



Dekarbonisering af vejgodstransport

Rapport

Udgivet: Februar 2020

Forfatter: Henrik Gudmundsson

Støttet af: Energifonden



CONCITO

DANMARKS GRØNNE TÆNKETANK

Forord

Det er vigtigt for beskyttelsen af klimaet og opfyldelsen af de globale og nationale klimamål at også godstransporten *dekarboniseres* – forstået som at netto-udledning af drivhusgasser afvikles. Med denne rapport sætter CONCITO fokus på hvordan den grønne omstilling af lastbiltransporten kan komme i gang og slå igennem.

Dekarbonisering af godstransporten er en stor og vanskelig samfundsopgave, og det er ikke ligetil at opstille en simpel løsning. Rapporten belyser en række af de forudsætninger, udfordringer og muligheder der tegner sig. På den baggrund udpeges de løsningsveje og tiltag som forekommer mest lovende, og der gives en vifte af anbefalinger til aktører i transportsektoren og det politiske niveau.

Budskaberne skal ikke forstås som hugget i sten. De er nærmere del i en løbende dialog og tankeproces, der hele tiden udvikler sig.

Danmark er i transportmæssig sammenhæng nært forbundet med vores nabolande og udviklingen i det danske transportsystem er i høj grad betinget af EU. Derfor må en dekarbonisering af den danske godstransport ses i lyset af hvordan teknologi, markeder og regulering bevæger sig i Europa. Dette afspejles i rapportens anbefalinger som også peger på konkrete initiativer i forhold til EU-samarbejdet.

Rapporten er den første af to i projektet om dekarbonisering af godtransport på vej mod 2030 og 2050. I denne rapport behandles generelle dekarboniseringsmuligheder for lastbiltransporten i Danmark. I en efterfølgende publikation stilles der skarpt på byernes logistik og distribution, som derfor ikke er specielt i fokus her.

CONCITO ønsker at udtrykke stor tak til Energifonden som har ydet velvillig støtte til projektet, og til projektets følgepanel som har givet værdifulde kommentarer undervejs. Også tak til mange engagerede deltagere i projektets workshops i 2019.

CONCITO's sekretariat har alene ansvar for rapportens indhold og anbefalinger.

CONCITO håber at rapporten bl.a. vil kunne bidrage til arbejdet i tilknytning til Regeringens klimapartnerskab for landtransport.

Indhold

Forord	2
Sammenfatning og hovedanbefalinger	4
English summary	9
Anvendte forkortelser	11
1. Introduktion og baggrund	12
2. Projektets fremgangsmåde	15
3. Analysekoncept	18
4. Vejgodstransport og klimapåvirkning i Danmark	24
4.1 Køretøjer, energiforsyning, infrastruktur i Danmark	24
4.2 CO ₂ -udledninger fra godstransport på vej	25
4.3 Fremskrivning af transport og udledninger	27
5. Oversigt og kriterier for løsningsveje	29
5.1 Strukturering og udvælgelse	29
5.2 Kriterier til vurdering af løsningsveje	33
6. Beskrivelse og vurdering af konkrete løsningsveje	38
6.1 Logistisk optimering og køretøjsudnyttelse	38
6.2 Elektrificering – med hovedvægt på batterier og el-veje (ERS)	45
6.3 Flydende alternativer – med hovedvægt på electrofuels	61
6.4 Gasformige løsninger – med hovedvægt på flydende biogas	75
6.5 Tværgående vurdering og sammenfatning	89
7. Politiske håndtag	103
7.1 EU-regulering	104
7.2 Status i Danmark	116
7.3 Tiltag og initiativer i nabolande	119
8. Sammenfatning og anbefalinger	124
8.1 Sammenfatning på status og udvikling	124
8.2 Sammenfatning på løsningsveje og muligheder	125
8.3 Sammenfatning på handlemuligheder og anbefalinger	134
Referencer	140

Sammenfatning og hovedanbefalinger

Den grønne omstilling har endnu ikke manifesteret sig mærkbart i den danske vejgodstransportsektor. Over 99 % af de 42.000 danske lastbiler kører stadig på 93% fossil dieselolie. Samlet set udleder alle lastbiler der kører rundt i Danmark omkring 3 mio. tons CO₂, årligt hvilket svarer til 25 % af transportsektoren eller 6 % af de samlede nationale udledninger af drivhusgasser, og der er ingen tegn på, at kurven er på vej ned.

De tungere lastbiler samt sættevognstrækkere fra 26 ton totalvægt og opefter, som udgør 60 % af lastbilparken, kører lange ture, og står for over 85 % af CO₂-udledningen. Det vil sige, at en effektiv indsats for dekarbonisering af godstransporten ikke mindst må omfatte dette segment.

Høje omkostninger og andre barrierer for omstilling til mere klimavenlig energi, teknologi og organisering i vejgodsets transportsystem bremser for, at den grønne omstilling kommer i gang.

Dette forstærkes af en udpræget mangel på politisk opmærksomhed og effektive indsatser på området. Nye EU-regler vil ganske vist medvirke til at sænke de nye lastbilers CO₂-udledninger frem mod 2030, men samlet set vil effekten være begrænset. Nye EU-bestemmelser om alternative brændstoffer opstiller indviklede regler, som næppe af sig selv vil gøre stor gavn for klimaet. Nationalt er der stort set ikke taget nogen markante initiativer til grøn omstilling inden for godstransport.

Der er derfor heller ikke umiddelbar udsigt til, at lastbiltransporten vil bidrage nævneværdigt til dekarboniseringen i de næste 10 år. Tværtimod står lastbilerne til at øge deres andel af de samlede CO₂-udledninger med omkring 18%. Samtidig hersker der stor uklarhed om hvilke alternativer og tiltag der bedst vil kunne sikre at vejgodstransporten kommer i gang med at bidrage til at opnå de ambitiøse nationale, europæiske og globale klimamål. Det er en uholdbar situation.

Der tegner sig imidlertid en vifte af muligheder for at få vejgodstransportens udledninger bragt ned. Analysen har koncentreret sig om fire hovedspor:

- Elektrificering herunder batterier, køreledninger og brændselsceller
- Flydende brændstoffer, herunder biobrændstoffer og electrofuels
- Gasformige brændstoffer herunder særligt biogas
- Effektivisering gennem bedre kapacitetsudnyttelse

Det mest lovende spor, hvad angår vidtgående og langsigtet dekarbonisering, vurderes at være **elektrificering med kombination af batteridrevne lastbiler og etablering af køreledninger over dele af det overordnede vejnet**, kaldet Electric Road System eller ERS. Hvor batteri-køretøjer i første omgang kun vil kunne understøtte lokal og til dels regional transport, vil ERS-systemer især kunne forsyne de lange tunge transportere der vægter meget i CO₂-regnskabet, idet over 50% af vejgodset kører på under 2% af vejnettet. Elektrificering giver sammen med overgang til CO₂-neutral el om få år potentiale for **noget nær fuld dekarbonisering** af vejgodstransporten længe inden 2050, uden at grundlæggende teknisk-økonomiske barrierer skal overvindes.

Andre fordele ved elektrificering vil være effektiv udnyttelse af energien, markant reduceret lokal miljøbelastning, høj forsyningsikkerhed, lave driftsomkostninger og - ifølge flere nye studier - også bedre totaløkonomi, sammenlignet med fortsat diesel, måske allerede inden for fem år.

Elektrificering forudsætter dog et fundamentalt skift af teknologi, hvor helt nye lastbiltyper skal erstatte de nuværende. Indtil videre er prisen for el-lastbiler meget høj og det begrænsede udbud af både biler og opladningsmuligheder er en barriere. Her er løsningen med opladning gennem køreledninger dog gunstig fordi effektiviteten går yderligere op, og behovet for store tunge batterier kan reduceres.

At få igangsat elektrificering og overvundet de mange barrierer som afdækkes i analysen vil kræve en betydelig politisk indsats (jf. nedenfor). Desuden vil dekarbonisering via elektrificering ikke kunne nå at slå meget igennem i forhold til et mål om 70 % samlet reduktion i 2030.

Der er derfor også behov for at se på hvilken rolle andre løsninger kan spille.

Et elektrisk 'sidespor' er **brændselscelle-køretøjer (FCEV)** på brint. Teknologien er delvis baseret på elmotorens overlegne virkningsgrad, og potentialet for dekarbonisering svarer på lang sigt til elektrificering i øvrigt. Der er dog tale om et mere grundlæggende teknologiskifte, eftersom der også skal opbygges helt ny produktion og infrastruktur til fremstilling og distribution af nedkølet brint. Dertil kommer, at processen har et stort energitab (energiudnyttelse kun omkring 25 % i hele kæden mod ca. 70-75 % ved direkte elektrificering). Endelig har VE-brint en lang række andre mulige anvendelser i et integreret energisystem herunder bl.a. til fremstilling af electrofuels. Skal FCEV-køretøjer spille en større rolle i dekarboniseringen af godstransport vil der i første omgang være behov for fortsat forskning og udvikling.

Flydende brændstoffer baseret på **restbiomasse** eller i form af **electrofuels** (brændstoffer med brint lavet på grøn strøm) er interessante fordi der ad begge veje *kan* fremstilles diesel-lignende brændstoffer som er tilnærmelsesvis CO₂-neutrale. Dette peger mod dekarbonisering uden teknologiskift i selve transporten.

Der er dog så væsentlige begrænsninger og faldgruber at det **ikke er fundet muligt** at opstille et klart dekarboniseringspotentiale for dette løsningsspor.

For **biobrændstoffer** afhænger mulighederne for dekarbonisering af adgangen til reelt bæredygtige råvarer (fx uanvendeligt slagteaffald), som er og formentlig bliver stadig mere begrænsede. Øget efterspørgsel efter biomasse til energi kan påvirke og forskyde arealanvendelsen globalt på indirekte måder som er svære at gardere sig imod de negative klimaeffekter af. Eventuel øget brug af biomasse til transportenergi må omgærdes af restriktive krav om maksimal CO₂-fortrængning og bør ikke tillades at forøge Danmarks afhængighed af biomasseenergi som allerede er ekstremt høj.

For **electrofuels** er der tale om en langsigtet vision, som vil kræve mange år og betydelige investeringer i nye energianlæg, infrastruktur og teknologier til CO₂-fangst, før der kan leveres større mængder CO₂-neutrale brændstoffer til danske lastbiler. Akilleshælen er indtil videre meget store tab af energi i processen, endnu større end ved brændselsceller (energiudnyttelse kun omkring 25 % i hele kæden mod ca. 70-75 % ved direkte

elektrificering). Samtidig vil der være andre sektorer som skibsfart, fly og industri, der vil kunne bruge produkterne. En samlet strategi for forskning og udvikling af electrofuels forekommer perspektivrigt, men en dekarboniseringsløsning for vejgodstransport bør ikke her og nu afhænge af dens mulige succes.

Gasformige brændstoffer har især interesse fordi **biogas** kan fremstilles ud fra gødning og biologisk affald som ikke umiddelbart har arealkonsekvenser og derved kan yde energi med lav eller ligefrem negativ CO₂-udledning. Flere vurderinger peger på biogas som en billigere alternativ transportenergiform end fx avanceret flydende biobrændstof. Der er nu lastbiler på markedet som er optimeret til at køre på gas. Det skal dog med i billedet at interessen for biogas også drives af de meget betydelige subsidier der er på området (ca. 2 mia. DKK pr år, plus støtte i Sverige).

Der er dog flere forhold som i praksis mindsker biogassens attraktion som dekarboniseringsløsning for vejgodstransporten. Blandt andet er der stor usikkerhed om det råvarepotentiale, der reelt kan udnyttes. Desuden afhænger biogassens CO₂-profil i høj grad af, hvor man tager råvarerne fra. Endelig er det en akilleshæl, at biogas består af methan, som er en kraftig drivhusgas. Tab og lækager som ikke er under skarp kontrol kan sætte hele CO₂-gevinsten over styr. Dertil kommer, at biogassen i mange år frem vil være bundet sammen med fossil naturgas.

I rapporten er valgt at opstille et biogasscenarie med meget favorable forudsætninger. Det skønnes her groft, at der kan opnås en **dekarbonisering af godstransporten på omkring 30 % i 2050**, hvis man alene baserer udvidelsen på gødning og halm uden anden anvendelse, og har lækager under kontrol. Biogas vurderes dog ikke at kunne rulle meget hurtigere ud og spille end større rolle for godstransportens dekarbonisering i 2030 end elektrificering vil kunne – med mindre den aktuelle gasudnyttelse omdirigeres.

En vis indsats omkring biogas som element i dekarbonisering af tung transport synes alt i alt at kunne forsvares, men den bør afgrænses nøje både hvad angår inputmaterialer, proces og anvendelsesområder.

Effektivisering gennem øget kapacitetsudnyttelse var et fjerde spor som blev belyst. Også her kan man tale om et *teoretisk* potentiale, som fx observeres ved tomkørsel og lav kapacitetsudnyttelse af køretøjer, og et *praktisk* potentiale som er meget lavere, eftersom der er utallige strukturelle og operationelle barrierer for fuldt ud at tilpasse godsmængde og transportopgaver til hinanden.

Et konkret eksempel er modulvogntog (EMS). I nogle cases har kunnet realisere omkring 20 % CO₂ reduktion på virksomhedsniveau. Potentialet på godstransport på sektorniveau ved fuld åbning for national EMS er dog langt mindre, måske 2 %. Danmark har allerede EMS nationalt men åbning for grænseoverskridende EMS i EU kunne give god mening.

Det har *ikke været muligt* at pege på et konkret realistisk dekarboniseringspotentiale gennem effektivisering på sektorniveau. Det må dog stadig anses for meningsfuldt at inddrage temaet i en strategi for dekarbonisering. Der mangler klart nok viden på området, fx om betydningen af økonomiske incitamenters såsom højere afgifter versus IT-understøttelse af fragtmarkeder.

Alt i alt tegner der sig **en markant og alvorlig udfordring**, idet **ingen af de belyste spor umiddelbart ser ud til at kunne levere mere end måske 10 - 15 % reduktion i udledning i 2030**, dvs. kun begrænsede bidrag til en målsætning om 70 % reduktion i 2030 (svarende til ca. 55 % reduktion ift. 2017).

I figuren nedenfor sammenfattes rapportens analyser af, hvordan de forskellige løsningsveje vurderes at klare sig i forhold til et bredt sæt af kriterier som udover dekarboniseringspotentiale omhandler økonomi, tilgængelighed og fleksibilitet samt øvrige samfundshensyn. Som det fremgår er der ingen af løsningerne som fremstår uden begrænsninger eller forbehold.

Det skal dog understreges, at projektets scenarier og vurderinger er oversigtlige og bør følges op af mere grundige studier. Det har heller ikke været muligt at gå i dybden med, hvordan de enkelte spor og løsninger kan kombineres og dermed forbedre resultatet, eller i hvilket omfang de snarere vil spænde ben for hinanden.

Men dette understreger under alle omstændigheder i hvor høj grad der er behov for en **samlet ambitiøs strategi**, som både kan tage fat på at udmønte de mest lovende potentialer der allerede tegner sig nu OG at skabe forudsætninger for at udvikle en væsentlig mere slagkraftig og underbygget tilgang i den nærmeste fremtid.

Til dette anbefales en samlet indsats med følgende tre *hovedelementer*:

For det første etablering af en overordnet strategi der skal sætte dekarbonisering af godstransporten på den politiske dagsordenen herhjemme og i EU, og som skal understøttes af tværgående initiativer inden for afgiftspolitik, infrastrukturpolitik og forskning og udvikling.

For det andet en målrettet indsats for at understøtte elektrificering af godstransporten på de områder hvor det er muligt og på sigt giver mening, gennem hertil egnede konkrete nationale og EU-tiltag samt grænseoverskridende samarbejde med især Tyskland, Sverige og Norden.

For det tredje en supplerende indsats i andre teknologiske og organisatoriske spor, som gardering hvor elektrificeringen ikke nødvendigvis rækker, og for at inddæmme mulige negative klima- og miljøkonsekvenser af udviklingen i vejgodstransportsystemets udvikling i øvrigt.

De konkrete forslag under hvert punkt fremgår af rapportens kapitel 8.

1. Dekarboniserings-potentiale	LOGISTIK	EL (BEV OG ERS)	FLYDENDE (Electrofuels)	BIOGAS
Reduktion af CO ₂ på mikro-niveau				
Fuld dekarbonisering på længere sigt				
Markant og hurtig reduktion ift. 2030-mål				
2. Økonomi				
Energieffektivitet i hele kæden				
TCO på virksomhedsniveau				
Infrastrukturinvesteringer				
Rebound effekt				
3. Tilgængelighed og fleksibilitet				
Technology Readiness Level				
Udbud/diversitet af køretøjer og andre komponenter				
Køretøjers tilgængelighed og anvendelighed				
Energiforsyningens tilgængelighed				
Vedligeholdelse og reservedele				
Øget/mindsket adgang til ruter/områder				
4. Samfundshensyn				
Miljø og sikkerhed				
Forsyningsikkerhed				
Samfundsrisici				
Vækst og arbejdspladser				

Farve	Tolkning
	Væsentlige potentialer og/eller meget gunstige udsigter
	Potentialer og/eller forholdsvis gunstige udsigter med nogen forbehold
	Begrænset potentiale og/eller udsigt til barrierer eller risici
	Væsentlige udfordringer, begrænsninger eller risici

Tværgående sammenligning i forhold til kriterier. OBS: kun hovedalternativer i hvert spor

English summary

The green transition has not yet manifested itself noticeably in the Danish road freight transport sector. Over 99 % of the 42,000 trucks in Denmark are still running on 93 % fossil diesel fuel. In total, trucks operating in Denmark emit around 3 million tons of CO₂ per year, which equals 25 % of the transport sector, or 6 % of the total national greenhouse gas emissions. There is no indication that the curve is bending downwards anytime soon.

The heavier trucks and semitrailers from 26 t total weight and upwards, which make up 60 % of the truck fleet account for over 85 % of CO₂ emissions. This means that effective measures to decarbonize freight transport not least must focus on this segment.

High costs and other barriers are slowing the green transition in the road freight transport system.

This is reinforced by a marked lack of political attention and effective efforts in this area. New EU regulations will certainly help reduce the new trucks' CO₂ emissions by 2030, but overall the effect will be limited. New EU regulations on alternative fuels set up intricate rules that are unlikely to be of very great benefit to the climate overall. Nationally, no significant initiatives to promote sustainable freight transport have been taken at all.

Consequently, there is no immediate prospect for truck transport to contribute significantly to decarbonization in Denmark over the next 10 years.

However, there is a range of opportunities to reduce road freight transport emissions. This analysis has concentrated on four main tracks:

- Electrification including batteries, power lines and fuel cells
- Liquid fuels, including biofuels and electrofuels
- Gaseous fuels including especially biogas
- Improved efficiency through better capacity utilization

The most promising track in terms of far-reaching and long-term decarbonization we find to be **electrification** with the combination of battery-powered trucks and an Electric Road System (ERS) with overhead lines over parts of the main road network.

Where battery vehicles will initially only be able to support local and partly regional transport, ERS systems will in particular be able to supply the long haul movements that dominate the CO₂ accounts, with more than 50% of road goods running on less than 2% of the road network. Together with the transition to CO₂-neutral electricity, electrification offers a potential for close to full decarbonization of road freight transport long before 2050, without a need to overcome fundamental technical-economic barriers.

Other benefits of electrification will include efficient utilization of energy, significantly reduced local environmental impact, high security of supply, low operating costs and - according to several new studies - also better overall economy, compared with continued diesel, perhaps already within 5 years.

However, electrification requires a total shift in technology where completely new truck types need replace the current ones. So far, the price of electric trucks is very high and the limited supply of cars and of charging options are significant barriers.

Getting electrification started and overcoming the many barriers uncovered in the analysis will require considerable political effort. Meanwhile, there is also a need to consider what role alternative solutions can play.

Moreover, it leaves a significant challenge unanswered, since none of the considered tracks immediately seems capable of delivering more than a maximum of maybe 10 - 15% reduction in emissions in 2030, i.e. only limited contributions to a target of 70% reduction in 2030 (corresponding to about 55% reduction compared to today).

This underlines the critical requirement for an overall ambitious strategy at this stage, one, which can release the most promising potentials that are already emerging, as well as start creating the conditions for a significantly more powerful approach in the near future.

The analysis recommends a combined effort with the following three main elements:

- Firstly, the establishment of an overall strategy to place decarbonization of freight transport on the political agenda at home and in the EU, which must be supported by cross-cutting initiatives in taxation, infrastructure policy and research and development
- Secondly, a targeted effort to support the electrification of freight transport in the areas where this is currently possible and makes sense in the long term, through suitable national and EU initiatives and cross-border cooperation with, in particular, Germany, Sweden and other Nordic countries.
- Thirdly, a complementary effort in other technological and organizational tracks, to strengthen efforts where electrification is not necessarily sufficient, and to limit or fence in possible negative climate and environmental impacts due to other road freight transport system developments or policies.

Anvendte forkortelser

AFI	Alternative Fuels Infrastructure. EU Direktiv om infrastruktur til alternativ transportenergi
BEV	Battery Electric Vehicles. Last- og varebiler med batteri
BIO	Biobrændstoffer
CCS	Carbon Capture and Storage. Teknologisk kulstoflagring
CNG	Compressed Natural Gas. Komprimeret naturgas
CBG	Compressed Biogas. Komprimeret biogas
DCE	Nationalt Center for Energi og Miljø, Århus Universitet
DME	Di Methyl Ether. En syntetisk (gasformigt) dieselbrændstof
DAC	Direct Air Capture. Opsamling af CO ₂ fra luften
DLUC	Direct Land Use Change. Direkte ændringer i arealanvendelse
E-Fuels	Electrofuels, syntetiske brændstoffer fremstillet via el
EMS	European Modular System. Modulvogntog
ERS	Electric Road Systems. Strøm/opladning langs vejnet
FAME	Fatty Acid Methyl Ester. Fedtsyremethylester til biodiesel
HCV	High Capacity Vehicles. Ekstra store lastbiler
HVO	Hydrolyseret Vegetabilsk Olie
ILUC	Indirect Land Use Change. Indirekte ændringer i arealanvendelse, fx ændringer som følge af øget efterspørgsel på landbrugsafgrøder
LBM	Liquified Biomethane. Flydende biomethan
LUC	Land Use Change. Ændringer i arealanvendelse
LCA	Life Cycle Analysis. Livscyklusanalyse
LNG	Liquified Natural Gas. Flydende naturgas
OC	Overhead Catenary. ERS system med køreledninger
O-HEV	Overhead Hybrid Electric Vehicle. Hybridlastbil med nedtag fra køreledninger
RME	Raps Methyl Ester
TCO	Total Cost of Ownership. Totalomkostninger
W-t-W	Well-to-Wheel. Analyse af energiforbrug og drivhusgas udledning hele vejen fra energikilde til hjul
ZLEV	Zero and Low Emission Vehicles. Nul- og lavemissionskøretøjer

1. Introduktion og baggrund

Danmark er i transportmæssig forstand et *'lastbilland'*, hvor 90% af det indenlandske godstransportarbejde udføres på vejene med last- og varebiler (Vejdirektoratet 2019)¹. Derudover spiller dansk og udenlandsk vejgodstransport en vigtig rolle i den internationale samhandel. Alt tyder på at vare- og last biler også i fremtiden vil være centrale for konkurrencen på markedet og udgøre krumtappen i dansk godstransport.

Energiforbruget til godstransport på vejene er næsten udelukkende baseret på forbrænding af dieselolie. Som følge af transportens omfang og organisering giver sektoren dermed et markant bidrag til det samlede energiforbrug og udledningen af drivhusgasser, især CO₂. Det forventes at vejgodstransporten vil fortsætte med at vokse i fremtiden, og uden yderligere tiltag vil dette medføre, at CO₂-udledningen fra kørsel med gods vil stå for en stigende del af Danmarks samlede klimapåvirkning.

Over for dette står en voksende videnskabelig og samfundsmæssig erkendelse af klimatrusslens alvor og en stadig mere ambitiøs klimapolitik både globalt, i EU og herhjemme.

Målene i FN's *klimaaf tale* indgået i Paris i 2015 forudsætter en 'dyb reduktion' i de menneskeskabte bidrag til drivhusgasudledningen. FN's klimapanel IPCC udgav i 2018 en rapport om hvad det vil kræve at opfylde Parisaftalens mål om at stræbe mod at undgå mere end 1,5 gaders forøgelse af den globale gennemsnitstemperatur. Ifølge panelet vil 1,5 graders målet bl.a. kræve omfattende 'dekarbonisering' af de respektive sektorer i samfundet igennem de kommende årtier og *herunder hidtil usete omstillinger i transport og infrastruktur*. IPCC peger bl.a. på markante effektiviseringer og omlægning af teknologi og energikilder for alle væsentlige transportformer (Rogelj et al. 2018).

EU-fællesskabet lægger rammer for både klima-, energi- og transportpolitik i Danmark. Tilbage i 2011 udgav EU-kommission en Hvidbog om transport², hvor man bl.a. foreslog at begrænse sektorens CO₂-udledning i Europa med 60% frem til 2050 og formulerede et mål om 'stort set CO₂-fri bylogistik' i de større bycentre inden 2030. Mere konkret har EU's energipolitik bl.a. medvirket til at trække biobrændstoffer ind i transporten og senest er der vedtaget de første krav til CO₂-emissioner fra tunge køretøjer. Men det er højest uklart hvor meget de forskellige EU-tiltag tilsammen vil bidrage til opfyldelse af klimamålene. Den nytiltrådte Kommission har med udgangen af 2019 formuleret et oplæg til en mere ambitiøs klimapolitik 'A European Green Deal' (på dansk 'Den europæiske grønne aftale'; Europa Kommissionen 2019), som peger på at nye, skærpede mål og initiativer vil blive foreslået, også for transport.

I *Danmark* tilsiger den gældende klimalov fra 2014, at Danmark inden 2050 skal overgå til et 'lavemissionsamfund', hvor energiforsyningen er baseret på vedvarende energi. Alle partier i det danske folketing står bag Energiaftalen fra 2018 hvor der blev fastlagt et mere konkret mål om 'netto-nul' udledninger senest i 2050. I december 2019 indgik Regeringen en aftale med et stort flertal i Folketinget om en ny klimalov som bl.a. skal

¹ Ifølge EU er det 81 %; EU Mobility and Transport [Statistical pocketbook 2018](#). Danmark har også den højeste lastbilandel blandt de nordiske lande jf. Nordic Council of Ministers (2018)

² White Paper 2011 – [Roadmap for a Single European Transport Area](#)

indeholde bindende mål om reduktion af drivhusgasser med 70 % i 2030 i forhold til niveauet i 1990. Loven specificerer ikke konkrete tiltag, men det fremgår at loven i løbet af 2020 skal udmøntes i en klimahandlingsplan, som også vil omfatte transportsektoren (Regeringen 2019).

Når man ser på den hidtidige indsats over for transportens klimabelastning har der tydeligvis været langt mest fokus på persontransport og personbiler, herunder på de seneste muligheder for fremme af elbiler. I februar 2019 igangsatte den tidligere Regering et kommissionsarbejde med fokus på grøn omstilling og beskatning i transportsektoren, hvor der ifølge kommissoriet udelukkende skal arbejdes med personbilsområdet.³

Der har hidtil ikke været nær samme opbakning til at tage fat om godstransportens klimaudfordringer, hverken herhjemme eller internationalt.⁴ Det betyder for det første, at en hensigtsmæssig omstilling af godstransporten risikerer ikke kommer i gang i tide, og for det andet at relevante bidrag til løsning af klimaudfordringen, som kunne være mulige i godstransportsektoren, risikerer ikke kommer til udfoldelse.

Det er dog selvsagt ikke sådan at alting står stille på området. I fagpressen kan man nærmest dagligt læse om nye typer grønne køretøjer på vej til markedet, nye typer energiforsyning der lover en CO₂-neutral fremtid, og forskellige greb som kan effektivisere godshåndteringen og nedbringe både omkostninger og CO₂.⁵ Men det er ofte uklart hvor meget de forskellige løsninger reelt kan bidrage, hvilke transportopgaver de kan understøtte i praksis, og hvad der skal til for at de evt. kan rulles ud.

Dermed står mange i godstransportsektoren og tilknyttede erhverv, myndigheder og organisationer i dag med en stor usikkerhed om hvordan klimaudfordringerne skal håndteres og hvilke mulige løsninger man skal orientere sig mod.⁶

Energifonden støttede i 2015 projektet '*Grøn Roadmap 2030 - scenarier og virkemidler til omstilling af transportsektorens energiforbrug*' (Ea Energianalyse 2015). Analysen pegede på en række virkemidler til at opnå en omkostningseffektiv reduktion af transportsektorens udledninger med 35-40 % frem mod 2030, herunder gennem EU-krav til køretøjer og brændstoffer, omlægninger i det danske afgiftssystem, samt specifikke tilskud og støtteordninger. Projektet havde hovedfokus på persontransporten, som tegner sig for den største del af udledningerne, men påpegede også behovet for en indsats i godstransporten.

Med igangsættesen af nærværende projektarbejde har Energifonden og CONCITO ønsket at bidrage til at skabe overblik over nogle af de muligheder der aktuelt tegner sig for helt at dekarbonisere, altså afvikle CO₂-bidraget fra, godstransport på vejene i Danmark frem mod både 2030 og 2050, og på den baggrund give anbefalinger til den kommende indsats på området herhjemme, i forhold til EU, og lokalt.

³ Kommission for grøn omstilling af personbiler [Finansministeriet](#)

⁴ Fx. International Transport Forum 2018 – '[Is Low-Carbon Road Freight Possible?](#)'

⁵ Et aktuelt eksempel er Amazons annoncering i [september 2019](#) om køb af 100.000 elektriske varevogne

⁶ interview med DSV's administrerende direktør Jens Bjørn Andersen i Magasinet Energi 02 – 2019 samt [ITD til Klimarådet](#) 'Den tunge transport har brug for en klima- og miljøkommission', 14. maj 2019

I november 2019 nedsatte Regeringen 13 klimapartnerskaber, som skal bidrage til at belyse hvordan de enkelte sektorer kan reducere drivhusgasudledningerne. Et af partnerskaberne omfatter landtransporten, herunder vejgodstransport.

Forhåbentlig kan rapporten særligt bidrage til det arbejde der foregår i regi af dette partnerskab og i Regeringens og Folketingets opfølgende indsats på området.

2. Projektets fremgangsmåde

Tilgangen i dette projekt og denne rapport er ikke den samme som i Grøn Roadmap projektets modelbaserede analyse af omkostningseffektive scenarier (Ea Energianalyse 2015). I nærværende projekt er der anlagt en bred tilgang hvor et antal mulige løsningsveje er belyst ud fra en vifte af kriterier, og i dialog med aktører i sektoren.

Projektet skal belyse og vurdere centrale tendenser og løsningsperspektiver frem mod 2030 og 2050, med fokus på motor- og køretøjsteknologier, brændstoffer og alternative drivmidler, samt grøn organisering af logistik. Den seneste internationale viden om løsningsmulighederne indsamles og drøftes med vejgodstransportens nøgleaktører med henblik på at identificere fordele og ulemper ved forskellige løsningsveje og udvikle aktørdrevne indspil til hvordan Danmark kan fremme dekarboniseringen.

Projektet har to hovedmål og -leverancer:

Projektets ene hovedmål er at levere en aktuel og fremadrettet beskrivelse af centrale muligheder og spørgsmål i forhold til dekarbonisering i vejgodstransporten, og i samspil med centrale aktører at udvikle en vurdering af hvad der bør sættes på nationalt og i EU ift. godstransportens klimaomstilling.

Dette mål udmøntes i en første analysenotat (denne rapport).

Projektets andet hovedmål er at give anbefalinger til hvordan byerne logistik kan dekarboniseres i respekt for og samspil med byens miljømæssige, trafikale og logistiske karakteristika. Heri inddrages erfaringer fra ind og udland med grøn citylogistik, herunder nordiske eksempler. Op den baggrund udvikles i samspil med centrale aktører anbefalinger vedr. dekarboniseret urban distribution.

Dette mål udmøntes i et andet efterfølgende analysenotat.

Arbejdet udføres af Seniorkonsulent Henrik Gudmundsson med støtte af Direktør Christian Ibsen, seniorkonsulent Susanne Krawack, lektor emeritus Per Homann Jespersen og student Jonas Dyhr Schneider. En række ansatte og studenter i CONCITO bidrager desuden til tilrettelæggelse af workshops samt kommentarer til delelementer.

Arbejdet med at opfylde første hovedmål, udmøntet i nærværende rapport, har omfattet følgende metoder og elementer:

Etablering af følgepanel

Der er først etableret et panel af aktører og eksperter som har indvilget i at følge projektet og give input undervejs. Panelet bestod i udgangspunktet af følgende:

Anne Grete Holmsgaard, Energifonden

Jørn-Henrik Carstens, Head of Public Affairs, International Transport Danmark (ITD)

Jeppe Røn Hartmann, Chef for analyse og politik, Drivkraft Danmark

Michael Henriques, Seniorrådgiver COWI, tidl. DTU

Søren Boas, BaneDanmark, tidl. Senior Advisor Sustainability, Post Nord (udtrådt)

Tanja Ballhorn, Projektleder, Københavns kommune

Jonas Engberg, tidl. Sustainability Manager, IKEA Danmark (udtrådt)

Der har været afholdt tre møder i panelet i 2018/19 samt flere bilaterale møder.

Panelet rolle har alene været rådgivende. CONCITO's sekretariat har alene ansvar for rapportens indhold og anbefalinger.

Gennemgang af aktuell litteratur

Der er udvalgt og gennemgået et antal aktuelle studier som med forskellige indfaldsvinkler belyser af vejgodstransportens dekarboniseringspotentialer. Der er primært tale om internationale studier da godstransportens dekarbonisering ikke har været så meget i fokus i Danmark (med enkelte undtagelser).

Der er lagt mest vægt på studier i nabolande som Tyskland og Sverige, hvor der foregår betydelig forskning og udvikling på området. Det omfatter dels tværgående analyser af forskellige logistiske, teknologiske og energimæssige løsningsveje og dels enkelte specialstudier af specifikke løsninger, som fx Electric Road Systems (ERS eller el-veje). Der er både set på publikationer fra uafhængige eksperter og på analyser udført i samarbejde mellem eksperter og aktører i transportbranchen såsom transportvirksomheder, energiselskaber, teknologileverandører og NGO'er. Derudover er der indhentet tekster og dokumentation vedrørende regulering og politikker på området i Danmark, EU og nabolande. Endelig er der inddraget kortere artikler, notater og indlæg i fra danske eksperter og aktører samt nyheder fra ind- og udland.

Alle centrale kilder er opført til sidst under referencer. Nogle links og aktuelle nyheder er alene angivet i fodnoter.

