speed, size and slenderness amounts to substantial capital energy substitution," *Transp. Res. Part D*, vol. 41, pp. 244–256, 2015.

[94] K. Andersson, "Methanol as a Marine fuel report," 2015.

[95] H. Thomson, J. J. Corbett, and J. J. Winebrake, "Natural gas as a marine fuel," *Energy Policy*, vol. 87, pp. 153–167, 2015.

[96] N. Bialystocki and D. Konovessis, "On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach," *J. Ocean Eng. Sci.*, vol. 1, pp. 157–166, 2016.

[97] IMO, "Third IMO GHG Study 2014," 2015.

[98] V. Mihaylov, "Comparative life cycle impact assessment of a battery electric and a conventional powertrains for a passenger transport ferryboat - A case study of the entire integrated system for vessel propulsion," 2014.

[99] S. Bengtsson, E. Fridell, and K. Andersson, "Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping," *Energy Policy*, vol. 44, pp. 451–463, May 2012.

[100] A. Florentinus, C. Hamelinck, A. van den Bos, R. Winkel, and M. Cuijpers, "Potential of biofuels for shipping," 2012.

[101] H. O. H. Kristensen and C. Hagemeister, "Environmental Performance Evaluation of Ro-Ro Passenger Ferry Transportation," pp. 1–12, 2011.

[102] J. B. Nielsen and D. Stenersen, "Emission factors for CH4, NOx, particulates and black carbon for domestic shipping in Norway, revision 1," 2010.

[103] K. Hestad and K. J. Aarskog, "LCA of fuel cells onboard ships - a comparative life cycle assessment study, evaluating the environmental impact between a gas engine and a fuel cell," 2010.

[104] N. Yilmaz and A. Atmanli, "Sustainable alternative fuels in aviation," *Energy*, vol. 140, pp. 1378–1386, 2017.

[105] K. Cox, M. Renouf, A. Dargan, C. Turner, and D. Klein-Marcuschamer, "Environmental life cycle assessment (LCA) of aviation biofuel from microalgae, Pongamia pinnata, and sugarcane molasses," *Biofuels, Bioprod. Biorefining*, vol. 8, no. 4, pp. 579–593, Jul. 2014.

[106] L. Scelsi, M. Bonner, A. Hodzic, C. Soutis, C. Wilson, R. Scaife, and K. Ridgway, "Potential emissions savings of lightweight composite aircraft components evaluated through life cycle assessment," *Express Polym. Lett.*, vol. 5, no. 3, pp. 209–217, 2011.

[107] SAS, "SAS klimakalkulator," 2011. [Online]. Available: http://sasems.port.se/Emissioncalc.cfm?sid=simple&utbryt=0&res=Result&lang=1.

[108] J. Vasco de Oliveira Fernandes Lopes, "Life Cycle Assessment of the Airbus A330-200 Aircraft," 2010.

8 VEDLEGG 1: OVERSIKT OVER LCA-STUDIER

Her presenteres samtlige funn fra litteratursøket som ligger til grunn for hovedrapporten. Studiene er kun presentert overordnet, og kategorisert iht. systemgrensene for studien som følger:

I = vurderer utbygging og vedlikehold av infrastruktur;
TA = vurderer transportarbeid (inkludert forbruk av drivstoff/energibruk i drift);
TM = vurderer produksjon og vedlikehold av transportmidler
T = finnes åpent tilgjengelig på Internett

Analyser i **uthevet skrift** er beskrevet nærmere i hoveddelen av rapporten.

