

Baggrundsnotat om drivmidler og omkostninger for lastbiler

Baggrundsnotat til Klimarådets analyse *Veje til klimaneutral lastbiltransport*

Indhold

1. Oversigt over drivmidler.....	2
2. Omkostninger for lastbiler.....	9

1. Oversigt over drivmidler

Dette kapitel uddyber beskrivelsen fra hovedanalysens kapitel 3 af alternative drivmidler til fossil diesel. Gennemgangen af drivmidler inkluderer en kort beskrivelse af eksempler på produktionsmetoder, men uddyber ikke alle mulige produktionsmetoder og -processer. Efter gennemgangen af drivmidler uddyber kapitlet en række centrale forudsætninger og datagrundlag, som understøtter hovedanalysens konklusioner.

I tabel 1 præsenteres indledningsvis en oversigt over drivmidler, der for nuværende vurderes mest relevante til anvendelse i den tunge vejgodstransport fremadrettet. I tabellen angives desuden eksempler på produktionsmetoder for de enkelte drivmidler.

Tabel 1 Alternative drivmidler til diesel i den tunge vejgodstransport

Kategori	Eksempler på drivmidler	Eksempler på produktionsmetode	
Direkte elektrificering	Batteri	Batteriteknologi kan variere	
	Elveje	Forskellige løsninger, fx køreledninger, induktion, skinner	
Flydende brændstoffer	Biobrændstoffer	Biodiesel	Forestring og/eller transforestring af vegetabiliske olier eller animalsk fedt
		HVO	Hydrogeneret vegetabilisk olie eller animalsk fedt (elektro-biobrændstof)
		Metanol	Forgasning af biomasse og metanolsyntese evt. med brint tilsat (med brint = elektro-biobrændstof)
		Ætanol	Fermentering af biomasse fx kornafgrøder evt. med hydrolyse forud for fermentering
		Biobaseret FT-diesel	Forgasning af biomasse og Fischer Tropsch-syntese
		Diesel fra bio-olie	Pyrolyse af biomasse og hydrogenering og raffinering.
			Hydrothermal Liquefaction (HTL) af biomasse og hydrogenering og raffinering. Hydropyrolyse af biomasse og raffinering (elektro-biobrændstoffer).
Elektrobrændstoffer	E-diesel	Elektrolyse og Fischer-Tropsch-syntese med syntesegas fremstillet fra brint og CO ₂	
	Metanol	Elektrolyse og metanolsyntese af brint og CO ₂ eller CO	
Gasformige brændstoffer	Biobrændstoffer	Opgraderet biogas. Forgasning af biomasse. Metaniseret biogas med brint (elektro-biobrændstof).	
		DME	Forgasning af biomasse, metanolsyntese og dehydrering
		Brint	Forgasning eller pyrolyse af biomasse
	Elektrobrændstoffer	Brint	Brint via elektrolyse
		E-metan	Metanisering af brint og CO ₂ eller CO
		DME	Elektrolyse og metanolsyntese af brint og CO ₂ og dehydrering

Anm.: Tabellen angiver ikke alle de mulige alternative drivmidler, fx kan også nævnes ammoniak og bio-propan (LPG), men giver et overblik over de drivmidler, der ofte analyseres og diskuteres som mulige erstatninger til diesel.

Kilde: Klimarådet på baggrund af Energistyrelsen,¹ Enea² og IEA Bioenergy.³

Batterier

Batterilastbiler drives af en elmotor som forsynes med strøm lagret i et batteri. Dette kan beskrives som 'direkte elektrificering', da strømmen ikke konverteres til et andet brændsel undervejs. Der findes i dag flere forskellige batterityper, og der udvikles og forskes løbende i nye typer med henblik på dels forbedring af tekniske egenskaber og dels på at imødegå forsyningsproblemer med specifikke metaller.⁴ Batterilastbiler benytter en dedikeret infrastruktur i form af ladestandere, som også kan være dedikeret forskellige køretøjsgrupper alt efter stiktype og ladeeffekt.

Elveje

Elveje kendes også under betegnelsen Electric Road Systems (ERS), E-highways, E-roads med flere og dækker over flere teknologier, der overfører elektricitet til køretøjerne, mens disse er i bevægelse. Elveje kategoriseres som direkte elektrificering. Luftledninger, som hænger over vejbanen, er blandt de mest modne systemer.⁵ Ved luftledninger overføres strømmen til elvejslastbiler via en strømaftager på taget af lastbilerne. En anden løsning er strømoverførsel via skinner i vejen. Ved denne løsning er strømaftageren monteret på undersiden af elvejslastbilen. Som en tredje løsning kan overførslen ske induktivt, hvor der ikke er behov for fysisk kontakt mellem elvejen og lastbilen. Overførslen sker her gennem et elektromagnetisk felt, som genereres af spoler, der ligger i vejen, og en modtagerspole på undersiden af køretøjet.⁶ Elvejslastbiler skal nødvendigvis bygges med en sekundær drivlinje, når køretøjet skal køre uden for elvejene. Dette kan fx være i form af et batteri eller en brændselscelle, hvormed elmotoren stadig anvendes til fremdrift, eller i form af en forbrændingsmotor, som kræver henholdsvis dedikeret distributions- og fyldeinfrastruktur.⁷

Biodiesel

Biodiesel kendes også under navnet FAME eller fedtsyremetylester. Biodiesel kan produceres af både brugt madolie, animalske fedtstoffer og vegetabiliske olier. En central forskel på HVO og biodiesel baseret på vegetabiliske olier er, at biodiesel bliver behandlet med metanol. Biodiesel produceres i dag i større mængder og er en gennemprøvet teknologi.⁸ Biodiesel kan iblandes diesel, men kan også benyttes i ren form i kompressionsmotorer, dog typisk efter mindre modifikationer.⁹

HVO

HVO (hydrogeneret vegetabilisk olie) kan produceres ud fra forskellige olier, der reageres med brint, så brændstoffet opnår tekniske egenskaber, som minder om fossil diesel. HVO kan fremstilles af flere forskellige vegetabiliske olier og animalske fedtstoffer tilsvarende biodiesel. Energien fra brændstoffet kommer primært fra biomassen, men også en mindre del fra brint. HVO produceres allerede i dag i større mængder og er en gennemprøvet teknologi. HVO kan anvendes direkte i dieselmotorer.¹⁰

Metanol

Metanol kan produceres som biobrændstof ud fra biomasse eller som elektrobrændstof ud fra brint og CO₂. Metanol som biobrændstof kan produceres på baggrund af fast biomasse som restprodukter fra skovbrug eller landbrug. Biomassen konverteres til en syntesegas gennem en højtemperaturproces uden forbrænding (forgasning), hvorefter syntesegassen kan konverteres til metanol via en synteseproces. Forgasning af fast biomasse og efterfølgende metanolproduktion er demonstreret, men den samlede proces er endnu ikke i anvendelse i større skala, og der er derfor betydelig usikkerhed om blandt andet pris og virkningsgrader. Metanol kan også produceres ved brug af brint og en kulstofkilde, der tilsvarende involverer en synteseproces. Produktionen af metanol som elektrobrændstof er tilsvarende på et forholdsvis tidligt stadie, men de involverede processer er velafprøvede.¹¹ Metanol kræver en modificeret kompressionsmotor eller en brændselscelle samt modificeret tankinfrastruktur.¹²

Ætanol

Ætanol kan produceres på flere måder ud af flere forskellige typer biomasse, herunder majs, sukkerroer, halm og trærester. Biomassen gennemgår en fermenteringsproces, hvor ætanol dannes og adskilles fra de andre biprodukter. Ætanol produceres stort set kun som et 1.-generationsbiobrændstof, og der er i øjeblikket ingen storskalaproduktion af ætanol som 2.-generationsbiobrændstof i EU.¹³ Ætanol har et højt iltindhold sammenlignet med fossil benzin, hvilket sætter nogle begrænsninger på iblanding i benzin.¹⁴ Høje iblandingsniveauer af ætanol (E85, E100) kræver ny tankinfrastruktur og en modifikation af kompressionsmotorer, hvorimod lave iblandingsvolumener (E5, E10) ikke gør.¹⁵

E-diesel og biobaseret FT-diesel

E-diesel eller FT-diesel (Fischer Tropsch-diesel) kan produceres både som biobrændstof og som elektrobrændstof. Disse benævnes henholdsvis *biobaseret FT-diesel* og *e-diesel* i dette baggrundsnotat samt i hovedanalysen. For biobaseret FT-diesel konverteres fast biomasse, fx restprodukter fra skov- eller landbrug, til en syntesegas gennem en højtemperaturproces uden forbrænding (forgasning). Herefter konverteres gassen til et flydende brændstof via Fischer Tropsch-processen, der er en velafprøvet teknologi i kommerciel anvendelse i anlæg, der anvender kul og naturgas. Hvor Fischer Tropsch-processen er velafprøvet, også i stor skala, er forgasning derimod kun anvendt i mindre skala. Outputtet er forskellige kulstofholdige brændstoffer, og fordelingen herimellem kan være besværlig at kontrollere fuldstændigt. Elektrobrændstoffet e-diesel, som produceres ud fra brint og en kulstofkilde, kombineres først til en syntesegas og gennemgår dernæst Fischer Tropsch-processen. Både e-diesel og biobaseret FT-diesel kan benyttes i eksisterende tankinfrastruktur og kompressionsmotorer.¹⁶

Diesel fra bioolier

En række processer kan med udgangspunkt i biomasse producere bioolier, der kan efterbehandles og raffineres til diesel. Eksempler på disse er pyrolyse af biomasse, HTL (hydrothermal liquifaction) og katalytisk hydrolyse. Fælles for metoderne er, at de kan omdanne biomasse til flydende brændsler, men de producerede biooliers egenskaber vil dog variere alt efter biomasseinputtet og den anvendte proces. Bioolierne kræver efterbehandling og raffinering før de kan benyttes i eksisterende kompressionsmotorer og tankinfrastruktur. Flere af processerne er stadig i et forholdsvis tidligt udviklingsstadium, og der eksisterer derfor stadig en betydelig usikkerhed om blandt andet pris og virkningsgrad for processerne og de resulterende brændstoffer, herunder også om mulighederne for hurtig opskalering. Pyrolyseolien har blandt andet den ulempe, at den ofte har et højt iltindhold. Bioolie produceret via HTL har et lavere iltindhold og kræver derfor mindre efterbehandling til sammenligning.¹⁷