Indsamling af data

Der er indsamlet data om danske last- og varebiler, den transport som de udfører samt energiforbrug og CO₂-udledninger i dag, historisk og i fremadrettede projektioner. Kilder hertil er primært Danmarks Statistik, Vejdirektoratet, Energistyrelsen, Danmarks Tekniske Universitet, og Nationalt Center Energi og Miljø ved Århus Universitet (DCE). Der også indsamlet data om udbud af vare og lastbilmodeller på markedet fra NoFoss. Endelig indgår data om konkrete teknologier og løsninger fra relevante rapporter

Møder og arrangementer med eksperter og interessenter

En del informationer og vurderinger er indhentet gennem deltagelse i konferencer, seminarer og udstillinger på området. De vigtigste i den forbindelse har været '*Decarbonising heavy-duty road transport*', Bruxelles, 31. januar 2018; '*Conference on e-mobility in urban freight and logistics*' København, 19. november 2018; '*Grøn Transport*' ved Transportmessen i Herning, 21-22 marts 2019; '*Trafikdage ved Aalborg Universitet*' i hhv. august 2018 og 2019, '*Klimarådets interessentkonference*', 13. maj 2019; '*Ausgeliefert?! Die Zukunft des städtischen Güterverkehrs*', i Berlin i september 2019, samt diverse arrangementer om klima og transport i regi af Ingeniørforeningen i Danmark (IDA), Transportøkonomisk forening (TØF) og Drivkraft Danmark.

Der har også været holdt enkelte møder med repræsentanter for organisationer og virksomheder, herunder Drivkraft Danmark, Siemens Danmark, ANCO og Klimarådet.

Workshop med aktører i og omkring godstransportbranchen

En hovedaktivitet i udarbejdelsen af denne rapport var afholdelse af projektets første workshop '*Klimaplaner og klimabudgetter – hvad betyder det for godstransporten?*' i København, d 14. maj 2019 kl. 9:00-16:30. Der deltog ca. 50 repræsentanter for transporterhverv, energiselskaber, vidensinstitutioner, myndigheder og interesseorganisationer.

Ved workshoppen blev der leveret seks oplæg af internationale og danske eksperter hvorefter deltagerne blev bedt om i grupper at drøfte hhv. forskellige *løsningsveje og kriterier til at vurdere dem* samt mulige *initiativer og tiltag* til at fremme dekarbonisering inden for hver af løsningsvejene. Resultatet af gruppediskussionerne blev præsenteret i plenum og sammenfattet af rapportører tilknyttet CONCITO. Resultaterne fremgår af et baggrundsnotat.

Der er derudover afholdt en '*Special Session*' om *Dekarbonisering af gods på vejene, med fokus på elektrificering og ERS* ved Trafikdage på Aalborg Universitet d 27. august 2019. Denne session er også afrapporteret i et baggrundsnotat.

Fremskrivning og scenarier

Der er udarbejdet en fremskrivning af lastbiltransportens energiforbrug og CO₂ udledninger frem mod 2050. Frem til 2040 er grundlaget den nationale fremskrivning af Danmarks energiforbrug og udledninger som er udarbejdet i samarbejde mellem Energistyrelsen og Nationalt Center for Energi og Miljø ved Århus Universitet (DCE) bl.a. til brug for Energistyrelsens Basisfremskrivning 2019. DCE har venligst stillet baggrundsmateriale til rådighed for nærværende analyse. CONCITO har derefter foretaget en simpel trendfremskrivning til 2050. Fremskrivningerne repræsenterer ikke officielle prognoser for den sandsynlige udvikling, men tjener alene som CONCITOs reference til illustration af mulige udviklinger og effekter.

Med det udgangspunkt har CONCITO foretaget nogle enkle beregninger af udvalgte scenarier for mulige løsningsveje i dekarboniseringen som indgår i rapportens kapitel 6.

3. Analysekoncept

Analysen har haft hovedfokus på vurdering af et antal overordnede mulige *løsningsveje* til dekarbonisering af transportsystemet for vejgods i Danmark frem mod 2030 og 2050 og på den baggrund udmønte konklusioner og anbefalinger.

Her præsenteres først de centrale koncepter der er anvendt i analysen nemlig, *transportsystemet for vejgods, dekarbonisering frem mod 2030 og 2050, og løsningsveje*.

Derefter forklares hvordan analysen ved hjælp af disse koncepter udmøntes i rapportens struktur og indhold.

Vejgodstransportsystemet

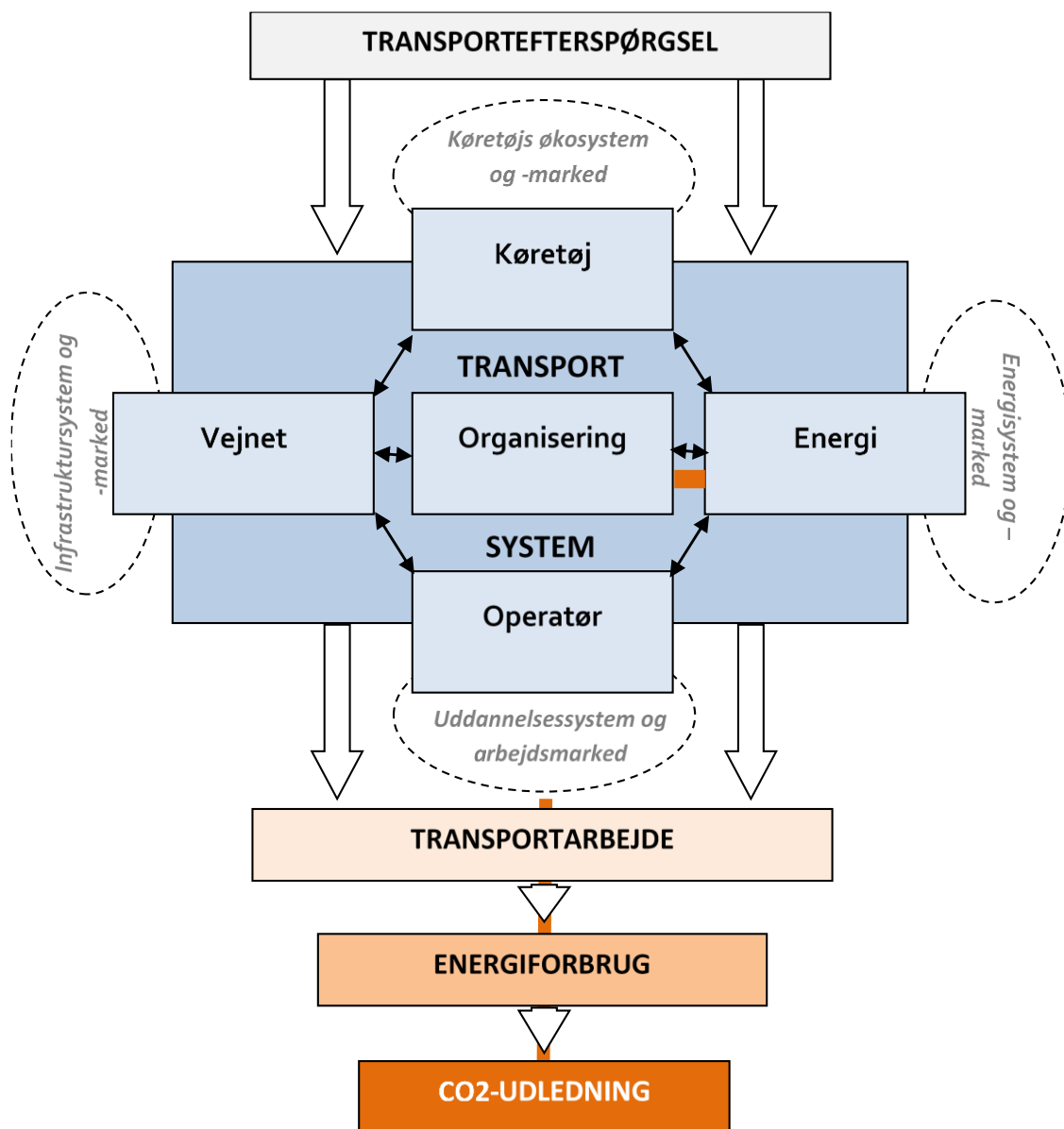
De centrale komponenter i vejgodstransportsystemet hvad angår behov og muligheder for dekarbonisering omfatter *køretøjer, energiforsyning, vejnet og operatører*, og den måde hvorpå disse komponenter *organiseres og aktiveres* af speditører og transportører mhp. udførelsen af de konkrete transportopgaver. Bag vejgodstransporten ligger produktionssystemer og forbrugsmønstre som genererer efterspørgsel efter transport, og markeder og 'økosystemer' som leverer komponenter til systemet.

Udførelsen af transportopgaver udløser et *transportarbejde*, der måles i tonkilometer, som medfører et *energiforbrug*, der måles i Joule, brændstofvolumen eller andre enheder, og som igen kan resultere i *udledninger af CO₂* (målt i vægtenheder) og andre drivhusgasser (målt i CO₂-ækvivalenter) som indgår i den samlede klimapåvirkning. Transportarbejdets udledninger forårsages umiddelbart af den energiforsyning der anvendes, men betinges og influeres i høj grad af de øvrige komponenter og samspil. Systemet og samspillet mellem komponenterne er illustreret i Figur 1.

Udover selve transportarbejdets udledninger genereres også CO₂ i de underliggende systemer og markeder som forsyner transportsystemet, herunder produktion og vedligeholdelse af køretøjer, anlæg og drift af infrastruktur; fremstilling af drivmidler, mm.

Denne analyse har fokus på udledninger fra selve transportarbejdet men inddrager øvrige bidrag når det er relevant i behandlingen af kriterier og løsningsveje.

Konkret har analysenotatet fokus på *lastbiler* (godskøretøjer over 3,5 tons). Varebiler belyses også men inddrages ikke nærmere i analysen. Varebiler vil spille en større rolle i projektets anden leverance.



Figur 1 Godstransportsystemets komponenter og klimapåvirkning

Dekarbonisering

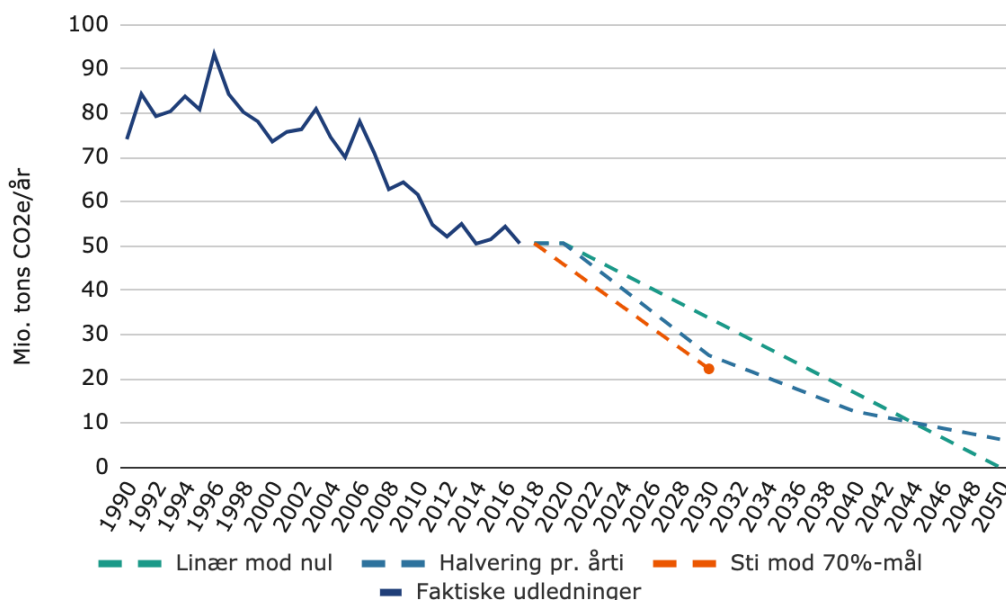
'Dekarbonisering' af vejgodstransport forstås i denne sammenhæng som *afvikling af vejgodstransportens drivhusgas-udledninger over tid*, i retning mod og i takt med de klimamål der er opstillet internationalt og i Danmark.

Retning mod og takt med de opstillede klimamål skal generelt forstås som en *markant, fremadskridende reduktion indtil de samlede udledninger er i balance*, eller udgør 'nettonul', omkring midten af dette århundrede. Det vil sige en situation uden udledninger, eller hvor tilbageværende udledninger modsvares af mindst tilsvarende optag af CO₂ i skove, tekniske anlæg mv. Det danske Folketing har i enighed besluttet at et sådant mål skal nås for Danmark inden 2050.

Der foreligger ikke tilsvarende klarhed om *vejen frem* mod dette mål.

Som et overordnet globalt pejlemærke kan man støtte sig til Johan Rockström's såkaldte 'kulstof lov' (Rockström et al. 2017). Den tilsiger, at de globale udledninger skal *toppe i 2020* og *halveres hvert årti* ned mod nul i 2050 for at sikre kompatibilitet med Parisaftalens temperaturmål, herunder altså en halvering af udledningerne fra i dag til 2030. At målet ikke nødvendigvis 'går i nul' i 2050 indikerer modsvarende optag.

I Danmark er der også meget bred politisk opbakning bag et mål om 70% reduktion i udledningen over perioden 1990-2030. Dette vil svare til en reduktion på ca. 55% fra i dag til 2030, eller næsten 5%, eller 2,3 mio. tons om året. Som det antydes af Figur 2 flugter dette mål relativt godt med det globale 'kulstoflov', afhængig af præcis hvilket udgangspunkt man vælger. Figurens forløb og mål skal ses som regneeksempler.



Figur 2 Danmarks drivhusgasudledninger med illustration af klimamål og indikative forløb

De overordnede mål vil udgøre generelle pejlemærker i denne rapport.

Betragtningen om 'netto'-udledninger angiver dog samtidig nogle vigtige forhold omkring brugen af klimamål i vurderingen af indsatsen i sektorer som transport.

For det første er dekarbonisering ikke det samme som fossilfrihed. Der sker også udledning af kulstofholdige drivhusgasser (CO₂, metan og dertil N₂O mv.) til atmosfæren ved brug af ikke-fossile brændstoffer som biomasse og biogas. Disse udledninger modvirkes delvis via naturlig kulstofopbygning i ny biomasse, men dette sker ikke nødvendigvis momentant og fuldstændigt. Opbygningen kan være partiel, kan ske med årtiers forsinkelse og kan også føre til øgede udledninger i sammenligning med fossile brændstoffer, hvis de fx fortrænger visse former for afgrøder, som derfor må produceres under inddragelse af nyt areal andetsteds (Olsson et al. 2019).

Det indebærer at hverken fossilfrihed eller bioenergi i sig selv nødvendigvis udgør dekarbonisering. Bidrag fra alle alternativer (fossile, biologiske, andre) skal i princippet vurderes på den samlede CO₂-ækvivalente udledning fra deres udvinding, omdannelse og anvendelse som drivmiddel, ikke på om de er af fossil oprindelse eller ej.

For det andet udgør udtrykket 'netto-udledning' også en åbning for at reduktionen kan have forskellig takt i enkelte samfundssektorer, erhverv, mv, så længe de samlede mål nås. Dette berører ikke de langsigtede mål, men handler bl.a. om dekarboniseringens hastighed i de enkelte sektorer, herunder godstransport. Der tales i den sammenhæng også om 'kulstofbudgetter' for den akkumulerede udledning over en periode, som tillader at bestemte reduktions- eller tilstandsmål kan nås.

Der findes dog ikke i dag et nationalt kulstofbudget eller politiske retningslinjer for hvor hurtigt enkelte sektorer som godstransportsektoren skal dekarboniseres som led i at nå de overordnede mål om 'netto-nul'.

Det er på den baggrund at det er valgt at forstå 'dekarbonisering' af vejgodstransport som *afvikling af vejgodstransportens drivhusgas-udledninger over tid*.

Løsningsveje

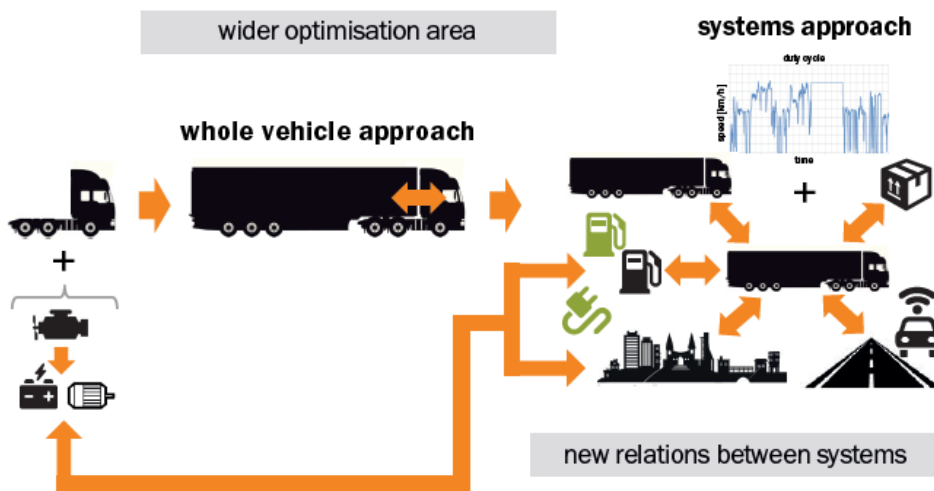
'Løsningsveje' (fra engelsk 'Transition Pathways') skal forstås overordnet som tekniske og organisatoriske transformationer af en bestemt karakter, som omfatter vejgodstransporten som system herunder køretøjer, energiforsyning og infrastrukturer og tilhørende elementer. Et eksempel på en sådan løsningsvej er 'elektrificering'. Det er altså ikke tale om enkelte teknologier og deres detaljerede effekter, men bredere, principielt distinkte spor, som kan udskilles af debat og faglitteratur på området.

Forskellige løsningsveje kan i udgangspunktet både ses som alternativer, overlappende eller supplerende hinanden. En løsningsvej skal være troværdig og attraktiv, og helst ikke ende i en blindgyde, jf. Figur 3.



Figur 3 Løsningsveje - koncept. Kilde: Lof & Layzell (2019)

Fordelen ved at fokusere på løsningsveje er, at der derigennem anlægges et systemperspektiv på de karboniseringen. I et systemperspektiv (jf. Figur 4) ses de enkelte komponenter i en helhed som understøtter hinanden og derigennem kan tilvejebringe en større strukturel ændring.



Figur 4 Systemperspektiv på godstransportens de karbonisering. Kilde: Smokers (2017).

Udmøntning af analysekonceptet i rapporten

I kapitel 4 følger en kort beskrivelse af den danske vejgodstransport og dens udledninger historisk og fremadrettet med afsæt i den konceptuelle model for transportsystemet og ud fra detaljerede danske data om vejgodstransportens udledninger fra Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE). Godstransportens udledninger brydes ned på forskellige segmenter.

I kapitel 5 introduceres til forskellige løsningsveje i forhold til dekarboniseringen. Afsnit 5.1 giver en generel introduktion med overblik over muligheder og løsningsveje. I afsnit 5.2 opstilles et sæt af kriterier som de enkelte løsningsveje vurderes ud fra. Dette bygger dels på kriterier uddraget af litteraturen og dels på bidrag fra projektets workshop.

I kapitel 6 følger den konkrete behandling af de udvalgte løsningsveje, som diskuteres i forhold til de opstillede kriterier. Det belyses især hvordan og i hvilket omfang de enkelte løsningsveje kan bidrage til dekarboniseringen, herunder hvor store og hvor hurtige bidrag der kan forventes, samt markante begrænsninger og usikkerheder herfor. Der udover ses på forhold som økonomi, tilgængelighed og fleksibilitet, samt samfundshensyn som miljø og forsyningssikkerhed. Der opstilles enkelte beregningseksempler i form af scenarier for mulige udviklingsforløb frem til 2050. Disse bygger ligeledes på data fra Danmarks officielle fremskrivning af drivhusgasser fra DCE (Nielsen et al. 2019) suppleret med egne beregninger og analyser. **I afsnit 6.6** samles op på tværs af de forskellige mulige løsningsveje.

Kapitel 7 beskriver vigtige rammer og handlingsmuligheder, dels i Danmark og dels i EU. Desuden omtales aktuelle politiske initiativer og tiltag i vores nabolande, som kan inspirere til udvikling eller konkretisering af en dansk indsats.

I kapitel 8 sammenfattes analysen i konklusioner og anbefalinger.

4. Vejgodstransport og klimapåvirkning i Danmark

I dette kapitel gives en kort sammenfatning af situationen i Danmark ud fra konceptet for vejgodstransportens system, hvad angår køretøjer, energiforsyning, infrastruktur og vejnet samt godstransportens CO₂ udledninger i dag og som de tegner sig fremover. Dette bidrager til at identificere og konkretisere udfordringens omfang og proportioner samt grundlaget for at vurdere alternative løsningsveje.

4.1 Køretøjer, energiforsyning, infrastruktur i Danmark

Lastbiler: Der er ifølge Danmarks Statistik i dag indregistreret omkring 42.000 lastbiler på 3,5 tons og derover i Danmark.

Ca. 40 % er sololastbiler mens 60 % er de større trailerlastbiler og vogntog. Den største tilladte vægt er på op til 60 tons for såkaldte modulvogntog, som kan tage op mod 50% mere gods (European Modular System EMS, på engelsk). Der er 1000 EMS køretøjer registreret i Danmark dag, dog kun op til 50 tons⁷.

Bestanden af varebiler er på 390.000, hvoraf de fleste er mellem 1,5 og 3,5 tons.

Der indregistreres årligt mellem 4 og 5.000 nye lastbiler. Der må årligt ske skrotning eller udlandssalg af omtrent lige så mange eftersom bestanden af lastbiler i en årrække har været relativt stabil. Der er dog sket en betydelig forskydning mod tungere trailerlastbiler. Ser man på aldersfordelingen er omkring halvdelen af køretøjerne 5 år gamle eller yngre. Evt. klimavenligere lastbiltyper der indføres vil dermed - groft sagt - kunne slå ca. halvt igennem i udledningerne efter 5 år, hvis denne aldersstruktur er stabil. Trailerlastbilparken er dog betydeligt yngre end de øvrige lastbiler. Derfor vil nye løsninger måske være længere om at slå igennem i det segment. Dette gælder dog ikke nødvendigvis alternative brændstoffer i form af drop-in fuels eller logistiske tiltag.

Fordelingen på mærker i lastbilparken kendes ikke umiddelbart, men salgsmæssigt er de dominerende mærker for større lastbiler (over 16 tons) i øjeblikket Scania og Volvo, begge med omkring 30% af markedet, efterfulgt af Daimler/Mercedes Benz, MAN, DAF, Renault og Iveco. Scania ejes af Volkswagen der er også i Europa er størst på markedet, sammen med Daimler, og dernæst Volvo (ICCT 2019).

Ud over de dansk registrerede lastbiler er der en betydelig og voksende transport som udføres af udenlandske lastbiler. Ifølge Vejdirektoratet (2019) er 84 % af de lastbiler der kører over landegrænserne af udenlandsk oprindelse. Vi har ikke specifikt kendskab til karakteren af disse lastbiler, men det må antages at de minder om de danske køretøjer de konkurrerer med, og de indgår i projektets data for kørsel og udledning i Danmark.

Energiforsyning: I 2017 forbrugte lastbilkørsel i Danmark 43PJ svarende til 27 % af al vejtransportens energi og omkring 6 % af landets samlede brutto energiforbrug.

⁷ Martin F. Mortensen (2019) Modulvogntog i Danmark, Trafikdage Aalborg 27. august 2019

Over 99% af de dansk indregistrerede lastbiler kører på dieselolie, dvs. udbredelsen af lastbiler med alternativ energiforsyning er minimal. Iht. EU-krav og dansk lovgivning iblandes en vis mængde biobrændstof i dieslen, typisk 7% (B7). Dette gælder også efter ændring af reglerne om øget iblanding fra 1. januar 2020. Biodiesel-delen regnes teknisk som nul når de nationale CO₂-udledninger fra transportsektoren opgøres.

De udenlandske lastbilers energibase kendes ikke specifikt, men det er klart at de lige-som de danske langt overvejende er dieslbiler. Deres forbrug i Danmark (opgjort på baggrund af deres brændstofkøb i Danmark) indgår i de danske nationale opgørelser.

Infrastrukturen består af vejnet, terminaler, læsseanlæg, rastepladser, mm, samt strukturer til energiforsyning, herunder brændstofproduktion og tankning, samt systemer til styring og kommunikation.

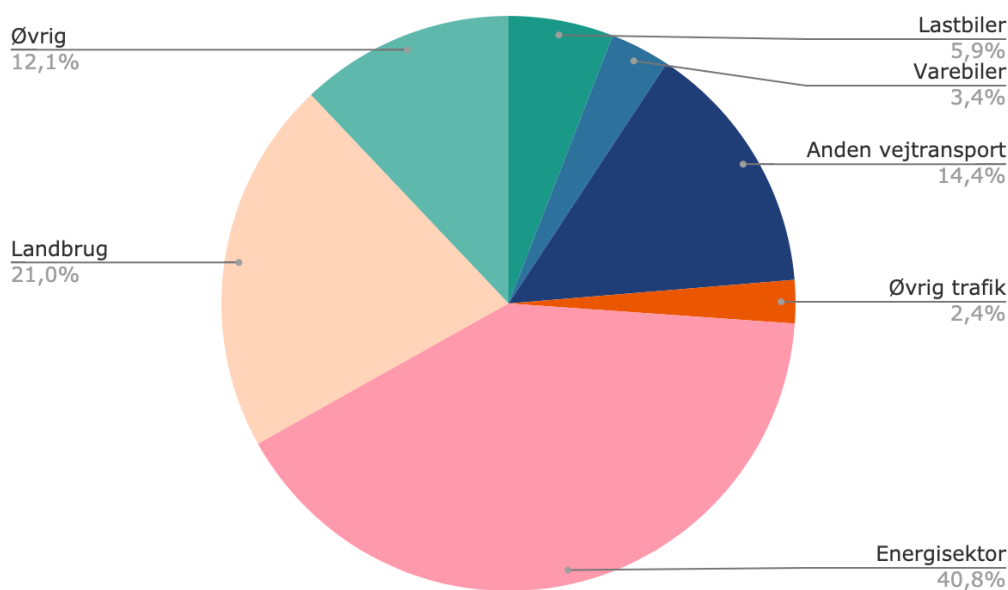
Vejnettet i Danmark er på ca. 75.000 km heraf 3.800 km statsveje, og heraf igen 1.300 km motorvej. Næsten 5.000 km af det danske vejnet er nu åbent for modulvogntog.

Energiinfrastrukturen til vejtransport i Danmark består mest af anlæg til oliefor-syning, herunder to olieraffinaderier, ca. 2.000 servicestationer samt 18 tankanlæg til forsyning med CNG gas, som alle er tilsluttet naturgasnettet og dermed muliggør indløsning af biogascertifikater. Dertil er der enkelte brintanlæg på forsøgsbasis. Der er ingen LNG eller LBG stationer i Danmark og ingen aktuelt kendte planer herfor.

4.2 CO₂-udledninger fra godstransport på vej

Danmark udledte 50,6 mio. tons CO₂-ækvivalenter i 2017, som er det seneste år der er opgjort i detaljer. Transportsektoren udledte 13,2 mio. tons, eller 26 %.

Af dette udledte lastbilerne ca. 3 mio. tons CO₂ og varebilerne 1,7 mio. tons.



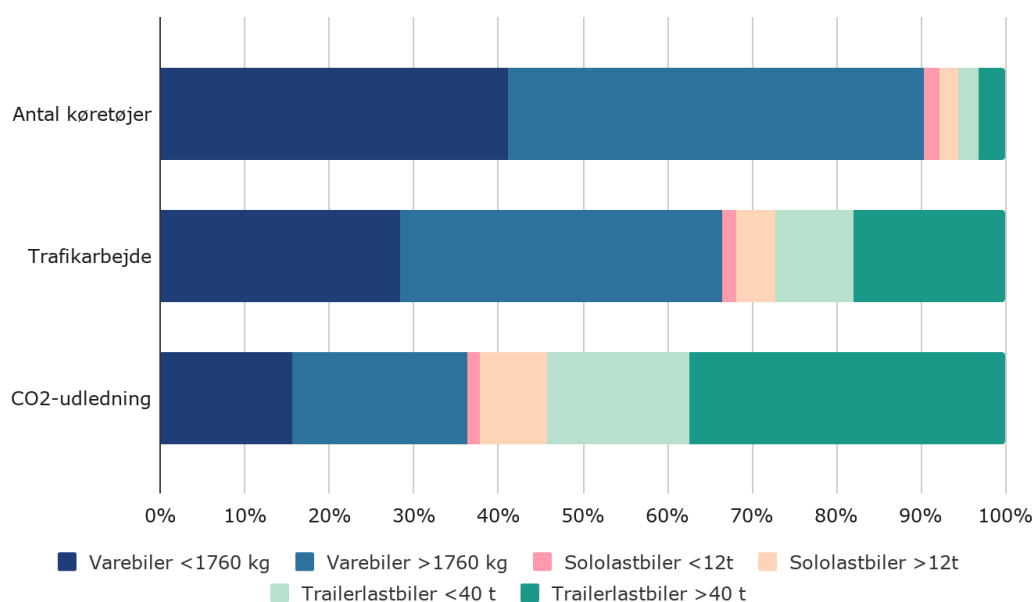
Figur 5 Fordeling af drivhusgasudledningerne i Danmark 2017. For vejtransporten medtages kun CO₂-delen, da transportens øvrige drivhusgasser har minimal betydning (Jf. Nielsen et al. 2019)

Lastbilerne står dermed for følgende andele af drivhusgasudledningerne:

- 5,9 % af de samlede indenlandske udledninger
- 22,7 % af transportsektorens udledninger
- 25,0 % af vejtransportens udledninger

I det følgende ses nærmere på godstransportens udledninger, herunder hvilke typer biler og kørsel der giver de største bidrag. Dette har bl.a. betydning når man skal vurdere hvor meget de respektive løsningsveje kan bidrage til reduktion i udledningerne. Data er indbyrdes konsistente i og med at de alle trækker på DCE's database over transportsektorens drivhusgasudledninger i Danmark.

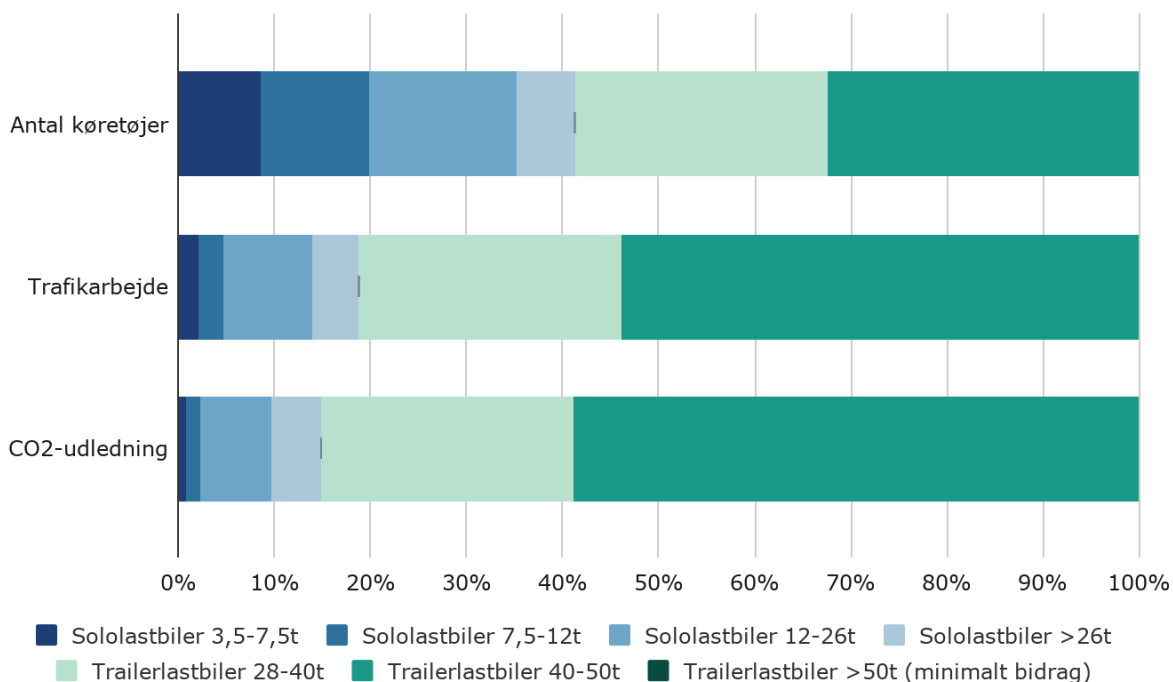
Figur 6 omfatter kørsel og udledning fra al gods og varetransport med varebiler og lastbiler i Danmark. Det ses at varebiler udgør langt størstedelen af vognparken, men kun står for lidt over en tredjedel af vejgodstransportens CO₂ udledninger. Det er dog langt fra alle varebiler som kører med gods.



Figur 6 Fordeling af køretøjer, kørsel og CO₂ udledning på vare og lastbiler

Hvis vi stiller skarpt på lastbilerne ses af Figur 7, at de tungere lastbiler samt trækere fra 26 t totalvægt og opefter udgør den største del af lastbilparken i Danmark med en andel på ca. 60%. Disse biler kører samtidig også væsentlig længere end gennemsnittet og står dermed for over 80% af trafikarbejdet. Og da bilerne også er tunge er deres andel af lastbilernes CO₂ endnu større, omkring 85% af totalen.

Det vil sige at en effektiv indsats for dekarbonisering af godstransport i høj grad bør fokusere på de større lastbiler især sættevognstrækkerne. Det betyder dog selvagt ikke at de mellemstore biler og varebiler ikke også har betydning.



Figur 7 Fordeling af biler, kørsel og CO₂ udledning på lastbiler efter størrelse

4.3 Fremskrivning af transport og udledninger

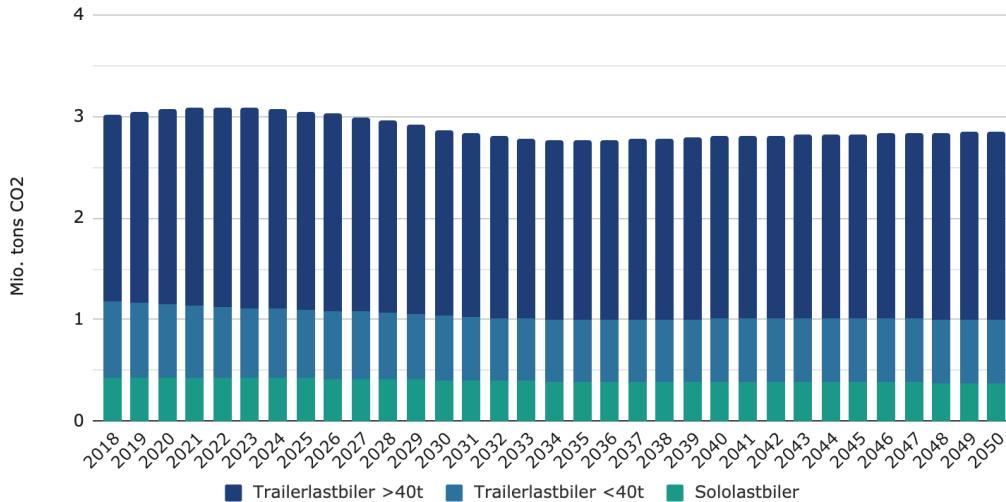
Det mest aktuelle grundlag til at belyse den fremtidige udvikling i godstransportens udledninger er Energistyrelsens Basisfremskrivning for Danmarks energiforbrug BF 2019, som er offentliggjort i september 2019.