VEG						
Tittel	**År**	**Utført av**/Forfatter	**I**	**TA**	**TM**	**T**
Comparative Life Cycle Analysis of Conventional and Hybrid Heavy-Duty Trucks [16]	**2018**	**Rupp, Matthias Schulze, Sven Kuperjans, Isabel Rupp, Matthias Schulze, Sven Kuperjans, Isabel**		**X**	**X**	**X**
Life cycle assessment of large scale timber bridges: A case study from the world's longest timber bridge design in Norway [47]	2018	O'Born, Reyn Joseph	X			
Life cycle assessment of road construction alternative materials: A literature review [48]	2018	Balaguera, Alejandra Carvajal, Gloria Isabel Albertí, Jaume Fullana-i-Palmer, Pere	X			
Use of Liquefied Biomethane (LBM) as a Vehicle Fuel for Road Freight Transportation: A Case Study Evaluating Environmental Performance of Using LBM for Operation of Tractor Trailers [49]	**2018**	**Shanmugam K Tysklind M Upadhyayula V**		**X**	**X**	**X**
A multi-criteria sustainability assessment for biodiesel and liquefied natural gas as alternative fuels in transport systems [50]	2017	Osorio-Tejada, Jose Luis Llera-Sastresa, Eva Scarpellini, Sabina	X	X	X	
Comparative life cycle assessment of a concrete and timber road bridge deck designs [51]	2017	O'Born, Reyn Joseph Vertes, Katalin	X			X
Life cycle assessment in road infrastructure planning using spatial geological data [52]	2017	Karlsson, Caroline Sharmilee Josefin Miliutenko, Sofiia Björklund, Anna Mörtberg, Ulla Olofsson, Bo Toller, Susanna	X			X
A Holistic Approach for Estimating Carbon Emissions of Road and Rail Transport Systems TRIMIS-Transport Research and Innovation Monitoring and Information System View project [53]	**2016**	**Dimoula, Vasiliki Kehagia, Fotini Tsakalidis, Anastasios**	**X**	**X**	**X**	**X**

An Approach for Performing Life Cycle Impact Assessment of Pavements for Evaluating Alternative Pavement Designs [54]	2016	Inti, Sundeep Sharma, Megha Tandon, Vivek	X			X
Consideration of life cycle energy use and greenhouse gas emissions for improved road infrastructure planning [55]	2016	Miliutenko, Sofiia (PhD thesis)	X			X
Klimamodul i EFFEKT	**2016**	**Hammervold, Johanne**		**X**	**X**	
Life cycle engineering for roads (LCE4ROADS), the new sustainability certification system for roads from the LCE4ROADS FP7 project [56]	2016	Flores, Rocio Fernandez Montoliu, Carlos Martin-Portugues Bustamante, Edith Guedella	X			X
Quantifying energy demand and greenhouse gas emissions of road infrastructure projects: An LCA case study of the Oslo fjord crossing in Norway [57]	**2016**	**O'born, Reyn Joseph** **Brattebø, Helge** **Magnus, Ole** **Iversen, Kålas** **Miliutenko, Sofiia** **Potting, José**	**X**	**X**	**X**	**X**
Road transport: new life cycle inventories for fossil-fuelled passenger cars and non-exhaust emissions in ecoinvent v3 [58]	2016	Simons, A. et.al.	X	X	X	
Rolling resistance contribution to a road pavement life cycle carbon footprint analysis [59]	2016	Laura Trupia Tony Parry Luis C. Neves Davide Lo Presti	X	X		
The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles [60]	2016	Ager-Wick Ellingsen, Linda		X	X	X
Environmental Assessment of Bus Transport in the Trondheim Region Evaluation of Relevant Bus and Fuel Technologies and their Potential for Mitigating Emissions from Passenger Transportation [61]	2015	Buø, T. (Masteroppgave)	X	X	X	X
Environmentally appraising different pavement and construction scenarios: A comparative analysis for a typical local road [62]	2015	Celauro, Clara Corriere, Ferdinando Guerrieri, Marco Lo Casto, Barbara	X			
Goods Movement Life Cycle Assessment for Greenhouse Gas Reduction Goals [63]	**2015**	**Nahlik, Matthew J.** **Kaehr, Andrew T.** **Chester, Mikhail V.** **Horvath, Arpad** **Taptich, Michael N.**	**X**	**X**	**X**	**X**
Rogfast [64]	**2015**	**Norconsult**	**X**			**X**
Tidligfase klimautredning for E39 [6]	**2015**	**Bergsdal, Håvard** **Pettersen, Johan Berg (bikube 537616-01)**	**X**			**X**
A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of	**2014**	**Messagie, Maarten** **Boureima, Fayca-Siddikou** **Coosemans, Thierry**		**X**	**X**	**X**