Biometan

Biometan kan produceres ved at opgradere biogas eller ved forgasning af fast biomasse og efterfølgende rensning og metanisering. Biogas produceres ved at behandle biomasse, typisk landbrugsprodukter, ved en iltfri proces, hvorved gassen dannes. Biogassens sammensætning afhænger af, hvilke biomasseressourcer der benyttes, men har typisk et metanindhold på 50-75 pct., CO₂-indhold på 25-45 pct. og derudover mindre andele af brint, kvælstof, ammoniak og andet. Metanindholdet i gassen kan hæves ved at benytte biomasser med høje metanpotentialer. Før biogassen kan benyttes i gasnettet, skal den opgraderes, hvilket kan gøres ved forskellige metoder. Opgradering af gassen indebærer, at kuldioxid fjernes, hvorved brændværdien af gassen hæves. Den opgraderede gas kaldes biometan eller bionaturgas og kan indgå direkte i naturgasnettet. Biometan kan også produceres ved forgasning af biomasse. Denne proces er ikke lige så teknologisk moden som opgradering af biogas.¹⁸ Biometan kan distribueres i det eksisterende gasnet, men kræver dedikerede tankstationer og en anden motor i køretøjet typisk i form af en gnisttændingsmotor eller en dual fuel kompressionsmotor, der også kan køre på diesel.¹⁹ Nedkøles biometan kraftigt, kondenserer den til væske, som har en højere energitæthed.²⁰

DME

Dimetylæter benævnes ofte DME og kan både produceres som biobrændstof og elektrobrændstof. DME kan som biobrændstof blandt andet produceres via lignende processer som metanol, hvor biomasseressourcer forgasses gennem en højtemperaturproces, eller via videre behandling af metanol. DME som elektrobrændstof kan produceres ved brug af brint og en kulstofkilde.²¹ DME kan benyttes som brændstof i modificerede kompressionsmotorer, hvor det konverteres til væskeform under tryk. Dog kræver DME dedikerede distributions- og tankinfrastruktur.²²

Brint

Brint kan produceres via forskellige metoder og kategoriseres typisk som elektrobrændstof, men kan også produceres som biobrændstof.²³ Brint som elektrobrændstof produceres ved spaltning af vand via elektrolyse.²⁴ Der findes flere teknologier til elektrolyse, hvoraf flere er velafprøvede, men hvor der dog stadig er en vis usikkerhed om blandt andet pris og virkningsgrader ved opskalering.²⁵ Brint kræver en dedikeret distributions- og tankinfrastruktur og en dedikeret drivlinje i lastbiler, typisk en brændselscelle sammen med en elektrisk motor.²⁶

E-metan

E-metan er et elektrobrændstof, som kan produceres ved at omdanne brint og CO₂ eller CO til metan via

metanisering.²⁷ E-metan kan, ligesom biometan, indføres i det eksisterende naturgasnet og distribueres herigennem, men kræver dedikerede tankstationer og motorer.

Drivmidlers krav til infrastruktur og motorer

Flere af de flydende brændstoffer har den fordel, at de kan anvendes i eksisterende motorer og dieselinfrastruktur, mens andre flydende og alle gasformige brændstoffer samt direkte elektrificering stiller krav til enten modificerede motorer og infrastruktur eller kræver besluttet nye drivlinjer og infrastruktur. I tabel 2 er angivet de nødvendige tilpasninger til motorer og infrastruktur ved udvalgte drivmidler. Mulighed for iblanding eller direkte anvendelse i eksisterende motorer og infrastruktur giver den fordel, at omstillingen til drivmidlerne teknisk kan ske, så snart brændstofproduktionen er tilgængelig. Det gælder fx for biodiesel, HVO og e-diesel.²⁸ Omvendt vil anvendelsen af andre flydende brændstoffer som metanol, gasformige brændstoffer og el kræve ny eller tilpasset infrastruktur, der i et vist omfang nødvendigvis vil være begrænset i antal og geografisk fordeling i de kommende år. I tabel 2 er behovet for nye motorer og infrastruktur graderet efter farve, hvor grøn repræsenterer ingen eller næsten ingen behov for modifikationer, gul repræsenterer behov for modifikationer, men stadig baseret på eksisterende teknologi og infrastruktur, og rød repræsenterer et behov for dedikerede nye motorer og infrastruktur.

Tabel 2 Behov for ny infrastruktur og motorer ved alternative drivmidler

Drivmiddel	Typiske motortyper	Infrastruktur
Biodiesel	Eksisterende eller let modificeret kompressionsmotor	Lave blandinger kan indgå i eksisterende dieselinfrastruktur
HVO	Eksisterende kompressionsmotor	Eksisterende dieselinfrastruktur
E-diesel (elektrobrændstof) / FT-diesel (biobrændstof)	Eksisterende kompressionsmotor	Eksisterende dieselinfrastruktur
Diesel fra bio-olie	Eksisterende kompressionsmotor	Eksisterende dieselinfrastruktur
Metanol (elektro- og biobrændstof)	Modificeret kompressionsmotor eller brændselscelle	Modificeret dieselinfrastruktur
Ætanol	Modificeret kompressionsmotor	Dedikeret infrastruktur
DME (elektro- og biobrændstof)	Modificeret kompressionsmotor	Dedikeret infrastruktur
Metan (elektro- og biobrændstof)	HPDI-dual fuel kompressionsmotor eller gnistantændt forbrændingsmotor	Eksisterende eller nyt gasnet og dedikeret tankinfrastruktur
Brint (elektro- og biobrændstof)	Brændselscelle, batteri og elmotor	Dedikeret brintinfrastruktur
Batteri	Elmotor	Eksisterende, forstærket eller nyt elnet og dedikeret ladeinfrastruktur
Elveje	Elmotor	Eksisterende, forstærket eller nyt elnet og dedikeret infrastruktur med elveje

Anm.: I tabellen er ikke angivet hybrid-løsninger af de forskellige drivmidler. Diesel fra forskellige bioolier er i tabellen antaget raffineret til et produkt lignende diesel, der kan anvendes i eksisterende motorer og infrastruktur.

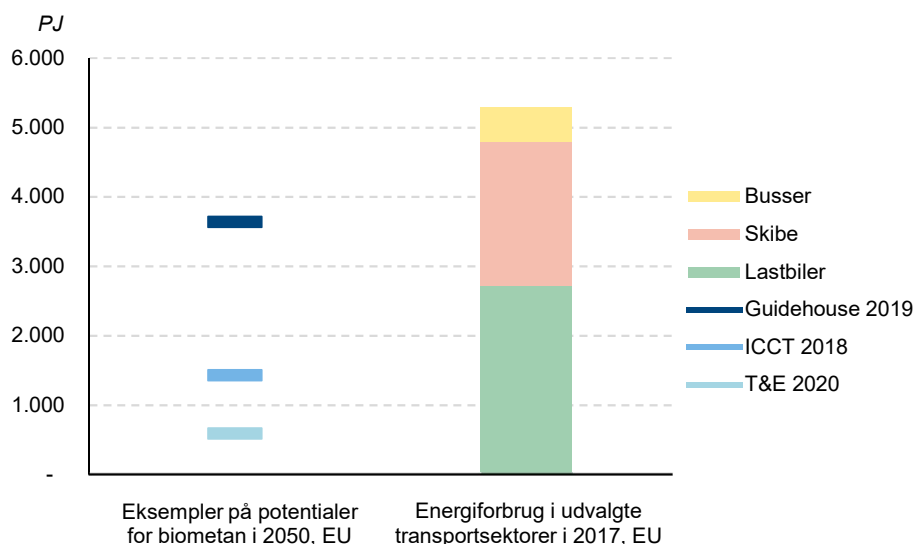
Kilder: Klimarådet på baggrund af en række kilder.²⁹

Potentialet for biometan er begrænset i et europæisk perspektiv

For biobrændstoffer gælder det, at tilgængeligheden af bæredygtige biomasseressourcer er afgørende for, at teknologien kan skaleres op. Dette gælder især for potentialet for biometan, som er begrænset af tilgængeligheden af biomasseressourcer. Derfor kan øget forbrug af gas ikke nødvendigvis afstedkomme øget produktion af biometan, hvis de bæredygtige og økonomisk attraktive biomasseressourcer allerede er udnyttet. Da Danmarks naturgasnet er forbundet til Sverige og Tyskland, kan der importeres og eksporteres gas på tværs af grænser og videre i det europæiske gasnet. Den tunge vejgodstransport er samtidig en sektor, hvor Danmark ikke kan gå enegang i forhold til valg af drivmidler og infrastruktur. Det er derfor relevant at anskue potentialer for grønne gasser i forhold til gasforbruget i et større, europæisk perspektiv.

Scenarier fra EU-Kommissionen og de europæiske netværk af transmissionssystemoperatører, ENTSOs, er blandt en række større scenarieanalyser, der kan give en indikation af størrelsesordenerne for forventninger til dels biometanpotentialer og til gasforbrug i et europæisk perspektiv.³⁰ I de af EU-Kommissionens scenarier, der når nettonuludledning i EU, udgør biometan omkring 40 pct. af det samlede gasforbrug i 2050. I de to af ENTSOs' scenarier, der tilsvarende når nettonuludledning i EU, udgør biometan henholdsvis 27 og 51 pct. af det samlede metanforbrug i 2050. Fremskrivninger af sådanne potentialer er naturligvis behæftet med stor usikkerhed og vil blandt andet afhænge af konkurrence om biomasseressourcerne fra øvrige sektorer.

I ENTSOs' scenarier er mængden af biometan bundet op på beregninger af potentialet for biometanproduktion i Europa, mens EU-Kommissionen angiver, at produktionen af biometan i deres scenarier er i overensstemmelse med andre potentialeopgørelser. Omvendt er der også kilder, som på baggrund af betragtninger om bæredygtighed og økonomi estimerer et biometanpotentiale væsentligt under, hvad der inkluderes i ENTSOs' og EU-Kommissionens scenarier.³¹ Eksempler herpå er blandt andet fremskrivninger af potentialet for bæredygtig biometan fra Transport and Environment og International Council on Clean Transportation (ICCT), som er vist i figur 1 sammen med en potentialevurdering fra konsulentvirksomheden Guidehouse, som har udviklet det beregningsværktøj, som ENTSOs' potentialeberegninger er baseret på. Som det fremgår af figuren er der således stor forskel i fremskrivninger af potentialet for biometan. I ENTSOs' mest ambitiøse scenarier med hensyn til biometanproduktion, *Distributed Energy*, indgår cirka 3.600 PJ biometan i 2050. I EU-Kommissionens mest ambitiøse scenarier indgår mellem cirka 2.300 og 3.000 PJ biometan i 2050. For at illustrere størrelsesordenerne for biometanpotentialerne vises i figur 1 også energiforbruget fra lastbiler, busser og skibe i EU i 2017. Til sammenligning var det samlede gasforbrug i EU i 2019 omkring 19.000 PJ.