I BF 2019 foretages en fremskrivning til 2030 med udgangspunkt i forventet økonomisk og teknologisk udvikling, men uden at forudsætte nye politiske tiltag ud over hvad der er vedtaget i dag, såkaldt 'frozen policy'. BF2019 omfatter også drivhusgasudledninger, som Energistyrelsen fremskriver sammen med DCE.

DCE har stillet baggrundsmateriale til rådighed som gør det muligt at udskille lastbilernes andel af de samlede udledninger, samt at se nærmere på bidraget fra forskellige lastbilsegmenter frem mod 2040. I lastbilernes bidrag er der taget højde for at EU i august 2019 har vedtaget krav til CO₂ udledningen, som betyder at nye lastbiler fra 2025 skal udlede 15% mindre CO₂/km end nye lastbiler i 2020, og 30% mindre fra 2030.

DCE's fremskrivning bygger på at trafikarbejdet i perioden stiger. Væksten i trafikken fører bl.a. til at effekten af de tiltag som er vedtaget i EU modvirkes, således at CO₂-udledningen fra alle lastbiler kun reduceres marginalt frem mod 2040, forudsat at der ikke indføres yderligere krav.

I den nedenstående graf er DCE's forløb forlænget som en simpel trendfremskrivning til 2050 og opgjort for tre hovedsegmenter af lastbiltransporten (sololastbiler og trailerlastbiler på henholdsvis under og over 40 ton). Der forudsættes altså ikke yderligere tiltag indført efter basisfremskrivningen.

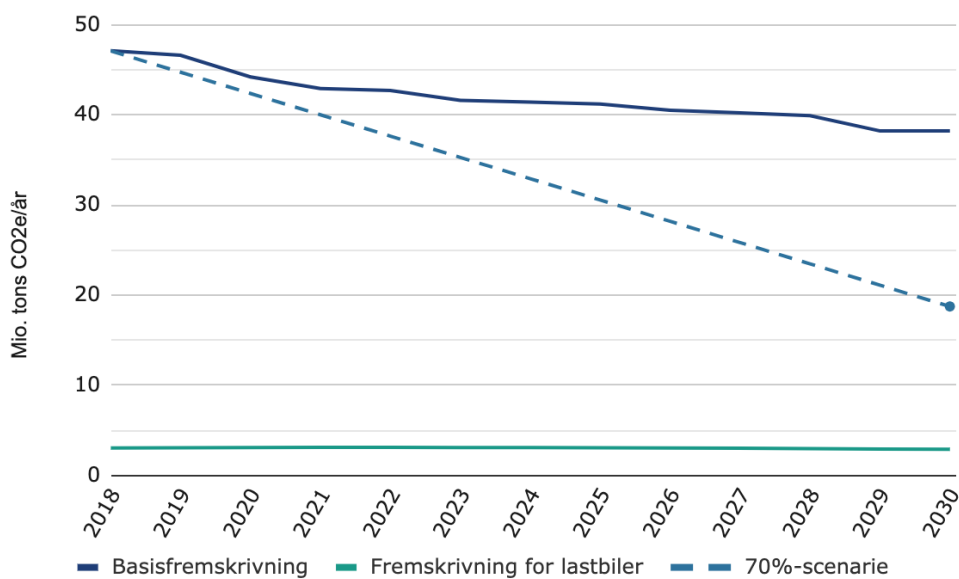


Figur 8 Fremskrivning af lastbilernes CO₂-udledninger

Ser vi på de samlede nationale udledninger fra alle kilder i Danmark så falder disse i DCE's fremskrivning fra 50 mio. til 38 tons i 2030, en reduktion på 24%. Det sker primært som følge af den fortsatte udbygning med vedvarende energi.

Dermed stiger lastbilernes andel af de nationale udledninger fra ca. 6% i dag til 7,5%.

Hvis man indlægger et hypotetisk målscenarie som svarer til den politiske aftale om 70% reduktion i 2030 (jf. fig. 2) og holder lastbilerne op mod dette forløb uden at forudsætte nye tiltag, så vil lastbilernes andel alt andet lige øges til at udgøre 15% af Danmarks samlede udledning i 2030, altså det dobbelte ift. sammenligning med basisfremskrivningen. Dertil kommer bidrag fra varebiler. Det hypotetiske eksempel tydeliggør behovet for en yderligere indsats inden for vejgodstransporten.



Figur 9 Basisfremskrivning af Danmarks udledninger iht. Energistyrelsen (2019) + et hypotetisk linæært spor til 70% reduktion i 2030, sammenholdt med fremskrivning af lastbilers udledning (flad udvikling, men stigende andel)

5. Oversigt og kriterier for løsningsveje

5.1 Strukturering og udvælgelse

Der findes en meget bred vifte af mulige tekniske og organisatoriske tiltag, der hver for sig og tilsammen vil kunne bidrage til at nedbringe godstransportens energiforbrug og CO₂-udledninger.

Nogle tiltag inden for specifikke tekniske områder som motorteknologi, brændstofkemi, aerodynamik og logistik har da også allerede gennem årene været appliceret med større eller mindre effekt.

Men i takt med at klimaudfordringerne har antaget en gradvis mere omfattende, global karakter er der kommet flere analyser der anlægger et mere omfattende, tværgående og systematisk perspektiv på dekarbonisering af lastbiltransporten ud fra målsætninger om at eliminere CO₂-udledningen over en årrække (fx Plötz, et al. 2018; Cambridge Econometrics et al. 2018; ITF 2018).

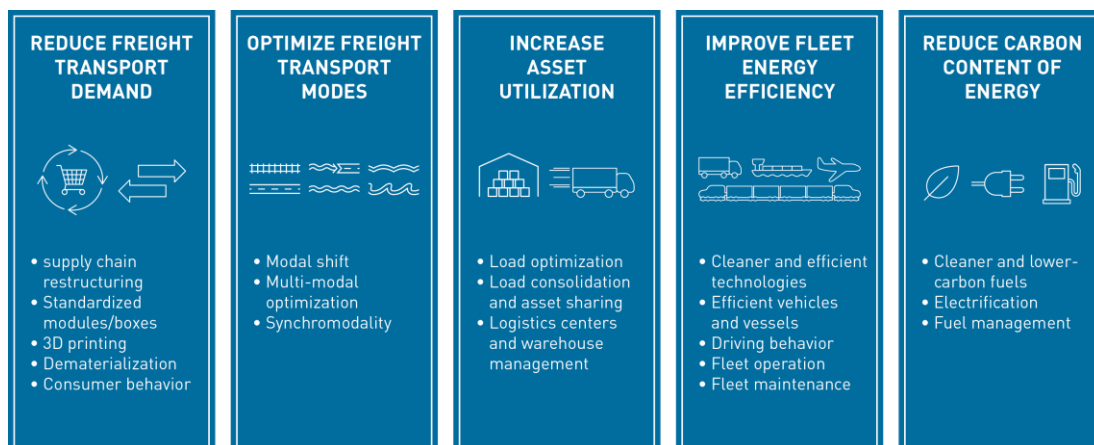
Forudsætninger og anbefalinger i de forskellige studier varierer dog meget, bl.a. fordi transportsystemer, energiforsyning og lovgivning er forskellige fra land til land. Desuden kan interesser i forskellige teknologiske potentialer og markeder i høj grad spille ind og påvirke de kriterier og hensyn der lægges til grund.

Et af de mest gennemarbejdede bidrag til at skabe et bredt, 'neutralt' overblik over muligheder og begrænsninger på området er professor Alan McKinnons arbejde omkring 'Decarbonizing Logistics', som er udmøntet i en bog af samme navn fra 2018 og i en række øvrige publikationer og foredrag mm.

Helt overordnet inddeler McKinnon feltet i logistiske og teknologiske tilgange. Mere specifikt angiver han fem hovedindsatsområder:

- 1) at reducere godstransportens omfang
- 2) at overflytte gods til transportformer med lav udledning
- 3) at forbedre udnyttelsen af transportmidlernes kapacitet
- 4) at øge energieffektiviteten
- 5) at skifte til energiforsyning med lavt kulstofindhold

Inden for hver af disse kategorier inkluderer McKinnon en bred vifte af de mere specifikke teknologier, tiltag og greb, såsom flådestyring under energieffektivisering, og batteriteknologi under skift af energiforsyning. Områderne er ikke nødvendigvis helt homogene eller skarpt afgrænsede. Logikken er illustreret i Figur 10.



Figur 10 McKinnons indsatsområder, som illustreret af The Smart Freight Centre (2018)

I nærværende projekt blev det valgt at tage afsæt i denne systematik, men gå let hen over de to første kategorier, *reduktion af transportefterspørgsel og overflytning til andre transportformer såsom bane og sø*.

For det første er det vurderet som tvivlsomt om man kan forudsætte en vidtgående dekarbonisering opnået gennem reduceret efterspørgsel efter transport. Det er ganske vist meget sandsynligt at der vil ske store forandringer i både produktions- og forbrugsmønstre og dermed i transporten, men det er svært at forudse og indrette sig efter hvordan sådanne forskellige, og til dels modstridende, tendenser vil kunne slå igennem.

For det andet vurderes mulighederne for overflytning til bane og sø at være relativt begrænsede, ikke mindst i Danmark, hvor transportafstandene er korte, og hvor omladning for mange typer gods derfor ofte vil forlænge og fordyre transporterne markant. For det tredje er der simpelthen valgt en pragmatisk afgrænsning hvor fokus er på omstilling i inden for selve vejgodstransporten.

Til gengæld går projektet mere ned i særligt den sidste kategori – *at reducere kulstofindholdet i energiforsyningen*. Dette fordi der forventes særlig store muligheder for dekarbonisering på dette område, samtidig med at der tegner sig en række mere eller mindre radikalt forskellige løsninger på dieselfhængigheden.

Litteraturen behandler et stort antal mulige alternativer til konventionel diesel.

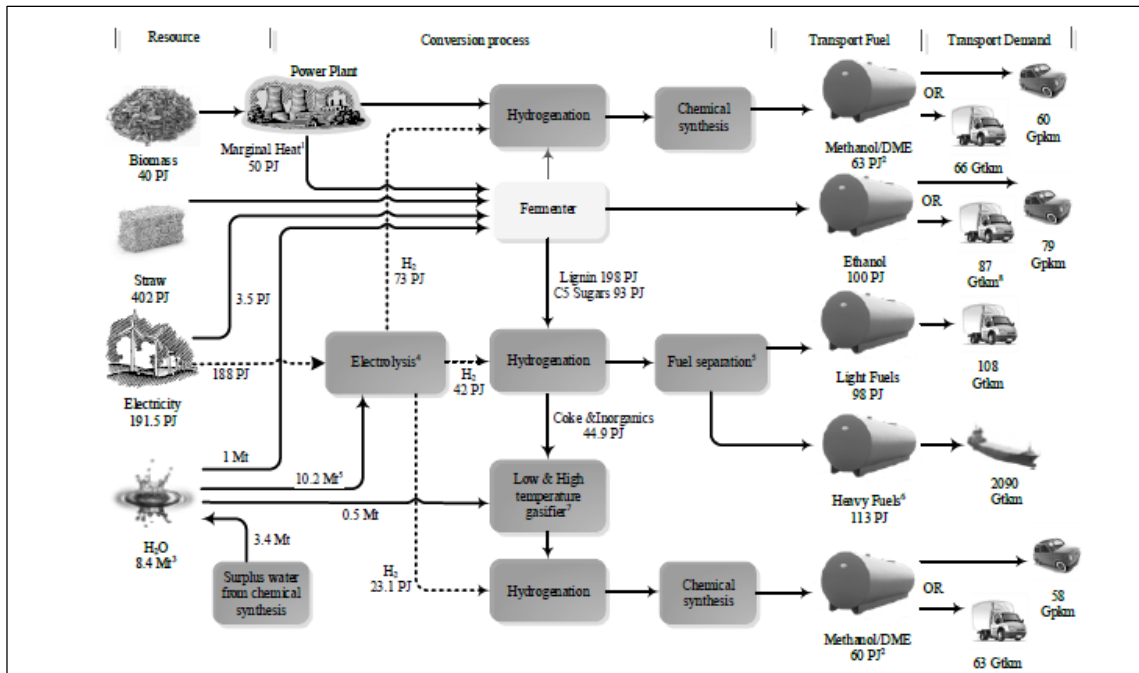
Figur 11 viser et en oversigt over en lang række alternative energimuligheder for transportsektoren som EU-kommissionens forskningscenter har undersøgt. De er inddelt i henhold i forhold til hvilke typer *råvarer*, særligt inden for biomasse, der er vurderet at kunne danne basis for forskellige typer *drivmidler*.

Imellem disse yderpunkter vil der ligge *transformationsveje*, hvor der skal anvendes forskellige teknologier og processer til omdannelse, oparbejdning, raffinering, kondensering, mv. Disse transformationer forudsætter forskellige fysiske, kemiske og materielle input og output som kan bidrage positivt eller negativt til klimaregnskabet.

Transformationsveje er eksemplificeret med et diagram fra CEESA projektet (Figur 12)

Fuel \ Resource	Gasoline, Diesel (2010 quality)	CNG/CBG/SNG	LPG	Hydrogen (comp., liquid)	Synthetic diesel	DME	Ethanol	MT/ETBE	FAME/FAEE	HVO	Methanol	Electricity	Heat
Crude oil	X											X ⁽⁶⁾	X ⁽⁶⁾
Coal				X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X					X	X	
Natural gas: Piped		X		X ⁽¹⁾	X	X					X	X	X
Remote		X ⁽¹⁾		X	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾		X			X	X	X
Shale gas		X											
LPG Remote ⁽³⁾			X					X					
Biomass													
Sugar beet							X						
Wheat							X	X					
Barley/rye							X	X					
Maize (Corn)			X ⁽²⁾				X ⁽⁴⁾	X					
Wheat straw							X						
Sugar cane							X						
Rapeseed									X	X			
Sunflower									X	X			
Soy beans									X	X			
Palm fruit									X	X			
Woody waste				X									X
Farmed wood				X	X	X	X				X	X	X
Waste veg oils									X	X			
Tallow									X	X			
Organic waste			X ⁽²⁾		X	X					X	X	X
Black liquor				X	X	X					X	X	
Wind		X			X							X	
Nuclear												X	
Electricity				X									

Figur 11 Eksempel på oversigt over alternative energiløsninger (Edwards et al. 2014)



Figur 12 Stileret diagram - fremstilling af electrofuels ved fermentering af biomasse (Mathiesen et al. 2014)

Det er i dette i projekt valgt en strukturel tilgang som fokuserer på *tre overordnede teknologiske løsningsveje* som alternativer til diesel (jf. også Energistyrelsen 2018):

- *Elektrificering* med hovedvægt på batterikøretøjer (BEV) og Electric Road Systems (ERS) med køreledninger. Elektrificering er udvalgt fordi el giver mulighed for høj energiudnyttelse og indfasning af tilnærmelsesvis klimaneutral energiforsyning i takt med Danmarks overgang til 100% VE el-forsyning. (afsnit 6.2). Der ses også på brændselsceller som en anden måde at elektrificere på
- *Flydende alternativer*, med hovedvægt på electrofuels (e-fuels) eller Power-to-Liquid (PtL). Flydende brændstof er valgt fordi lagerenergitætheden er høj, og fordi flydende brændstoffer kan muliggøre udnyttelse af eksisterende køretøjer og infrastruktur (afsnit 6.3) Der diskuteres også flydende biobrændstoffer
- *Gasformige alternativer* med hovedvægt på biogas i opgraderet og flydende form som såkaldt Liquified Biomethane (LBM). Dette er medtaget fordi der aktuelt er stor interesse for gasløsninger, og der er flere eksempler på at Danmarks voksende produktion af biogas trækkes frem som et grønt transportalternativ til diesel (afsnit 6.4). Fossil naturgas diskuteres også

Inden behandlingen af de tre energiteknologiske løsningsveje, vil afsnit 6.1 belyse i hvilket omfang de mere *organisatoriske og logistiske* typer af tiltag inden for McKinnons paradigme også kan udmøntes i en strategisk løsningsvej mod gennemgribende dekarbonisering. Hvis transportkæderne kunne effektiviseres markant ville det samtidig kunne mindske behovet for investeringer i nye teknologiske alternativer, jf. de efterfølgende energi teknologiske afsnit.

De tre teknologiske spor adskiller sig markant fra hinanden, ikke mindst *ud fra et perspektiv som aktør i transportbranchen*, idet man vil skulle vælge og håndtere principielt forskellige brændstof- og køretøjsteknologier alt efter hvilke spor der forfølges.

Det betyder dog ikke at de forskellige løsningsveje nødvendigvis vil *udelukke* hinanden, eller at der skal træffes et entydigt *valg* mellem dem på nuværende tidspunkt. Analysen har således i udgangspunktet anlagt et bredt og kvalitativt syn på de fremtidige muligheder og udfordringer for dekarbonisering, frem for at forsøge at præsentere dem som unikke beslutningsalternativer.

5.2 Kriterier til vurdering af løsningsveje

Til beskrivelse af forskellige tiltag og deres relevans inden for de respektive løsningsveje er der opstillet en række kriterier med underkriterier. Kriterierne er især inspireret fra litteraturen og fra projektets workshop, hvor kriterier var et tema. Kriterierne opstiller kvalitative og til dels kvantitative målestokke i beskrivelsen af løsningsvejene.

Kriterierne anvendes ikke til at rangordne eller prioritere mellem de forskellige løsningsveje. Formålet er især at påpege styrker og svagheder i vidensgrundlaget.

Dekarboniseringspotentiale

CO₂-reduktion. Det første kriterium vil være om tiltaget kan bidrage til at reducere CO₂-udledningen markant og permanent. Hvor meget vil et givet tiltag kunne reducere udledningen og hvor langt kan det dermed bringe godstransporten i retning mod de overordnede mål?

I litteraturen angives CO₂-effekter af et tiltag ofte på et mikro-niveau fx som gram CO₂ pr km eller tonkm eller % der kan spares ved en given teknologi eller løsning. Det er dog makroniveauet der mest har interesse i projektet, altså hvor meget teknologien eller løsningen kan bidrage til vejgodstransporten samlede dekarbonisering. Der er en del eksempler på beregninger eller vurderinger af effekter på makroniveau, men de falder ofte ganske forskelligt ud.

Tidshorisont. Det har også betydning hvor hurtigt reduktionen kan opnås. Tidlige reduktioner der fastholdes over tid giver større bidrag til at undgå klimaforandringerne og hjælper også til at opnå evt. delmål i forhold til 2030.

Ved tiltag der ændrer i energiforsyningen væk fra diesel skal der så vidt muligt tages højde for både den ændrede direkte udledning ved energiomsætning i køretøjet og afledt udledning og CO₂-fortrængning i energiforsyningskæden. Det kan for eksempel være udledning fra kraftværker mv. ved elektrificering, eller udledninger fra direkte og indirekte arealanvendelse ved overgang til bioenergi.

Organisatoriske og 'logistiske' tiltag der søger at optimere transporten vil *i princippet* også kunne medføre afledte konsekvenser for udledningerne fra andre led i forsyningskæden, fx ved at influere på faktorer som lokalisering, produktionstilrettelæggelse eller oplagring. Der er dog ikke lykkedes at finde direkte eksempler eller analyser der opgør den type effekter, bortset fra såkaldte rebound-effekter (se næste punkt).

Effektivitet og økonomi

Energieffektivitet. Det er i sig selv relevant om løsningerne er mere eller mindre energieffektive, uanset selve CO₂-effekten. Sparet energi betyder mindre behov for investeringer i alternativ teknologi og infrastruktur. Der er også andre grene af transporten og andre sektorer i samfundet, som har et stort energibehov. Derfor er energieffektiviteten relevant for de respektive alternative energiforsyningssystemer, inkl. tab ved konvertering, lagring, forbrug mm.

Rebound effekt. Energieffektiviseringer og besparelser vil billiggøre transporten og dermed øge udbuddet og skabe incitament for en voksende efterspørgsel, der igen kan

lede til mere transport og CO₂-udledning, som opvejer noget af den besparelse som ellers kunne opnås. Dette benævnes undertiden rebound-effekt. Forskellige studier har forsøgt at afdække om dette teoretiske fænomen også slår igennem i praksis fx på godstransportmarkedet. Resultaterne er blandede og viser alt fra næsten ingen til relativt markant effekt. Et enkelt studie konkluderer fx, at effekten inden for lastbiltransport i Europa general er lav (omkring 4% af en besparelse tabes igen) men dog kan være betydeligt højere i lande med relativt effektiv transport som Danmark (Llorca & Jasamb 2017)

Anskaffelsespris og TCO. For transportører og andre er det vigtigt om alternativerne fordyrer anskaffelsen af transportmateriel, og dermed kræver øgede kapitaludlæg, og især om de samlede omkostninger inklusive køretøjer, energiforbrug, vedligehold mv. vokser, og dermed kan give højere transportpriser eller lavere indtjening. 'Total Cost of Ownership' (TCO) er et af de relevante mål til at sammenligne totalomkostningerne ved forskellige alternativer. Ifølge Deniz (2018) er TCO langt den vigtigste parameter for virksomheders beslutninger om anskaffelse af køretøj.

Infrastrukturinvesteringer. Alternativer til diesel vil i forskellig grad forudsætte at der opbygges en alternativ infrastruktur til at fremstille distribuere, oplagre og levere energi. Forudsat at alternativerne er velbeskrevne kan der i princippet gennemføres omkostningsberegninger. Der ses dog ret så forskellige bud på de samlede investeringsbehov for forskellige løsninger uden det altid er klart hvorfor. I projektet er inddraget nogle centrale eksempler på overslag og sammenligninger på tværs, men det har ikke været forsøgt at opstille egentlige omkostningsvurderinger for opbygning af alternative energisystemer for godstransporten i Danmark over de næste 30 år.

Tilgængelighed og fleksibilitet

For både samfund og transportører er det afgørende i hvilket omfang hhv. køretøjer, energi og infrastruktur er strategisk og operationelt tilgængelige og optimale til de transportopgaver der skal udføres. Behov for specifik tilpasning til bestemte teknologier, systemer principper el. lign kan indskrænke fleksibiliteten væsentligt.

På samfundsniveau betyder *strategisk tilgængelighed* først og fremmest hvilket udviklingsstadium tiltaget befinder sig på. Er det en løsning der kan rulles ud eller er der behov for at igangsætte udviklingsprojekter eller EU-forskning? Niveaulet klassificeres i forhold EU's TRL skala, jf. Tabel 1.

TRL1	Basic principles observed
TRL2	Technology concept formulated
TRL3	Experimental proof of concept
TRL4	Technology validated in lab
TRL5	Technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL6	Technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL7	System prototype demonstration in operational environment
TRL8	System complete and qualified
TRL9	Actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)

Tabel 1 EU's Technology Readiness Levels

På branche- og virksomhedsniveau handler strategisk tilgængelighed om hvorvidt nye løsninger - fx køretøjer, brændstoffer og logistiske tjenester - overhovedet findes og bydes ud på markedet på realistiske vilkår.

På det mere operationelle plan handler tilgængelighed om mange forskellige faktorer, herunder hvilke praktiske bindinger der er på køretøjer, materiel, bygninger, personale mv. Det kan være fx hvis køretøjer er låst i perioder på grund af opladningsbehov, koordineringsbehov, eller særlige sikkerhedsprocedurer. Der kan også være operationelle indskrænkninger i form af reduceret volumen eller nyttelast, øget vægt, eller særlige krav til indretning af læssefaciliteter, godshåndtering mv. I værste fald kan der blive behov for at indsætte flere køretøjer og chauffører, ombygge faciliteter, mv.

Tilgængelighed kan også handle om adgang til reservedele, service og ekspertise i forbindelse med drift vedligehold af køretøjer og materiel. Dette vil særlig kunne gøre sig gældende i overgangsperiode til en ny teknologi. Reparation og slid kan udgøre op mod 40 % af de samlede køretøjsomkostninger (Energistyrelsen 2016). Derfor vil løsninger med høj robusthed og driftssikkerhed eller mindsket kompleksitet også kunne vise sig attraktive.

Teknologier kan dog også ses i forhold til hvorvidt de muliggør løsning af nye opgaver, og ikke blot bidrager til løsning af gamle.

Endelig kan adgangen til visse ruter eller områder blive begrænset hvis ny teknologi fx kræver særlig dimensionering eller vægt af køretøjer. Omvendt kan teknologier og løsninger der samtidig bidrager til at mindske lokal miljøbelastning, vejslid eller trængsel være med til at sikre adgang og tilgængelighed til visse ruter eller områder.

Mere generelt kan operationel tilgængelighed og fleksibilitet blive udfordret på grund af pludselige afbrydelser i forsyning med energi, ressourcer, kompetencer eller andet, jf. punktet nedenfor om forsyningsikkerhed.

Samfundshensyn

Miljø og sikkerhed. Det er oplagt at overveje om nye løsninger kan medføre nye eller øgede uønskede effekter på miljøet, udover hvad der handler om klimapåvirkninger. Det kan fx være i form af lokal luftforurening, støj, farlige stoffer, vandforurening eller affalds- og ressourceproblemer. Omvendt kan mindskede miljørisici tælle som plus for visse klimaløsninger hvis de fx også kan være med til at reducere partikelforureningen i byer eller mindske risikoen for olieforurening af havene. Det er også nødvendigt at have fokus på om nye løsninger kan forøge risiko for trafikulykker fx gennem ændrede dimensioner og vægt på køretøjer, brandfare, eksplosionsrisiko, særligt udstyr mv.

Forsyningsikkerhed. Samfundsmæssig forsyningsikkerhed angår trusler mod stabilitet og forudsigelighed af forsyning med energi og andre vigtige råvarer, mv., som følge af ulykker, kriser, markedskollaps eller andet. I den aktuelle situation med 100% olieafhængighed har forsyningsikkerheden periodisk været truet og den kan principielt blive det igen. Det vil tillige være en bekymring ved overgang til nye teknologier og energikilde, især hvis de er baseret på 'smalle' eller sårbar ressourcer. Hvad angår el-systemet er Danmark generelt begunstiget af en høj selvforsyningsgrad samt stor stabilitet i forsyningen. Her kan øget afhængighed af fluktuerende VE-ressourcer som vind og sol alt andet lige medføre øgede behov for lagring, udlandsforbindelser og alternativ grundlast. Øget afhængighed af importeret biomasse til energi kan også mindske forsyningsikkerheden i fald der opstår øgede krav om beskyttelse af biodiversitet, fødevarerproduktion eller efterspørgsel efter råvarer til avancerede materialer.

Samfundsrisici. I et bredere perspektiv kan det være relevant at overveje om nye løsninger skaber nye sårbarheder på samfundsniveau. Det kunne være gennem strategisk afhængighed af kritiske materialer såsom sjældne jordarter alle andre mineraler der er under kontrol af få lande eller virksomheder. Eller det kunne handle om dannelse af monopoler inden for visse områder af teknologisk avanceret logistik eller distribution. Det kan dog være vanskeligt at forudse om og hvor den slags barrierer eller trusler vil manifestere sig. Samfundsrisici vil bedst kunne belyses gennem kritiske detailstudier.

Vækst, innovation og arbejdspladser. Der samler sig for tiden en voksende interesse omkring de erhvervmæssige potentialer i den grønne omstilling, herunder ikke mindst omstillingen inden for transport og energi. Når den stigende globale klimaopmærksomhed og de ambitiøse danske klimamål, kobles med erfaringer fra tidligere grønne danske erhvervseventyr inden for vindmøller og fjernvarme er det naturligt at dette perspektiv også rejses ift. godstransporten. Der er dog grund til forbehold, generelt fordi det er vanskeligt på forhånd at udpege hvilke konkrete løsninger der vil være bæredygtige i både klimamæssig og erhvervmæssig forstand; specifikt fordi Danmark ikke nødvendigvis har stærke markedspositioner eller teknologiske klynger inden for tung vejtransport i dag. Damvad (2014) har dog peget på mulige styrkepositioner inden for både energi og effektiv logistik. Desuden kan der være indenlandske vækstpotentialer som ikke nødvendigvis udmøntes i eksport (fx biogas).

De anvendte fire hovedkriterier og underkriterier er sammenfattet i Tabel 2.

Hovedkriterier	Underkriterier
Dekarboniseringspotentiale	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion af CO₂ på mikroniveau (fx pr km) • Reduktion af total CO₂ og drivhusgas • Hurtig reduktion ift. 2030 mål
Økonomi	<ul style="list-style-type: none"> • Energieffektivitet i hele kæden • TCO på virksomhedsniveau (anskaffelse, drift, vedligehold, afhændelse) • Infrastrukturinvesteringer og samlet økonomi • Rebound-effekter
Tilgængelighed og fleksibilitet	<ul style="list-style-type: none"> • Technology Readiness Levels (TRL) • Udbud/diversitet af køretøjer • Køretøjers tilgængelighed og anvendelighed • Energiforsyningens tilgængelighed (afstand mm) • Vedligeholdelse og reservedele • Øget/mindsket adgang til ruter/områder
Samfundshensyn	<ul style="list-style-type: none"> • Miljø og sikkerhed • Forsyningsikkerhed • Samfundsrisici • Vækst og arbejdspladser

Tabel 2 Kriterier til vurdering af tiltag og løsningsveje.

6. Beskrivelse og vurdering af konkrete løsningsveje

6.1 Logistisk optimering og køretøjsudnyttelse

Hvad går indsatsen ud på?

Transport indgår i forskellige forsyningskæder hvor transportopgaverne til en vis grad er underordnet den samlede organisering af vare- og værdistrømme. De forskellige produktions- og forsyningskæder, og de enkelte led i disse, kan derfor være organiseret højest forskelligt, både teknisk, geografisk, og hvad angår rollefordelingen mellem fx transportkøbere, speditører, transportører og underleverandører.

Ikke mindst på grund af denne fragmentering er der betydelig gab mellem den teoretisk optimale udnyttelse af transportsystemet og den transport der foregår i praksis. Ifølge både danske og internationale statistikker og undersøgelser kan der da også observeres en del tomkørsel og en kun moderat kapacitetsudnyttelse, som i gennemsnit for alle ture med danske vejgodstransport med lastbiler over 6 tons ligger omkring 50%.⁸

Dekarbonisering af transporten gennem logistisk optimering handler i høj grad om *bedre kapacitetsudnyttelse* - hvordan tomkørsel kan reduceres, hvordan lastbilerne kan fyldes bedre op, og hvordan der evt. kan leveres samme mængde transport med færre bilkilometer, herunder med større lastbiler (ITF 2018b).

Kan køretøjerne fyldes mere op eller tilpasses bedre til behovene, så vil det alt andet lige være en fordel både i forhold til både CO₂-udledning og økonomi. Ifølge McKinnon (2018) er forbedret kapacitetsudnyttelse netop et af de mest attraktive dekarboniseringstiltag overhovedet, fordi der falder sammen med rational virksomhedsdrift og dermed ofte kan realiseres med lave eller endog negative omkostninger.

Hvilke dele af godstransport er indsatsen mulig for?

Logistisk optimering og bedre køretøjsudnyttelse er i princippet relevant for nærmest alle typer og størrelser af lastbiler, fra distribution af pakker i byerne, til lange internationale transporter. Der vil dog være meget forskellige muligheder for og begrænsninger på at forbedre udnyttelse for forskellige typer virksomheder, transportopgaver og geografier. Der er fx også specialtransporter hvor en indsats for øget kapacitetsudnyttelse af bilerne ikke giver meget mening. Dermed er der grænser for hvor meget der kan generaliseres ift. mulig reduktion af CO₂. Dette uddybes i det følgende.

Dekarboniseringspotentiale

Der findes ikke nogen enkel metode til at beskrive det danske transportsystem, som kan afdække hvor meget ledig kapacitet der reelt er i de forskellige segmenter og hvor meget CO₂-udledningen derfor kan reduceres gennem en forbedring af kapacitetsud-

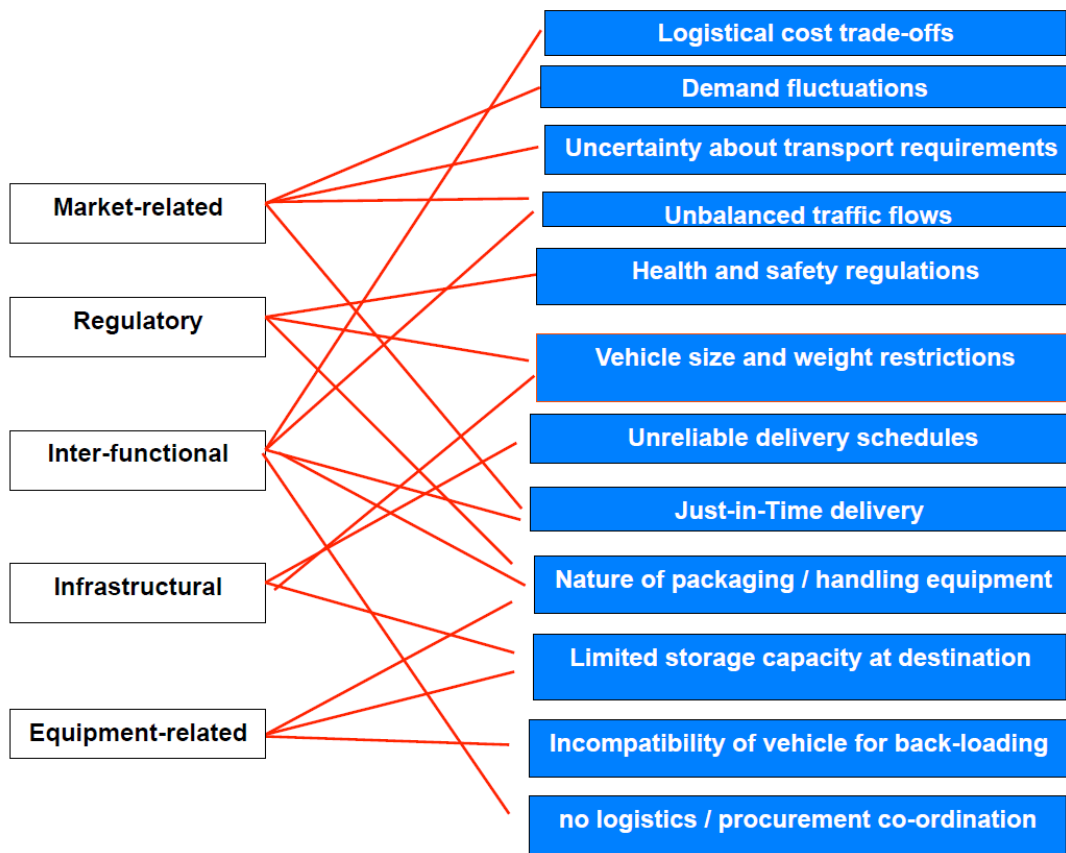
⁸ Statistikbanken [NVG5](#)

nyttelsen. McKinnon og andre eksperter fraråder netop at man benytter generelle statistikker til at slutte noget om hvor meget udnyttelsen i systemet som helhed kan forbedres. Selvom kapacitetsudnyttelsen er 50 % er potentialet for at reducere udledningen langt fra 50 %. Det betyder dog ikke at emnet er uden interesse for dekarboniseringsmålet, bl.a. fordi mere effektiv udnyttelse vil kunne mindske behovet for investeringer i ny teknologi.

I det følgende er det valgt først at fremhæve nogle vigtige *barrierer* den kan være for at øge kapacitetsudnyttelsen, og derefter fremhæve nogle mulige *generelle tiltag* der kan bidrage til at overvinde dem.