Different Vehicle Technologies and Fuels [18]		**Macharis, Cathy** **Van Mierlo, Joeri**				
Life cycle assessment (LCA) of road pavement materials [65]	2014	Thiel C, Stengel T, Gehlen C	X			X
Life Cycle Assessment of pavements [66]	2014	Harvey, John Meijer, Joep Kendall, Alissa (Federal Highway Institution USA)	X			X
Towards greener road infrastructure. Life cycle assessment of case studies and recommendations for impact reductions and planning of road infrastructure [67]	**2014**	**Hammervold, Johanne**	**X**			**X**
Environmental Product Declaration «N-340 road» [68]	2013	ACCIONA Infrastructure Verifisert av Marcel Gómez Ferrer	X			X
Masteroppgave NTNU	2013	Fuglseth, Mie	X			**X**
Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack	2013	Linda Ager-Wick Ellingsen Guillaume Majeau-Bettez Bhawna Singh Akhilesh Kumar Srivastava Lars Ole Valøen Anders Hammer Strømman		X		X
Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles [20]	**2012**	**Hawkins, Troy R.** **Singh, Bhawna** **Majeau-Bettez, Guillaume** **Strømman, Anders Hammer**		**X**	**X**	**X**
Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation [69]	2012	Evanthia A.Nanaki Christopher J.Koroneos		X		X
Energy Use and Greenhouse Gas Emissions during the Life Cycle Stages of a Road Tunnel - the Swedish Case Norra Länken [70]	2012	Miliutenko, Sofiia Åkerman, Jonas Björklund, Anna	X			X
JERNBANE						
Tittel	**År**	**Utført av**	**I**	**TA**	**TM**	**T**
Klimabudsjett for infrastruktur og transport Reguleringsplan med konsekvensutredning (KU) Fellesprosjektet Ringeriksbanen og E16 Høgkastet-Hønefoss [72]	**2018**	**Dahlstrøm, O. m.fl for BaneNOR og Statens Vegvesen**	**X**	**X**		**X**
Life cycle assessment: assessing the environmental impact in the railway maintenance [71]	2018	Hegedić, Miro Štefanić, Nedeljko Nikšić, Mladen				X
Brenselcelleteknologi i jernbanen. Hydrogenisering - en bærekraftig fremtid for Nordlandsbanen? [73]	2016	Katharina Vassaas	X	X		X
Environmental life cycle assessment of railway bridge materials using UHPFRC	2016	Fifer Bizjak, Karmen Šajna, Aljoša	X			X

		Slanc, Katja Knez, Friderik				
Klimagassberegning elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen	**2016**	**Dahlstrøm, Oddbjørn Bergsdal, Håvard**	**X**	**X**	**X**	
Klimagassberegning: Utbygging av Sørvestbanen [21]	**2016**	**Dahlstrøm, Oddbjørn Bergsdal, Håvard**	**X**	**X**		X
Life cycle assessment of high-speed rail: a case study in Portugal [74]	**2016**	**Jones, Heather Moura, Filipe Domingos, Tiago**	**X**	**X**	**X**	**X**
Mitigation potential of CO2 emissions from modal shift induced by subsidy in hinterland container transport	2016	Tao, Xuezong Wu, Qin Zhu, Lichao		X		
Life cycle assessment of High Speed Rail in China [75]	2015	Yue, Ye Wang, Tao Liang, Sai Yang, Jie Hou, Ping Qu, Shen Zhou, Jun Jia, Xiaoping Wang, Hongtao Xu, Ming	X	X		
Elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen. Klimabudsjett	2014	Garmann, Christopher	X			
LCA of land-based freight transportation: facilitating practical application and including accidents in LCIA [76]	2014	Fries, Nikolaus Hellweg, Stefanie				
NSB Miljøkalkulator [30]	2014	Asplan Viak (dataunderlag)		X		X
Environmental Analysis Energy Consumption – Norwegian High Speed Railway Project Phase 3 [24]	**2012**	**Bergsdal, Håvard Pettersen, Johan Solli, Christian Hung, Christine Grossrieder, Carine Hammervold, Johanne**	**X**	**X**	**X**	**X**
Follobanen [22] [23]	**2012**	**Asplan Viak**	**X**			
Practical guidelines for Life Cycle Assessment applied to railways project [77]	2012	Vandanjon, Pierre Olivier Coiret, Alex Muresan, Bogdan Fargier, Amandine Dauvergne, Michel Bosquet, Romain Jullien, Agnès Francois, Denis	X	X		X
Life cycle greenhouse gas assessment of infrastructure construction for California's high-speed rail system [78]	2011	Chang, Brenda Kendall, Alissa	X			
Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line [25]	**2010**	**IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd. Stripple, Håkan Uppenberg, Stefan**	**X**	**X**		**X**
Life-cycle assessment of high-speed rail: the case of California [79]	**2010**	**Chester, Michail Horvath, Arpad**	**X**	**X**	**X**	**X**