Figur 1 Eksempler på produktionspotentialer for biometan sammenlignet med 2017-forbrug i udvalgte transportsektorer i EU

Kilder: Klimarådet på baggrund af ICCT³², Transport and Environment³³ og Guidehouse³⁴

Forsyning af metaller til batteriproduktion er væsentlig for opskalering

I batteriproduktionen indgår der en række forskellige metaller, hvor produktionen af disse metaller er mere eller mindre udbredt på tværs af kloden. I de batterier, der benyttes i dag, anvendes der blandt andet litium, kobolt, nikkel og mangan, men batterier kan produceres på baggrund af flere forskellige metaller. For at batterilastbiler (og elbiler) kan skaleres, er det nødvendigt, at der kan produceres tilstrækkelige af de nødvendige metaller til at producere flere batterier.

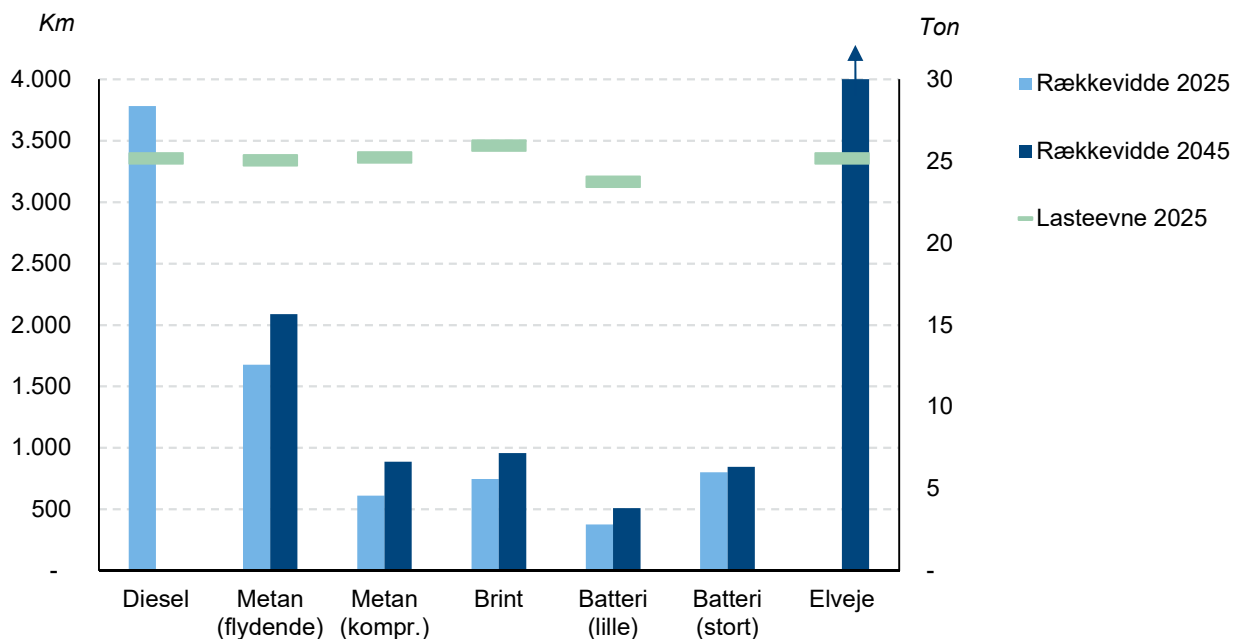
Efterspørgslen efter batterier forventes at accelerere betydeligt fremadrettet. Dette har blandt andet været et fokus i EU-Kommissionen, der forventer, at batterier benyttet til elbiler og energilagring vil kræve 18 gange så meget litium og fem gange så meget kobolt i 2030, og næsten 60 gange mere litium og 15 gange mere kobolt i 2050 sammenlignet med det nuværende forbrug.³⁵ Selvom produktionskapaciteten for de tilgængelige metaller udvides i EU, herunder nikkel, kobolt og litium, vil EU ikke kunne være selvforsynende,³⁶ da nogle metaller primært vil blive udvundet og bearbejdet uden for EU's grænser. Et eksempel på dette er kobolt, som den Demokratiske Republik Congo er primær eksportør af.³⁷ Den stigende efterspørgsel efter centrale metaller afspejles allerede i dag i prisen. Eksempelvis er prisen på litium tredoblet siden 2015.³⁸ Den store stigning i efterspørgslen ser dog ikke ud til at blive et problem, hvilket er beskrevet i hovedanalysens kapitel.

Den globale batteriproduktion til batterier benyttet i køretøjer produceres altovervejende i dag uden for EU's grænser, hovedsagligt i Kina, Japan og Korea,³⁹ men der er planer fra både producenter og fra EU-Kommissionen om at øge produktionen af batterier inden for EU.

Centrale forudsætninger i sammenligning af drivmidlernes rækkevidde

Rækkevidden for lastbiler afhænger, foruden af drivmidlet, også af forhold som vægten af godset, der køres med, vejrforhold, topografi, trafik og andre forhold. Disse forhold påvirker rækkevidden ved de alternative drivmidler forskelligt, og derfor er det svært entydigt at angive rækkevidden for forskellige drivmidler, så værdierne er repræsentative for alle brugsmønstre og geografier. Röck et al. har for Det Fælles Forskningscenter under EU-Kommissionen simuleret forskellige drivlinjer til lastbiler under ens forhold og forudsætninger og angiver blandt andet forventet rækkevidde, tilladte lasteevne og trækraft for forskellige drivmidler og -linjer i 2025.⁴⁰ Holmgren et al. har på baggrund heraf estimeret den forventede rækkevidde i 2045.⁴¹ Figur 2 viser den forventede rækkevidde for udvalgte drivmidler i 2025 og 2045 med udgangspunkt i disse analyser. I forbindelse med nærværende analyses gennemgang af producentudmeldinger fremkom kun få udmeldinger om rækkevidder, der markant afviger fra Röck et al. og Holmgren et al. En af de største identificerede afvigelser er for brintlastbiler, hvor blandt andet Daimler angiver, at de sigter mod at producere en brintlastbil med en rækkevidde på op til 1.000 km i 2027.⁴² Fælles for flere producentudmeldinger er dog, at de nærmere antagelser for rækkeviddeberegningerne ikke er offentliggjorte, hvorfor det er svært at sikre en retvisende sammenligning mellem drivmidler. Udmeldingen fra Daimler kan dog indikere, at brintlastbiler kan få en længere rækkevidde hurtigere, end hvad figuren indikerer. Ifølge producentudmeldinger fra Tesla kan batterilastbiler med store batterier opnå rækkevidder på op mod 800 km allerede inden for de næste år.⁴³

I figur 2 er også angivet den tilladte lasteevne baseret på forventningerne til vægten af forskellige drivlinjer og drivmidler. Da øget rækkevidde kræver mere brændstof eller et større batteri, som vil øge vægten af lastbilen, vil der skulle foretages en afvejning mellem rækkevidde og lasteevne. I dimensionering af lastbilen vil der foretages en afvejning mellem rækkevidde, lasteevne og pris. Øget rækkevidde vil påvirke omkostningerne ved lastbilen, da større batteri eller tanke dels vil indebære større indkøbspris, dels et større energiforbrug under kørslen.



Figur 2 Rækkevidde og lasteevne ved udvalgte drivmidler

Anm. 1: I Röck et al. analyseres metan i form af flydende og komprimeret fossil naturgas. I praksis kan gassen dog være biometan eller e-metan, som begge er tæt på identiske til naturgas og derfor vil have samme egenskaber. Röck et al. inkluderer ikke batterilastbil med stort batteri, og angiver således ikke lasteevne herfor. Rækkevidde for elvejslastbiler er angivet ved kørsel på elveje, hvor rækkevidden i praksis er ubegrænset, og kun for 2045, da betydelig udbredelse af elveje vil være svært at koordinere, planlægge og etablere inden 2025.

Anm. 2: De angivne tilladte lasteevner tager ikke højde for, at EU tillader ekstra totalvægt for køretøjer, der anvender alternative brændstoffer eller ved nulemissionskøretøjer. Jf. Europa-Parlamentets og Rådets Forordning 2019/1242 er den største tilladte vægt forhøjet med den øgede vægt, som teknologien af den alternative drivlinje og drivmiddel medfører sammenlignet med en diesellastbil, men dog højst 1 ton ved lavemissionskøretøjer og 2 ton ved såkaldt nulemissionskøretøjer. I kategorien nulemissionskøretøjer indgår blandt andet lastbiler uden forbrændingsmotorer, fx batteri-, elveje- og brintlastbiler.

Kilde: Klimarådet på baggrund af data fra Röck et al.⁴⁴ og Tesla⁴⁵ for rækkevidde i 2025 og for tilladt lasteevne i 2025 og Holmgren et al.⁴⁶ for rækkevidde i 2045.

Rækkevidderne i figur 2 er udregnet med udgangspunkt i kørsel med en repræsentativ mængde last. Rækkevidden for diesel er beregnet med udgangspunkt i 7 pct. iblandet biodiesel og kun angivet for 2025, da Holmgren et al. ikke angiver rækkevidden for 2045. Diesellastbiler forventes i 2045 at opnå en øget rækkevidde ved uændret tankstørrelse grundet fx effektivitetsforbedringer af dieselmotorer. Rækkevidden for brint er udregnet med udgangspunkt i komprimeret brint ved 700 bar. Rækkevidden for flydende metan er for 2025 ved anvendelse i gnistantændt motor, mens det for 2045 er ved anvendelse i kompressionsmotorer af HPDI-typen. For elveje angiver søjlen inklusive pil, at elvejslastbilen ikke er begrænset af rækkevidde, så længe transporten sker på elvejene. Der er ikke vist en række for elvejslastbiler for 2025, da udbygning af et større net af elveje vil være svært at koordinere, planlægge og bygge inden da. Batterikapaciteten for lastbiler, der kan anvende elveje, er i Röck et al. dimensioneret efter en rækkevidde på 60 km uden for elvejene (105 kWh) i 2025, mens Holmgren et al. i 2045 antager en batteristørrelse på 350 kWh resulterende i en betydeligt længere rækkevidde. Afhængig af udbredelsen af elveje, vil elvejslastbiler kunne konfigureres med større batteri, så rækkevidden kommer tættere på de viste rækkevidder for de rene batterilastbiler. Rækkevidde for *Batteri (lille)* er med udgangspunkt i batteristørrelser på cirka 600 kWh i 2025 og 2045. For *Batteri (stort)* er den viste rækkevidde i 2025 på baggrund af udmelding fra Tesla, da Röck et al. ikke analyserer en batterilastbil med et batteri større end ca. 600 kWh i 2025, mens Holmgren et al. antager en batteristørrelse på 1.000 kWh i 2045.