Herefter ses der nærmere hvad der kan opnås CO₂-mæssigt ved et konkret logistisk tiltag, nemlig åbningen for brug af større og tungere køretøjer (såkaldte High Capacity Vehicles, eller HCV), med *modulvogntog* som eksempel.

Barrierer. McKinnon behandler et helt kompleks af faktorer som kan være med til at gøre det vanskeligt at presse udnyttelsen meget længere op (Figur 13). Tekniske barrierer i forhold udstyrets begrænsninger (fx bilens størrelse) spiller sammen med infrastrukturbarrierer på destinationen (fx læsseramper) som spiller sammen med tidspres, trængsel, og køre-hviletids-regler, og manglende koordinering ift. returgods. En teoretisk opnåelig kapacitetsforbedring kan hurtigt fordufte når disse samspil udfolder sig i praksis.



Figur 13 Begrænsninger på bedre udnyttelse af lastbiler, Kilde. McKinnon (2019)

Udgangspunktet er godstransporten som en komponent der betjener et eller flere produktionsystemer. Det er behovet i disse systemer der sætter rammen. Faktisk kan suboptimering af selve transporten undertiden være *funktionelt* i forhold til det samlede system og den samlede indtjening. Men det samme behøver netop ikke være tilfældet hvis fokus er på CO₂, som ikke optræder som parameter i organiseringen eller på markedet.

McKinnon fremhæver særlig den vidtgående eliminering af lageromkostninger og overgang til 'just-in-time' levering der er sket gennem de seneste årtier. Denne omlægning har uomtvisteligt medført flere ture med lavere belægning og kraftigt øget CO₂-udledning fra transport. McKinnon finder derimod ikke at der er belæg for at der skulle være opnået en modsvarende reduktion i CO₂ fra produktionen. Resultatet kan være et mere omkostningseffektivt samlet system, men næppe et mere effektivt hvad angår CO₂-udledning.

Et andet vilkår er ubalancer mellem produktion og forbrug der skaber tomkørsel og lav kapacitetsudnyttelse, som ikke kan forhindres med bedre logistiksystemer. Nationalt transporteres fx noget større godsmængder fra vest til øst i Danmark end den modsatte vej (DST 2015).

En tredje udfordring er at de eksisterende standarder og konkrete størrelser for lastbiler, paller, containere mv. er ikke blevet skabt ud fra et universelt mål om optimal udnyttelse gennem hele systemet. Sådanne elementer sætter rent fysiske grænser for hvad der kan opnås. Det giver sig bl.a. udslag når lav kapacitetsudnyttelse måles i vægt, mens det er volumen, som fylder bilerne op. Når der korrigeres for dette, falder statistikken for kapacitetsudnyttelse i vejgods fx lidt pænere ud.

En af de største barrierer for optimering der nævnes, er manglende *deling af viden*. Hvis fx transportører med ledig kapacitet ikke har kendskab til transportopgaver i samme område eller på returløb - og vice versa for transportkøbere eller speditører - så tabes muligheden for at konsolidere godset og spare transport. Det kunne åbne for helt nye muligheder, hvis transportører i højere begyndte at deles om kunder og opgaver. Det vanskeliggøres dog ofte i praksis af konkurrencehensyn. Men det kan der muligvis ændres på.

Mulige tiltag. Der er stor kompleksitet og heterogenitet på området. Der er mange eksempler på logistiske tiltag og indsats, der har vist CO₂ besparelser. Nogle angiveligt helt op til 30-50 % pr tonkm (ITF 2018b). Men generaliserbarheden er meget lav og opskalering til potentiale på sektor niveau er knap nok mulig. Det kan altså ikke peges på et enkelt eller nogle få organisatoriske greb som kan få bugt med tomkørsel og lav udnyttelse og tegne en lige vej mod fx 10 eller 20% reduktion i CO₂ på sektorniveau.

Der anbefales dog fra McKinnon, ITF m.fl. en række tiltag som kan bidrage,

- bedre samarbejde mellem aktørerne i forsyningskæderne i stedet for 'silo'-optimering ud fra enkelte funktioner eller segmenter

- videre udbygning af IT-systemer til udveksling af transportopgaver, herunder fragtbørser mv⁹
- 'mindre pres på JiT-løsninger' (uden det dog gøres klart hvordan det skal opnås) samt reducerede hastigheder
- tiltag til at konsolidere forsyninger og pakkeleverancer i byer (dette uddybes i 2. fase af nærværende projekt)

Til at styre de forskellige logistiske tiltag i retning af en samlet CO₂-reduktion har det været foreslået at igangsætte systematisk måling og dokumentation af CO₂-udledningen fra konkrete transportopgaver (Krawack 2015). Hvis kunder og transportkøbere for alvor begynder at efterspørge de transportører, der kan levere godset med det laveste CO₂, så vil det bl.a. kunne stimulere til øget samarbejde om kapacitetsudnyttelsen.

Standarder og værktøjer til at levere CO₂-dokumentationen findes faktisk i dag og flere transportører er parat til at anvende dem eller gør det allerede.

Det lyder dog fra flere sider i branchen, også på projektets workshop i maj 2019, at selv de transportører der leverer CO₂-data og indikatorer som standard ikke mærker nogen efterspørgsel fra kunderne. Det er stadig hensyn som pris og leveringstid der dominerer. Hvis det skal ændres kan der være behov for at det offentlige træder til og promoverer grønne transportregnskaber ved at skubbe til markedet, fx som indkøber eller 'fyrtårn'.

Større lastbiler. Et konkret tiltag har været fremført som potentielt besparende er åbningen af størrelsesgrænserne for lastbiler. Dette kan forbedre kapacitetsudnyttelsen på en anden måde end ved at fylde mere gods i de samme biler, nemlig ved at medføre væsentligt mere gods med samme chaufførløn og kørselsomfang. Det er et tiltag som mest handler om de længere transporter på det overordnede vejnet. Køretøjerne omtales undertiden som High Capacity Vehicles (HCV), men er i EU indført i en tilpasset form under betegnelsen European Modular System (EMS) eller på dansk modulvogntog.

Tiltaget er i praksis allerede implementeret i Danmark hvor EMS køretøjer er tilladt som forsøg og EMS-vejnettet løbende udvides, men der er dog muligheder for videre udvikling. En vigtig begrænsning handler om grænseoverskridende transport, hvor overstørrelse EMS køretøjer ifølge EU-regler højst må krydse én grænse til et naboland, men ellers ikke køre internationalt eller rundt i Europa. Ønsket om harmoniseret mulighed for grænseoverskridende transporter har været fremført i EU fra mange sider.

Ifølge International Transport Forum (ITF 2018) muliggør HCV-køretøjer typisk en forøgelse på 50% af den mængde gods der transporteres. Når der tages højde for dyrere og tungere biler kan der opnås en omkostningsbesparelse på omkring 20% pr tonkm.

Hvor meget større lastbiler kan bidrage til dekarboniseringen har været ret heftigt debatteret blandt eksperter. Bl.a. er spørgsmålet om konkurrence med jernbanen stadig uafgjort. Der er dog overvejende enighed om positiv effekt. På flådeniveau kan ideelt

⁹ Innovationsfonden støtter fx det dansk-engelske forskningsprojektet DIRECTLY som skal kortlægge kapacitetsudnyttelsen i branchen og udviklere et system for at konkurrerende transportvirksomheder kan dele lastkapacitet på ture med ledig kapacitet Jf. [Aalborg Universitet](#)

set opnås 10-20% reduktion når to biler kan udføre transportarbejde, der tidligere krævede tre. Proportionerne kan dog ikke uden videre opskaleres til sektorniveau.

Det danske forsøg med modulvogntog blev evalueret efter to år i 2011. Et overslag landede på 2.000 tons CO₂ sparet. Ekstrapoleres der lineært til 2019, hvor bilparken er 1000 EMS køretøjer, svarer det til 5.000 tons CO₂ eller lidt over en promille af lastbilernes samlede udledning i dag. Analyser fra enkelte andre Europæiske lande peger på et lidt større muligt potentiale (se afsnit 7.2), men stadig kun et par procent.

På den baggrund kan man glæde sig over de positive resultater der kan opnås på flåde-niveau, men konstatere at en videre satsning på HCV næppe vil kunne få meget stor betydning for dekarbonisering af godstransporten på sektorniveau.

Økonomi

Økonomi. Som nævnt vil bedre kapacitetsudnyttelse af køretøjer mv i sagens natur også kunne give bedre økonomi i form af besparelser på udgifter til køretøjer, brændstof og personale. Dette kan dog til dels modvirkes hvis gevinsten opnås gennem øgede lageromkostninger. I teorien vil markedet finde det optimale niveau, men faktorer som manglende information og fluktuerende efterspørgsel kan forstyrre at dette sker (Wehner 2018; McKinnon 2018).

Kapacitetsudnyttelsen er givetvis også betinget af omkostningstrykket. Alt andet lige vil øgede udgifter til lastbiler, energi, kørsel mv. give incitamenter til at udnytte ledig kapacitet. Men sammenhængene er øjensynlig ret komplekse. Øgede omkostninger kan have forskellige og til dels modsatrettede virkninger. Abate (2014) fandt fx at øgede *kørselsomkostninger* fører til skift mod større biler med bedre udnyttelse, mens øgede *faste* omkostninger trækker den anden vej. Dette kan også have betydning for hvordan regulering påvirker CO₂-udledningen (Kristensen et al. 2014).

Studier af *EMS-erfaringer* har vist besparelser på 20-30 % på flådeniveau (Aarts & Feddes 2010; Sanchez et al. 2015). På samfundsniveau vil der være udgifter til ombygninger af lokalt vejnet til at rumme større biler, ligesom der kan komme øget vejslid. Til gengæld kan reduceret trafik ved ERS-kørsel betyde mindre trængsel. Billiggørelsen af transport ved bedre kapacitetsudnyttelse vil teoretisk give en rebound-effekt, som delvis annullerer gevinsten, men der er ikke fundet meget evidens for dette i praksis (McKinnon 2018). Alt i alt vurderes økonomien som meget gunstig.

Tilgængelighed og fleksibilitet

Der er forskellige tekniske begrænsninger på kapacitetsudnyttelsen i dag. Der vil muligvis også være visse *teknologiske* barrierer hvis der skal rykkes afgørende på hele systemet (fx med nye koncepter som dronelevering eller samdistribution af forskellige varettyper) men dette er ikke belyst nærmere. Det angivne CO₂-potentialer forudsætter ikke som sådan ny teknologi. Logistiske systemer der sigter mod maksimal kapacitetsudnyttelse vil i princippet kunne indebære at køretøjer 'bindes' til de er fyldt op eller må køre omveje. Det er dog heller ikke umiddelbart fundet konkrete eksempler på dette. Modulvogntog har begrænset adgang til vejnet især i byer, men indsættes heller ikke i opga-

ver der kræver dette. Alt i alt vurderes det ikke at indebære større ændringer i tilgængelighed og fleksibilitet at opnå moderat forbedring af kapacitetsudnyttelse og reduceret udledning. Mere vidtgående forbedringer er ikke afdækket.

Samfundshensyn

Bedre kapacitetsudnyttelse giver alt andet lige mindre miljøbelastning. Koncepter som natleverancer der øger udnyttelsen af køretøjerne kan give øgede lokale støjproblemer i visse byområder, men de kan dog imødegås. Tidligere frygt for øget risiko for flere alvorlige ulykker ved EMS og andre 'oversize' køretøjer har indtil videre vist sig ubegrundet (McKinnon 2018) eftersom store EMS køretøjer normalt begrænses til et udpeget netværk, hvor infrastrukturen er tilpasset. I en nylig analyse sammenfatter ITF (2019) eksisterende dokumentation, som viser at de store køretøjer ikke er overrepræsenteret i ulykkesstatistikker, snarere tværtimod. Der imødeses ikke umiddelbare udfordringer i forhold til forsyningsikkerhed og lignende. Meget rigide logistiske koordineringskrav vil kunne føre til lokale begrænsninger i forsyning i form af dag-til dag levering. Til gengæld vil øget deling af kapacitet og ressourcer øge fleksibiliteten i transportsystemet. Nogle analyser har peget på at Danmark har potentialer til at udvikle sig til et logistisk kraftcenter (Damvad 2014). Dette ville kunne understøttes hvis der opnås fortsatte forbedringer i kapacitetsudnyttelsen. Alt i alt vurderes øvrige samfundshensyn at kunne vinde på at der opnås reduceret udledning som følge af bedre kapacitetsudnyttelse.

Sammenfatning på logistisk optimering og kapacitetsudnyttelse

Bedre kapacitetsudnyttelse vil kunne mindske antal kørte km pr ton transporteret gods og dermed reducere udledningerne. Samlet set er realiteten på området dog for kompleks, og vidensniveauet for diffust, til at der kan opstilles et konkret begrundet scenarie for dekarbonisering gennem forbedret logistik og kapacitetsudnyttelse for den danske vejgodstransportsektor frem mod 2030 og 2050. I praksis kan der måske opnås lokale eller specifikke forbedringer på 10 eller 20%, men disse kan ikke generaliseres til hele godtransporten, og der er en vis risiko for at nogle af effektivitetsforbedringerne over tid kan tabes igen på grund af billiggørelse af transporten og øget efterspørgsel.

Som et konkret eksempel på et tiltag inden for logistikområdet med mere specifik dokumentation til rådighed blev EMS -casen anvendt. Som det fremgår ovenfor, kan det udgøre et relevant CO₂-tiltag på flådeniveau i de virksomheder som kan udnytte EMS-køretøjer, mens det indtil videre ikke er klart at tiltaget skulle kunne bidrage med nogen særlig markant CO₂-reduktion på sektorniveau.

En indsats for bedre kapacitetsudnyttelse er stadig relevant selvom der ikke kan opstilles et konkret CO₂-mål. Der er således god grund til at understøtte foranstaltninger som giver mening på mikroniveau herunder initiativer til at fremme logistisk samarbejde mellem virksomheder og brug af klimaregnskaber for transportopgaver til at fremme efterspørgslen efter grøn logistik fx gennem offentlige indkøb.

Et spørgsmål der kunne belyses videre er, om højere transportomkostninger som følge af afgifter el lign. ville stimulere til at opnå besparelser ved øget kapacitetsudnyttelse

Tabel 3 Vurdering i forhold til kriterier LOGISTIK

1. Dekarboniseringspotentiale	
Reduktion af CO2 på mikroniveau	Stor variation med eksempler på enkelt initiativer der sparer op til 30-50% CO2, med 10-20% som mere typiske værdier for de mest vellykkede tiltag
Fuld dekarbonisering på længere sigt	Ringe konsensus blandt eksperter. Intet generelt bud. HCV: Et bud siger op til 1-3,5% reduktion på sektorniveau mulig i 2030 ca. dobbelt 2050
Markant og hurtig reduktion ift. 2030 mål	Mange tiltag kan iværksættes nu og bidrage fra i morgen
2. Økonomi	
Energieffektivitet i hele kæden	Forbedret energieffektivitet på niveau med CO2
TCO på virksomhedsniveau	Oftest besparelser, op til 20-30% nævnt
Infrastrukturinvesteringer	Øgede udgifter til vejnet ved udvidet HCV. Reduceret behov for vejinvesteringer ved mere effektiv udnyttelse
Rebound effekt	Argumenter for og imod at rebound vil forekomme ved ERS men begrænset evidens
3. Tilgængelighed og fleksibilitet	
Technology Readiness Level	9 (lavere ved mere vidtgående effektivitetsvisioner)
Udbud/diversitet af køretøjer og andre komponenter	Ikke undersøgt nærmere. Udbuddet er bredt
Køretøjers tilgængelighed og anvendelighed	Afhænger af konkrete logistisk løsninger og køretøjer
Energiforsynings tilgængelighed	Ej umiddelbart relevant
Vedligeholdelse og reservedele	Ikke undersøgt nærmere. Udbuddet er bredt
Øget/mindsket adgang til ruter/områder	EMS køretøjer har begrænset adgang til vejnet især i byer
4. Samfundshensyn	
Miljø og sikkerhed	Bedre kapacitetsudnyttelse giver mindre miljøbelastning Tidligere frygt for øget risiko for flere alvorlige ulykker ved EMS og andre 'oversize' har indtil videre vist sig ubegrundet
Forsyningsikkerhed	Ikke undersøgt nærmere. Øget deling af kapacitet og ressourcer kan øge redundans og fleksibilitet. Omfattende koordineringskrav kunne omvendt øge risiko for uløste transportopgaver
Samfundsrisici	Ej umiddelbart relevant
Vækst og arbejdspladser	Flere analyser har peget på at Danmark har potentialer til at udvikle sig til et logistisk kraftcenter

6.2 Elektrificering – med hovedvægt på batterier og el-veje (ERS)

Hvad går indsatsen ud på?

Elektrificering indebærer, at der indføres lastbiler med elmotor i lastbilparken, og at godstransporten dermed i voksende omfang forsynes med elektricitet som drivmiddel.

Elektrificering er en potentielt interessant løsning af primært to grunde: Dels fordi der kan opnås høj udnyttelse af energien i en elmotor, og dels fordi dansk, og på sigt europæisk, elforsyning er i gang med en fuld omstilling mod energiformer med mulighed for lav eller nul CO₂-udledning fra strømproduktionen.

Til gengæld forudsætter en omfattende elektrificering betydelige nye investeringer i både køretøjer og infrastruktur. CO₂-gevinster vil derfor først indfinde sig gradvis med en hastighed der er betinget af både udvikling af egnede el-lastbiler, udskiftningen af eksisterende bilpark samt udbygning af forsynings-infrastruktur.

Elektrificering kan ske gennem forskellige teknologiske spor. Den ene hovedmulighed er en elmotor der får tilført strøm fra et **batteri** ombord på lastbilen. Den anden hovedmulighed er el-tilførsel fra en **ekstern strømkilde** langs vejnettet, som fx strømskinne eller køreledning. Den tredje mulighed er at udstyre lastbiler med **brændselsceller** til at drive elmotoren. Brændselsceller kan drives med enten gas eller brint som opbevares i en tank på køretøjet. De forskellige teknologier kan også kombineres.

I dette afsnit behandles især batteriløsning og eksterne strømkilder (Electric Road Systems; ERS) hver for sig og i kombination. Dette skydes at flere aktuelle udenlandske studier peger på at teknisk-økonomiske barrierer for disse løsninger er ved at rykke sig, hvor en udbredt opfattelse ellers er, at el ikke er en relevant løsning for tung transport. Brint og brændselsceller behandles mere kortfattet, da det vurderes at de andre løsninger nu er mere perspektivrige samt at anden anvendelse af VE-brint konkurrerer.

Hvilke dele af godstransport er indsatsen mulig for?

Elektrificering er i princippet relevant for hele vejgodstransporten, men de forskellige typer el-teknologi understøtter og begrænser forskellige typer transportopgaver.

En afgørende forskel er som nævnt hvordan lastbilerne forsynes med strøm, hvor der er tre hovedmuligheder.

1) Batterikøretøjer. Den mest umiddelbare mulighed er el-tilførsel fra et batteri ombord på lastbilen (forkortet BEV= Battery Electric Vehicle). Batteridrift er kendt og velafprøvet teknologi for personbiler og også i den lettere varetransport og til dels busser. Hvad angår gods er der i øjeblikket kun mulighed for relativt korte distributionsture, da batterier vejer og fylder meget og der (endnu) ikke markedsføres lastbiler til lange, tunge transporter.

BEV-lastbiler findes således kun i meget begrænset omfang på det danske marked i dag og i ganske få eksemplarer i trafikken, hvor de løser forskellige lokale transportopgaver.

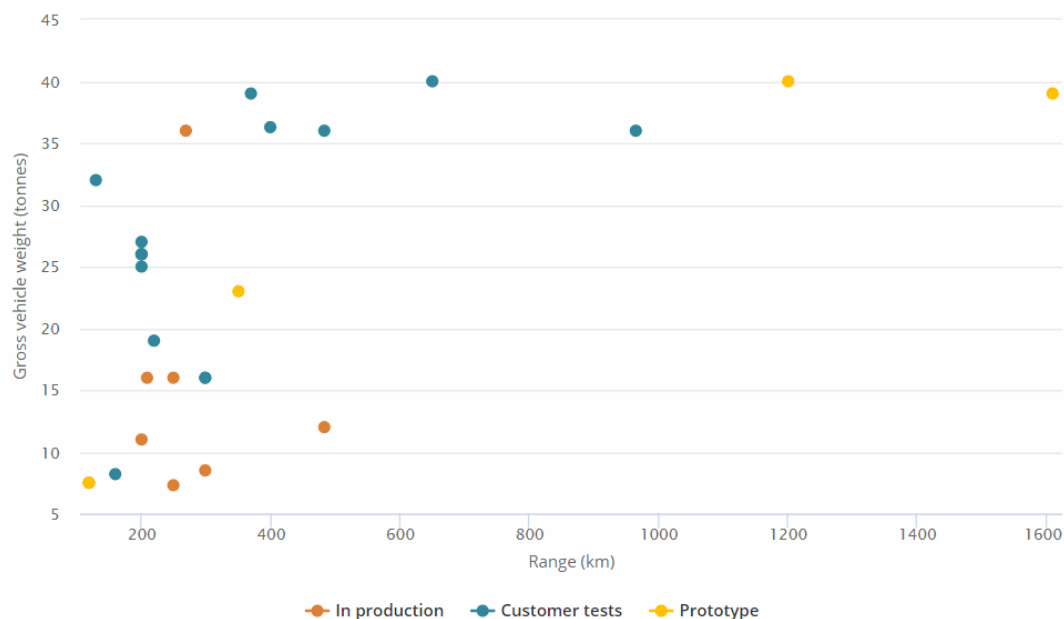
Tabel 4 viser et øjebliksbillede pr. medio 2019 af de BEV lastbiler, der forhandles eller er på vej til Danmark¹⁰. Der i følge denne opgørelse p.t fem modeller i handelen og lige så mange på vej. De fleste af dem er dedikeret til lokal distribution eller affaldskørsel. Rapportens forsidebillede viser en Volvo FE Electric udstillet på Transportmessen i 2019.

Mærke	Totalvægt	Drivmiddel	Rækkevidde km	Status	Bemærkning
MAN eTGE 3 L3H3	4,25	El	173	Er i handel	
VW e-Crafter		El	173 (NEFZ)	Er i handel	
FUSO eCanter	7,49	El	100	Er i handel	
PVI C-Less.27 Electric	26,8	El	75	Er i handel	Affaldskørsel
PVI C-Less.27 Electric	26,8	El	110	Er i handel	Affaldskørsel
Volvo FL Electric	16	El	op til 300	Kommer 2019	
Volvo FE Electric	27	El	200	Kommer 2019	Distribution, affaldskørsel
MAN CitE 15 4x2 LL	15	El	100	kommer 2021	Distribution, affaldskørsel
Banke eRCV27	27	El		stadig i test	Affaldskørsel
DAF CF Electric	40	El	100	stadig i test	Trækker (9700 kg)
Mercedes-Benz eActros	18-25	El	200	stadig i test	

Tabel 4 Øjebliksbillede af lastbiler på el på det danske marked juni 2019. Kilde: <https://nofoss.dk>

Det fremgår, at ingen af lastbilerne på det danske marked der ligger i de tungeste segmenter, som anvendes i størstedelen af den danske lastbil transport jf. kapitel 4.

Figur 14 viser et andet øjebliksbillede fra det internationale energiagentur IEA som har scannet hvilke forskellige typer af BEV-lastbiler som p.t er under afprøvning og udvikling verden over. Her ses, at heller ingen af de biler, der ifølge IEA er under udvikling, når op over 40 tons. Et eksempel er den meget omtalte amerikanske Tesla SEMI, som er i test, men 'kun' ligger i segmentet mellem 35 og 40 tons totalvægt.



Figur 14 El-lastbiler på vej til verdensmarkedet pr medio 2019. Kilde: [IEA 2019](#)

¹⁰ Nyhedsbrevet NoFoss [Lastbiler til alternative drivmidler](#), 20-05-2019

Barrierer for en mere omfattende udbredelse af BEV-lastbiler er først og fremmest Li-ion batterierne, som er dyre at fremstille, tager plads og har høj vægt i forhold til energilagerets størrelse, hvilket begrænser både godsmængden og rækkevidden for en lastbil samt økonomien. Dette hindrer muligheden for tunge el-lastbiler til kørsel over længere distancer.

Det er i øjeblikket uklart hvordan udviklingen på batteriområdet kommer til at forløbe, ligesom der mangler data og viden om de modeller der er på tegnebrættet. Hvor meget nyttelast vil de BEV-biler som er under udvikling kunne medtage? Hvilken rækkevidde vil de have? Vil der komme gennembrud for nye batterityper med højere kapacitet? Der er i høj grad tale om et trade-off mellem de forskellige funktionaliteter. Fremtidige batterikoncepter såsom solid-state er under udvikling, men et praktisk og kommercielt gennembrud til køretøjer er næppe nært forestående.¹¹

I et regneeksempel er en BEV lastbil konfigureret med en nyttelast på 20 tons. Med en energitæthed som dagens typiske batterier og en rækkevidde på 150 km, vil batteriet i sig selv veje ca. 2 tons. Hvis rækkevidden skal øges til 600 km, skal vægten af batteriet øges med 5,5 tons yderligere, mens nyttelasten reduceres omtrent tilsvarende (Rycroft 2019). Der findes også regneeksempler som når op på væsentlige højere batterivægte.

Der køres angiveligt forsøg med en elektrisk lastbil på over 60 tons i Finland og i minebranchen en el-dumper på 65 ton taget i brug¹², som dog kun anvendes på korte distancer. I Schweiz er der rapporter om den såkaldte Futuricum Semi med 680 HK og en nyttelast på op til 28 ton.¹³ Bilen har dog angiveligt en række begrænsninger, herunder kort rækkevidde. Alt i alt er det næppe inden for de nærmeste par år, at der kommer kommercielt interessante tunge trailerlastbiler til de lange distancer ud på markedet.

TRL for BEV distributionskøretøjer ligger på 8-9 men for den tungeste langdistancekørsel nærmere omkring 5-6.

2) Electric Road Systems for vejtransport svarende til systemer for elektrificerede jernbaner og trolleybusser har været under udvikling i en årrække. I de seneste år er der igangsat praktiske forsøgs- og demonstrationsprojekter på op til 5- 10 km lange vejstrækninger af offentlige veje i en række lande, herunder Sverige og Tyskland.

De praktiske forsøg omfatter indtil videre såkaldte *konduktive* systemer. Det er enten systemer med overhængte køreledninger og strømnedtag eller systemer med el-skiner i vejbanen og optag under bilen. Endvidere arbejdes der på udvikling af *induktive* løsninger, hvor køretøjer kontaktløst opsamler strøm fra spoler i vejbanen under kørslen. Induktion er hidtil alene afprøvet uden for vejnettet men en forsøgsstrækning på Gotland i Sverige er p.t. under etablering (Sundelin et al. 2020). De tre typer af ERS systemer illustreres konceptuelt i Figur 15 og de konkrete tests omtales i kapitel 7.

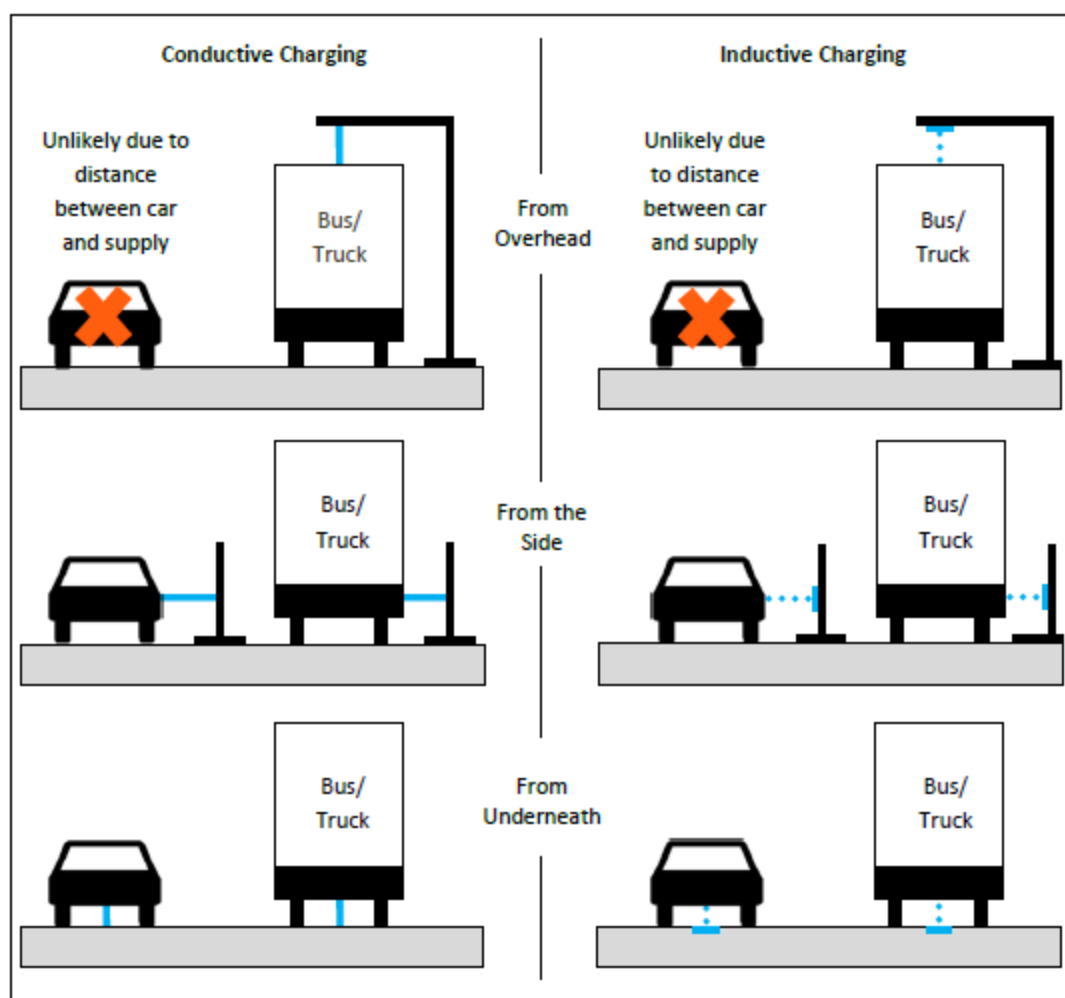
ERS fungerer altså rent teknologisk og praktisk og er vurderet til en TRL omkring 6-7 for de konduktive systemer og 4 for induktive, begge til lastbiltransport (Trafikverket 2019).

¹¹ [Solid-State Batteries Could Power Electric Vehicle Breakthrough](#). Trucks-com, 13 Aug. 2019

¹² [Eldrevet gigant fragter 65 ton sten](#), Ingeniøren, 1 sept. 2019

¹³ [European competition for Tesla Semi is on the rise](#). Trans.info, 23. maj 2019

Der er ingen infrastruktur til at benytte ERS i Danmark i dag, og der markedsføres ikke umiddelbart biler med strømnedtag (de indgår kun i udenlandske forsøg).



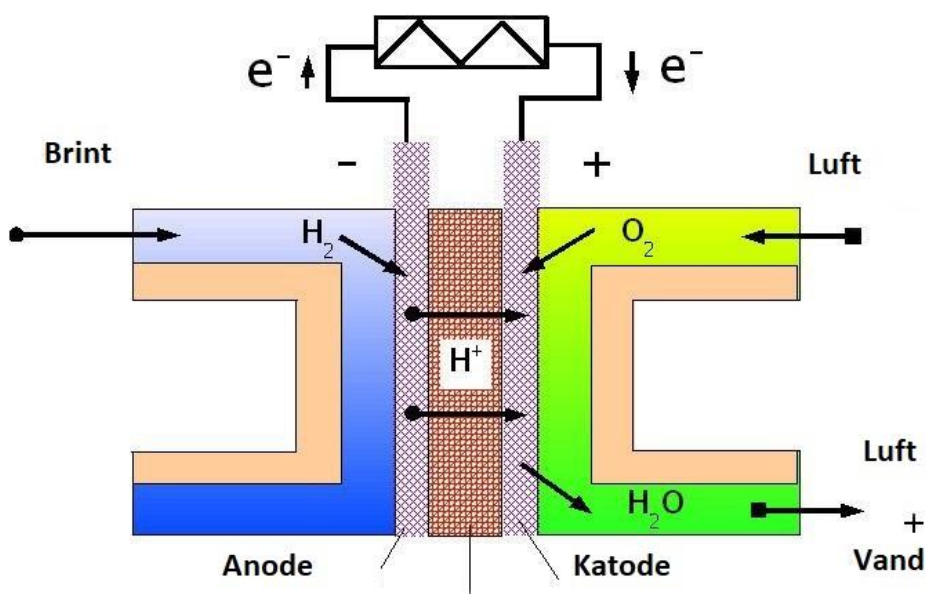
Figur 15 Oversigt over forskellige ERS-principper. Kilde: Connolly 2016

Der er væsentlige begrænsninger for hvilke dele af godstransportarbejdet der i fremtiden vil kunne understøttes med ERS, dog med forskelle mellem teknologierne. Det skal naturligvis være muligt at indplacere og vedligeholde ERS infrastruktur ved/i vejnettet, og bilerne skal kunne få kontakt med strømsystemet under kørsel. Derudover kan der være sikkerhedsmæssige, praktiske og æstetiske hensyn der begrænser udbygningen. Det er derfor ikke sandsynligt at hele vejnettet forsynes med ERS (med mulig undtagelse af fremtidige induktive systemer i vejbanen). Derfor vil ERS skulle suppleres med anden teknologi, såsom BEV, flydende brændstof eller gas (hybridløsninger).

ERS er da også primært tiltænkt en rolle for længere transporter på det overordnede vejnet, hvor der er høj trafikintensitet og potentielt stor volumen i efterspørgslen som kan retfærdiggøre investeringerne. ERS kan dog også være aktuelt for kortere strækninger hvor de samme biler kører i pendulfart.

I resten af afsnittet fokuseres på ERS-varianten med køreledninger som er det mest udviklede system pt.

3) Brændselsceller. En tredje mulighed er at udstyre lastbiler med brændselsceller til at drive el-motoren. Køretøjerne betegnes gerne Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV). Brændselsceller kan minde om batterier men drives typisk af brint som ledes kontinuert forbi en katalysatorbeklædt anode, hvor brinten spaltes i ioner og elektroner. Ionerne vandrer gennem en elektrolyt og forbinder sig med ilt så der dannes H₂O og varme. Elektronen optages gennem anoden og leverer strøm når den bevæger sig over mod katoden. Cellerne opbygges i stakke for at opnå tilstrækkelig effekt til at drive en motor. Energiudnyttelsen er højere i en brændselscelle end direkte forbrænding af brint.



Figur 16 Principeopbygning af brændselscelle. Kilde: bearbejdet fra <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=861023>

Der er forskellige typer af brændselsceller som fungerer efter samme generelle princip og teknologierne er under stadig udvikling. Et afgørende element er kilden til brint. Langt det mest udbredte i dag er at drive brændselsceller med naturgas (methan) som opbevares i tanke på køretøjet og kontinuert føder brændselscellen (se fx Lee et al. 2019). Herved fremkommer dog også CO₂ som restprodukt og denne version kan derfor kun bidrage meget begrænset til dekarbonisering for tunge køretøjer. Den interessante mulighed er at anvende ren brint som er fremstillet med CO₂-neutral el. Brinten skal selvsagt også kunne lagres i tanke på køretøjet i enten gasformig eller flydende form. Dette indebærer alt i alt nogle vigtige begrænsninger som vi vender tilbage til.