Intercity (flere strekninger) [80], [81]	**(2016 -dd)**	**Rambøll, Sweco, Asplan Viak**	**X**			**X**
SJØ						
Tittel	**År**	**Utført av**/Forfatter	**I**	**TA**	**TM**	**T**
Tittel	**År**	**Utført av**	**I**	**TA**	**TM**	**T**
Analyse av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk [82]	2018	DNV GL		X		X
Analysis of Fuel Alternatives for Commercial Ships in the ECA Era [83]	2018	Rynbach, Eugene A Van Briers, Karl E Delgatto, Nicholas J		X		X
Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels [38]	**2018**	**Gilbert, Paul Walsh, Conor Traut, Michael Kesieme, Uchenna Pazouki, Kayvan Murphy, Alan**		X		X
Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies [39]	2018	DNV GL		X		X
Renewable methanol as a fuel for the shipping industry [84]	2018	Svanberg, Martin Ellis, Joanne Lundgren, Joakim Landälv, Ingvar		X		
A method for analysis of maritime transportation systems in the life cycle approach – The oil tanker example [85]	2017	Nian, Victor Yuan, Jun		X	X	
Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013-2015 [86]	2017	Olmer, Naya Comer, Bryan Roy, Biswajoy Mao, Xiaoli Rutherford, Dan Smith, Tristan Faber, Jasper Schuitmaker, Renske Holskotte, Jan Fela, Jen Schultz, Joe		X		X
Life Cycle Assessment of a Battery Passenger Ferry [87]	2017	Nordtvegt, Espen		X	X	X
Life Cycle Assessment of Marine Fuel Production [88]	2017	Silva, Mafalda		X		X
Prospective Life Cycle Assessment of Container Shipping [89]	2017	Ringvold, Anna		X	X	X
State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping – A review [32]	**2017**	**Bouman, Evert A. Lindstad, Elizabeth Rialland, Agathe I. Strømman, Anders H.**		**X**	**X**	**X**

Study on differentiated port infrastructure charges to promote environmentally friendly maritime transport activities and sustainable transportation [90]	2017	Europeisk kommisjon	X			X
A Comparative Life Cycle Assessment of Conventional and All-Electric Car Ferries [91]	2016	Kullmann, Annelise B		X	X	X
A comparative life cycle assessment of marine power systems [92]	**2016**	**Ling-Chin, Janie** **Roskilly, Anthony P**		**X**		X
Alternative Fuels for Marine and Inland Waterways [93]	2016	Moirangthem, Kamaljit Baxter, David		X		X
Investigating a conventional and retrofit power plant on-board a Roll-on/Roll-off cargo ship from a sustainability perspective - A life cycle assessment case study [94]	2016	Ling-Chin, J Roskilly, A P		X	X	X
Life cycle analysis of batteries in maritime sector [37]	**2016**	**Næringslivets NOx-fond** **Maritime Battery Forum** **ABB** **Grenland Energy**		**X**		X
Port Infrastructures in a System Perspective [31]	**2016**	**Fridell, Erik** **Winnes, Hulda**	X			X
Reduksjon av klimagassutslipp fra norsk innenriks skipsfart [95]	2016	Eide, Magnus S Gundersen, Harald Laugen, Lars Lande, Magnus Nyhus, Eirik Mossevig, Synne		X		X
Holistic framework for studying ship air emissions in a life cycle perspective [96]	2015	Chatzinikolaou, Stefanos D. Ventikos, Nikolaos P.		X		
Integrated approach to vessel energy efficiency [97]	2015	Armstrong, Victor N Banks, Charlotte		X		
Low carbon maritime transport: How speed, size and slenderness amounts to substantial capital energy substitution [98]	2015	Lindstad, Haakon Eskeland, Gunnar S		X	X	X
Methanol as a Marine fuel report [99]	2015	Andersson, Karin		X		**X**
Natural gas as a marine fuel [100]	**2015**	**Thomson, Heather** **Corbett, James J** **Winebrake, James J**		X		X
On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach [101]	2015	Bialystocki, Nicolas Konovessis, Dimitris		X		X
Third IMO GHG Study 2014 [102]	2015	International Maritime Organization (IMO)		X		X
Comparative life cycle impact assessment of a battery electric and a conventional powertrains for a passenger transport ferryboat - A case study of the entire integrated system for vessel propulsion [103]	2014	Mihaylov, Veselin		X		X
Environmental Assessment of Present and Future Marine Fuels [36]	**2014**	**Brynolf, Selma**		X		X