2. Omkostninger for lastbiler

Dette kapitel uddyber de bagvedliggende antagelser for beregningerne af de samlede omkostninger for lastbiler, der er præsenteret i analysens kapitel 4. I kapitlet uddybes centrale antagelser om drivmiddelomkostninger og eksterne omkostninger, som er to centrale omkostningskomponenter. Tilmed uddybes antagelser om batterikapacitet og dermed rækkevidde for batterilastbilen og infrastrukturomkostninger til køreledninger for elvejslastbilerne.

Derefter præsenteres de samlede omkostninger i et højt og et lavt scenarie for hver drivmiddelteknologi, i tillæg til grundscenariet, som er præsenteret i analysens kapitel 4. Herudover fremlægges beregninger af omkostningerne for en lastbil købt i 2025, i tillæg til beregningerne for 2030, som er præsenteret i hovedanalysen. Som i hovedanalysen, opgøres omkostningerne for en typisk langdistancelastbil i form af et sættevognstog med én sættevogn og en tilladt totalvægt på 44 ton.

Til sidst i notatet anføres overvejelser om geografiske variationer i lastbilernes omkostninger.

Omkostninger til elektrobrændstoffer

De anvendte omkostninger til produktion af elektrobrændstofferne e-diesel, e-metan og brint er baseret på Nordic Energy Research's analyse, der identificerer konkrete steder i Danmark og de andre nordiske lande, hvor det kan være fordelagtigt at producere elektrobrændstoffer, og opgør produktionsomkostningerne de pågældende steder.⁴⁷ I Danmark er Aalborg Portland og en række affaldsforbrændingsanlæg de mest relevante steder at indfange den nødvendige CO₂ til elektrobrændstofferne, og derfor også de mest oplagte steder at producere elektrobrændstoffer. I Klimarådets grundscenarie anvendes et simpelt gennemsnit af produktionsomkostningerne for de 11 bedste, potentielle produktionssteder i Danmark, selv om det naturligvis ikke er givet, at elektrobrændstoffer skal produceres i Danmark. I det lave og det høje omkostningsscenarie varierer produktionsomkostningerne for en given elpris, så de afspejler variationen på tværs af produktionsanlæg i de nordiske lande. I beregningen af produktionsomkostningerne er indregnet salg af overskudsvarme, hvilket sænker omkostningerne i grundscenariet med godt 5 pct. De anvendte elpriser er beskrevet i næste afsnit.

Elpriser

Elprisen er en væsentlig parameter for lastbiler baseret på direkte elektrificering, batterilastbiler og elvejslastbiler, samt især indirekte elektrificering som elektrobrændstoffer. Til batterier og køreledninger anvendes den forventede gennemsnitlige elpris 'an virksomhed' fra *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019*. Denne pris indeholder de gennemsnitlige tariffer for virksomheder, der kan betragtes som betaling for elnettet. Ved meget store udbygninger af elnettet kan man forestille sig, at omkostningerne til elnettet afviger fra disse omkostninger, men de betragtes her som et bedste bud. Den del af elprisen, der udgøres af tariffer, konteres i beregningerne for batterilastbiler og elvejslastbiler som energidistributionsomkostninger, mens brændstofprisen udgøres af den rå elpris.

Til produktion af elektrobrændstoffer skal ligeledes bruges elektricitet. Det antages, at den gennemsnitlige pris på den elektricitet, der anvendes til elektrobrændstoffer, er lavere end den elektricitet, der bruges til opladning af batterier og i køreledninger. Det skyldes delvist, at produktionsanlæggene har mulighed for at tilpasse produktionen til de timer, hvor elprisen er lavere, og delvist at elektriciteten ikke skal føres så langt ud i elnettet, hvilket sænker omkostningerne til elnettet pr. kWh anvendt. På den baggrund benyttes den 'rå elpris' fra *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019*, det vil sige elprisen eksklusive tariffer.

Den anvendte elpris fra *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger* er baseret på en antagelse om, at elektriciteten er en blanding af grøn og fossil el frem til 2030, hvorefter der forventes ren grøn el i elnettet. Givet de store prisfald på vind- og solenergi, er det imidlertid antaget, at denne pris er en rimelig approksimation til prisen på ren grøn el i årene frem til 2030, således at omkostningerne for de eldrevne lastbiler købt i 2025 også afspejler omkostningerne for CO₂-neutrale eldrevne lastbiler.

Energiforbrug og drivmiddelomkostninger

Antagelser om lastbilernes energiforbrug er baseret på Transport and Environment's analyse, som opgiver energiforbruget for langdistance-sættevognstrækkere med en totalvægt på 44 ton, der benytter forskellige

drivmiddelteknologier.⁴⁸ Transport and Environment ser ikke på komprimeret gas, og i denne analyse baseres energiforbruget for flydende og komprimeret gas derfor på ICCT, som antager, at teknologierne vil opleve samme procentvise energiforbedringer som dieselmotoren, men at lastbilerne har et energiforbrug, der er henholdsvis 10 pct. og 15 pct. højere end diesellastbilen.⁴⁹ Denne antagelse adskiller sig fra Transport and Environment's analyse, som antager, at energiforbruget for lastbiler, der kører på flydende gas, vil være det samme som for diesellastbiler. Betydningen af denne antagelse undersøges i det lave omkostningsscenario.

Som beskrevet i hovedanalysen, er omkostninger til drivmiddel den komponent, der varierer mest på tværs af drivmiddelteknologier. Det skyldes forskelle i både energieffektivitet og drivmiddelpriser. Tabel 3 viser energiforbrug og den gennemsnitlige omkostning til drivmidlet eksklusive distributionsomkostninger opgjort pr. energienhed i drivmidlet over levetiden i grundscenariet. Batterilastbiler og elvejslastbiler er kendetegnet ved både en høj energieffektivitet og et billigt drivmiddel. Energieffektiviteten for brint-brændselscelle er også høj, men til gengæld er drivmidlet dyrere end fossil diesel.

Tabel 3 Drivmiddelomkostninger og energiforbrug i 2025 og 2030

	Drivmiddelomkostning (kr./MWh)			Energiforbrug (kWh/km)		
	2025*	2030*	Ændring 2025-2030 (pct.)	2025	2030	Ændring 2025-2030 (pct.)
Diesel	409	438	7%	2,64	2,33	-12%
HVO	793	741	-7%	2,64	2,33	-12%
Flydende biometan	546	541	-1%	2,91	2,56	-12%
Komprimeret biometan	491	486	-1%	3,04	2,68	-12%
E-diesel	1.227	1.135	-7%	2,64	2,33	-12%
Flydende e-metan	1.138	1.051	-8%	2,91	2,56	-12%
Komprimeret e-metan	1.084	996	-8%	3,04	2,68	-12%
Brint-brændselscelle	770	703	-9%	2,24	1,95	-13%
Batteri	393	387	-2%	1,36	1,21	-11%
Køreledninger	393	387	-2%	1,52	1,35	-11%

Anm.: *For drivmiddelomkostningerne er angivet gennemsnittet for hhv. perioden 2025-2034 og 2030-2039.

Kilder: Transport and Environment,⁵⁰ ICCT,⁵¹ Nordic Energy Research,⁵² Energistyrelsen,⁵³ COWI.⁵⁴

Eksterne omkostninger

De eksterne omkostninger for lastbilerne udgør generelt en betydelig andel af de samlede samfundsøkonomiske omkostninger. Beregningerne medtager kun kørselsrelaterede eksterne omkostninger i form af ulykker, vejslid, trængsel, støj og luftforurening samt omkostninger forbundet med udledning af CO₂ under kørslen. Således medtages ikke udledninger fra produktion af materiel, drivmidler og etablering af infrastruktur. Det betyder blandt andet, at eksterne effekter fra produktion og opgradering af biogas, som på den positive side særligt omfatter reduktion af landbrugets udledninger fra husdyrhold og på den negative side udslip af metan fra produktions- og opgraderingsanlæg, ikke er medregnet.

De kørselsrelaterede eksterne omkostninger eksklusive CO₂ er baseret på *Transportøkonomiske Enhedspriser 1.96*. I dette er ikke medregnet en række miljøeffekter, fx effekter af black carbon, O₃, NO_x og NH₃ på natur og plantevækst. Det er dog ikke noget, der vurderes at ville rykke nævneværdigt ved sammenligningerne af de forskellige drivmiddelteknologier.

Beregningerne er baseret på en antagelse om, støjomkostningerne for henholdsvis gaslastbiler og lastbiler med elektrisk motor er 50 pct. og 75 pct. lavere end for diesellastbiler ved bykørsel. Antagelsen er baseret på, at støjen fra elektriske lastbiler og LNG-lastbiler ifølge Volvo og Dutch National LNG Platform er hhv. 10 dB og 8 dB lavere end støjen fra diesellastbiler.⁵⁵ Ved højere hastigheder domineres motorstøjen af støj fra dækkene, hvorfor støjomkostningerne antages at være ens ved kørsel uden for byerne. Det er antaget, at støjen fra CNG-lastbiler er

sammenlignelig med LNG-lastbiler, baseret på at Daimler angiver en støjreduktion for CNG-lastbiler på ”op til 10 dB” sammenlignet med diesellastbiler.⁵⁶ Eksterne omkostninger forbundet med luftforurening er antaget i overensstemmelse med Euro VI norm for gaslastbiler og diesellastbiler.⁵⁷ For lastbiler med elektrisk motor er der ingen luftforurening. Det er antaget, at eksterne omkostninger forbundet med uheld, trængsel og vejslid er ens på tværs af drivmidler. For overskuelighedens skyld er de derfor udeladt i figur 5 i hovedanalysen.

Omkostningen forbundet med udledning af CO₂ kan fastsættes på flere måder. Én måde er at lade omkostningen afspejle den direkte skadesomkostning for det danske samfund, der følger af udledningen af ét ekstra ton CO₂. På grund af klimaproblemets globale karakter, vil det være en ganske lille omkostning. En anden måde er at fastsætte omkostningen, så den er konsistent med den mest ambitiøse klimamålsætning, Danmark har. Det betyder som udgangspunkt, at CO₂-omkostningen bør fastsættes, så den svarer til prisen på det dyreste reduktionstiltag, der skal til for at opfylde det danske 70-procentsmål. Klimarådet har tidligere vurderet den pris til at være i omegnen af 1.500 kr. pr. ton CO₂ i 2030. På den baggrund er den eksterne omkostning forbundet med CO₂-udledning i denne analyse sat til at stige gradvist fra 300 kr. i 2021 mod 1.500 kr. i 2030, hvorefter den holdes konstant. Det kan sagtens vise sig, at prisen skal være højere – eller lavere – efter 2030, ligesom at estimatet på 1.500 kr. er forbundet med usikkerhed. Det skal dog understreges, at prisen på CO₂ ikke har betydning for sammenligningen af de forskellige alternative drivmiddelteknologier. Den har kun betydning for sammenligningen med fossil diesel.