I princippet er HCEV en mulighed for de fleste typer af transportopgaver, men tekniske og økonomiske begrænsninger gør, at HCEV køretøjer stadig ikke er konkurrencedyg-

tige trods flere årtier med forsøgs- og udviklingsprojekter. Nu sættes op mod 200 brint-busser i drift herhjemme som led i EU-projektet H2BusEurope.¹⁴ Hvad angår infra-struktur findes der syv tanklæggere for brint, og flere er på vej.¹⁵ Senest har EUDP-programmet bevilget midler til etablering af to forsøgs-elektrolyseanlæg som skal producere brint på VE, hvor noget af brinten skulle være tiltænkt 'tung transport'.¹⁶ Der findes også udenlandske projekter med FCEV-lastbiler i drift men de udgør ikke i dag en kommercielt tilgængelig løsning. TRL kan sættes til omkring 6 (Roland Berger 2017).

De tre teknologier til elektrificering behøver ikke være alternativer eller modsætninger men kan supplere hinanden. Det gælder især for BEV og ERS som begge benytter direkte elektricitet til at løse forskellige transportopgaver. Et ERS-system kræver et energilager i lastbilen for at tillade kørsel uden for ERS-vejnettet. Lageret kan fx være batterier, som vil kunne oplades under kørslen på ERS-veje og opsamle bremsenergi mv. Tilsvarende vil batteriet i en BEV-baseret løsning kunne nedskaleres, hvis den suppleres af ERS på længere strækninger. Der kan dog også laves hybridløsninger hvor det er brint og brændselscelle der erstatter eller supplerer batteri. Eller det kan være andre hybridløsninger hvor BEV eller ERS suppleres af konventionel forbrændingsmotor og tank.

Dekarboniseringspotentiale

Elektrificering rummer et betydeligt dekarboniseringspotentiale både på flådeniveau og sektorniveau. Det skyldes især to forhold. For det første har elmotorer en høj effektiv virkningsgrad. Elmotoren omsætter mindst 85% af energien til bevægelse, mens en dieselmotor nærmere omsætter omkring 30% (IEA 2017) og taber resten som varme. Energiudnyttelsen gennem hele systemet W-t-W kan sættes til omkring 75% for et BEV køretøj og 80% for ERS, mod omkring 20 % for diesel. Hvad angår FCEV stiller sagen sig noget anderledes hvilket vi vender tilbage til senere. For det andet kan elforsyningen dekarboniseres gennem anvendelse af CO₂-neutrale energikilder.

BEV og ERS. Hvor stort potentialet vil være for dekarbonisering med disse løsninger fremover, afhænger altså dels af den tekniske og økonomiske udvikling af teknologierne og dels af dekarboniseringen af elforsyningen. Sidstnævnte kan i Danmark forventes at være stort set fuldført inden el-lastbilerne kommer til at slå markant igennem (Energistyrelsen 2019), hvilket er med til at gøre elektrificering til en mulighed med meget stort potentiale.¹⁷ Noget lignende gælder ikke mindst i lande som Sverige og Norge hvor elforsyningen også nærmer sig fuldstændig dekarbonisering, som det også afspejles i en række nyere studier (jf. fx Langhelle et al. 2018; Karlström et al. 2019).

De praktiske muligheder for at realisere det teoretiske potentiale for dekarbonisering gennem elektrificering afhænger imidlertid nok så meget af hvilke dele af godstransporten som det vil være muligt at elektrificere, herunder fordelingen på BEV, som antages at være mest relevant for mindre lastbiler og kortere distancer, men umiddelbart

¹⁴ [Forskning i Bioenergi, Brint og Brændselsceller 76, oktober 2018](#)

¹⁵ <https://brintbiler.dk/>

¹⁶ [Forskning i Bioenergi, Brint og Brændselsceller 88, december 2019](#)

¹⁷ Det skal bemærkes at Energistyrelsen m fl regner biomassebaseret elforsyning som CO₂-neutral hvilket ikke er en uproblematisk antagelse

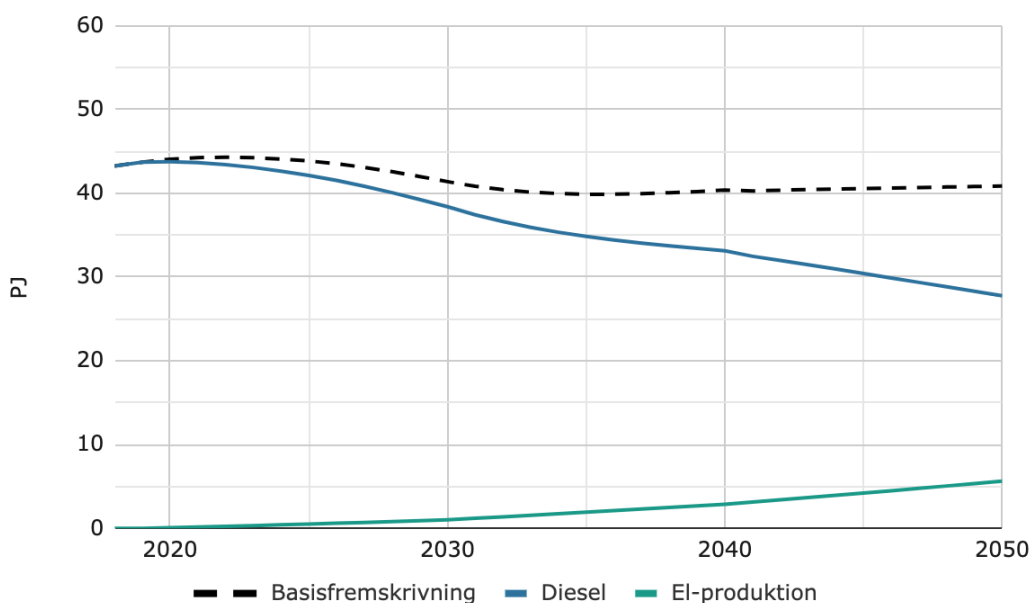
vanskeligt for de l ge tunge transport, og ERS, som omvendt forventes at kunne understøtte længere og tungere transport, hvis teknologien hertil etableres.

Scenarier. Der er på den baggrund opstillet to scenarier i det følgende., først et scenarie med fokus på BEV, som umiddelbart er den er den mest nærliggende mulighed for dele af godstransporten, og derefter en kombination af BEV og ERS. Der beregnes energiforbrug og udledning well-to-wheel, men der indgår ikke udledning fra fremstilling af teknologi, batterier, infrastruktur mv.

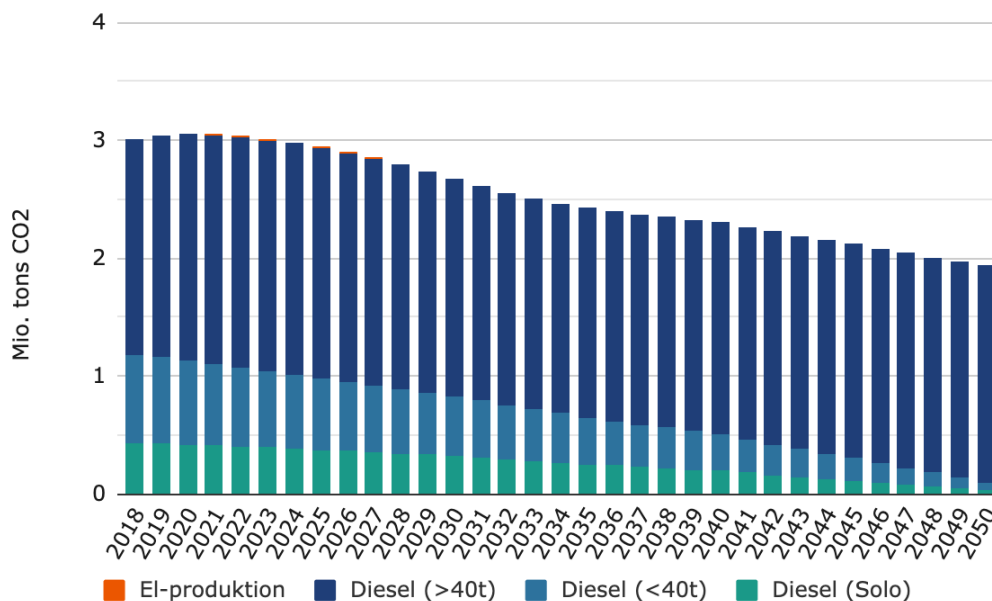
BEV-scenarie. I Figur 17 ses effekten på transportenergiforbruget ved indfasning af BEV for de mindre lastbiler i Danmark. Det forudsættes at 20% af transportarbejdet i sololastbiler og trailerlastbiler under 40 ton er erstattet af BEV i 2030. Tilsvarende er 50% erstattet i 2040 og 90% i 2050.

Der antages altså en relativt hurtig indfasning af BEV i denne gruppe af lastbiler og en teknologiudvikling som på sigt g r el til den altdominerende løsning for den lettere del af godstransporten. Det forudsættes at lastbiler over 40 ton fortsat kører på diesel, alene med den reduktion af diesel-forbruget, der er vedtaget via EU-kravene for 2025 og 2030.

I Figur 18 ses den tilsvarende udvikling i CO₂ udledningen fra vejgodstransporten.



Figur 17 Scenarie for energiforbruget på forskellige køretøjstyper ved indfasning af BEV lastbiler i fl den under 40 ton.



Figur 18 CO₂-udledning i scenariet fordelt på forskellige køretøjstyper ved indfasning af BEV lastbiler i flåden under 40 ton.

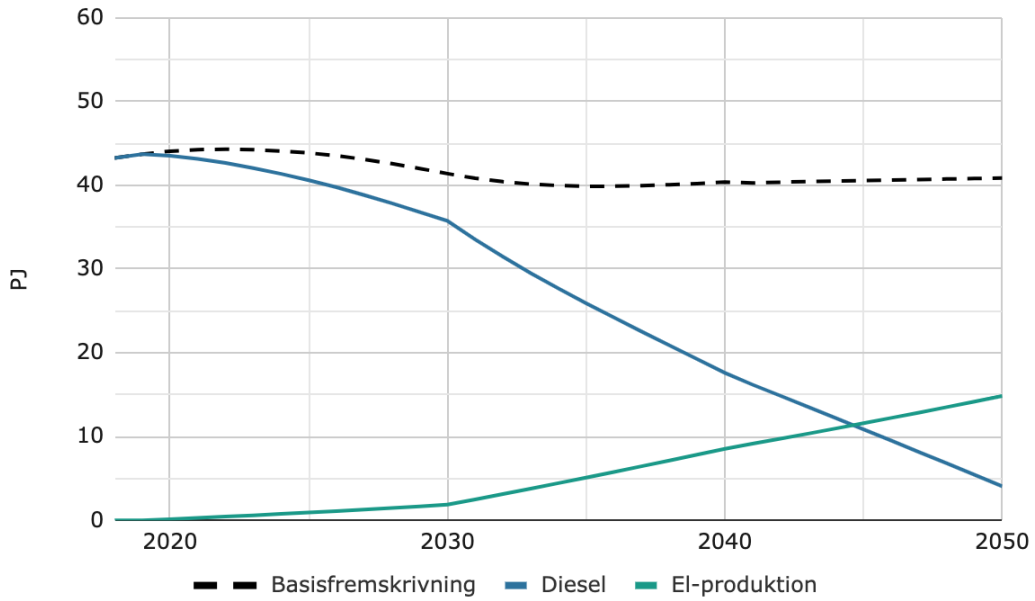
Det fremgår, at indfasning af BEV i flåden af sololastbiler og trailerlastbiler under 40 ton vil kunne reducere CO₂ udledningen med ca. en tredjedel i 2050. Det er alene de store diesellastbiler, som altså ikke elektrificeres, der bidrager til CO₂-udledning i 2050.

Der vil - på trods den hurtige indfasning der er forudsat - være tale om en langsom reduktionstakt i udledningerne, idet udbuddet af biler i de mest relevante kategorier som nævnt er beskedent og udskiftningen trods alt tager tid. Der ses således kun en reduktion på omkring 10% fra i dag til 2030, hvilket ikke bidrager specielt meget til det nationale 2030 mål på 70 % fra 1990 (som svarer til ca. 55 % reduktion ift. i dag).

Hvis der for alvor skabes en efterspørgsel efter batteribaserede lastbiler, er det til gengæld næppe urealistisk at hele denne del af bilparken kan skiftes til BEV over 30 år, selvom øget efterspørgsel vil kunne medføre visse flaskehalse i produktionen og højere priser. CO₂ udledningen fra vejgodstransporten på danske veje vil med dette tiltag altså kunne reduceres med 1 mio. ton svarende til 1/3 af dens samlede udledning.

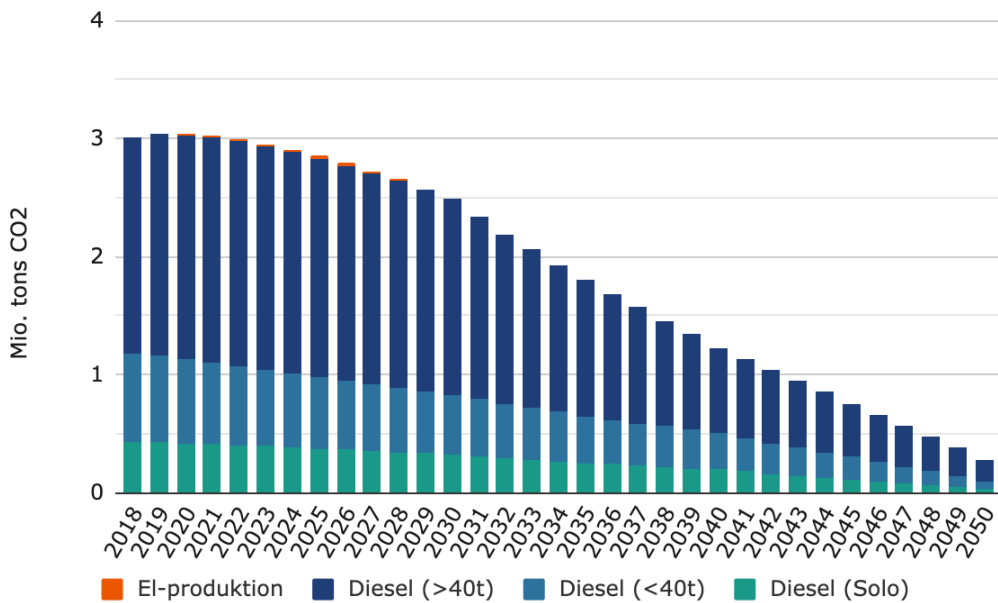
BEV+ERS scenarie. Dernæst ses på et scenarie hvor de to tiltag inden for direkte elektrificering kombineres, idet BEV bilerne suppleres af store lastbiler der benytter ERS på det mest overordnede vejnet – det kunne fx være de 1,6% af vejnettet som udgøres af motorveje (se Figur 19 og 20).

De to tiltag er således aktuelle for to forskellige bil segmenter. Hvad angår BEV antages disse stadig at blive indført for segmentet under 40 tons i en takt så de udgør 20% i 2030, 50% i 2040 og 90% i 2050. ERS bliver indført så 10% af transportarbejdet i segmentet over 40 tons drives af strøm fra ERS i 2030, 60% i 2040 og 90% i 2050.



Figur 19 Scenarie for energiforbrug med kombination. Forudsætningerne er: BEV 20% i 2030; 50% i 2040; 90% i 2050. ERS: 10% i 2030; 60% i 2040; 90% i 2050 for respektive bilsegmenter

Det ses af Figur 19 at det samlede energiforbrug går væsentligt ned som følge af den mere effektive elektriske drift, der nu omfatter langt det mest af kørslen i 2050.



Figur 20 CO₂-udledning ved kombination af BEV og ERS.

Dernæst ses af Figur 20 at CO₂ udledningen falder markant længere ned end i det scenarie hvor der alene blev forudsat BEV biler. Reduktionen nærmer sig fuld dekarbonisering. Der ses dog stadig ikke ret stor reduktion i 2030.

Det skal erindres, at elforsyningen frem mod 2050 er forudsat fuldt dekarboniseret uden medregning af evt. udledninger fra biomasse, og at der ikke indgår CO₂-udledninger fra fremstilling af køretøjer, batterier, mv (heller ikke i dieselreferencen).

FCEV er et muligt alternativ til BEV og ERS teknologi der som nævnt også kan udnytte el-motorens højere effektivitet. Brint har desuden en høj energitæthed ved opbevaring i tanke med 700 bar på køretøjet. Brinten vil kunne tankes på en lastbil fra flydende form på en måde der minder om diesel med et væsentligt lavere tidsforbrug end opladning af ellastbiler. Der er imidlertid en række forhold som gør det meget vanskeligt at opstille et praktisk dekarboniseringspotentiale for FCEV lastbiler.

Energiresourcer. Dekarbonisering kræver at brinten fremstilles ved elektrolyse af brint på CO₂-neutral energi eller alternativt på gas med CCS teknologi. Ingen af disse muligheder er til stede i dag. De kræver at der opbygges ny produktionskapacitet, hvilket vil tage en lang årrække for at komme i skala. Både VE-baseret elektrolyse og CCS teknologi indebærer dertil betydelig omkostninger. Endelig er der et væsentlig energitab på ca. 33% forbundet med omdannelse af el til brint (Agora Energiewende et al. 2018).

Infrastruktur. Der skal etableres helt ny infrastruktur til distribution og tankning med brint. For at spare volumen anvendes stærk nedkøling til -225 grader. Det indebærer yderligere energitab, som er oppe på omkring 50% når brinten når frem til lastbilens brinttank. Desuden er der på grund af risiko for utætheder og brand høje sikkerhedskrav mv. Dette bidrager til at komplicere og fordyre anlæggene. I Danmark er det muligt at distributionen af brint vil kunne billiggøres noget ved at anvende gasnettet, men det er uafgjort hvor meget der kan iblandes og hvad det koster at frigøre brinten igen.

Køretøjer. Der er som nævnt ingen FCEV på markedet i Danmark mens der er en del forsøg forskellige steder i Europa. I USA er der meget opmærksomhed omkring den bebudede langdistance brintlastbil fra Nikola Motors. Nikola leverer dog tidligst fra 2021 og der er ikke klarhed om den faktiske pris eller andre forhold (Pohl 2019). Samtidig sætter fabrikken øjensynligt også på gennembrud på BEV-siden¹⁸. Forventningen er generelt at brintlastbiler vil være dyre. Dette kan dog godt udjævne sig med evt. øget produktion frem mod 2030 og 2050. En anden barriere er at brændselsceller og tanke både vejer og fylder mere end tilsvarende dieselt teknologi. Skal brintlastbilen fx kunne køre 700 km på en optankning vurderes vægten at forøges med 2 tons og volumen reduceres med 3 m³ ift. dagen biler (Karlström et al. 2019). Det er dog mindre end ved en ren BEV-lastbil med tilsvarende rækkevidde. Endelig medfører brændselscellen også et yderligere energitab som ikke ses ved BEV eller ERS.

Samlet set er energiudnyttelsen meget lav i hele W-t-W kæden via brint, nemlig 25% mod ca. 70-75 % ved BEV (Agora Verkehrswende et al. 2018). De samlede omkostninger forventes også i flere studier at være i den høje ende sammenlignet med BEV og især ERS, dog med stor usikkerhed på grund af de manglende erfaringer (Hall & Lutsey 2019; Karlström et al. 2019).

¹⁸ <https://www.mestmotor.se/automotorsport/artiklar/nyheter/20191119/nikolas-nya-elbilsbatteri-ska-ge-dubbel-rackvidd-till-halva-priset/>

Alt i alt vurderes det at usikkerhederne omkring HCEV er så store at det ikke giver grundlag for at forsøge at opstille et praktisk dekarboniseringspotentiale på det foreliggende grundlag. Derudover skal det have in mente at brint på VE med stor sandsynlighed vil have en række andre potentielle og konkurrerende anvendelser, det være sig indenfor eller uden for transportsektoren. Konkret ser vi i det følgende afsnit 6.3 på muligheden for at benytte brinten til fremstille electrofuels til den tunge transport. I dette tilfælde vil der ganske vist også indgå en række energimæssige tab, men til gengæld vil der være tale om flydende brændstoffer som vil kunne anvendes som drop-in fuel uden samme behov for helt ny og til dels kompliceret og risikabel teknologi i transportsektoren, som overgang til brint vil indebære.

I resten af dette afsnit drøfter vi derfor kun BEV og ERS løsninger. Begrænsningerne betyder dog ikke at det vil være irrelevant at videreføre den igangværende forsknings- og udviklingsindsats omkring udnyttelse af brint i transportsektoren. Der stadig er tale om en teknologi med potentiale for dekarbonisering, og med afsæt i danske kompetencer og erfaringer fx inden for katalyse og elektrolyse (Irisgroup 2019).

Økonomi

TCO. Ellastbiler er i dag væsentligt dyrere i anskaffelse end tilsvarende dieslbiler, op til omkring 3-4 gange så dyre. Der er dog typisk ikke tale om ens modeller der direkte kan sammenlignes hvad angår præstationer mm. Hvad prisen bliver over de kommende år er svært at forudsige. Der vil givetvis ske en billigørelse gennem opskalering af både batteri- og bilproduktionen. En sådan udvikling har kunnet ses markant inden for personbiler og el-busser. Det er også muligt at producenterne vil udnytte en del af forbedringerne til at øge rækkeviden frem for at sænke prisen.

Driftsomkostningerne ved overgang til el vil blive væsentligt reduceret. Som noget helt afgørende vil omkostningen til energi være lavere ved elkøretøjer end ved diesel, dog delvis betinget af afgifter mv. Der er også andre driftsbesparelser da der er færre dele at vedligeholde og udskifte på et elkøretøjer.

Der findes forskellige bud på omkostninger i litteraturen som falder til den ene eller den anden side. Der findes fx rapporter fra virksomheder som har oplyst over 50% besparelser ved overgang til el. Projektet Frevue (2017) undersøgte mindre distributionsbiler og fandt til gengæld at el udgaven af bilen (her en ombygget model) ikke kunne indhente TCO for dieselkonkurrenten selv ikke over 10 år. Studiet er dog ikke helt up to date.

I 2018 blev der offentliggjort et stort tysk studie (af Öko-Institut i samarbejde med andre institutter)¹⁹ som omfatter detaljerede analyser af de forventede omkostninger til forskellige typer lastbiler på el mm. i årene fremover.

Her er resultatet at TCO for en BEV med en rækkevide på 400 km i 2025 bliver i alt 10% lavere end tilsvarende kørsel med diesellastbiler. I samme studie indgår analyse af lastbiler med køreledninger, som lander på omtrent samme niveau.

Vi gennemgår nærmere resultaterne af dette studie på tværs af teknologier i afsnit 6.5

¹⁹ Bl.a. Kühne et al. (2018) og Plötz et al. 2018)

Infrastrukturinvesteringer og totaløkonomi: Både BEV og ERS løsning forudsætter etablering af betydelig ny infrastruktur.

En BEV-løsning vil kræve infrastruktur, formentlig i form af opladningsaggregater til almindelig opladning af lastbiler på virksomheder, adgang til offentlig (hurtig) ladning på fx rastesteder, terminaler og andre knudepunkter, samt dertil givetvis behov for udbygning af strømforsyningsnet frem til opladningspunkter. Behovet for infrastruktur vil afhænge af hvordan opladningen for tunge køretøjer kommer til at foregå. Der foreligger så vidt vides ikke nærmere undersøgelser af dette i Danmark.

Et ERS system af typen Overhead Catenary (OC) vil omfatte investeringer i master og køreledninger langs det udvalgte vejnet. Dertil kommer transformatorer og kabelføring fra det overordnede elnet frem til vejnettet samt strømaftagere i køretøjerne. Der vil desuden også ved ERS+BEV løsning være behov for en vis investering i opladningsmuligheder som supplement, omend af væsentlig mindre omfang end i en ren BEV løsning.

Flere internationale studier peger på at den lave energiomkostning ved eldrift i en ikke særlig fjern fremtid vil kunne gøre det total- og samfundsøkonomisk fordelagtigt at elektrificere større eller mindre del af den tunge transport. Investeringerne i infrastruktur vil kunne hentes hjem gennem besparelse på forskellene mellem el- og dieseldrift, hvad enten der er tale om BEV til distribution eller ERS til længere distancer eller kombinationer heraf. Flere studier forudsiger at dette vil kunne ske i løbet af årene 2020 til 2030 (Kühnel et al. 2018; Plötz et al. 2018; Langhelle et al. 2018; The Pathways Coalition 2018). En meget afgørende faktor, bortset fra eventuelle nye gennembrud i batteriteknologi, som ikke er forudsat, er antallet af brugere især for ERS systemer. Jo flere, jo bedre økonomi. Derved afhænger potentialet i høj grad af tilvejebringelse af attraktive rammebetingelser.

I det tidligere omtalte tyske studie (Kühnel et al. 2018) indgår estimater på omkostninger til at etablere den nødvendige infrastruktur til en flåde af lastbiler der både omfatter BEV og ERS. I studiet antages en flåde på 5.000 BEV-lastbiler som forsynes med opladning for hvad der svarer til 3,8 mia. DKK. For ERS er forudsat 500 km køreledning der vil kunne betjene en varierende flåde af både BEV og hybridbiler af lignende omfang. Denne infrastruktur vurderes at koste 6,3 mia. DKK at etablere.

Disse antagelser vender vi tilbage til, da de også lægges til grund for afsnit 6.5 med tværgående scenarie og sammenfatning. Alt i alt vurderes at økonomien for nærværende optræder som en væsentlig barriere på det individuelle niveau, og samfundsmæssigt også på den kortere bane, men at udviklingen går i retning af break-even på TCO for distributionskørsel inden for få år og samfundsmæssigt for elektrificering generelt også inden for få år.

Tilgængelighed og fleksibilitet

TRL varierer for de enkelte løsninger og komponenter men ligger som nævnt generelt omkring 8-9 for BEV og 6-7 for ERS i deres fordelagtigste applikationsområder i godstransporten, men lavere uden for (nærmere 5-6 for BEV til lange, tunge transportere).

Markedstilgængeligheden af BEV er som vist begrænset og for ERS ikke-eksisterende (specialbyggede køretøjer som ikke findes på markedet). Elektrificeringen vil være nødt

til at starte med transportopgaver på kortere strækninger, som fx citylogistik. Det er en forudsætning for udrulning af ERS at der enten sikres et udbud på markedet til salg eller at køretøjerne evt. tilbydes som led i selve ERS systemets forretningsmodel. Alt i alt forudsætter både introduktion af BEV og ERS politiske initiativer der understøtter de nødvendige investeringer i hvert fald i en overgangsfase.

Tilgængelighed til kørselsopgaver. Med nuværende teknologi tager det væsentlig længere tid at oplade en **BEV** end at fylde diesel på en konventionel lastbil. Som eksempel oplyser Volvo 1,5 time som hurtigst mulige tid for fuld opladning af deres nye FE og FL trucks i dag²⁰. Skal der lades op med lav effekt om natten tager det op til 10 timer. Opladning kan lægge store begrænsninger på transportørens fleksibilitet, eller forudsætte muligheder for fleksibel planlægning, batteriskifte eller dublering af køretøjer. Det er ikke nødvendigvis et lige så stort problem hvis elbilen løser en bestemt kørselsopgave i fast dagligt mønster, men i andre situationer kan det betyde væsentlig øgede omkostninger til ekstra materiel eller mandskab.

For **ERS** lastbiler som lades op under kørslen er denne udfordring mindre. Infrastruktur til ERS vil til gengæld være begrænset til et overordnet vejnet hvorfra der kan være langt til både hjem eller destinationer. Jo mere finmasket net, jo dyrere bliver infrastrukturen. Afstanden til og fra det elektrificerede vejnet har betydning for hvor meget ekstra batteri eller hybridteknologi der skal suppleres med. I Figur 21 vises et hypotetisk eksempel på et meget udbygget ERS-net, som omfatter hele det danske motorvejnet.



Figur 21 Hypotetisk ERS der dækker hele motorvejsnettet (til og med 2018), dvs. 1.206 km motorvej eller 1,6% af hele det danske vejnet. Suppleres ERS-biler med batteri med rækkevidde på 100 km kan hele Danmark nås, på nær det skraverede område. Med større batterier kan ERS nettet tilsvarende formindskes. Kilde: Kortdata 2019 GeoBasis-DE/BKG (2009), Google

²⁰ Ifølge magasinet [VOTY](#)

Eksempel-systemet vil dække 1,6 % af det danske vejnet som betjener 56% af lastbiltrafikken. Det er et væsentligt tættere og dyrere net end det som blev antaget i økonomi-eksemplet ovenfor. I praksis ville det sandsynligvis være mere fordelagtigt med et grovere og billigere net kombineret med større batteri- eller hybridkapacitet.

Alt i alt vil der være store begrænsninger på tilgængelighed ved elektrificering med enten BEV eller ERS, som vil mindskes med udviklingen i teknologien kapacitet. Begrænsningerne vil kunne reduceres noget ved en integreret BEV og ERS løsning.

Samfundshensyn

Miljømæssigt indebærer elektrificering meget store fordele hvad angår lokal luftforurening, støj og risiko for olieforurening af jord og vand. Der vil derimod være tale om en vis forøgelse af ressourceforbrug og CO₂-udledning ved produktion af batterier mv. i udlandet. De bedre lokale miljøegenskaber vil kunne give ellastbiler privilegeret adgang til følsomme områder som fx bymidter og distribution om natten. ERS systemer vil være synlige og vil påvirke vejomgivelserne æstetisk på lignende måde som elektrificerede jernbanestrækninger. **Sikkerhedsmæssigt** er der næppe større risici ved BEV lastbiler. ERS systemer kan give anledning til bekymring for kollision med el-infrastruktur og evt. nedfald af køreledninger, kendt fra eksisterende togdrift. De systemer som indgår i aktuelle ERS forsøg er dog videreudviklet så risikable ledningsnedfald angiveligt undgås (Gudmundsson 2019; Siemens 2018). Det svenske Trafikverket (2019) vurderer dog, at sikkerhed stadig er en bekymring ved eksponerede ERS systemer. **Forsyningsmæssigt** er det danske el-system generelt karakteriseret ved meget høj stabilitet og forsyningsikkerhed. Lokalt vil sikkerheden afhænge af tilstrækkelig infrastruktur. Hvad angår **vækst og arbejdsplaser** vil der formentlig være begrænsede effekter. Damvad (2014) fandt dog væsentlige danske erhvervmæssige styrkepositioner inden for teknologier og produkter med relevans for integration af el-køretøjer i energisystemet samt og styring af batterier. Spørgsmålet er om nogle af disse styrker vil kunne omsættes erhvervmæssigt, hvis Danmark rykker tidligt på elektrificering inden for godstransport. Alt i alt i alt vurderes at en elektrificeringsløsning indebærer betydelige miljø og samfundsmæssige fordele og kun mindre ulemper.

Sammenfatning på elektrificering

De elektriske systemer ser lovende ud på sigt. Der er et stort dekarboniseringspotentiale, og omkostninger for brugere og samfund kan blive lavere end for diesel inden for en kortere årrække. Der ligger er imidlertid et stort stykke analyse – og udviklingsarbejde forud for at sådanne systemer kan rulles ud og markedet for køretøjer mv er leveringsdygtigt. Derfor vil der ikke være nogen nævneværdig CO₂ effekt ift. 2030 mål. Det skal også igen noteres, at elektrificering de nærmeste år stadig vil trække noget på fossile brændsler og, og at el på bioenergi reelt heller ikke er CO₂-neutral.

Kombinationen af BEV til de korte strækninger og ERS til de længere ture kunne være en perspektivrig mulighed at sigte mod.

Det kræver imidlertid at der tages nogle klare politiske beslutninger hvor infrastrukturen etableres på et tidligt tidspunkt, så den er klar når der skal investeres i køretøjerne. For at systemet skal give samfundsøkonomisk mening skal en stor del af de tunge køretøjer på sigt anvende både ERS og ladeinfrastruktur, og det kræver strategiske politiske beslutninger at gå efter dette system frem for fx at satse udelukkende på gasformige eller flydende brændstoffer, da der er høje initialomkostninger og skalaeffekter.

Det er også vigtigt at koordinere indsatsen tæt med vore nabolande Sverige og Tyskland, så der er en tilstrækkelig stor flåde af lastbiler, der anvender systemet. Det vil derfor være hensigtsmæssigt at Danmark indgik med en rolle i systemudviklingen både for at kunne vurdere hvor egnet systemet er for godstransport i Danmark, og for at have klarhed på hvilke systemer der arbejdes hen imod i nabolandene – i sidste ende i hele Europa. Et element i dette kan være standardisering af teknologi.

Der kunne være en mulighed af etablere konkrete ERS forsøg for at opnå praktiske erfaringer med teknologien, især hvis der kan findes egnede strækninger, fx hvor el-infrastrukturen er udbygget og hvor der foregår koncentreret transport med relativt få køretøjer. Der kunne også være del-teknologier som der var en særlig dansk interesse i at afprøve og udvikle. Men under alle omstændigheder er det relevant at se på den mulige nærmere organisering af og forretningskoncepter for etablering af især ERS systemer. Det kunne eventuelt være i form af et Offentlig Privat Partnerskab med myndigheder, industri, pensionsfonde m fl.

Der vil være behov for at supplere med andre løsninger og tiltag, hvis der skal opnås en væsentlig grad af dekarbonisering frem mod 2030.

Tabel 5 Vurdering i forhold til kriterier - Elektrificering

1. Dekarboniseringspotentiale	
Reduktion af CO2 på mikroniveau	Stor potentiel reduktion da el er en meget effektiv energikilde.
Fuld dekarbonisering på længere sigt	Samlet stort potentiale især ved at kombinere BEV og ERS – nærmest fuld dekarbonisering af sektor mulig
Markant og hurtig reduktion ift. 2030 mål	El kan komme i spil i mindre lastbiler fra nu men indfasning tager tid. ERS vil kunne etableres på mellemsigt (5-10 år) og vil også tage tid for at slå igennem. Tunge køretøjer findes ikke og kan næppe slå igennem før 2030
2. Økonomi	
Energieffektivitet i hele kæden	Meget høj energieffektivitet. samlet effektivitet for kørslen W-t-W på mellem 70 og 80%
TCO på virksomhedsniveau	Forventes at blive billigere end tilsvarende diesel fri 2025
Infrastrukturinvesteringer	Investeringsomkostningerne afhænger i sagens natur af skala men vil ikke nødvendigvis være høje i det samlede billede. Et groft bud på en kombineret satsning på BEV og ERS i 'medium' omfang (opladning til 5.000 biler og 500 km køreledning) lå på 6.3 mia. DKK.
Rebound effekt	Der vil som følge af billiggørelsen af kørslen kunne opstå en rebound effekt. Det vil formentlig være optimalt for virksomhederne at udnytte de dyre elbiler så meget som muligt
3. Tilgængelighed og fleksibilitet	
Technology Readiness Level	6- 8
Udbud/diversitet af køretøjer	Der findes endnu kun mindre køretøjer
Tilgængelighed til kørselsopgaver	Opladning kan binde biler i perioder og i værste fald kræve dublering
Energiforsynings tilgængelighed	Der skal etableres ny infrastruktur – både ladeinfrastruktur og ERS
Vedligeholdelse og reservedele	Bliver billigere end tilsvarende diesel med tiden
Øget/mindsket adgang til ruter/områder	Afhænger af en veludbygget infrastruktur Privilegeret adgang til nulemissions zoner når disse kommer
4. Samfundshensyn	
Miljø og sikkerhed	Begrænser lokal luftforurening og støjgener i byerne ERS: Der kan være bekymring for risiko for nedfald af køreledning ERS: Æstetiske overvejelser og landskabshensyn BEV og ERS mindre bidrag til olieforurening og risici
Forsyningsikkerhed	Meget høj. Dansk elforsyning er blandt de mest stabile i verden
Samfundsrisici	Umiddelbart Ingen
Vækst og arbejdspladser	Formentlig begrænset; måske potentialer

6.3 Flydende alternativer – med hovedvægt på electrofuels

Hvad går indsatsen ud på?