Eco Island Ferry - Comparative LCA of island ferry with carbon composite based and steel based structures [34]	**2013**	**Schmidt, J.H** **Watson, J**				**X**
Energieffektiv og klimavennlig ferjedrift [35]	**2013**	**LMG Marin** **CMR Prototech** **Norsk Energi**		X	X	X
Environmental assessment of two pathways towards the use of biofuels in shipping [104]	2012	Bengtsson, Selma Fridell, Erik Andersson, Karin				**X**
Potential of biofuels for shipping [105]	2012	Florentinus, Anouk Hamelinck, Carlo van den Bos, Arno Winkel, Rob Cuijpers, Maarten		**X**		**X**
A comparative life cycle assessment of marine fuels: Liquefied natural gas and three other fossil fuels [33]	**2011**	**Bengtsson, S** **Andersson, K** **Fridell, E**		**X**		**X**
Environmental Performance Evaluation of Ro-Ro Passenger Ferry Transportation [106]	2011	Kristensen, Hans Otto Holmegaard Hagemeister, Constantin		**X**		**X**
Miljømessig sammenligning av skips- og vegbane ved bruk av LCA [7]	2011	Brekke, Andreas Vold, Ivar		**X**	**X**	**X**
Emission factors for CH4, NOx, particulates and black carbon for domestic shipping in Norway, revision 1 [107]	2010	Nielsen, Jørgen B Stenersen, Dag		**X**		**X**
LCA of fuel cells onboard ships - a comparative life cycle assessment study, evaluating the environmental impact between a gas engine and a fuel cell [108]	2010	Hestad, Kjersti Aarskog, Kaja Jonsvik		**X**		**X**
LUFT						
Tittel	**År**	**Utført av**/Forfatter	**I**	**TA**	**TM**	**T**
Tittel	**År**	**Utført av**	**I**	**TA**	**TM**	
Life cycle assessment of air transportation and the Swiss commercial air transport fleet [40]	2018	Cox, Brian Jemiolo, Wojchiech Mutel, Chris	X	X	X	X
Life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from renewable jet fuel [44]	2017	De Jong, Sierk Antonissen, Kay Hoefnagels, Ric Lonza, Laura Wang, Michael Faaij, André Junginger, Martin		X		X

Sustainable alternative fuels in aviation [109]	2017	Yilmaz, Nadir Atmanli, Alpaslan				
Environmental impact assessment of aviation emission reduction through the implementation of composite materials [46]	2015	Timmis, Andrew J. Hodzic, Alma Koh, Lenny Bonner, Michael Soutis, Constantinos Schäfer, Andreas W. Dray, Lynnette		X	X X	X
Environmental life cycle assessment (LCA) of aviation biofuel from microalgae, Pongamia pinnata, and sugarcane molasses [110]	2014	Cox, Kelly Renouf, Marguerite Dargan, Aidan Turner, Christopher Klein-Marcuschamer, Daniel				
A Life Cycle Assessment of the Passenger Air Transport System Using Three Flight Scenarios [41]	2013	Lewis, T. (Masteroppgave)	X	X	X	X
Life-Cycle Analysis of Alternative Aviation Fuels in GREET [45]	2012	Elgowainy, Amgad Han, Jeongwoo Wang, Michael Carter, N Stratton, R Hileman, J Malwitz, A Balasubramanian, S		X		X
Potential emissions savings of lightweight composite aircraft components evaluated through life cycle assessment [111]	2011	Scelsi, L. Bonner, M. Hodzic, A. Soutis, C. Wilson, C. Scaife, R. Ridgway, K.				
SAS Klimakalkulator [112]	2011	SAS		X		X
Life Cycle Assessment of the Airbus A330-200 Aircraft [113]	2010	Vasco de Olivegra Fernandes Lopes, João			X	X
Bærekraftig drivstoff for luftfart [42], [43]	2013/ 2017	Rambøll, Avinor, Norwegian, SAS		X		X