For biometanlastbiler kan der være et udslip af metan relateret til håndtering af gassen på tankstationer og fra selve køretøjet, som ikke er medregnet som en ekstern omkostning. Omfanget af udslip relateret til håndtering på tankstationer og tankning er usikkert, men Clark et al. og Mottschall et al. indikerer, at udslippene er små samt at det er muligt at reducere dem.⁵⁸ Udslip fra køretøjet består primært af udslip fra udstødningen og fra motorens krumtaphus. Forudsat at udslippet fra udstødningen overholder Euro VI normen, er det meget lille. Udslip fra krumtaphuset kan være betydeligt i USA, hvor åbne krumtaphuse er standard, men ikke i Europa, hvor man bruger lukkede krumtaphuse.⁵⁹

Rækkevidde på batteri og lasteevne

Antagelser om batterilastbilens batterikapacitet, og dermed rækkevidde, har stor betydning for omkostningerne. I grundscenariet antages batterilastbilerne at have en rækkevidde på 600 km, hvilket antages at kræve et batteri på cirka 900 kWh i 2030. Denne antagelse ligger et sted mellem antagelsen i ICCT's og Transport and Environment's antagelser.⁶⁰ Rækkevidden påvirker både omkostningerne via batteristørrelsen, og dermed batteriprisen, og via chaufførens løn under opladning.

For elvejslastbilen antages, at 80 pct. af kørslen foregår på elektrificerede veje med strøm fra køreledninger. Denne antagelse følger Transport and Environment.⁶¹ De resterende 20 pct. af kørslen foregår på batteri med opladning fra ladestander, og her antages, at lastbilen har en rækkevidde på 175 km. Denne antagelse ligger mellem de to scenarier illustreret i COLLERS.⁶² I det omfang lastbilen lader batteriet op, mens den kører, vil kørslen uden for den elektrificerede vej kunne foregå uden opladning fra ladestander. Det vil sænke omkostningerne til opladningsinfrastruktur en smule.

For batterilastbiler vil der være indbyrdes afvejninger mellem vægt, pris og rækkevidde. Fordelen ved et mindre batteri er en billigere lastbil og potentielt en bedre lasteevne, mens ulempen er en kortere rækkevidde. Jo mere gunstigt batteripriser og batteriernes vægt udvikler sig, desto mere fordelagtigt vil det være at benytte batterilastbiler med stor batterikapacitet og dermed lang rækkevidde. Det bemærkes, at et større batteri vil være forbundet med øget vægt og dermed en vis forringelse af energieffektiviteten. I denne analyse er imidlertid antaget samme energieffektivitet uanset rækkevidde ud fra en betragtning om, at forskelle i batterikapacitet forventeligt vil betyde få tons forskel i totalvægten og dermed få procents forskel i energiforbruget.

Ulempen ved en eventuel mindre lasteevne som følge af vægten af batteriet er ikke medregnet i omkostningerne. Imidlertid vurderes denne ulempe at mindskes betydeligt de kommende år. Der vil forventeligt være en vis mervægt i 2025, men i grundscenariet i 2030 forventes batterilastbilen kun at veje cirka 300 kg mere end diesellastbilen, hvilket ikke udgør en væsentlig mervægt. De relevante beregninger fremgår af tabel 4 nedenfor. Det skal understreges, at de antagelser, der ligger til grund for beregningerne, er forbundet med usikkerhed, og nogle kilder når frem til en større mervægt. Det vil medføre en højere omkostning ved at fragte gods i de tilfælde, hvor

der er behov for at laste til vægtgrænsen. I hovedanalysens kapitel 4 beskrives en beregning af, hvor meget den mindre lasteevne vil belaste omkostningerne, hvis batterivægten udvikler sig ringere end forventet.

Hvad angår begrænsninger i lasteevnen, som følge af mindre volumenkapacitet, er det forventningen, at batterilastbiler med den større batteri, som denne analyse ser på, kan trække de samme trailere som andre lastbiler, og at den volumenmæssige kapacitet derfor er den samme som for andre lastbiler.

Tabel 4 Sammenligning af lasteevne for 44 tons batterilastbiler og diesellastbiler i 2025 og 2030 med en rækkevidde for batterilastbilen på henholdsvis 600 km og 900 km

	2025		2030	
A. Rækkevidde for batterilastbil	600 km	900 km	600 km	900 km
B. Energiforbrug ekskl. ladetab	1,30 kWh/km		1,15 kWh/km	
C. Anvendelig batterikapacitet	80 pct.		80 pct.	
D. Påkrævet batteri (A-B/C)	975 kWh	1.463 kWh	863 kWh	1.294 kWh
E. Batteridensitet	251 Wh/kg		318 Wh/kg	
F. Batterivægt (D/E)	3.892 kg	5.838 kg	2.712 kg	4.068 kg
G. Vægt af elektrisk motor mm.	600 kg		600 kg	
H. Vægt af batteri og elektrisk motor (F+G)	4.492 kg	6.438 kg	3.312 kg	4.668 kg
I. Vægt af dieselmotor og diesel i tank	3.000 kg		3.000 kg	
J. Mervægt for batterilastbil (H-I)	1.492 kg	3.438 kg	312 kg	1.668 kg

Kilder: Klimarådet på baggrund af Transport and Environment.⁶³

Ulempen ved en kortere rækkevidde er ikke medregnet som en eksplicit omkostning, men det er regnet med, at det tager tid at oplade batteriet, og at der er en omkostning forbundet med dette, såfremt det er nødvendigt at lade i løbet af turen uden for chaufførens pause, som antages at være i overensstemmelse med kørehviletidsbestemmelserne. Beregningerne antager, at denne omkostning udgøres af løn til chaufføren i den tid, det tager at lade op. Med en antagelse om en rækkevidde på 600 km og et dagligt kørselsomfang på 720 km er disse omkostninger ikke til stede, da det er tilstrækkeligt at lade batteriet uden for kørslen og i chaufførens pause, hvilket antages ikke at være forbundet med en timelønsomkostning. Hvis man derimod antog en rækkevidde på fx 300 km, ville der skulle lades knap 40 minutter uden for pausen i 2025 og knap 30 minutter uden for pausen i 2030, hvor forskellen afspejler en forbedret energieffektivitet og dermed et mindre energiforbrug i 2030. I den situation ville timelønsomkostningerne i forbindelse med opladning udgøre cirka en tredjedel af de samlede omkostninger til energidistribution og opladningsinfrastruktur.

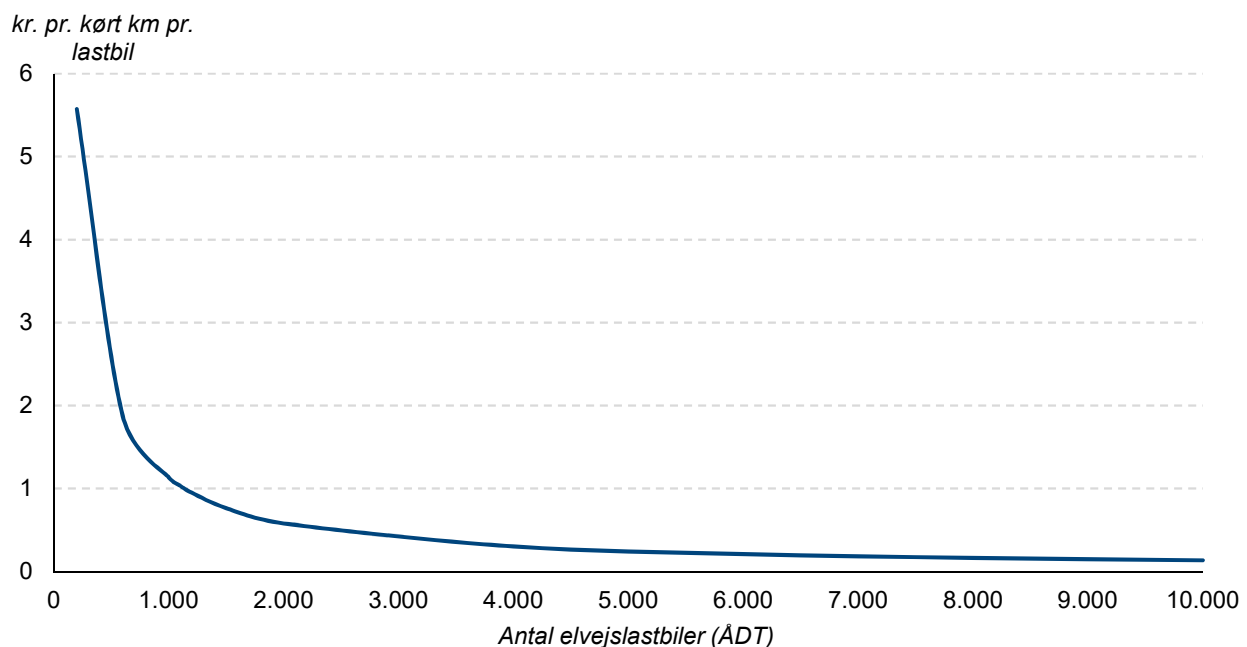
Infrastrukturomkostninger for køreledninger

Mens rækkevidden er af stor betydning for batterilastbilernes omkostninger, er omkostninger til køreledningsinfrastruktur en vigtig faktor for elvejslastbilernes omkostninger. I beregningerne antages det, at 80 pct. af elvejslastbilens kørsel foregår på en elektrificeret vej, mens 20 pct. foregår uden for det elektrificerede vejnet ved hjælp af batteri, som lades op via en ladestander. Infrastrukturomkostningerne for kørsel på elektrificeret vej beregnes med udgangspunkt i, at hele det danske motorvejsnet elektrificeres. Det vil betyde, at en stor del af det øvrige vejnet kan nås med en rækkevidde på batteri på 100 km.⁶⁴ Elektrificering af hele motorvejsnettet svarer til en antagelse om en årsdøgntrafik (ÅDT) for lastbiler på 3.400 i 2030. ÅDT angiver, hvor mange biler, der i gennemsnit i et år kører forbi et givent punkt, i løbet af et døgn. Størrelsen af ÅDT i 2030 er baseret på en antagelse om, at lastbiltrafikarbejdet på en given vejstrækning øges med 15 pct. sammenlignet med i dag.⁶⁵ Antagelsen er baseret på den historiske udvikling i størrelsen af motorvejsnettet og trafikarbejdet på motorvejene.