Det eksisterende godstransportsystem er indrettet på adgangen til diesel, som er et flydende brændstof med høj energitæthed fremstillet på en billig og endnu forholdsvis let tilgængelig råvare. At skifte bort fra flydende brændstof til fx elektricitet, brint eller gas vil kræve betydelige omstillinger i transportsystemet og nye investeringer, og der vil være en lang overgangsperiode før omstillingerne vil slå igennem på CO₂-udledningen.

Det ville derfor være attraktivt hvis *dekarboniserede flydende alternativer* med tilsvarende egenskaber som diesel kunne gøres tilgængelige i tilstrækkelige mængder. Hermed ville eksisterende køretøjsteknologier, infrastrukturer, forsyningssystemer, mv. fortsat kunne udnyttes, og eventuelle CO₂-reduktioner ville formentlig slå igennem tidligere og med større samlet effekt end de andre nævnte alternativer.

En sådan vision kan dog ikke uden videre realiseres. Det er ganske vist principielt muligt at erstatte fossil diesel med teknisk identiske alternativer af både naturlig og syntetisk oprindelse, fx HVO eller GTL-brændstoffer. Men ingen af de kendte tekniske substitutter kan umiddelbart produceres i samme mængde eller leveres til samme pris som diesel. Dertil kommer at de fleste flydende substitutter også indeholder kulstof og dermed udleder større eller mindre mængder CO₂ ved forbrændingen. Der skal derfor ses nærmere på hvor meget de flydende alternativer reelt kan bidrage til dekarboniseringen.

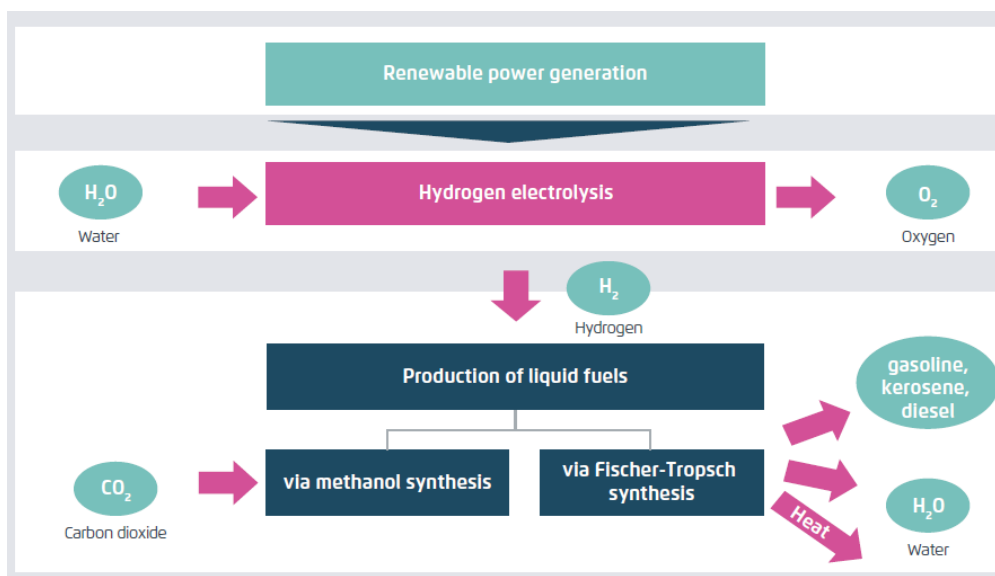
Der tegner sig overordnet set to forskellige veje for alternative flydende brændstoffer:

En 'hurtig' vej vil være at forøge iblandingen af biobrændstoffer ud over de ca. 7 % der gælder i dag og dermed gradvis fortrænge større mængder af dieselolien. Forskellige bioråvarer og bioprodukter byder sig til som mulige alternativer. I afsnittet ser på om man ad den vej kan forvente at opnå en markant reduktion af drivhusgasudledningen.

En mere 'langsom' vej vil være at opbygge et system til fremstilling af electrofuels i form af syntetisk diesel. Figur 22 eksemplificerer de grundlæggende elementer i forsimplet form. Vand spaltes til ilt og brint ved hjælp af elektrolysestrøm. Der fremstilles herefter syntesegas af ud af brinten og kulstof fra en CO₂-kilde. Gassen undergår videre syntese, fx med Fischer-Tropsch metoden, som kan producere flydende brændstoffer med egenskaber som diesel.²¹

Hvis strømmen til fremstilling af brint leveres af CO₂-neutrale energikilder som sol og vind, og kulstoffet 'stjæles' fra CO₂ i røggas eller atmosfærisk luft, kan drivhusgasudledningen i princippet elimineres på en effektiv måde. Der er dog en række betydelige udfordringer forbundet med denne løsning som vi også ser nærmere på i afsnittet.

²¹ Der er flere alternative metoder til fremstilling af drivmidler på basis af brint. En del resulterer dog i produkter som fx methanol eller DME som ikke umiddelbart kan anvendes som drop-in fuel i eksisterende dieselmotorer men kræver nye motorer.



Figur 22 Skematisk fremstilling af electrofuel produktion. Kilde: Agora Verkehrswende et al. (2018)

Hvilke dele af godstransport er løsningen mulig for?

At beholde godstransporten på flydende brændstoffer med samme beskaffenhed som diesel, men med lavere CO₂-udledning, er selvsagt en relevant og attraktiv løsning mulighed for stort set alle typer vejgodstransportopgaver både nu og fremover.

Mulighederne for at substituere diesel direkte varierer meget for de forskellige alternativer. Der er også stor forskel på hvor meget der vil kunne skaffes, hvornår, til hvilken pris, og med hvilken CO₂-effekt.

Mulighederne tegner sig meget forskelligt for de to veje.

Biobrændstoffer. For så vidt angår biovejen udbydes der forskellige produkter på markedet, som følge af EU-krav om iblanding (se nærmere kapitel 7). Det primære produkt er biodiesel. Ca. 20 % er af dansk oprindelse mens resten importeres (Drivkraft Danmark 2019). Biodiesel dækker dog med iblanding på ca. 7 % kun en lille del af godstransportens samlede energibehov. Mængden vil ikke umiddelbart kunne øges meget, uden justering eller helt nye motorer.

Et andet bio alternativ er HVO (brintbehandlet vegetabilsk olie), som til gengæld kan træde ind som 100% erstatning for diesel (drop-in) uden større modifikationer af dieselmotorer. Der fremstilles ikke HVO i Danmark, men produktet er netop for nylig udbudt på det danske marked, men det er dog væsentlig dyrere end diesel, ca. 6 DKK., eller 50 % mere²², hvor alm. biodiesel er ca. 2 DKK dyrere en diesel. I Sverige, som har Europas højeste biobrændstofandel i transporten på omkring 22 % udgør ren HVO omkring 5 % af brændstofforbruget, og derudover blandes ca. dobbelt så meget i dieselen (Sta-

²² OK Listepriiser dieselprodukter pr. 1.000 liter, pr sept. 2019

tens Energimyndighed 2019). Det er altså umiddelbart *muligt* at opnå en væsentlig højere bio-andel end vi aktuelt ser i Danmark. Forskellen skyldes i høj grad afgifter som understøtter brugen af importeret bioenergi i Sverige.

Biobrændstoffer fremstilles ud fra varierende mængder af olieholdige plantematerialer som raps, soja og palmeolie samt slagteri- og industriaffald. I Danmark leverer DAKA 2. generations biodiesel på slagteaffald. Palmeolie, som er et kontroversielt alternativ, jf. senere, indgår for tiden ikke i det danske dieselforbrug (Drivkraft Danmark 2019). Den varierede råvaresammensætning giver produktudbuddet en vis fleksibilitet, men mængderne er naturligvis ikke ubegrænsede. Fx oplyser DAKA at man ikke kan skaffe mere slagteriaffald.²³

Hvor stort et potentiale der samlet kan være på det globale marked er meget omdiskuteret, idet der både indgår bæredygtighedsovervejelser, økonomi og markedsbevægelser, ud over de rent fysiske ressource begrænsninger der måtte være (Searchinger & Heimlich 2015; Lonza & O'Connell 2019). Det Internationale Energiagentur IEA forventer umiddelbart et stærkt øget verdensmarkedsudbud af biodiesel og HVO på kort sigt, med 35% vækst over de næste 5 år, i høj drevet af politiske mål og rammer i EU og USA. Dette vil dog stadig dække under 5 % af transportsektorens brændstofforbrug globalt set, og langt hovedparten vil stadig være 1. generation i konkurrence med andre afgrøder (IEA 2019).

IEA anslår på lang sigte et samlet globalt *bæredygtigt* bioenergipotential (alle typer) på 143 EJ som grænsen, hvor andre organisationer har lidt højere eller lavere skøn. Wenzel (2019) omsætter dette til en ramme på ca. 18-20 GJ per verdensborger pr. år. Allerede med det eksisterende biomasseforbrug i Danmark ligger danskerne væsentlig over denne ramme. Sammenholdes den med det samlede energiforbrug til lastbiltransport i Danmark (ca. 40 PJ) fordelt pr. person, ville ca. 40% af hver persons bioenergi-'budget' skulle bruges til lastbiltransport hvis den alene skulle dækkes af biobrændstof. Dette er naturligvis kun grove overslag, men det indikerer potentielt væsentlige ressourcemæssige grænser for biomasseforbruget også til godstransport. I næste afsnit ser vi de klimamæssige konsekvenser, som der ikke er taget højde for i dette overslag.

Electrofuels omfatter som nævnt en gruppe af flydende brændstoffer som kan produceres kunstigt, primært på basis af elektrolytisk brint samt kulstof fra CO₂. Generelt indgår electrofuels i det bredere begreb 'Power-to-X' som indikerer at grøn strøm kan bruges som basis i fremstilling af forskellige gasser, brændstoffer, materialer mm. Electrofuels kan fx være methanol eller DME, som vil forudsætte justering eller udskiftning af lastbilmotorer²⁴, men der kan også fremstilles syntetisk diesel som ikke gør.

Begrænsninger på udbredelsen af electrofuels til lastbiler ligger primært i fremstilling og distribution af brændstoffet. At få et større udbud på plads kræver en udbygning i flere niveauer. Der skal for det første være mere CO₂-neutral strøm til rådighed, hvilket da også forudsættes i den nationale basisfremskrivning (Energistyrelsen 2019). Dernæst behøves elektrolyseanlæg hvor strømmen spalter vand i ilt og brint. Endelig skal der

²³ [Horsens Folkeblad, 3. maj 2018](#)

²⁴ DME er på gasform ved stuetemperatur, og har trods en række fordele også andre ulemper, fx er stoffet aggressivt over for visse motorkomponenter (Prof J. Schramm, [Ing. 9. maj 2019](#))

etableres anlæg til fremstilling af syntesegas ud fra brint og CO₂ (som der også skal være en kilde til) samt videre syntese til flydende brændstof.

Der findes i dag et enkelt forsøgsanlæg i Danmark der i 2019 begyndte at producere små mængder electrofuel i form af methanol.²⁵ Flere mindre elektrolyseanlæg skal nu etableres på forsøgsbasis i Danmark som nævnt i afsnit 6.2 under brint. Det er bl.a. sigtet at levere 'transportbrændstof' som sideprodukt. Men der er altså pt ingen produktion af elektrolysebaserede dieselalternativer her i landet, og der er et stykke vej før der ville kunne etableres produktion i større skala. Der findes nogle få GTL anlæg i udlandet, men der er ikke for nærværende tale om produktion i en skala der vil kunne bidrage til at forsyne transportens i fx Danmark. Skov & Mathiesen (2018) foreslog en handlingsplan for opbygning af storskala elektrolysekapacitet i Danmark ud fra en betragtning om at Danmark har gode forudsætninger for at blive ledende på integration af elektrolyse i energisystemet og produktion af bl.a. transportbrændstof. Handlingsplanen bestod af tre faser, hvor markedsgennembrud tidligst forventedes i perioden fra 2025 til 2035 (pr. 30. januar 2020 dog forskubbet to år, jf. Mathiesen, 2020).

Summa summarum er der på kort sigt yderligere biobrændstoffer tilgængelige på markedet, men potentialet for vækst er kontroversielt, mens electrofuels ikke vil være tilgængelige på markedet før om mange år, hvis de kommer.²⁶

Dekarboniseringspotentiale

Dekarboniseringspotentialerne adskiller sig også markant for de to 'spor'

Biobrændstoffer er baseret på plantemateriale som for en stor del består af kulstof. Planternes indgår i jordens samlede kulstofkredsløb hvor der udveksles kulstof med omgivelserne når planterne vokser, dør, henfalder og/eller anvendes. Når plantemateriale inddrages til fremstilling af energi og forbrændes påvirkes kulstofkredsløbet på forskellige måder, bl.a. afhængig af plantematerialets art, volumen, væksthastighed mv.

Tidligere var det udbredt at opfatte al brug af biomateriale og herunder biobrændstof som 'CO₂-neutralt' over tid fordi denne del af kulstofkredsløbet på lang sigt er i balance. I de senere år er der dog kommet gradvis øget opmærksomhed på betydningen af de samlede forskydninger i drivhusgasbalancen der sker ved udnyttelse af biomasse, herunder udledninger fra arealanvendelsen og ændringer i denne (kaldet Land Use Change eller LUC). Der skelnes mellem direkte og indirekte effekter af ændret arealanvendelse. Direkte effekter omfatter ændringer i jordens afgivelse af drivhusgasser som følge af ændringer i plantesammensætning eller dyrkningsmetoder (kaldet Direct Land Use Change, DLUC). Det kan være når tørvejord drænes og taber kulstof til atmosfæren (Buschmann et al. 2020), eller når skov fældes for at frigive areal til marker. Indirekte effekter er forskydninger som skyldes ændringer i efterspørgsel efter biologiske produkter (kaldet Indirect Land Use Change, ILUC). Det kan fx være når inddragelse af land-

²⁵ Nordjysk anlæg skal konvertere brint og CO₂ til metanol [Biopress nr. 79, feb. 2019](#)

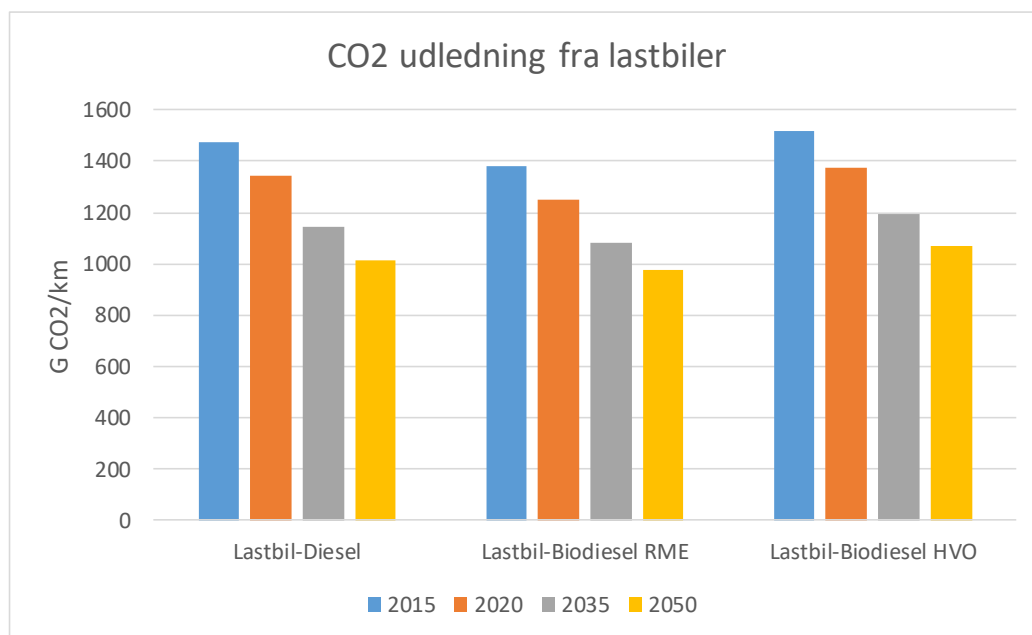
²⁶ Der er også flere koncepter hvor bioressourcer og electrofuels kombineres, hvorved udviklingen måske kan komme hurtigere i gang, se fx Mortensen et al. (2019), men det går vi ikke nærmere ind på her.

brugsareal til fremstilling af energiafgrøder medfører øget efterspørgsel efter landbrugsareal som i sidste ende fører til afskovning og dermed tab af kulstof bundet i træer andetsteds i verden (Klimarådet 2018).

Disse forhold har afgørende betydning for nettoeffekten ved øget brug af biobrændstoffer, men det er vanskeligt at opgøre den samlede effekt af især ILUC præcist (Laborde, 2011; Felby & Bentsen 2012).

Når man *statisk* opgør drivhusgasudledninger fra brugen af bioenergi i et bestemt år henføres udledningerne teknisk set til den sektor der producerer biomassen, typisk landbrug, skovbrug eller industri, i det land hvor det finder sted. Desuden opgøres kun den direkte udledning fra arealanvendelsen. Det er derfor at udledning fra forbrænding af biobrændstoffer i officielt optræder som 0 (nul) i nationale opgørelser af transportens udledninger (se fx Nielsen et al. 2018). Når man skal vurdere konsekvenserne af *ændringer* i forbruget af fx biobrændstof, er det dog afgørende at anlægge en dynamisk betragtning hvor de samlede konsekvenser medtages, herunder både udledninger fra afbrænding af biomassen og fra direkte og indirekte ændringer i arealanvendelse.

I Energistyrelsens katalog over forskellige energiteknologier angives drivhusgasudledninger for en række alternative biodrivmidler sammenlignet med diesellole, hvor der er taget højde for både direkte og indirekte arealanvendelseseffekter ved øget anvendelse (Energistyrelsen 2016). Det fremgår heraf at brug af biobrændstoffer som RME og HVO baseret på rapsolie har stort set samme udledning som diesel.



Figur 23 CO₂-udledning fra diesel sammenlignet med to 1. generations biobrændstoffer inklusive arealanvendelse mv. beregnet for årene 2015, 2020, 2035 og 2050. Kilde: Energistyrelsen (2016).

Der er også stor international enighed om, at visse biomasser der handles over verdensmarkedet kan medføre væsentligt øget udledning af drivhusgasser. Dette gælder fx ud-

nyttelse af tropisk palmeolie som basis for biodiesel, som under de aktuelle produktionsbetingelser kan forøge CO₂e aftrykket med en faktor 2 eller mere i forhold til fossil diesel jf. det såkaldte GLOBIOM studie for EU-kommissionen (Valin et al. 2015).

Ovenstående refererer primært til såkaldte 1. generations biobrændstoffer, baseret på råvarer som forudsætter arealanvendelse, og som er i konkurrence med anden brug af arealerne. Over for dette stilles ofte 2. generation eller såkaldte *avancerede* biobrændstoffer, der er baseret på råvarer som ikke, eller kun i mindre grad, skulle konkurrere med anden arealanvendelse, som nærmere fastlagt i EU-direktiver jf. kapitel 7. Avancerede biobrændstoffer, baseret fx på biologisk affald eller restprodukter fra skovindustri, vil under visse antagelser kunne medføre væsentlig lavere eller ingen netto drivhusgasudledning. Takket være en sådan 'klimaneutralitet' ville bioråvarerne kunne bidrage markant til dekarboniseringen af godstransport.

Ifølge den nyere videnskabelige rådgivning²⁷ er der imidlertid meget snævre rammer for at betingelserne for en sådan neutralitet tilnærmelsesvis kan være opfyldt, og det vil i praksis ofte være umuligt at garantere dette på verdensplan, selv med fastlæggelse af rammer og regler for hvor meget af den enkelte råvare der må benyttes til biobrændstof i fx EU.

Her er det afgørende at inddrage betydningen for drivhusgasbalancen af afledte forskydninger i både arealanvendelsen og i efterspørgslen efter de forskellige afgrøder. Der er således tale om forbundne markeder for fx energi, fødevarer og andet, hvor reduceret efterspørgsel efter et bestemt bioråstof som brændstof ikke nødvendigvis resulterer i at det samlede forbrug af råvaren falder. I det meget citerede IFPRI model-studie for EU-kommissionen forklarer Laborde (2011, s. 21) det således:

"... due to the interconnection of agricultural markets, leakage effects will be large. Advanced sustainability criteria regarding biofuels will be less efficient if the other uses of key agricultural commodities remain unconstrained. We face leakages both between the biofuel market and other markets for a crop (...) and between different feedstocks. This is strongly illustrated by our computations on land use emissions: more than 25 percent of land use emissions of soybean came from peat emissions tied to palm fruit production. Increasing only the sustainability of palm oil production for biodiesel, or only soybean production, will not properly address this issue (...) it will not change the total balance of emissions since the critical question is not to know where the unit of feedstock consumed for biofuel comes from but if and where additional production occurs as a reaction the new demand of biofuels."

Det er kort sagt ikke alene de konkrete produktionsforhold ved en bestemt bioresource der bestemmer nettovirkningen på drivhusgasregnskabet. Det er de samlede forskydninger af efterspørgslen på tværs af markeder. Som et eksempel kan forbruget af palmeolie til biobrændstof altså godt vokse samlet set, selvom en øget efterspørgsel efter biodiesel umiddelbart imødekommes ved brug af fx rapsolie i stedet. Trækkes rapsolien ud af et andet marked, som det typisk vil ske, vil denne efterspørgsel skulle

²⁷ European Environment Agency Scientific Committee (2011).

imødekommes på anden vis – og det kan meget vel være med den palmeolie der ikke anvendes til transport. Derudover kræves også 4-10 gange større areal til at producere olie fra raps i forhold til palmeolie. Dermed kan forskydningen i værste fald forstærke de indirekte arealanvendelseseffekter (Meijaard, et al. 2018).

Nye EU-regler har i første omgang udelukket palmeolie fra at kunne tælle som råvare i opfyldelse af mål om anvendelse af biobrændstoffer til opfyldelse af mål for bæredygtig VE i transport med henvisning til høj ILUC risiko (se mere herom i kapitel 7). Andre råvarer er klassificeret som formodentlig 'sikre'. Det er dog som angivet risikabelt og usikkert lægge dette til grund for antagelser om en markant reduktion af drivhusgasudledninger, især når empiriske studier på området udviser store variationer, og når der er stor usikkerhed om pålideligheden af de forskellige certificeringssystemer der er for råvarerne (Malins 2019; Copenhagen Economics 2019). Af samme grund er EU-kravene meget omdiskuterede og der er lagt op til yderligere revisioner (jf. kapitel 7).

Endelig er der også det forhold at Danmark allerede har et højt forbrug og en særdeles stor import af biomasse til at opfylde den nationale efterspørgsel efter energi. Klimarådet anslår et langsigtet maksimalt gennemsnitligt bæredygtigt bioenergiforbrug på 10 GJ pr indbygger til alle formål, et tal Danmark i dag allerede overskrider med en faktor 3 (Klimarådet 2018). Hvad angår biobrændstoffer til transport vil en øget efterspørgsel givetvis for en stor del skulle tilfredsstilles gennem øget import, jf. at kun ca. 20 % produceres indenlandsk i dag. Med det in mente forekommer det ikke bæredygtigt at satse på at øge forbruget yderligere med henblik på også at forsyne transportsektoren med flydende bioenergi (om *gasformig* bioenergi, se afsnit 6.4),

På grund af disse betydelige usikkerheder ser vi os *ikke for nærværende i stand til* at hævde et konkret dekarboniseringspotentiale ved øget brug af biobrændstoffer på sektorniveau. Der bliver derfor ikke forsøgt opstillet scenarier for et sådant alternativ.

Tiltag. Eftersom der ikke desto mindre må forventes et stort pres for at finde mulige alternativer til diesel på den korte bane og mange aktører sandsynligvis vil se flydende biobrændstoffer som en klar mulighed for den tunge transport, er det stadig aktuelt at forholde sig til mulige tiltag på området, herunder så vidt muligt undgå at der ad den vej vil udløses en *forøgelse* af drivhusgasudledningen fremover sammenlignet med fortsat dieseldrift. Dette vil muligvis kunne understøttes gennem en kombination af krav der fokuserer på CO₂-fortrængning frem for iblanding, kombineret med et loft på den samlede import af biomasse som ikke øges, men tværtimod gradvis sænkes til et niveau der kan anses for globalt bæredygtigt. Dette vender vi tilbage til i kapitel 7.

Electrofuels. Som en forudsætning for at electrofuels kan levere dekarboniseret energi kræves for det første etablering af elektrolyseanlæg som kun eller altovervejende benytter el fra ikke-kulstofbaserede kilder, som fx vind, og som udspalter brint fra vand og ikke fra fossil naturgas, som det sker med langt det meste producerede brint i dag, jf. afsnit 6.2 om HCEV. Der skal altså først etableres et antal elektrolyseanlæg, som i dag kun er under etablering på forsøgsbasis i Danmark. For at fremstille electrofuels der kan benyttes i lastbiler skal man derudover også have kulstof til rådighed således at brint og kulstof i efterfølgende anlæg kan syntetiseres og derefter videretransformeres til et flydende produkt, kaldet Gas-to-Liquid (GTL). Dette findes der teknologier og anlæg til i

udlandet, men også kun under etablering på forsøgsbasis i Danmark. I et sådant system kan der i princippet fremstilles et CO₂-neutralt electrofuel, som kan anvendes som drop-in fuel i eksisterende lastbiler.

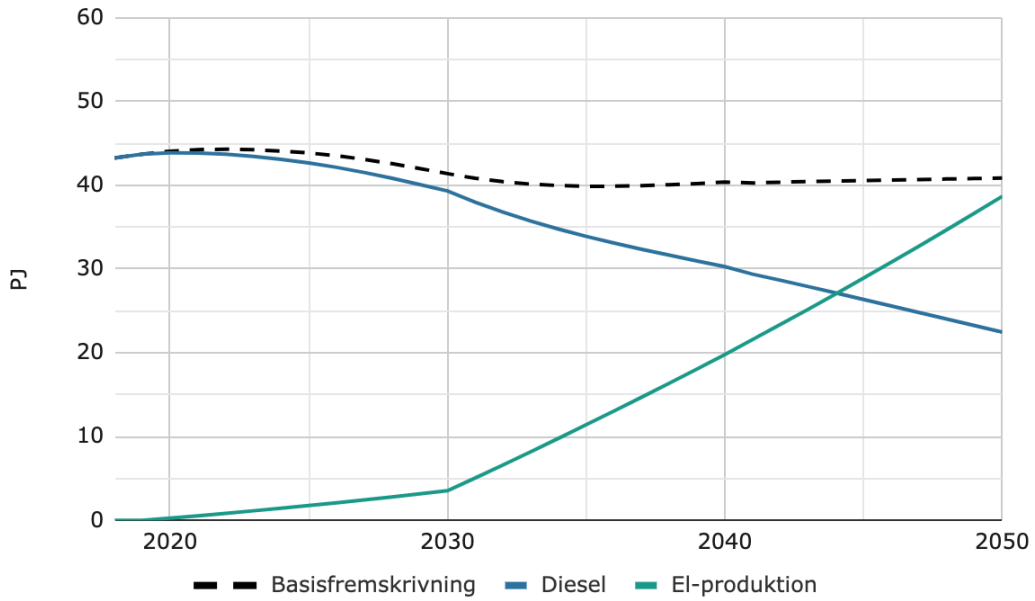
Dekarboniseringspotential betinges dog i praksis af en række forhold. *For det første* afhænger det af hvilken kildesammensætning den elproduktion der leverer strøm til elektrolyseprocessen har. I dag er den gennemsnitlige udledning i Danmark med over 50% vindstrøm på 291 g CO₂ pr forbrugt kwh (2017). Dvs. den er ikke CO₂-neutral men frem mod 2030 og videre går udledningen mod 0 som følge af de energipolitiske beslutninger der er truffet. Dog skal man igen have mente at den tilbageværende biomasseenergi i el-produktionen ikke nødvendigvis kan tælles som 0.

For det andet skal kulstoffet tages fra CO₂ der ellers ville blive udledt til, eller som allerede befinder sig i, atmosfæren. Det kan dreje sig om CO₂-afledning fra opgradering af biogas, røggas fra affaldsforbrænding eller cementproduktion eller det kan være CO₂-som fanges fra atmosfæren ved hjælp af såkaldt Direct Air Capture teknologi (DAC). Den type teknologi eksisterer i småskala anlæg enkelte steder i verden, men langt fra på kommerciel basis og endnu ikke i Danmark.

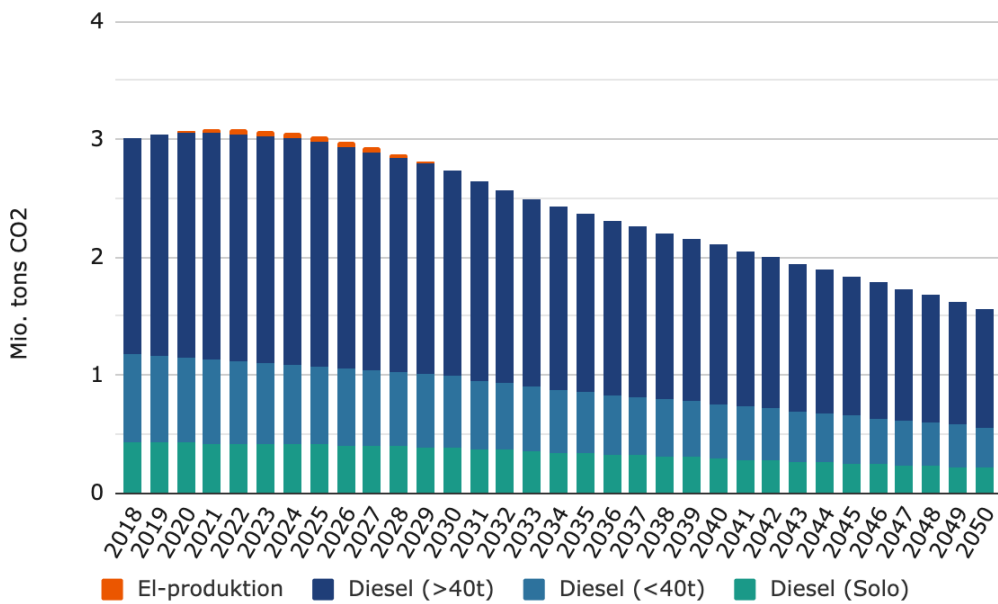
For det tredje afhænger det altså af hvor hurtigt de enkelte produktionstrin kan etableres og skaleres op. Hvis der skal opbygges en dansk energiforsyning baseret på electrofuels, som det er tanken i de visioner som er fremme på området, vil det kræve en række større investeringer. Et bud på det samlede investeringsbehov frem mod storskalaproduktion af electrofuels i 2050 er omfang er 33 mia. DKK. Dertil kommer dog meget større beløb til fuld udbygning af VE-kapacitet (Mathiesen 2020).

Der kan opstilles en lang række mulige konkrete konfigurationer af et samlet integreret energisystem hvor elektrolysebrint på CO₂-neutral strøm og indfanget kulstof indgår centralt, hvor der opereres med forskellige typer input af energiråvarer, transformationer og outputs i form af både electrofuels, gas, el, energilagerkapacitet, varme, sideprodukter mm (jf. fx Skov & Mathiesen 2018; Winther Mortensen et al. 2019). Dette kan give muligheder for en række væsentlige synergier og samdriftsfordele, som kan gøre løsningen mere attraktiv og rentabel, Men jo mere omfattende systemet tænkes at være, jo flere krav og behov vil det samtidig skulle opfylde og jo længere tid kan der gå før det er i stand til at levere dekarboniseret transportbrændstof i større mængder.

Scenarie. Der er opstillet et scenarie med nogle valgte forudsætninger om indfasning af electrofuels til lastbiler med relativt langsom indfasning som til gengæld når et højt niveau til slut. I 2030 anvendes det til 5 % af vejgodstransportens kørte km, i 2040 til 25 %, og endelig i 2050 til 45 %. Som det fremgår af Figur 24 vil energiforbruget vokse kraftigt. Det vil langt overstige energiforbruget fra basissituationen, illustreret ved DCE fremskrivningen, hvilket skyldes det store energitab ved fremstillingen. I Figur 25 ses ændringen i CO₂ udledningen fra den samme situation.



Figur 24 Scenarie hvor energiforbruget fra godstransporten opdelt på forskellige energityper, og hvor op til 45% af dieselforbruget erstattes af e-fuels (hhv. 5% i 2030, 25% i 2040, 45% i 2050).



Figur 25 CO₂ udledningen i scenariet med indfasning af e-fuels i op til 45% af godstransporten.

Der indgår heri hverken energiforbrug til at opsamle CO₂ til produktionen eller de yderligere trin i fremstilling af syntetisk diesel. Altså er der givetvis tale om en undervurdering af både energiforbrug og udledning. Således finder Ridjan (2015) i en større sammenlignende analyse også, at et scenarie for lastbiltransport baseret på electrofuels baseret på elektrolysebrint og CO₂-fangst, vil forbruge over 4 gange så meget energi som et tilsvarende scenarie baseret på ren elektrificering, og 30% mere end et scenarie med brint og FCEV køretøjer.

Da el-produktionen fra slutningen af 2020'erne forventes at være CO₂ neutral vil udledningen af CO₂ reduceres betydeligt i denne tænkte situation, selv om det samlede energiforbrug altså stiger væsentligt.

Økonomi

Der findes i verden i dag et større antal elektrolyseanlæg som fremstiller syntetisk gas, men kun få der fremstiller flydende brændstof som diesel, og stort set ingen der gør det på baggrund af fluktuerende VE-el og -vand som forudsat i ovenstående scenarie. Det er derfor højst usikkert at vurdere omkostningerne. Energinet (2019a) oplyser at prisen på elektrolyseanlæg er stærkt faldende men belyser ikke niveauerne. Det internationale energiagentur IEA mener ikke man pt. kan sige noget sig om hvad fuldskala elektrolyseanlæg vil koste.²⁸ Udover elektrolyseanlæg indgår også andre elementer i kæden for et flydende alternativ til diesel, som også vil påvirke omkostningerne.

Skov & Mathiesen (2018) opsummerer en vifte af scenarier for Danmark med opbygning af mellem 4.000 og 9.000 MW_{el} elektrolysekapacitet frem mod 2050. Det svarer omtrent til mellem 70 og 160 % af vindkapaciteten i dag. Et groft overslag vil indikere at den 'lave' udbygning muligvis netop ville kunne dække electrofuel behovet til lastbiler i det scenarie som der blev opstillet ovenfor, mens den 'høje' udbygning også ville levne noget til andre anvendelser, men resultatet afhænger meget af hvad der forudsættes om effektivitet mv. Skov & Mathiesen (2018) angiver overslag over nogle investeringsbehov frem mod 2050 ved de forskellige angivne udbygninger, men det er svært at udlede noget konkret om merprisen.

Ridjan (2015) og Energinet (2019a) angiver begge at udgiften til strømmen vil være langt den største post ved fremstilling af electrofuels, mens elektrolyseanlæg og andre faste anlæg mv. vil udgøre en mindre del. Men da elforbruget altså også er meget højt, siger dette ikke i sig selv så meget om prisen. Begge de nævnte kilder finder dog, at prisen for electrofuels under de rette omstændigheder ikke *behøver* at blive astronomisk høje sammenlignet med andre løsninger.

Der påpeges også, at Danmark kan have økonomiske fordele af opbygningen af elektrolysekapacitet, uanset over selve forsyningen med brændstoffer. Det drejer sig bl.a. om at brintproduktionen kan fungere som variabelt energilager for strømmen og dermed kan understøtte en elforsyning der i stigende grad baserer sig på vind og andre fluktuerende energikilder uden at forudsætte meget dyr direkte el-lagring. På den baggrund har bl.a. Energinet peget på der burde være gode betingelser for etablering af dansk produktion noget inden 2030 (Energinet 2019a).

Alt i alt er det for usikkert at sige noget præcist om økonomien ved electrofuels til lastbiler, da der er al for mange usikre faktorer involveret. Det høje elforbrug er klart en akilleshæl, men det behøver ikke at gøre løsningen økonomisk helt uinteressant på sigt.

²⁸ [IEA: Vi kender endnu ikke prisen på grøn brint](#)

Tilgængelighed og fleksibilitet

Technology Readiness Level er for flydende biobrændstoffer op til 9, dog kun 4-6 for avancerede biobrændstoffer fremstillet ved fx hydrolyse, pyrolyse o. lign. (IEA 2017b). For Electrofuels vurderes TRL fra 3-8 afhængig af hvilke delproces der er fokus på, fx er TRL lav på CO-fangst fra atmosfæren (Skov & Mathiesen 2018). **Udbud/diversitet** af køretøjer vil for biobrændstoffer delvis afhænge af hvilken type brændstof og blandingsforhold, som vælges. HVO vil stort set alle diesellastbiler kunne køre på og for Electrofuels som drop-in fuel kan gælde noget lignende. Der imødeses ikke umiddelbart nogen nye bindinger på **køretøjers tilgængelighed** og anvendelighed da tankning vil være tilsvarende dagens situation. **Energiforsynings tilgængelighed** vil ideelt set også svare til dagens situation idet der forsættes med tankning af flydende brændstof, mens den konkrete tilgængelighed dog vil være betinget af råvareforsyning og produktionskapacitet mv. Situationen kan være lidt anderledes ved fx syntetiske dieselalternativer som DME, som er gasformig ved normal temperatur. Da e-fuels skal produceres af VE vil der være behov for lager/buffer kapacitet i tilfælde af perioder med lave eller ingen ydelse. Der imødeses ikke umiddelbart større udfordringer med **vedligeholdelse og reservedele**. Der vil kunne komme begrænsninger på tilgængelighed, hvis forbrændingsteknologi til fx generelt udgrænses fra tætte byområder.

Samfundshensyn

Miljø og sikkerhed. Der kan være en række betydelige miljø- og ressourcemæssige udfordringer ved markant øget udnyttelse af bioenergi og opskalering af biobrændstofterspørgslen, som bl.a. kan påvirke biodiversiteten, jordens bonitet, samt kemikalie- og gødningsanvendelse. Påvirkningerne kan reduceres hvis der altovervejende produceres på restprodukter, afhængig af disse restprodukters nuværende anvendelse. Miljømæssige effekter af e-fuels vil kunne være positive som følge af det energimix der i fremtiden vil anvendes til fremstilling af brint mv, men omvendt taler det højere energiforbrug for et øget ressourcetræk. Der imødeses ikke særlige **sikkerhedsproblemer**.

Forsyningsikkerheden kan ved biobrændstoffer til en vis grad påvirkes af variationer i klima og høst og konkurrence med alternative anvendelser af råstoffer samt dertil af bæredygtighedskrav som vil kunne begrænse brugen af visse råvarer. E-fuel bremses af tilgængelighed af CO₂-neutral el og produktionskapacitet, som dog kan udbygges, men der kan opstå konkurrence om anvendelse af elektrolysebrint til forskellige formål. Der ligger formentlig visse muligheder for ny udvikling af vækst og arbejdspladser i etablering af en bioøkonomi. Der er også nogle der ser store potentialer for erhvervsudvikling omkring electrofuel, hvor Danmark måske kan blive internationalt førende på grund af gode forudsætninger qua et stort VE-potentiale og et allerede delvis integreret energisystem (se fx Skov & Mathiesen 2018).

Sammenfatning på flydende alternativer

Det er teknisk muligt at erstatte fossil diesel med biologisk baserede eller syntetiske alternativer og dermed i princippet opretholde en godstransportsektor på flydende brændstoffer.

Det vurderes også at det vil være praktisk muligt at forsyne voksende dele af godstransporten med *dekarboniserede* flydende alternativer gennem udbygning af elektrolysekapacitet og anlæg til fremstilling af syntetisk diesel, efterhånden som teknologien modnes yderligere.

En sådan løsningsvej vil være godt i tråd med Danmarks satsning på at udvikle sig til et VE-baseret samfund, med stort indslag af fluktuerende energi som vind og sol, og dermed følgende behov for energilagring fx i form af brint. Der er dog ikke udsigt til at der kan leves væsentlige bidrag til dekarbonisering i perioden frem mod 2030. Dette efterlader et stort behov for at eftersøge andre alternativer på den kort bane herunder især biobrændstoffer.

Der er imidlertid ikke i denne analyse fundet grundlag for at opstille konkrete scenarier for væsentlig dekarbonisering ved øget anvendelse af biobrændstoffer. Dette skal ses i lyset af den betydelige usikkerhed der om mulighederne for at sikre klimabæredygtig forsyning med bioenergi via international samhandel, og den risiko der er for at øget efterspørgsel efter biomasse blot presser produktionen op og fører til øgede indirekte udledninger andre steder, uanset om transportsektoren skulle være i stand til at sikre sig forsyning med de 'bedste' råvarer. Markeder for biomasse er forbundne og komplekse.

Da der under alle omstændigheder givetvis vil opstå et pres for øget anvendelse af bioenergi til transport som led i en søgen efter klimapolitiske 'snuptagsløsninger', er det vigtigt at sikre, at evt. øget anvendelse sker under betingelser som understøtter dekarbonisering; herunder,

- at der så vidt muligt alene anvendes avancerede biobrændstoffer som fortrænger CO₂ uden at forårsage øgede indirekte udledninger gennem forskydninger i arealanvendelsen
- at der ikke sker en *samlet* udvidelse af import og forbrug af biomasse til energiformål som følge af øget brug af bioenergi til transport, dvs. at andre former for bioenergianvendelse reduceres tilsvarende
- er der planlægges for en overgang hvor flydende biobrændstoffer hurtigst muligt erstattes af mere bæredygtige løsninger, det være sig e-fuels eller andet

En løsning med e-fuels forudsætter til gengæld betydelige investeringer i yderligere nye vindkapacitet (havmøller) og dertil hørende elektrolyseanlæg til at producere brint og efterfølgende bringe den på flydende form. Investeringsbehovet vil være massivt og prisen vil formentlig være høj, uden at dette dog kan angives nærmere.

Det er også væsentligt at bemærke, at det ikke nødvendigvis kan forudsættes at kulstoffet til e-fuels udelukkende vil kunne baseres på CO₂ der ellers ville være blevet udledt eller som opsamles fra den atmosfæriske luft. Sidstnævnte teknologi er stadig under tidlig udvikling (TRL helt ned til 3, jf. Skov & Mathiesen 2018). Der vil sandsynligvis i en periode skulle anvendes biomassebaseret input, og dermed vil man kunne møde nogle af de samme udfordringer som gør sig gældende for den direkte biomasseudnyttelse (og i mindre grad biomassebaseret elektrificering).

Endelig kan det ikke uden videre forudsættes at hele den danske produktion af evt. e-fuels vil kunne gå til den tunge vejtransport, i lyset af tilsvarende eller endda muligvis

større behov for alternativer i andre transportgrene. Det er således muligt at tung vejtransport vil blive henvist til andre løsninger, som ikke er mulige for fx luft- og søfart

Resultat er, at der er meget stor usikkerhed omkring hvor meget der vil kunne nås gennem en løsningsvej for vejgodstransport baseret udelukkende på flydende brændstoffer. Perspektiverne er imidlertid så interessante og presserende at der bør igangsættes en indsats området. Blandt de tiltag som kan være aktuelle er,

- Støtte til forskning i og udvikling af elektrolyseteknologi samt teknologier til CO₂ fangst, herunder til dansk forsknings deltagelse i EU-projekter
- Etablering af incitament strukturer for potentielle investorer, mv mhp. at udvikle markeder for electrofuels
- Revision af strategier og regler for alternative drivmidler mhp. at afvikle brug af 1. generations biomasse, og afskaffe bindinger til brug af biomasseenergi, til fordel for strategier for maksimal samlet drivhusgasfortrængning uden samlet forøgelse af biomasseimporten

Tabel 6 Vurdering efter kriterier – FLYDENDE – BIOBRÆNDSTOFFER OG ELECTROFUELS

1. Dekarboniseringspotentiale	
Reduktion af CO2 på mikroniveau	Bio: CO2-udledningen ved selve forbrændingen er omtrent den samme som for fossile brændstoffer, men afhængig af omstændighederne kan den reelle udledning variere fra 0 til faktor 2-3 gange diesel EF: Afhænger af el-forsyning, kulstofkilde mv. Kan være ned til 0
Fuld dekarbonisering på længere sigt	Bio: Ikke fundet muligt at estimere dekarboniseringspotentiale på grund af komplekse produktionsveje og markedsinteraktioner EF: Mulighed for tilnærmelsesvis fuld dekarbonisering. Afhænger af el-forsyning, kulstofkilde. økonomi mv
Markant og hurtig reduktion ift. 2030 mål	Bio: Hurtig indfasning til et vist niveau er mulig men afhænger af verdensmarked og samlet regulering EF: Langsom indfasning. Ingen effekt af betydning sandsynlig ift. 2030 mål
2. Økonomi	
Energieffektivitet i hele kæden	Bio: varierer meget med råvare, proces mm EF: lav, formentlig mellem 10 og 20%
TCO på virksomhedsniveau	Bio. Varierer: + 10 – 30% EF: Ukendt, formentlig høj; på sigt muligvis faldende, afhænger af mange faktorer
Infrastrukturinvesteringer	Bio: Avancerede flydende biobrændsler vil kræve teknologivalg og investeringer i produktionskapacitet EF: Vil kræve betydelige investeringer
Rebound effekt	Ikke specielt aktuelt
3. Tilgængelighed og fleksibilitet	
Technology Readiness Level	Bio: 9 hhv. (4-6) EF: 3-9 afhængig af delproces
Udbud/diversitet af køretøjer	Bio: afhænger af blandingsforhold og fuel; for HVO: 100% EF: kan være op til 100% ved drop-in fuels
Køretøjers tilgængelighed og anvendelighed	Ingen umiddelbare begrænsninger
Energiforsyningens tilgængelighed	Bio: er tilgængelig på marked, fremtidig tilgængelighed er usikker EF: vil være delvis afhængig af VE-produktion; behov for buffer
Vedligeholdelse og reservedele	Næppe specielt problematisk
Øget/mindsket adgang til ruter/områder	Kan komme restriktioner på forbrændingsteknologi i byer
4. Samfundshensyn	
Miljø og sikkerhed	Bio: kan belaste biodiversitet. Olieforurening kan reduceres, e-fuels kan betyde mindsket luftforurening
Forsyningsikkerhed	Bio: Kan begrænses af klima og bæredygtighedskrav EF: Kan begrænses af alternativ anvendelse, elektrolysekapacitet
Samfundsrisici	Bio: Afhængighed af bioøkonomi kan både være fordel og ulempe EF: Næppe specielt problematisk
Vækst og arbejdspladser	Bio: Nogle perspektiver ift. omstilling af landbrug mm EF: Muligvis store perspektiver qua unikke forudsætninger

6.4 Gasformige løsninger – med hovedvægt på flydende biogas

Hvad går indsatsen ud på?

Gasformige brændstoffer kan defineres som drivmidler, der er på gasform ved atmosfærisk tryk. Anvendelse af gas som direkte transportbrændstof minder teknisk set meget om almindelig forbrændingsmotorteknologi. Gas kræver dog dertil indrettede motorer samt tanke til at komprimeret eller nedkølet gas på køretøjet. Dertil kommer anlæg til at distribuere, komprimere/køle og opbevare gassen så den er tilgængelig som transportbrændstof.

Gas udgør allerede i dag en større eller mindre niche i mange landes transportsystemer og flere steder satses der på udbygning. I transportsammenhæng anvendes både petroleumsgas (LPG), naturgas og biogas, samt blandinger af disse. Hvor naturgas og LPG er fossil energi ligesom diesel, og derfor har begrænset potentiale for dekarbonisering, er biogas et alternativt brændstof som under visse omstændigheder kan levere transportenergi med lav eller endog negativ netto-udledning af drivhusgasser. En løsningsvej for markant dekarbonisering via gas kunne derfor gå ud på at udbygge biogasforsyningen og erstatte dieselskøretøjer og -teknologi med tilsvarende på biogas. Det reelle dekarboniseringspotentiale ved biogas og anden gas afhænger dog stærkt af en række konkrete faktorer, som dette afsnit vil søge at belyse nærmere.

Hovedfokus i afsnittet er på biogas der opgraderes til biomethan og bringes på flydende form, såkaldt Liquified Biomethane (LBM). Dette skyldes at potentialet for dekarbonisering af vejgodstransport umiddelbart synes størst for dette gasalternativ, og der aktuelt er stor aktivitet for at promovere netop denne mulighed. Naturgas og komprimeret biogas berøres dog også, bl.a. fordi det undertiden fremføres at disse alternativer kan indgå som elementer i en klimastrategi for tung transport på gas (fx Klimarådet 2017).

Hvilke dele af godstransport er indsatsen mulig for?

Gasdrevne køretøjer kan i princippet løse de samme typer transportopgaver som dieseldrevne. Der kan endda være sammenhænge hvor den reduktion i partikeludslip og støj som gasforbrænding medfører kan fordele ift. diesel fx ved visse interne og lokale transportopgaver. Til gengæld er gassens energitæthed ringere end diesel. Derfor skal der alt andet lige bruges mere råvare og mere plads på køretøjerne.

Det er vigtigt at skelne mellem to hovedformer som gas til transport kan distribueres og lagres i, hhv. komprimeret (Compressed) og flydende (Liquified). De to former for gas kan understøtte forskellige transportopgaver.

Komprimeret gas komprimeres til omkring 200 bar for at kunne fyldes på tanke som et køretøj kan medtage. Imidlertid fylder gassen og tankene meget mere end tilsvarende mængde dieselenergi og rækkevidden er typisk begrænset til maks. 200-250 km. I den tunge transport kan komprimeret gas derfor mest anvendes til fx busser, skraldebiler og andre lokale køretøjer, hvor kravene til nyttelast og rækkevidde er begrænset. Der er tale om en rent fysisk barriere.

Flydende gas nedkøles til ca. -160° , og der kan dermed opnås omkring 3 gange så høj tæthed som ved kompression. Den flydende gas kan dermed medtages på store lastbiler med mindre tab af nyttelast og mulighed for lange distancer uden at skulle tanke ofte. Dog er energitætheden for flydende gas stadig noget lavere end for diesel.

Både naturgas og biogas kan optræde og anvendes i begge former og kan i princippet blandes og distribueres sammen. Dog skal biogassen først opgraderes, både for at kunne anvendes som effektivt transportbrændstof og for at kunne blandes med naturgas i naturgasnettet. Dvs. at biogassens naturlige indhold af CO_2 (ca. $1/3$) skal fjernes så kun metanen er tilbage. Herefter benævnes den typisk biomethan eller bionaturgas.

Naturgas i komprimeret form kaldes CNG (Compressed Natural Gas) og biogas CBG (Compressed Bio Gas). I flydende form hedder naturgas LNG (Liquified Natural Gas). For flydende biogas benyttes gerne betegnelsen LBM (Liquified Bio Methane) for understrege at der er tale om opgraderet gas (= metan).

Der er en række praktiske og økonomiske forhold som i dag umiddelbart begrænser anvendelsen af alle de nævnte typer gas som transportbrændstof.

Gasressourcer er i ikke sig selv den største umiddelbare begrænsning. *Naturgas* er der indtil videre relativt store mængder af. I Danmark produceres 182 PJ og forbruges 125 PJ om året, dog med nedadgående tendens. De 125 PJ er ca. 3 gange så meget som det samlede energiforbrug til diesellastbiler i Danmark. *Biogas* produceres der væsentlig mindre af, dog med stærkt stigende tendens. I 2018 var mængden 13,4 PJ hvoraf ca. 7 PJ opgraderes, hvilket teoretisk svarer til ca. 16 % af dagens energiforbrug til lastbiler.

Næsten intet af gassen anvendes dog til transport i dag. Både naturgas og biogas har indtil videre haft andre og billigere anvendelser, og køretøjer og infrastruktur mangler.

Lastbiler. Der findes i dag højst et par hundrede lastbiler i Danmark der kan køre på gas i form af CNG (DCE 2019). Der er dog flere af de store producenter som nu tilbyder og markedsfører gaslastbiler, også til det tungere segment jf. Tabel 7.

Mærke	Totalvægt	Drivmiddel	Rækkevidde km	Status	Bemærkning
Volvo FH og FM LNG	Op til 64	LNG og diesel	1000	Er i handel	Trækker og langchassis
Iveco Stralis NP	45	CNG/LNG	1600	Er i handel	Trækker og langchassis
Scania R Serie	Op til 44	CNG/LNG	1000	Er i handel	Trækker og langchassis
Fiat Ducato Natural Power	3,5/4,25	CNG og Benzin	400	Er i handel	
Iveco Daily	3,5-7,2	CNG og Benzin	200-350	Er i handel	
Iveco Eurocargo	12t-16t	CNG	280-380	Er i handel	
Mercedes-Benz Econic NGT	18-26	CNG		Er i handel	Distribution, affaldskørsel
Scania P280LA4x2	18	CNG	275	Er i handel	Distribution, affaldskørsel
Scania P280LB4x2	18	CNG	325	Er i handel	Distribution, affaldskørsel
Scania P280LB6x2	26	CNG	275	Er i handel	Distribution, affaldskørsel
Scania L-Serie	18-26	CNG		Er i handel	Distribution, affaldskørsel
Volvo FE CNG	19-26	CNG	250-400	Er i handel	Distribution, affaldskørsel

Tabel 7 Øjeblikksbillede af lastbiler til gas på det danske marked pr juni 2019. Kilde: <https://nofoss.dk>

Så vidt vides er den første lastbil i Danmark som kan køre på flydende gas (LNG/LBM) dog først anskaffet og sat i forsøgsdrift i oktober 2019.²⁹

²⁹ Jf. pressenyhed <https://www.postnord.dk/om-os/presskontakt/pressenyheder/postnord-teser-lastbiler-pa-biogas>

Infrastruktur. Der i dag 18 gastankstationer i Danmark, hvor der kan tankes CNG, heraf flere til busflåder (Hviid et al. 2018). Da næsten alle stationer er tilsluttet naturgasnettet kan der også købes biogas (CBG) via certifikatsystemet³⁰. Der er derimod ingen stationer til tankning af flydende gas (LNG/LBM) for lastbiler. Der findes et enkelt anlæg til tankning af LNG til en færge i Hirtshals, men gassen produceres ikke i Danmark.

Muligheden for at bruge komprimeret biogas til tung transport er altså til stede men begrænset i dag, mens mulighederne for flydende gas som LBM er stort set ikke-eksisterende i Danmark. Skal brugen af gas udvides markant kræves bl.a. investeringer i infrastruktur og køretøjer. Dette vender vi tilbage til i det følgende afsnit.

Dekarboniseringspotentiale

Både naturgas og biogas kan i princippet levere transportenergi med lavere direkte CO₂-udledning pr. energienhed end diesel på grund af gassens lavere kulstofindhold. Gasmotorer har dog samtidig typisk lavere ydelse, og dertil kommer udledninger i hele gassens forsyningskæde ved fremstilling, distribution, lagring og brug, som adskiller sig fra diesel. Disse elementer indvirker stærkt på det samlede klimamæssige potentiale.

Naturgas. Det er omdiskuteret hvorvidt der er et CO₂ reduktionspotentiale ved CNG og LNG. I 2016 målte Teknologisk Institut at energiforbruget til lastbiler på gas er op mod 19 % højere end diesel, dog med forventning om en vis udligning over tid. Derfor sås intet relevant dekarboniseringspotentiale (Winther & Jeppesen 2016). Tilsvarende fandt den amerikanske Miljøstyrelse i 2016 en 5-15% højere energiforbrug ved CNG i køretøjer (US EPA et al. 2016). Aktuelt angiver nogle lastbilproducenter dog at energiforbruget fra deres nye gasbiler er på *samme* niveau som tilsvarende dieselmodeller. Dermed skulle brændstoffets lavere CO₂-omsætning angiveligt kunne slå igennem som en CO₂-reduktion på op mod 20%. Den Europæiske miljøorganisation Transport & Environment refererer omvendt til nyere målinger som viser en variation, hvor de fleste gaslastbiler i praksis samlet udleder mere CO₂ pr km end dieselmodellerne (T&E 2018).

Sammenligninger bør omfatte den samlede udledning på såkaldt 'well-to-wheel' (W-t-W) basis, altså hele forsyningskæden fra udvinding over tankning til kørslen.

I to W-t-W studier refereret af Le Fevre (2019) gengives en samlet CO₂-besparelse ved gas på op mod 15%, dog med store variationer. I en anden mere dybtgående gennemgang af en række W-t-W studier konkluderer Stettler et al. (2019) derimod at naturgaslastbilerne samlet set ikke kan forventes at reducere CO₂ ift. diesel. Dels findes stadig et noget højere energiforbrug i praksis med en typisk værdi på 10 %. Dels forekommer der *methan lækager* flere steder i processen. Methan er en væsentlig kraftigere drivhusgas end CO₂ (GWP 28-36 x CO₂ over 100 år). Selv små tab kan derfor have væsentlig betydning. Omfanget er dog dårligt belyst. Stettler et al. anvender en nominal lækage rate på 1,6 % men noterer store variationer. Flydende gas kan være særlig problematisk

³⁰ Afsættes opgraderet biogas til naturgas til naturgasnettet der erhverves et certifikat, som kan overdrages og annulleres, når en gaskøber efterspørger en tilsvarende mængde biogas. Energinet administrerer ordningen mhp. at sikre balancen.

her på grund af brug af behovet for at ventilere tanke når temperaturen stiger. Det kan bidrage væsentligt til at forrykke balancen til ugunst for LNG/LBM.

Samlet set synes der ikke at være sikkerhed for at almindelig fossil naturgas (CNG; LNG) kan levere nogen (væsentlig) reduktion i drivhusgasser i forhold til diesel, måske i praksis tværtimod. Det kan derfor ikke anbefales at inddrage naturgas som en direkte løsningsvej til dekarbonisering. Noget andet er hvordan iblanding af biogas i naturgasforsyningen kan spille en rolle, hvilket vi vender tilbage til.

Biogas som udvindes af gødning fra landbruget samt visse rest- og affaldsprodukter kan dels medvirke til at mindske drivhusgasudledningen fra den konventionelle gødningshåndtering og dels bidrage til at fortrænge brug af fossile brændsler (Energistyrelsen 2018). Dermed kan den under visse nærmere forudsætninger bidrage til at reducere de samlede drivhusgasemissioner fra transport markant, og i teorien endda levere negative udledninger. Hvis biogassen kan produceres i tilpas mængder under sådanne forudsætninger og herefter omdannes til hhv. CBG og LBM i relevante proportioner vil den kunne bidrage markant til dekarbonisering af både lettere og tungere vejgodstransport.

Tabel 8 sammenfatter kort hvordan potentialerne generelt tegner sig.

CNG Komprimeret naturgas	CBG Komprimeret biogas/biomethan
Uden væsentligt potentiale	Betinget potentiale for lokal transport
LNG Flydende naturgas	LBM Flydende biomethan
Uden væsentligt potentiale	Betinget potentiale for både lokale og lange transporter

Tabel 8 Dekarboniseringsperspektiver for gas til tung transport.

Den aktuelle interesse for gassen som mulig løsning i transportens herhjemme skal bl.a. ses i lyset af et landbrug med stort gødningsoverskud, en stærkt voksende biogasproduktion som følge af gunstige nationale støtteordninger, samt udvikling i teknologi, marked og politik for gasanvendelse til transport i en række andre europæiske lande. I udlandet (bortset fra Sverige og Italien) drejer det sig dog overvejende om fokus på naturgas (LNG), der som nævnt ikke hjælper i et dekarboniseringsperspektiv.

Dertil spiller EU-regler for brug af vedvarende energi i transportsektoren også en vigtig rolle (Energistyrelsen 2018). I EU-reglerne om vedvarende energi og disses implementering i Danmark angives biogas *fremstillet af gylle og fast husdyrgødning* således som 'avanceret' vedvarende energi, uden negative arealanvendelseskonsekvenser, med høj CO₂-fortrængning og dobbelttælling (jf. bl.a. Bek nr. 1044 af 07/09/2017; nærmere herom i kapitel 7). Det peger umiddelbart på biogas som en attraktiv VE-løsning.

Det er dog vigtigt at være opmærksom på at det ikke er rentabelt at fremstille biogas alene af gylle og gødning, som har et meget lavt tørstof- og energiindhold. Der kræves

betydelig input af andre råvarer som ikke nødvendigvis kan leve op til de samme betingelser som beregningsmæssigt forudsat for gylle, hvilket kan ændre billedet markant.³¹

Det er derfor vigtigt at se nærmere på en række kritiske elementer i hele biogassens produktionskæde ud fra et livscyklusperspektiv (LCA), for at kunne afdække et mere konkret dekarboniseringspotentiale (Murphy 2017; Hijazi et al. 2016; EA og SDU 2016; Vega & Chrintz, 2015; de Vries et al. 2012).

De forskellige studier peger især på tre elementer som vigtige for hvorvidt biogassens positive teoretiske klimapotentialer kan indfries og hvor stort det praktiske potentiale vil være. Det drejer sig om *råvarebasen* for biogassen, *substitutionseffekter*, og *methanlækager* (udover hvad der gælder ved naturgas jf. ovenfor). Dertil kommer *økonomiske faktorer*.

Råvarebasen Der er foretaget forskellige opgørelser af det teoretiske potentiale for biogas i Danmark fra elementer som især husdyrgødning, inklusive gylle og dybstrøelse, halm og andre planterester, organisk affald fra industri og husholdninger, energi-afgrøder samt en række andre komponenter som i princippet vil kunne nyttiggøres. Det mest grundige studie er Birkmose et al. (2013) som nåede frem til et teoretisk potentiale på mellem 51 og 73 PJ biogas i 2020, uden at inddrage elementer som akvatisk biomasse eller methanisering med brint fra VE., der anses for økonomisk urealistiske. De største elementer er gylle og halm med potentialer hhv. 14 PJ og fra 14-30 PJ. Både dette og andre studier påpeger dog en lang række væsentlige usikkerheder og begrænsninger på at potentialet kan udnyttes fuldt ud i praksis. Herunder begrænsninger på tilgængelighed, behov for at balancere råvarerene, behov for at bevare jordens kulstofpulje, samt teknologiske og økonomiske udfordringer med at nyttiggøre fx større mængder halm. Til gengæld sker der også en løbende udvikling i teknologi og råvareudnyttelse som kan bidrage til at øge det faktiske potentiale (jf. fx Hjort-Gregersen et al. 2017). Der anslås i Energistyrelsen (2018) et justeret teoretisk potentiale på op til 40-50 PJ biogas, i en ikke nærmere bestemt fremtid.

Biogasproduktionen er under kraftig udvidelse i disse år, men ifølge basisfremskrivningen (Energistylens 2019) forventes niveauet at stagnere efter en fordobling til 27 PJ fra 2022, som konsekvens af at den offentlige støtte flader ud, da subsidierne er den vigtigste forudsætning for den udbygning der sker (Energistyrelsen 2018). Et andet forhold der kan have betydning for potentialets reelle omfang er at høsten varierer fra år til år. Ifølge Danmarks Statistik faldt fx den mængde halm der ikke blev bjerget og dermed (delvis) er til rådighed for bl.a. biogasproduktion med hele 75% i 2018 sammenlignet med årene før.³² Endelig vil fremtidige ændringer på fødevaremarkedet (fx reduceret efterspørgsel efter animalske produkter) kunne påvirke råvarepotentialet, ligesom forskellige konkurrerende anvendelser af dette kan opstå (fx til byggematerialer og plast).

³¹ I et typisk dansk biogasanlæg indgår fx 74% gylle målt som våd vægt, men tørstofindholdet er under 10 % og gyllen bidrager kun med omkring 24 % af methan-outputtet (Energistyrelsen 2018)

³² Halmdudbytte og halmanvendelse efter enhed, afgrøde, område, anvendelse og tid. HALM 1 2019, Statistikbanken.dk <https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/De-fine.asp?MainTable=HALM1&PLanguage=0&PXSid=0&wsid=cftree>

Substitutionseffekter handler således om at en del af råvarebasen kan have eller allerede har alternative anvendelser. Det gælder hvad angår arealanvendelse, herunder fx i det omfang der anvendes råvarer som konkurrerer med fødevarer, der i givet fald skal produceres på andre arealer, jf. diskussionen om land-use effekter og ILUC i afsnit 6.3. For den meget lille mængde biogas der anvendes direkte som transportbrændstof (dvs. uden om naturgasnettet) kræves, at der ikke anvendes fødevarer som råvare, for at der kan opnås støtte. For den biogas der opgraderes med støtte er der indført en begrænsning på brug af såkaldte energiafgrøder (fx majs), som dog stadig tillades med 12% (som vægt). Heri medregnes i øvrigt ikke afgrøder som kasseres. De fleste studier viser en stor variation i den reelle drivhusgasbesparelse, afhængig af råvarebasen. Biogas på ren husdyrgødning/gylle opnår typisk den største reduktion, der kan overstige besparelsen ved den fortrængte fossile energi (> 100% GHG-reduktion). Dette er som nævnt ikke generelt gældende (Energistyrelsen 2018; Vega & Chrintz 2015). Kombination af gylle og halm og visse andre råvarer kan dog også udvise meget gunstige resultater.

Det er imidlertid også vigtigt hvorfra råvaren tages, dvs. om den allerede har en alternativ anvendelse fx til anden energifremstilling. Er dette tilfældet vil der være tale om substitution hvor en anden energikilde må træde i stedet. Dette kan forrykke resultaterne markant (Vega & Chrintz 2015). For organisk industriaffald, gælder fx at potentialerne allerede stort set er inddraget (Birkmose et al. 2013) og der derfor ikke kan ydes mere biogas uden afledte effekter. Husholdningsaffald anvendes for det meste til produktion af varme og el, og omkring 60% af halmen anvendes enten til foder i landbruget eller produktion af varme og el. Tages en ressource fra fremstilling af el og varme påvirkes resultatet meget af om der forudsættes substitution med kul, naturgas eller vind (EA & SDU 2016). I et scenarie hvor det antages at kul til el erstatter organisk industriaffald som trækkes ind i biogasproduktionen ses fx en netto-*forøgelse* af drivhusgasemissionen sammenlignet med case uden biogas, på trods af de reduktioner som opnås gennem udnyttelse af husdyrgødningen (Vega & Chrintz 2015). Omvendt kan der som nævnt opnås reduktioner hvis der alene anvendes substrater som ikke har anden anvendelse, altså egentlige affaldsstoffer. Senere i afsnittet opstilles et skønnet scenarie.

Methan-tab. Ud over de lækager der er i fokus omkring forsyning og brug af gas i køretøjer jf. afsnittet om naturgas ovenfor forekommer også tab af methan ved fremstilling og opgradering af biogas. Dette kan også forrykke balancen i vurdering af drivhusgasreduktionspotentialer væsentligt. Der er betydelig usikkerhed om de faktiske lækager og stor variation i resultater af målinger. I to nyere danske studier er fundet hhv. gennemsnitlig tab fra ni anlæg på 4,3 % og i det andet en variation på mellem 2,4% og 4,5 % over seks anlæg (EA & SDU 2016). Enkelte anlæg og målinger ligger dog både væsentlig højere og lavere. Der er ingen krav om måling af methanlækage fra biogasanlæg. Biogasbranchen administrerer en frivillig ordning, hvor resultaterne angiveligt viser lækager som nærmer sig det mål på maks. 1 % som branchen har opstillet³³.