Den anvendte værdi for ÅDT i denne analyse svarer omtrent til ÅDT for lastbiler i den svenske rapport *Analysera förutsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar* fra Trafikverket, der beregner ÅDT for potentielle køreledningsstrækninger i Sverige.⁶⁶ Sammenholdt med det tyske motorvejsnet, er ÅDT for lastbiler i denne analyse omvendt i den lave ende. Det tyske ekspres- og motorvejsnet er karakteriseret ved en gennemsnitlig ÅDT på approksimativt 50.000.⁶⁷ Lastbilernes andel af trafikarbejdet på det tyske motorvejsnet er 15 pct., hvorved ÅDT for lastbiler bliver omkring 7.500. Tallene indikerer, at ÅDT forventeligt vil variere på tværs af EU-lande, hvilket betyder, at infrastrukturomkostningerne for elvejslastbiler vil variere afhængig af ruten.

Det næste skridt er at beregne ÅDT for den andel af lastbilerne (eller lastbiltrafikarbejdet), der benytter køreledninger. I denne analyse antages, at 50 pct. af lastbiltrafikarbejdet vil benytte køreledningerne i et scenarie, hvor hele motorvejsnettet i Danmark er elektrificeret. Med en samlet ÅDT for lastbiler på 3.400, giver det en ÅDT for elvejslastbiler på 1.700. Skønnet på 50 pct. ligger mellem skønnet fra World Road Association's (PIARC) rapport på 75 pct. og det høje skøn på 25 pct. fra Trafikverket.⁶⁸ PIARC's skøn vedrører, hvor stor en andel af alle lastbiler med en vægt på over 3,5 ton, der maksimalt kan omstilles til køreledninger, og kan således betragtes som en øvre grænse for udnyttelsesgraden. PIARC regner med en årlig implementeringsrate på 5 pct., og det vil sige, at udnyttelsesgraden på 75 pct. først kan nås 15 år efter implementering af det elektriske vejnet. Trafikverkets skøn vedrører andelen af lastbiltrafikarbejdet, der forventeligt vil benytte køreledninger på de svenske veje, når et eventuelt elektrisk vejsystem er færdigudbygget, hvilket i Trafikverkets beregninger sker i år 2040. Når skønnet ikke er højere, skyldes det i høj grad, at det forventes, at mange lastbiler vil være rent batteridrevne. Denne analyse tilstræber at estimere omkostningerne i en verden, hvor de givne drivmiddelteknologier er udbredt i stor skala, og derfor vælges en udnyttelsesgrad mellem PIARC's og Trafikverkets skøn.

Det er vigtigt at understrege, at ÅDT for elvejslastbiler, som afhænger af ÅDT for lastbiler og udnyttelsesgraden, har stor betydning for de samlede omkostninger. Hvis ÅDT for elvejslastbiler bliver lav, fx som følge af en lav udnyttelsesgrad, kan omkostningerne pr. lastbil blive meget store. Det er illustreret i figur 4, som viser infrastrukturomkostningen pr. kørt kilometer for forskellige værdier af ÅDT for elvejslastbiler. Når der er få lastbiler, der benytte elvejene, er omkostningerne pr. lastbil høje, og der sker et stort fald i omkostningerne, når udnyttelsen stiger en lille smule. Når der derimod er mange elvejslastbiler, som deler omkostningerne, er omkostningerne pr. lastbil lave, og det har ikke så stor betydning, når udnyttelsen stiger yderligere.



Figur 4 Sammenhæng mellem ÅDT for elvejslastbiler og infrastrukturomkostninger pr. kørt km pr. lastbil

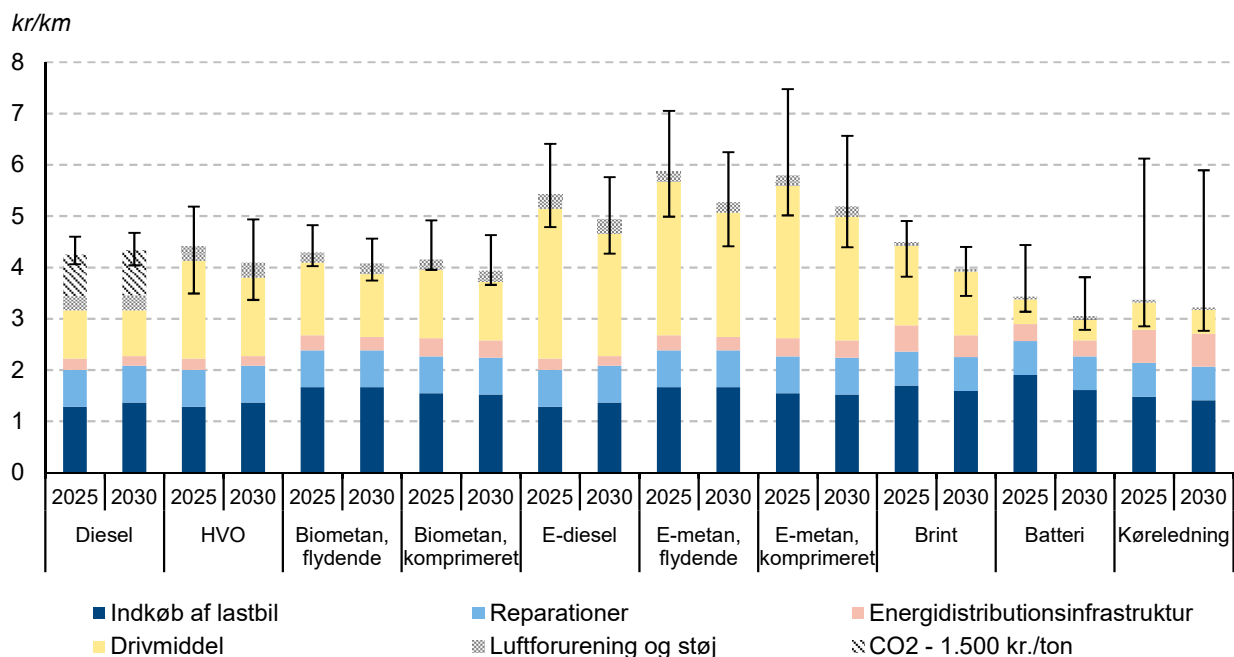
Kilde: Klimarådets beregninger.

Forventeligt vil det ikke være nødvendigt at elektrificere en given køreledningsstrækning fuldkomment, idet lastbilerne godt kan køre et vist stykke ved hjælp af strøm fra batteriet. Trafikverket antager, at det kun er nødvendigt at elektrificere 35 pct. af en given vejstrækning i Sverige, for at lastbilerne kan køre på vejen uden yderligere opladning.⁶⁹ Sundelin et al. antager, at 60 pct. elektrificering er nødvendig, mens Transport and Environment og Kühnel et al. antager 90 pct. elektrificering.⁷⁰ På den baggrund antager denne analyse, at 60 pct. elektrificering af køreledningsstrækningen er nødvendigt.

Beregning af omkostningerne i et grundscenarie samt et højt og et lavt omkostningsscenarie i 2025 og 2030

Der er betydelig usikkerhed om omkostningerne. Foruden grundscenariet, som er præsenteret i kapitel 4, beregnes omkostningerne i dette baggrundsnotat også i et højt og et lavt scenarie. I det høje (lave) scenarie antages en række udvalgte, centrale faktorer at udvikle sig i en retning, der øger (mindsker) de samlede omkostninger for en given drivmiddelteknologi sammenlignet med grundscenariet. Antagelserne i de forskellige scenarier fremgår af tabel 5.

Figur 5 viser omkostningerne i 2025 og 2030. De farvede søjler viser omkostningerne i grundscenariet, mens de sorte linjer angiver de samlede omkostninger i henholdsvis det høje og det lave omkostningsscenarie. Ligesom i analysens kapitel 4 er de eksterne omkostninger forbundet med ulykker, vejslid og trængsel, som udgør i omegnen af 4,5 kr. pr. km, for overskuelighedens skyld udeladt af figuren, da de er ens på tværs af drivmidler.



Figur 5 Samlede omkostninger ved køb af lastbil i 2025 og 2030

Anm. 1: 'Køreledning' betegner batterilastbiler med et lille batteri samt mulighed for tilslutning til køreledninger. Rækkevidden på batteri er 175 km i grundscenariet.

Anm. 2: 'Luftforurening og støj' angiver de marginale eksternalitetsomkostninger forbundet med luftforurening og støj. Der er både medtaget luftforureningsomkostninger, der rammer dansk og udenlandsk område. 'CO₂' angiver omkostninger forbundet med CO₂-udledning under kørslen. I beregningerne er set bort fra metan- og lattergasudledninger, da de udgør under 2 pct. af de samlede drivhusgasudledninger fra diesellastbiler.

Kilder: Egne beregninger.

Tabel 5 Antagelser i de forskellige scenarier

Drivmiddelteknologi	Grundscenarie	Lav	Høj
Diesel	<p>- Dieselprisen er baseret på <i>Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019</i>.</p> <p>- Energiforbruget er baseret på Transport and Environment.⁷¹ Energiforbruget falder med 21 pct. fra 2020 til 2030.</p>	<p>- <i>Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019</i> angiver, at der er stor usikkerhed om dieselprisen. På den baggrund antages prisen at være henholdsvis 20 pct. lavere og 20 pct. højere end i grundscenariet.</p> <p>- Energiforbruget falder med 25 pct. fra 2020 til 2030. Det svarer til forventningen i ICCT.⁷²</p>	<p>- Energiforbruget falder med 20 pct. fra 2020 til 2030. Det svarer til forventningen i Kühnel et al.⁷³</p>
E-diesel	<p>- Elprisen er den rå elpris fra <i>Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019</i>.</p> <p>- Øvrige produktionsomkostninger afspejler danske forhold.</p>	<p>- <i>Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019</i> angiver, at der er stor usikkerhed om elprisen. På den baggrund antages prisen at være henholdsvis 25 pct. lavere og 25 pct. højere end i grundscenariet.</p> <p>- Øvrige produktionsomkostninger varierer afspejlede forventede variationer på tværs af produktionsanlæg i de nordiske lande. I det lave/høje scenarie afspejler omkostningerne de 10 anlæg, der har de laveste/højeste omkostninger. For uændret elpris svarer det til en variation i produktionsprisen på omkring +/- 10 pct.⁷⁴</p>	
----- Variation i energiforbrug: Som diesel -----			
E-metan, flydende	<p>- Energiforbruget er 10 pct. højere end for diesellastbiler, jf. ICCT.⁷⁵</p>	<p>- Energiforbruget er det samme som diesellastbilers energiforbrug i grundscenariet, baseret på Transport and Environment.⁷⁶</p>	<p>- Energiforbruget er 15 pct. højere end diesellastbilers energiforbrug i grundscenariet.</p>
----- Variation i elpriser og øvrige produktionsomkostninger: Som e-diesel -----			
E-metan, komprimeret	<p>- Energiforbruget er 15 pct. højere end for diesellastbiler, jf. ICCT.⁷⁷</p>	<p>- Energiforbruget er 10 pct. højere end diesellastbilers energiforbrug i grundscenariet.</p>	<p>- Energiforbruget er 20 pct. højere end diesellastbilers energiforbrug i grundscenariet. Det er en lidt større forskel end Energistyrelsens forventning i <i>Basismfremskrivning 2020</i>.</p>
----- Variation i elpriser og øvrige produktionsomkostninger: Som e-diesel -----			
HVO	<p>- Prisen på HVO er baseret på COWI.⁷⁸ Der tages udgangspunkt i en pris i 2020 baseret på OK's listepreiser, og denne antages at falde med 30 pct. frem mod 2030, hvorefter den holdes konstant.</p>	<p>- Prisen er baseret på IEA Bioenergy's lave skøn for produktionsomkostningerne for HVO, som er cirka 40 pct. lavere end i grundscenariet i 2030.⁷⁹</p>	<p>- Prisen i 2020 er som i grundscenariet. Denne pris fastholdes i hele perioden. Antagelsen er baseret på OECD/FAO's forventning om en stabil udvikling i produktionsprisen for HVO og andre typer biodiesel baseret på en forventning om en stabil udvikling i prisen på vegetabilsk olie (om end på et lavere niveau, end der aktuelt kan observeres).⁸⁰ På den baggrund antages en stabil prisudvikling fra det aktuelle, høje niveau.</p>
----- Variation i energiforbrug: Som diesel -----			
Biometan, flydende	<p>- Biometanproduktionsprisen fra <i>Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019</i> anvendes plus omkostninger til kondensering af gassen.</p>	<p>- Biometanproduktionsprisen (gennemsnit af biometan fra affald/gødning og skovflis) fra Holmgren et al. anvendes.⁸¹ Denne er 13 pct. lavere end i grundscenariet i 2030.</p>	<p>- Biometanproduktionsprisen fra <i>Fremsyn</i> anvendes.⁸² Denne er 27 pct. højere end prisen i grundscenariet i 2030.</p>
----- Variation i energiforbrug: Som e-metan, flydende -----			

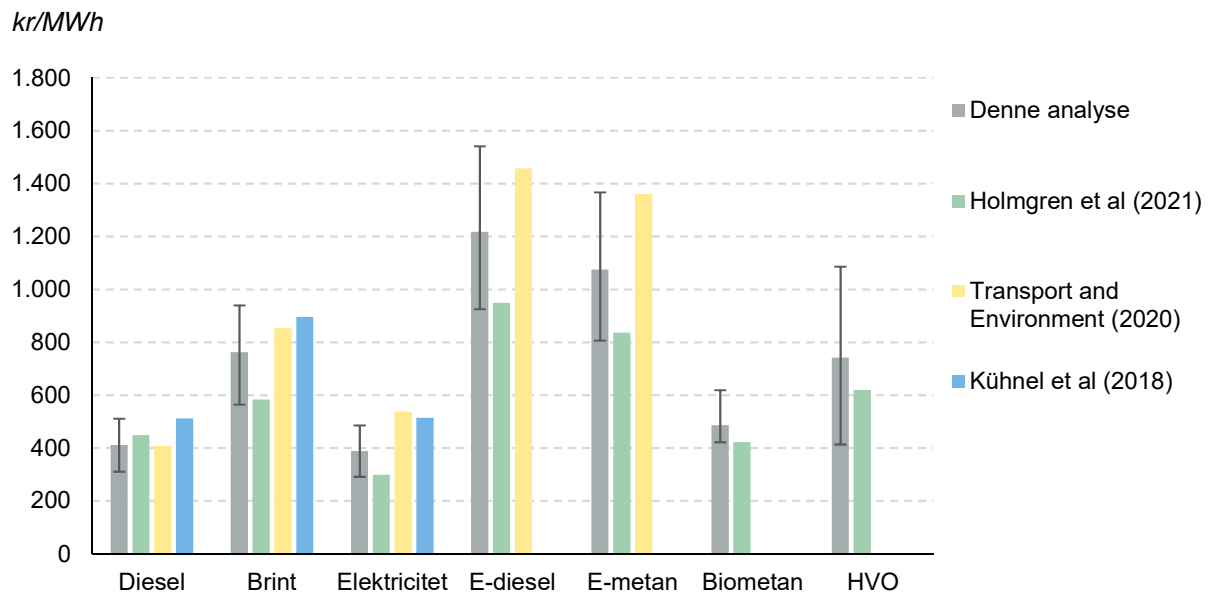
Drivmiddelteknologi	Grundscenarie	Lav	Høj
Biometan, komprimeret	----- Variation i biometanprisen: Som biometan, flydende ----- ----- Variation i energiforbrug: Som e-metan, komprimeret -----		
Brint	- Energiforbruget er baseret på Transport and Environment. ⁸³	- Energiforbruget er ca. 15 pct. lavere end i grundscenariet, baseret på ICCT. ⁸⁴	- Energiforbruget er 7 pct. højere end i grundscenariet baseret på. Kühnel et al. ⁸⁵
	----- Variation i elpriser og øvrige produktionsomkostninger: Som e-diesel -----		
Batteri	- Der anvendes en batteripris på 106 USD/kWh i 2025 og 74 USD/kWh i 2030, baseret på ICCT. ⁸⁶	- Batteriprisen er knap 30 pct. lavere i 2030, baseret på Bloomberg New Energy Finance. ⁸⁷	- Batteriprisen er 55 pct. højere end i grundscenariet, baseret på Transport and Environment og Kühnel et al. ⁸⁸
	- Der antages en rækkevidde på 600 km.	- Der antages en rækkevidde på 500 km.	- Der antages en rækkevidde på 900 km.
	- Elprisen er baseret på <i>Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019</i> .	- Elprisen er 25 pct. lavere end i grundscenariet.	- Elprisen er 25 pct. højere end i grundscenariet.
Køreledninger	- Der antages en udnyttelsesgrad blandt lastbiler på 50 pct.	- Der antages en udnyttelsesgrad på 75 pct., baseret på PIARC. ⁹⁰	- Der antages en udnyttelsesgrad på 12,5 pct. baseret på Trafikverket. ⁹²
	- Der antages en rækkevidde på batteri på 175 km.	- Der antages en rækkevidde på batteri på 100 km.	- Der antages en rækkevidde på batteri på 250 km.
	- Investeringsomkostninger til køreledninger er baseret på Trafikverket, og driftsomkostninger er baseret på Trafikverket. ⁸⁹	- De samlede omkostninger til køreledninger (investering og drift) er 10 pct. lavere end i grundscenariet, baseret på The Centre for Sustainable Road Freight. ⁹¹	- De samlede omkostninger til køreledninger (investering og drift) er ca. 20 pct. højere end i grundscenariet, baseret på Transport and Environment. ⁹³
	----- Variation i batteripriser og elpriser: Som den rent batteridrevne lastbil -----		

Geografiske variationer i omkostningerne

I Danmark kan vi næppe vælge en helt anden drivmiddelteknologi til langturslastbiler end vores nabolande, og set fra Danmarks perspektiv er det derfor i høj grad relevant, hvilke teknologier der vinder frem på europæisk plan. De samlede omkostninger for de forskellige drivmiddelteknologier vil variere på tværs af geografi, blandt andet som følge af at produktionspriser for brændstoffer og distributionsomkostninger er afhængige af lokale forhold. Mens omkostninger til indkøb af lastbil og antagelser om kørselsomfang i denne analyse betragtes som repræsentative for både Danmark og andre europæiske lande, afspejler brændstofpriserne lokale, danske forhold.

Infrastrukturomkostningerne for køreledninger tager også udgangspunkt i det danske motorvejsnet, ligesom omkostningerne til distribution og tankningsinfrastruktur for de typer brændstoffer, der allerede findes på markedet i Danmark (diesel og komprimeret biometan) tager udgangspunkt i danske forhold. Såfremt disse forhold er anderledes i vores europæiske nabolande, vil de beregnede omkostninger ikke afspejle situationen i de pågældende lande.

Spørgsmålet om hvilke drivmiddelteknologier, der vinder frem i Europa, vil påvirkes af omkostningerne på tværs af de europæiske lande. Man må som hovedregel forvente, at det alt andet lige vil være de billigste teknologier, som vinder. Brændstofpriser er en vigtig kilde til forskellene i de samlede omkostninger på tværs af lande, både fordi priserne varierer, og fordi de udgør en stor andel af de samlede omkostninger. Figur 6 holder brændstofpriser eksklusive distributionsomkostninger i denne analyse op mod de forventede brændstofpriser i analyser fra andre europæiske lande. Den grå søjle angiver brændstofpriserne i grundscenariet, mens de sorte linjer angiver spændet for brændstofpriserne, der anvendes i det høje og det lave omkostningsscenarie. Figuren indikerer, at brændstofpriserne i denne analyse er i tråd med den svenske (grønne søjler), britiske (gule søjler) og tyske (blå søjler) analyse, men det er vigtigt at notere sig, at der er mærkbar variation i brændstofpriserne på tværs af analyserne. Distributionsomkostningerne vil også variere på tværs af geografi. Dog udgør de som udgangspunkt en mindre andel af de samlede omkostninger over lastbilens levetid.



Figur 6 Sammenligning af brændstofpriser (eksklusive distributionsomkostninger) i 2030 i denne analyse med priser fra andre analyser

- Anm. 1: Denne analyse anvender Energistyrelsens *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger 2019* som kilde til dieselprisen, biometanprisen og elprisen, Nordic Energy Research som kilde til prisen på elektrobrændstoffer og COWI som kilde til prisen på HVO i grundscenariet.⁹⁴
- Anm. 2: Biometanprisen fra Holmgren et al er et gennemsnit af produktionsprisen for biometan baseret på affald/gødning og træflis.⁹⁵
- Anm. 3: Kühnel et al opgiver kun priser på diesel og brint inklusive distributionsomkostninger. For at muliggøre sammenligning er det antaget, at distributionsomkostninger udgør samme andel af omkostningerne i Kühnel et al og denne analyse.
- Kilder: Holmgren et al,⁹⁶ Transport and Environment,⁹⁷ Kühnel et al,⁹⁸ Nordic Energy Research,⁹⁹ Energistyrelsen¹⁰⁰, COWI¹⁰¹.

Endelig skal det bemærkes, at den eksterne omkostning forbundet med drivhusgasudledning afspejler det danske nationale reduktionsmål. Hvis andre landes mål giver anledning til andre CO₂-omkostninger, vil det naturligvis påvirke forholdet mellem grønne drivmidler og diesel, men ikke det interne forhold mellem de grønne drivmidler.

Referencer

- ¹ Energistyrelsen, *Technology Data – Renewable fuels*, 2021
- ² Enea, *The Potential Of Power-To-Gas*, 2016
- ³ IEA, *Hydrogen from biomass gasification*, 2018
- ⁴ EU-Kommissionen, *State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union*, 2020.
- ⁵ Holmgren et al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg - Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*, 2021; Gustavsson et al., *Overview of ERS concepts and complementary technologies*, 2019.
- ⁶ Gustavsson et al., *Overview of ERS concepts and complementary technologies*, 2019
- ⁷ Gustavsson et al., *Overview of ERS concepts and complementary technologies*, 2019
- ⁸ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ⁹ Holmgren et al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg - Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*, 2021
- ¹⁰ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ¹¹ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ¹² IRENA og Methanol Institute, *Innovation Outlook Renewable Methanol*, 2021
- ¹³ EU-Kommissionen, *State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union*, 2020.
- ¹⁴ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021; IEA, *The Future of Trucks – Implications for energy and the environment*, 2017.
- ¹⁵ EU-Kommissionen, *State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union*, 2020.
- ¹⁶ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021; EU-Kommissionen, *Alternative Fuels – Expert group report*, 2017
- ¹⁷ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ¹⁸ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ¹⁹ EU-Kommissionen, *Alternative Fuels – Expert group report*, 2017
- ²⁰ Holmgren et al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg - Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*, 2021
- ²¹ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ²² Holmgren et al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg - Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*, 2021
- ²³ IEA, *Hydrogen from biomass gasification*, 2018
- ²⁴ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ²⁵ Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021
- ²⁶ Holmgren et al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg - Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*, 2021
- ²⁷ Enea, *The Potential Of Power-To-Gas*, 2016
- ²⁸ Peters et al., *Future Power Train Solutions for Long-Haul Trucks*, 2021
- ²⁹ Holmgren et al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg - Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*, 2021; Gustavsson et al., *Overview of ERS concepts and complementary technologies*, 2019; IEA, *The Future of Trucks – Implications for energy and the environment*, 2017; JEC, *Well-to-Tank report v5*, 2020; EU-Kommissionen, *Alternative Fuels – Expert group report*, 2017; IEA, *Survey on Advanced Fuels for Advanced Engines*, 2018; Energistyrelsen og Energinet, *Technology Data Renewable Fuels*, 2021; EU-Kommissionen, *State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union*, 2020; IRENA og Methanol Institute, *Innovation Outlook Renewable Methanol*, 2021.
- ³⁰ ENTOSOG og ENTSO-E, Download data, 2020 <https://2020.entosos-tyndp-scenarios.eu/download-data/>; EU-Kommissionen, In-depth analysis in support of the Commission Communication Com(2018) 773, 2018
- ³¹ Transport and Environment, *Recharge EU trucks: time to act!*, 2020. ICCT, What is the role for renewable methane in European decarbonization?, 2018
- ³² ICCT, *What is the role for renewable methane in European decarbonization?*, 2018
- ³³ Transport and Environment, *Recharge EU trucks: time to act!*, 2020
- ³⁴ Guidehouse (tidigare Navigant), *Gas for Climate*, 2019
- ³⁵ EU-Kommissionen, *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*, 2020
- ³⁶ EU-Kommissionen, *Cobalt demand-supply balances in the transition to electric mobility*, 2018; EU-Kommissionen, *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*, 2020
- ³⁷ EU-Kommissionen, *Cobalt demand-supply balances in the transition to electric mobility*, 2018
- ³⁸ McKinsey, *Recharging economies: The EV-battery manufacturing outlook for Europe*, 2021
- ³⁹ McKinsey, *Recharging economies: The EV-battery manufacturing outlook for Europe*, 2021
- ⁴⁰ Röck et al., *JEC Tank-To-Wheels report v5: Heavy duty vehicles*, 2020
- ⁴¹ Holmgren, K., et al., *HOLMGREN ET AL. Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg – Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*. Rapport nr. FDOS 12:2021, 2021.
- ⁴² Daimler, *Fuel-cell truck Start of testing of the new GenH2 Truck prototype*, 2021 <https://www.daimler.com/innovation/drive-systems/hydrogen/start-of-testing-genh2-truck-prototype.html>
- ⁴³ Tesla, *Semi*, 2021 <https://www.tesla.com/semi>
- ⁴⁴ Röck et al., *JEC Tank-To-Wheels report v5: Heavy duty vehicles*, 2020
- ⁴⁵ Tesla, *Semi*, 2021 <https://www.tesla.com/semi>
- ⁴⁶ Holmgren et al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg - Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*, 2021.
- ⁴⁷ Nordic Energy Research, *Nordic P2X for Sustainable Road Transport*, 2020.
- ⁴⁸ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁴⁹ ICCT, *Transitioning to Zero-emission Heavy-duty Freight Vehicles*, 2017.
- ⁵⁰ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.

- ⁵¹ ICCT, *Transitioning to Zero-emission Heavy-duty Freight Vehicles*, 2017.
- ⁵² Nordic Energy Research, *Nordic P2X for Sustainable Road Transport*, 2020.
- ⁵³ Energistyrelsen, *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner*, 2019.
- ⁵⁴ COWI, *Grøn omstilling af danske indenrigsfærger*, 2021.
- ⁵⁵ Volvo, *Electromobility made easy – Electrified urban transport by Volvo trucks*: <https://brochures.volvotrucks.com/hq/product-guides/electromobility-en-en/?page=10>; Dutch National LNG Platform, 2014: https://www.teknologisk.dk/media/58311_5%20Peak%20Low%20Noise%20transport%20Denemarken%20Goevaers.pdf
- ⁵⁶ Daimler: <https://freightliner.com/blog-and-newsletters/the-benefits-of-compressed-natural-gas-vs-diesel/>
- ⁵⁷ ICCT, *A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards*, 2016.
- ⁵⁸ Clark et al, *Pump-to-Wheels Methane Emissions from the Heavy-Duty Transportation Sector*, 2016; Motschall et al, *Decarbonization of on-road freight transport and the role of LNG from a German perspective*, 2020.
- ⁵⁹ Fremsyn (udarbejdet for: E.ON, HMN Naturgas, NGF Nature Energy og DGD), *Emissioner fra tung transport – en sammenligning af biogas og diesel*, 2017.
- ⁶⁰ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020; ICCT, *Estimating the Infrastructure Needs and Costs for the Launch of Zero-emission Trucks*, 2019.
- ⁶¹ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁶² COLLERS (Swedish-German research collaboration on Electric Road Systems), *Overview of ERS concepts and complementary technologies*, 2019.
- ⁶³ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020; Transport and Environment, *Comparison of hydrogen and battery electric trucks*, 2020.
- ⁶⁴ Concito, *Dekarbonisering af vejgodstransport*, 2020.
- ⁶⁵ Vejdirektoratet, *Statistikatalog*, 2017. <https://www.vejdirektoratet.dk/side/trafikkens-udvikling-i-tal>
- ⁶⁶ Trafikverket, *Analysera förudsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar*, 2021.
- ⁶⁷ UNECE, *E-road Census 2015*: <https://unece.org/traffic-census-2015-0>
- ⁶⁸ PIARC, *Electric Road Systems: A Solution for the Future?*, 2018.
- ⁶⁹ Trafikverket, *Analysera förudsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar*, 2021.
- ⁷⁰ Sundelin, Linder, Mellquist, Gustavsson, Börjessen og Pettersson, *Business case for electric road*, 2018. Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020. Kühnel, Hacker og Görz, *Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Strassengüterfernverkehr*, 2018.
- ⁷¹ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁷² ICCT, *Transitioning to Zero-emission Heavy-duty Freight Vehicles*, 2017.
- ⁷³ Kühnel, Hacker og Görz, *Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Strassengüterfernverkehr*, 2018.
- ⁷⁴ Nordic Energy Research, *Nordic P2X for Sustainable Road Transport*, 2020.
- ⁷⁵ ICCT, *Transitioning to Zero-emission Heavy-duty Freight Vehicles*, 2017.
- ⁷⁶ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁷⁷ ICCT, *Transitioning to Zero-emission Heavy-duty Freight Vehicles*, 2017.
- ⁷⁸ COWI, *Grøn omstilling af danske indenrigsfærger*, 2021.
- ⁷⁹ IEA Bioenergy, *Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction*, 2020.
- ⁸⁰ OECD/FAO, *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029*, 2020.
- ⁸¹ Holmgren, K., et. al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg – Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*. Rapport nr. FDOS 12:2021, 2021.
- ⁸² Fremsyn (udarbejdet for: E.ON, HMN Naturgas, NGF Nature Energy og DGD), *Emissioner fra tung transport – en sammenligning af biogas og diesel*, 2017.
- ⁸³ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁸⁴ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁸⁵ Kühnel, Hacker og Görz, *Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Strassengüterfernverkehr*, 2018.
- ⁸⁶ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁸⁷ Bloomberg, *Impact on batteries, metals, charging infrastructure and emissions*, 2021: https://bnef.turl.co/story/evo-2021/page/7/1?utm_source=Email&utm_campaign=BNEF&utm_medium=Newsletter&utm_content=BNEFMonthInReview&tactic=432664&teaser=yes
- ⁸⁸ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020; Kühnel, Hacker og Görz, *Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Strassengüterfernverkehr*, 2018.
- ⁸⁹ Trafikverket, *Analysera förudsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar*, 2021; Trafikverket, *Vägunderhåll och kostnader för olika typer av Elvägar*, 2020.
- ⁹⁰ PIARC, *Electric Road Systems: A Solution for the Future?*, 2018.
- ⁹¹ The Centre for Sustainable Road Freight, *Decarbonising the UK's Long-Haul Road Freight at Minimum Economic Cost*, 2020.
- ⁹² Trafikverket, *Analysera förudsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar*, 2021.
- ⁹³ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁹⁴ Nordic Energy Research, *Nordic P2X for Sustainable Road Transport*, 2020; COWI, *Grøn omstilling af danske indenrigsfærger*, 2021.
- ⁹⁵ Holmgren, K., et. al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg – Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*. Rapport nr. FDOS 12:2021, 2021.
- ⁹⁶ Holmgren, K., et. al., *KNOGA Fossilfri framdrift för tunga långväga transporter på väg – Kostnadsfördelning och risker för olika aktörer*. Rapport nr. FDOS 12:2021, 2021.
- ⁹⁷ Transport and Environment, *How to Decarbonise the UK's Freight Sector by 2050*, 2020.
- ⁹⁸ Kühnel, Hacker og Görz, *Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Strassengüterfernverkehr*, 2018.
- ⁹⁹ Nordic Energy Research, *Nordic P2X for Sustainable Road Transport*, 2020.
- ¹⁰⁰ Energistyrelsen, *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner*, 2019.
- ¹⁰¹ COWI, *Grøn omstilling af danske indenrigsfærger*, 2021.