I en række studier vises beregningsmæssigt gradvis faldende klimagevinst ved antagelser om stigende lækage. Når der antages lækage på 1 % eller derunder er der markant

³³ <https://biogasbranchen.dk/nyheder/2019/frivilligt-m%C3%A5leprogram-for-metantab>

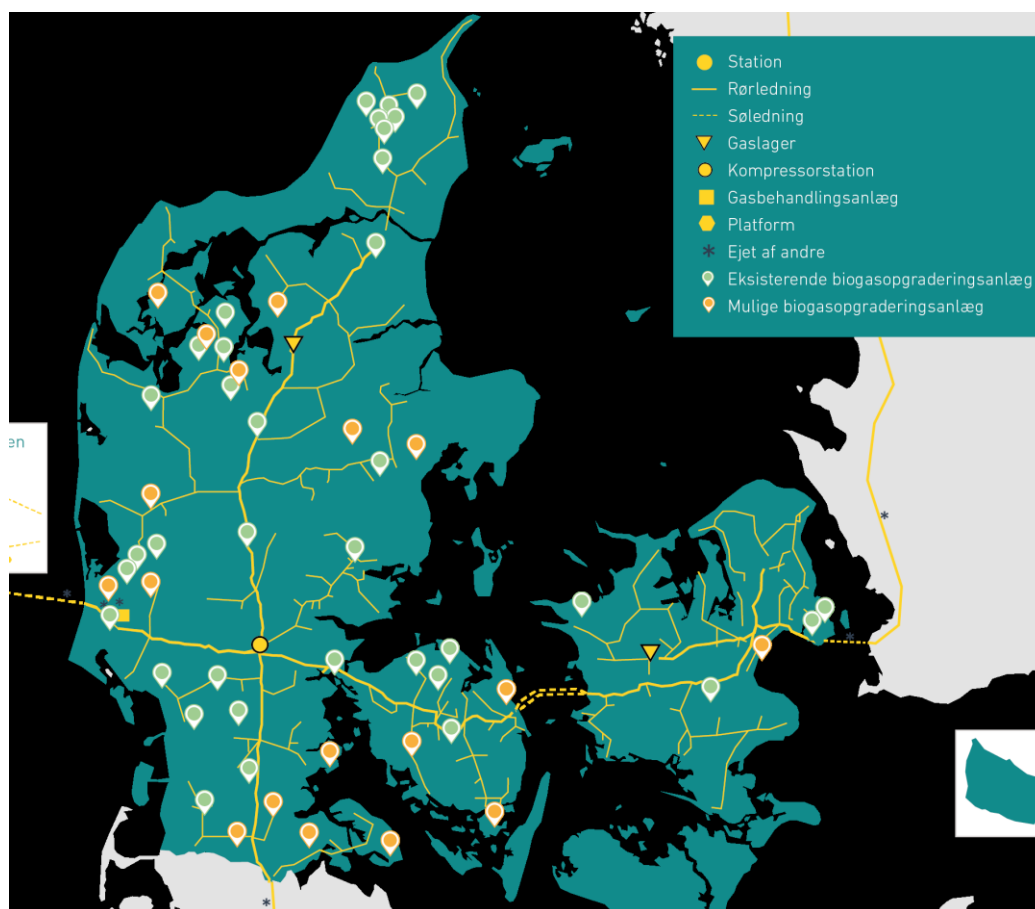
klimagevinst ved stort set alle undersøgte råvarekæder og teknologier i biogasfremstilling hos fx Majer et al. (2016). Men når der antages højere lækageniveauer begynder fordelene at blive 'spist'. Hvor meget og hvor hurtigt afhænger af råvarebase, produktets alternative anvendelser, og andre forudsætninger. Hos fx Murphy et al. (2017) vises at flere og flere kombinationer vil være i fare for at falde dårligt ud i forhold til et referencealternativ med fossil energi når lækagen øges fra 0 op mod 7 %. I det danske studie af EA & SDU (2016) gennemregnes et biogasscenarie med hhv. 1 % og 4 % lækage. I scenariet med 4 % sættes stort set hele drivhusgas besparelsen fra reduceret udledning fra husdyrgødning over styr. Vega og Chrintz (2015) belyser i en livscyklusanalyse også betydningen af methanlækage og finder at lækagen skal holdes på under 1 % for at der kan opnås drivhusgasbesparelse i scenariet hvor fødevarerindustriaffald trækkes ind til biogasproduktion. I modsætning til dette er et scenarie hvor husdyrgødning alene suppleres med halm, som ikke har anden anvendelse, meget mere robust over for lækageproblemer; selv ved antagelse om 10 % lækage reducerer scenariet udledningerne markant (22 %) i forhold til en reference med almindelig gyllehåndtering uden biogas. Flere kilder anbefaler dog kraftigt at sikre mod lækager over 1 %. For anvendelser af gas til transport skal man huske at der som nævnt også vil være lækager ved distribution, opbevaring og kørsel på gas, herunder risiko for afdampning når nedkølet LBG koger af bilens tank hvis den henstår ubrugt (ECE-TRANS 2013).

Økonomi. Udvikling af biogaspotentialer er stærkt afhængig af de økonomiske rammebetingelser. Biogasproduktion kan udnytte affaldsstoffer som har ringe værdi og kan samtidig være med til at værdiforøge gødningsanvendelsen i landbruget, men der er samtidig relativt store udgifter forbundet med indsamling og behandling af de store fysiske volumener med ringe energiindhold og diverse urenheder mm. Derfor drives udbygningen af produktion og opgradering i høj grad af offentlige støttemuligheder da yderligere biogasproduktion langt fra er rentabelt i sig selv. Ud over den danske statslige støtte giver også svensk fritagelse for energiforbrug på biogas fx aktuelle incitamenter til forøgelse af biogasproduktionen, således at mindst 25 % af den danske biogasproduktion p.t. eksporteres til Sverige.³⁴ Der er stor usikkerhed om hvor høj merprisen og dermed støttebehovet samlet set vil være for at sikre udbygning af en biogasproduktion som kan understøtte en væsentlig del af den tunge godstransport.

For **transportørerne** vil der umiddelbart være tale om en merudgift til både køretøjer og biogas. Højere pris på køretøjer bunder bl.a. i et lavt produktionsvolumen og prisen kan dermed forventes at falde i en situation hvor gas udbredes som brændstof. Prisen på biogas er som nævnt meget afhængig af beskatning og tilskud mm (se også nærmere herom i kapitel 7). I et scenarie for Tyskland, som vi vender tilbage til i afsnit 6.5 forudser Kühnel et al. (2018) at prisen på gasbiler falder og at TCO'en for lastbiler på flydende naturgas (LNG) vil overhale diesel på TCO inden 2025. Biogas, som vil være væsentlig dyrere end CNG, er ikke undersøgt i studiet, men vil dog også drage fordel af den generelle billiggørelse af biler og infrastruktur som udbygning med CNG kan muliggøre.

³⁴ Kan beregnes ud fra data fra Enerinet.dk og de svenske energimyndigheder, se også https://www.energy-supply.dk/article/view/594257/dansk_biogas_far_statsstotte_to_gange

Infrastrukturmæssigt vil investeringsbehovet være begrænset da biogas der opgraderes kan distribueres via naturgasnettet som er relativt fintmasket (dog med visse huller) jf. Figur 26. Der vil dog være behov for flere tankningsanlæg og særligt anlæg til fremstilling og distribution af flydende, nedkølet gas, hvis biogassen skal benyttes til de længere godstransporter. Distributionen af flydende gas kan i princippet foregå efter to modeller. Den ene mulighed er at distribuere den opgraderede gas via naturgasnettet til lokale nedkølings- og salgsanlæg. Den anden mulighed er at distribuere den nedfrosne/flydende gas hjælp af tankbiler fra et eller flere centrale anlæg.



Figur 26 Det danske gassystem (Energinet 2019b)

Førstnævnte distributionsmåde er langt den billigste. Til gengæld er økonomien i produktionsanlæg bedre ved større volumener (Hviid et al. 2018). Der foreligger så vidt vides ikke overslag over investeringsbehov eller tidshorisont for etablering af flydende gas til tung vejtransport i Danmark. Der findes enkelte anlæg i udlandet og nogle planer for videreudbygning (med statstilskud) især i Sverige (Hjort et al. 2019). Et antal LBM anlæg vil givetvis kunne etableres i løbet af relativt få år uden voldsom yderligere fordyrelse af transporten, givet at rammebetingelser for biogasanvendelse til transport er på plads.

Energistyrelsen (2018) vurderer samlet at biogas vil være den billigste bio-baserede transportenergiform ift. forskellige flydende alternativer. EA & SDU (2016) konkluderer tilsvarende i en scenarieanalyse at markant satsning på biogas til tung transport på længere sigt vil være mere omkostningseffektivt end at fortsætte på flydende brændstoffer, hvis sidstnævnte alternativt forudsættes at bestå af avanceret bio-diesel (eller electrofuels, kunne det tilføjes). EA & SDU (2016) opgør ikke de samlede udgifter i de opstillede VE-scenarier, men beregner at biogasscenariet vil medføre besparelser på omkring 4 mia. DKK i 2050, (=2-3 % af de samlede transportomkostninger) ift. det avancerede biodieselscenarie. Således opvejer de besparelser som opnås på energi-råvaresiden de højere udgifter der vil være til gaskøretøjer og infrastruktur. Det forudsættes her at distribution via gasnettet vil være billigere end distribution af diesel ved tankbiler når først infrastrukturen er udbygget, hvilket bl.a. kræver at også andre sektorer som el, varme og erhverv vedbliver med at anvendes gas, så transport ikke skal dække hele omkostningen til gas nettet. Der er ikke taget specifikt taget højde for anlæg til at fremstille og opbevare flydende biogas (LBM).

Konkurrerende anvendelser Et yderligere forhold af betydning er mulige alternative anvendelser af både de anvendte råvarer og selve biogassen, hvis den produceres. Generelt vurderer Energistyrelsen (2018) at øget biogasproduktion vil udgøre en relevant råvareanvendelse fordi gassen kan fremstilles ud fra indenlandske affalds- og restprodukter, der ikke kan eksporteres og ikke har anden anvendelse, og fordi energien kan lagres (i gassystemet). Dermed kan konkurrence med fødevarer og import af bioenergi mindskes. Der kan dog godt tænkes at opstå andre anvendelser for råvarer som i dag udgør affald, fx i energi- og materialesektoren, i talt med at alle sektorer de-fossiliseres.

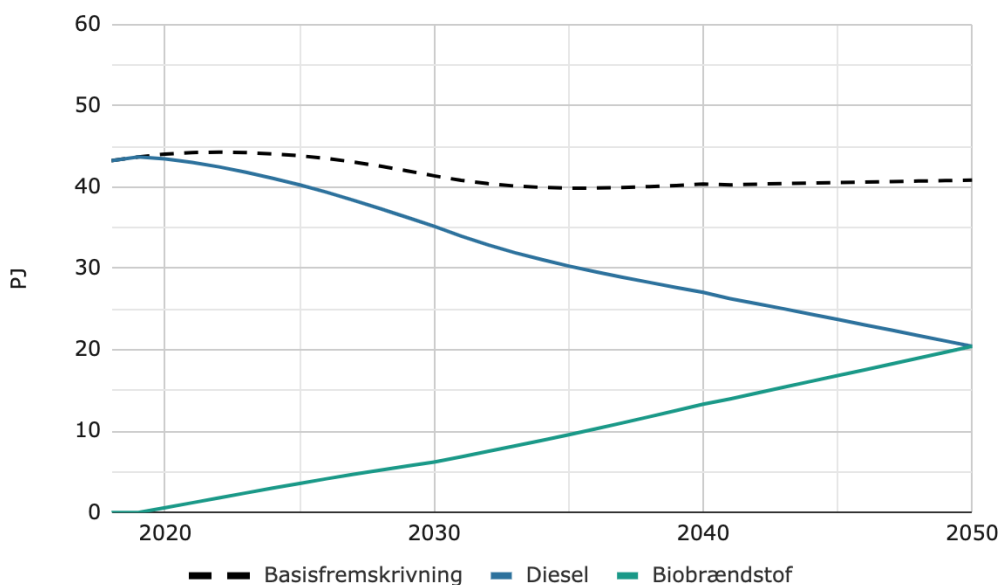
Hvad angår anvendelsen af den biogas der produceres forventer Energistyrelsen (2018) en aftagende vækst i efterspørgsel efter varme- og især elproduktion på biogas, da der efterhånden kommer billigere alternativer til rådighed. Anvendelse i transportsektoren vil dermed blive gradvis mere aktuel. Dog vil det være hensigtsmæssigt at reservere en vs mængde biogas til spidlast i kraftvarmeproduktionen for at opretholde fleksibilitet. Hvad angår transport peges på at gassen i første omgang fx kan være en løsning til busser (i form af CBG) og på længere sigt kan udbredes som løsning for lastbiltransport.

Også biogassen kan dog få nye anvendelser, fx som energikilde til tung industri. Et andet område som for nylig er afdækket er biogas som råvare til at fremstille biopolymere som erstatning for fossil plastic. Gylling et al. (2019) viser, at stort set hele den danske plastefterspørgsel vil kunne dækkes af de biogaspotentialer der er belyst ovenfor.

Biogasscenarie. Det er dermed meget vanskeligt at forudse hvor meget biogas der vil og kan være til rådighed for den tunge godstransport i fremtiden set i lyset af råvarepotentialer, fremstillingsteknologier, alternative anvendelser og økonomi. Det er heller ikke let at fastslå hvor stor en dekarbonisering der vil kunne opnås i praksis, da dette udover potentialer og teknologier afhænger af forhold som substitution og lækager af metan. En udrulning af biogas som (dekarboniseret) forsyning til den tunge transport vil under alle omstændigheder skulle ske gradvis i takt med at råvarer, infrastruktur og køretøjer kan vinde indpas og evt. andre attraktive anvendelser afklares.

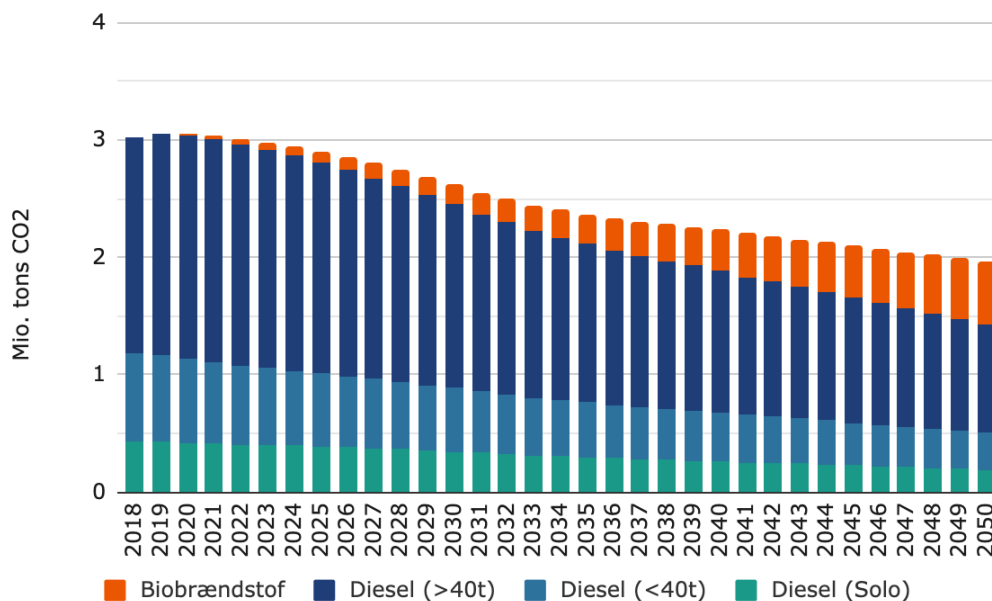
Det er valgt at opstille scenariet ud fra antagelser om en række gunstige betingelser. Der antages en råvarebasis med lav risiko for fortrængning og substitution, hvori alene indgår (yderligere) husdyrgødning samt halm som ikke konkurrerer med eksisterende anvendelser. Der antages ud fra Birkmose et al. (2013) og Vega & Chrintz (2015) forsigtigt, at dette potentiale samlet kan være på op mod 30 PJ. Det forudsættes at 1/3 af potentialet forbeholdes anden anvendelse mens de 2/3 altså gradvis bliver gjort tilgængelig for den tunge vejtransport i form af LBM, som kan anvendes til både korte og lange, tunge transporter. Potentialet udrulles så 3 PJ LBM er til rådighed fra 2025, stigende mod 10 PJ i 2035, og 20 PJ i 2050. Det svarer til hhv. 8 %, 25 %, 33 % og 50 % af den tunge vejtransport's fremskrevne energiforbrug i disse år. Det kan sammenlignes med en LBM-analyse der er foretaget i 'biogaslandet' Sverige, hvor der i det mest optimistiske scenarie antages omkring 7 PJ i 2030, under forudsætning om betydelig offentlig støtte (Hjort et al. 2019), altså mindre end her antaget for Danmark. Endelig forudsættes en begrænset lækage og begrænset lækagefølsomhed ved den valgte råvarekombination som afdækket ovenfor, hvilket antages at muliggøre en 62 % netto-reduktion i CO₂-udledning pr kørt km ift. dieselalternativet.³⁵

Scenariet skal ikke forstås som en konkret forudsigtelse men som et forsøg på at illustrerer mulig størrelsesorden af effekter ved en markant og meget gunstig satsning, hvor biogassen fortrænger ca. 50 % af diesel i 2050 uden at påvirke forsyningen i øvrigt.



Figur 27 Scenarie for energiforbruget hvor der indføres 'biobrændstof' (biogas som LBM) til lastbiler fra 2020 i en takt der når 15 % af energiforbruget i 2030, 33 % i 2040 og 50 % (= 30 PJ) i 2050.

³⁵ De 62% er gennemsnit af medianværdier for CO₂-fortrængning ved denne råvarekombination som er beregnet hhv. internationalt hos Majer et al. (2016) og for DK hos Vega & Chrintz (2015).



Figur 28 CO₂-udledningen i scenariet hvor 'biobrændstof' (biogas som LBM) erstatter diesel

Der opnås i scenariet en reduktion i CO₂ fra lastbilkørsel på ca. 10 % i 2030, 20 % i 2040 og 31 % i 2050, altså på længere sigt en betydelig effekt. Bidraget i 2030 er dog ikke ret stort, men på niveau med hvad der ses i scenarier i tidligere afsnit for BEV og electrofuels, og måske lignende hvad der vil kunne opnås gennem en markant effektivisering.

Det vil være muligt at opstille mere differentierede scenarier fx med specifik fordeling af den opgraderede biogas på CBG til kortere transportere og tilsvarende mindre mængder der nedkøles og anvendes som LBM i de tunge køretøjer på lange distancer. Dette kan sikkert realiseres noget billigere og hurtigere, men vil næppe opnå en markant større dekarbonisering i 2030, eftersom der stadig skal ske en udbygning af produktion og udskiftning af køretøjsparken. Og skal der være tale om en væsentlig udbredelse i den tunge vejgodstransport vil LBM-teknologi alligevel skulle etableres.

Tilgængelighed og fleksibilitet

TRL. For biogaskøretøjer generelt (CBG) omkring 8-9, da teknologien er i anvendelse, dog i et regime mes støtte. For biogas på halm er TRL nærmere 5-6. **Markedstilgængeligheden** af gaskøretøjer er ret begrænset men dog under udbygning med modeller hos flere producenter. Andre producenter har dog aktivt fravalgt gas.³⁶ Der forudses ingen væsentlige bindinger på køretøjer el lign. **Energiforsyningen** vil kunne nyde gavn af det eksisterende naturgasnet. Biogas er begrænset tilgængeligt i dag som ca. 11 % andel/iblanding i naturgas men under udbygning; kun få tankanlæg; ingen adgang til LBM i dag. **Vedligeholdelse og reservedele** kan være begrænset på grund af lille udbud af køretøjer i dag, men på sigt formentlig ikke problematisk. Gaskøretøjer kan få adgang til mindst samme områder /ruter som diesel, måske flere på grund af lokale miljøfordele.

³⁶ [Daimler Dumps Gas-Powered Truck Bid to Build CO₂-Neutral Fleet](#)

Samfundshensyn

Miljø. Biogasfremstilling kan medføre betydelig miljømæssige fordele i landbruget hvad angår energiforbrug, gødning, mm. Gaslastbiler har desuden lavere udledning af partikler og muligvis NO_x, samt lavere støj end dieselmotorer. Gas undgår de risici for vand- og havmiljø mv der er til stede ved olieudvinding og transport. **Sikkerhed.** Komprimeret gas er meget brændbart og kan udgøre en eksplosionsrisiko. Flydende gas er derimod ikke brændbart og opbevares ikke under tryk. Der er både sikkerhedsmæssige fordele og ulemper ved gas ift. diesel, men alt i alt næppe væsentlige større forskel. Biogas kan fremstilles af mange råvarer, men vil klimaneutral biogas er en ressource der er betinget og begrænset af ressource, hvilket kan påvirke **forsyningsikkerheden**. For taler at den kan baseres på affald som ikke har andre anvendelser. Imod taler at råvarebasen er følsom over for høstudbytter og ændringer i efterspørgsel efter fødevarer og evt. andre anvendelser. Afhængighed af bioøkonomi kan både være fordel og ulempe. Der vil formentlig være et vist **erhvervspotentiale** i udbygning af biogassektoren, herunder teknologiudvikling og -eksport

Sammenfatning på gasformige løsninger

Gas kan trækkes ind i godstransporten som et alternativ til flydende eller elektriske løsninger. Gas anvendes allerede til transport i en vis udstrækning og der eksisterer i forskellig teknologi til at producere, distribuere og køre på gas, primært i komprimeret form som CNG, men i enkelte lande også som flydende gas der muliggør rækkevidde og nyttelast, som nærmer sig diesel. I Danmark er der et veludbygget naturgasnet som vil kunne danne rygrad i distribution af gas til transportsektoren.

Fossil naturgas har dog ringe eller intet dekarboniseringspotentiale som transportbrændstof. Biogas kan derimod fremstilles og anvendes med væsentligt CO₂-reduktion til følge og biogassen kan i opgraderet form distribueres i naturgasnettet, som det allerede sker i dag. Danmark har en landbrugssektor som leverer voksende mængder biogas og som har et betydeligt potentiale, som teoretisk set vil kunne understøtte en væsentlig del af godstransportens energiforbrug.³⁷ I Sverige indgår biogas fx allerede som hovedkomponenten i landets gasforsyning til vejtransport.

Det er imidlertid ikke ligetil at afdække et faktisk realistisk potentiale for biogas til transport og den reduktion i drivhusgasudledning som derigennem vil kunne opnås.

På forsyningsiden handler det især om usikkerheder om råvaretilgængelighed, balance mellem råvarer, teknologiske udfordringer, økonomiske vilkår samt mulige alternative anvendelser for både råvarer og gas. Øget produktion af biogas er indtil videre ikke rentabelt uden væsentlige offentlige tilskud, og der er politisk lagt et låg på tilskuddet, som får væksten i produktionen til at flade ud fra omkring 2023.

³⁷ Der findes også andre aktuelle løsningsforlag hvor gas vil bidrage til dekarbonisering af transport, fx det såkaldte SKYCLEAN koncept, hvor pyrolysegas på halm skal anvendes til flybrændstof. <https://lf.dk/viden-om/klima/ny-teknologi-kan-halvere-landbrugets-klimaaftryk>.

Vi har ikke set på om noget lignende kunne udvikles for vejgodstransport

På drivhusgassiden handler det om at udnytte bl.a. landbrugsgødning og andre affaldsstoffer til fremstilling af gas (methan og CO₂) som eller ville tabes til atmosfæren, og derigennem erstatte fossil energi med gas. Den reduktion der kan opnås afhænger dog både af råvarernes beskaffenhed, deres håndtering (fx opholdstider), deres alternative anvendelser og dermed følgende substitutionseffekter, samt tab af methan til omgivelserne igennem hele processen fra råvare til køretøj. Under optimale teoretiske forudsætninger kan biogas levere fuld dekarbonisering eller endog negative udledninger, men under andre forudsætninger vil biogasudnyttelse tværtimod kunne øge den samlede drivhusgasudledning i forhold til alternativer.

Der er opstillet et gunstigt beregningsmæssigt scenarie, hvor biogasproduktionen udvides med 30 PJ fra nu og frem mod 2050, og hvor 2/3 af denne vækst anvendes i den tunge vejtransport som LBG. Scenariet bygger på anvendelse af husdyrgødning og halm som kun i ringe grad substituerer andre anvendelser og har mindre følsomhed over for lækager. Biogassen må indføres gradvis for at tillade udbygning af produktionskapacitet, løsning af tekniske udfordringer, afvente udbud af gaslastbiler på markedet samt udskiftning af dieslbiler med gas. Scenariet resulterer i reduktion af CO₂ på op mod 10 % i 2030 og 31 % i 2050. Det skal understreges, at scenariet er et regneeksempel som gør en lang række antagelser, der ikke nødvendigvis vil kunne udfolde sig på den måde i praksis. Eksemplet tjener til at illustrere, at dekarboniseringspotentialet kan være væsentligt, men også at det kun kan komme til udfoldelse hvis en lang række betingelser er opfyldt.

Tiltag som vil være vigtige for denne løsningsvej er,

- At det sikres at det er biogas og ikke fossil naturgas som fortrænger diesel
- At der alene udnyttes råvarer til biogasproduktionen som udgør affaldsstoffer (fx gylle og halm) der så vidt muligt ikke tages fra anden anvendelse
- At der sker en teknologisk udvikling så som halm kan udnyttes optimalt
- At lækager over hele forsyningskæden holdes på 1 % eller derunder
- At der etableres støtte til udbygning og anvendelse på betingelse af disse tiltag

Tabel 9 Vurdering i forhold til kriterier. GASFORMIGE (biogas)

1. Dekarboniseringspotentiale	
Reduktion af CO ₂ på mikroniveau	0 – 100 %
Fuld dekarbonisering på længere sigt	Afhænger af råvarer, teknologi, substitution, lægkage, og gassens gennemslag mm; groft overslag 10 – 30 % for gunstigt scenarie
Markant og hurtig reduktion ift. 2030 mål	Kan begynde snarest men vil tage tid at udrulle produktion, distribution og køretøjer i større skala, især for LBM
2. Økonomi	
Energieffektivitet i hele kæden	Tilsvarende diesel eller ringere
TCO på virksomhedsniveau	I dag ringere end diesel, på sigt muligvis bedre
Infrastrukturinvesteringer	Begrænset behov for ny infrastruktur, men gasnet skal dog suppleres og vedligeholdes og der skal etableres nedkølingsanlæg og tanke til LBM
Rebound effekt	Ikke nærmere belyst; afhænger af prisudvikling
3. Tilgængelighed og fleksibilitet	
Technology Readiness Level	For biogas generelt 9; for biogas på halm 5-6 For biogas køretøjer 8-9
Udbud/diversitet af køretøjer	Ret begrænset, men under udvikling
Køretøjers tilgængelighed og anvendelighed	Ingen væsentlige begrænsninger; dog har CBG biler begrænset rækkevidde og nyttelast
Energiforsynings tilgængelighed	Biogas er begrænset tilgængeligt i dag som ca. 11 % andel/iblanding i naturgas; kun få tankanlæg; ingen adgang til LBM i dag. Biogas kan lagres i tanke og i naturgasnettet
Vedligeholdelse og reservedele	Kan være begrænset på grund af lille udbud af køretøjer i dag, men på sigt formentlig ikke problematisk
Øget/mindsket adgang til ruter/områder	Gaskøretøjer kan få adgang til mindst samme områder /ruter som diesel, måske flere p.gr.a. miljøfordele
4. Samfundshensyn	
Miljø og sikkerhed	Biogasfremstilling kan medføre miljømæssige fordele i landbruget, for luftforurening, støj og vandmiljø ift. diesel
Forsyningsikkerhed	Biogas kan fremstilles af flere råvarer med vil forblive en begrænset og betinget ressource.
Samfundsrisici	Afhængighed af bioøkonomi kan formentlig indebære både fordele og ulemper
Vækst og arbejdspladser	Der kan være et vist erhvervspotentiale i udbygning af biogassektoren, herunder teknologiudvikling og -eksport

6.5 Tværgående vurdering og sammenfatning

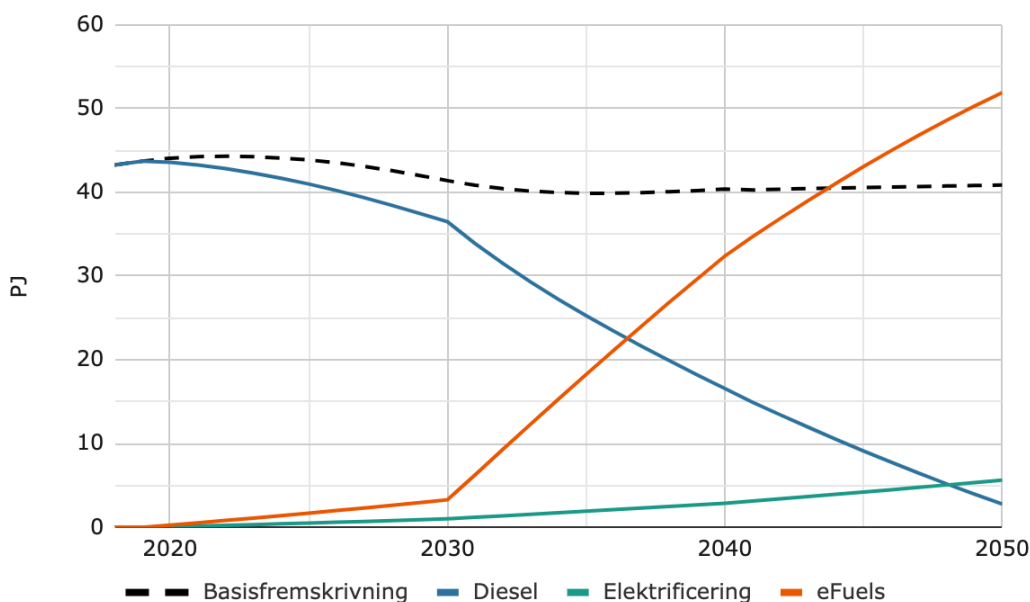
Tværgående scenarie

Som det er fremgået af dette kapitel er der mange muligheder for, og veje til, at opnå reduktioner af godstransportens CO₂-udledninger, men der tegner sig ikke umiddelbart en enkelt løsningsvej som hurtigt når i mål, og i alle henseender er ideel.

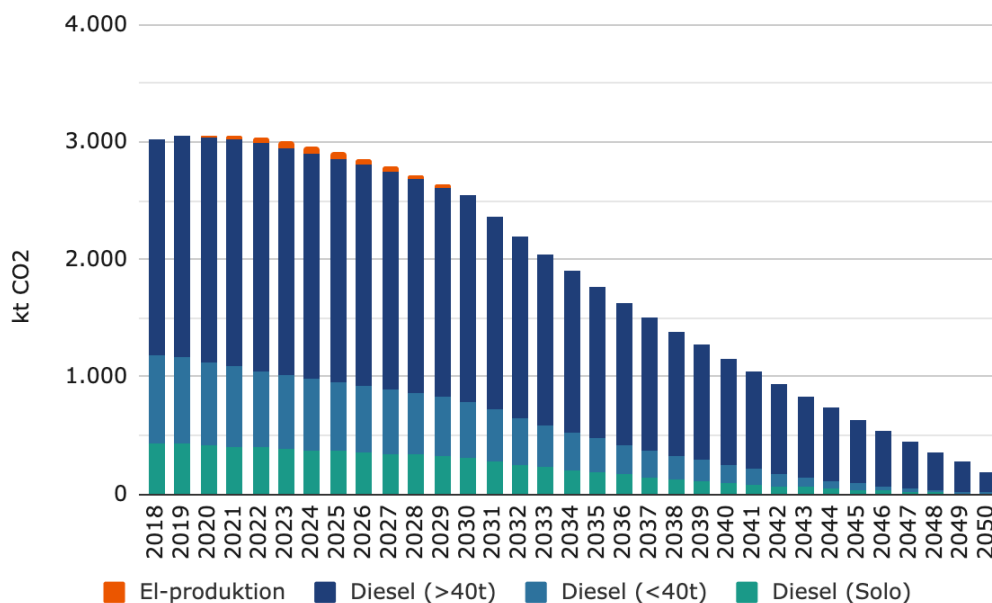
Ovenfor blev de forskellige løsningsveje dog også kun behandlet enkeltvis og adskilt. Det er imidlertid ikke givet at den optimale løsning ligger inden for et enkelt spor. Det er muligt at der kunne opnås mere ved at kombinere gunstige egenskaber fra forskellige løsningsveje og teknologier. For at belyse dette opstilles et yderligere kombineret scenarie, inden vi foretager den sammenfattende analyse på tværs af de fire spor.

I det tværgående scenarie kombineres elementer af elektrificering (BEV-biler på VE) for de kortere ture med et flydende alternativ i form af electrofuels for de længere ture.

Sigtet med dette scenarie er at kombinere elektrificeringens fordele i form af høj energieffektivt, gunstig driftsøkonomi og miljø samt lavt CO₂ pr. energienhed for lokal og regional distributionstransport med de flydende brændstoffers potentiale for at understøtte det lange, tunge segment af vejgodstransporten uden at forudsætte grundlæggende teknologiskifte for dette segment. Hvor andelen af BEV-biler følger samme forløb som i elektrificeringsafsnittet indføres e-fuels nu også i alle køretøjskategorier hvor den gradvis fortrænger næsten al den tilbageværende diesel, som BEV-bilerne ikke skubber ud. Resultaterne for energi og CO₂ ses i Figur 29 og 30.



Figur 29. Scenarie for energiforbrug med kombination. Forudsætninger: BEV 20 % i 2030; 50 % i 2040, 90% i 2050 af kørslen i solo- og trailerlastbiler under 40t. E-Fuels: 5 % i 2030; 50 % i 2040; og 90 % i 2050 af kørslen i trailerlastbiler over 40t, plus op til 10 % i de mindre biler under 40t.



Figur 30 CO₂-udledning ved kombination (2) BEV og E-fuels.

Eksemplet viser at også denne tværgående kombination vil kunne bidrage med en markant dekarbonisering på hen imod 100 % i 2050. Dette vil altså kunne opnås uden at forudsætte en revolution i batteriteknologien som kan udbrede BEV til hele lastbilflåden og uden at forudsætte ophængning af køreledninger el. lign over det overordnede vejnet, sådan som et rent elektrificeringsscenario ville kræve.

Til gengæld ses af Figur 29 en kraftig yderligere samlet stigning i energiforbruget på grund af den lave effektivitet i fremstillingen af e-fuels. Dette scenario øger altså vejgodstransportens energiforbrug markant (med omkring 35 % ift. basis) og ville dermed gøre et betydeligt indhug i den VE-kapacitet der udbygges fremover. Dette vil skulle ses i lyset af behovet for VE til andre transportformer, andre formål og evt. eksport.

Desuden bidrager heller ikke denne kombination markant d til at opnå reduktion i 2030. Resultatet bliver endda en smule ringere i 2030 en de to el-løsninger i afsnit 6.2 idet det øgede el-forbrug fra fremstilling af electrofuels ses at slå mere igennem i 2020'erne hvor el-produktionen kun er delvis dekarboniseret. Samtidig er de praktiske og økonomiske muligheder for at udbygge e-fuels i den forudsatte takt også højst usikre.

Tværgående sammenfatning

Vi vil nu foretage en tværgående sammenfatning som opsummerer resultaterne af kapitlet analyse af fire distinkte løsningsveje i forhold til de fire grupper af kriterier:

- Dekarboniseringspotentiale
- Økonomi
- Tilgængelighed og fleksibilitet
- Samfundshensyn

Målet er derigennem at klargøre, hvilke veje der trods alt fremstår mest perspektivrige og hvilke væsentlige udfordringer og forbehold der rejser sig i hvert spor.

Dekarbonisering

Hvad angår de enkelte køretøjer og opgaver kan der i princippet over tid opnås noget nær fuld dekarbonisering af energiforbruget gennem alle de teknologiske alternativer, hvis de optimale omstændigheder forudsættes at være er til stede. Også ved organisering og logistik vil der ideelt set kunne opnås en markant, dog mindre reduktion for enkelte køretøjer/opgaver (i enkelte eksempler helt op mod 30-50 %) gennem konsolidering af transportopgaver og teknisk og operationel tilpasning af køretøjers vægt og dimensioner til opgaverne.

Potentialerne for de fleste løsninger er mere betingede og begrænsede hvad angår skalering til den totale udledning for den samlede lastbilpark.

For **logistik og organisering** afhænger mulighederne for forbedret kapacitetsudnyttelse af en lang række forhold som knytter sig til de konkrete virksomheder, godstyper, transportopgaver, mm. som er umulige at generalisere. Enkelt tiltag som indførelse af EMS lastbiler, som for den enkelte flåde kan give en markant forbedring, vil kun kunne levere få procent når tiltaget skaleres til sektorniveau. Det har ikke været muligt at opstille et konkret realistisk dekarboniseringspotentiale, men mulighederne for effektivisering bør ikke desto mindre fremmes mest muligt, når de øvrigt understøttes af andre kriterier som økonomi, miljø, og sikkerhed, mm som det ofte vil være tilfældet.

Mest positivt tegner billedet sig for **elektrificering**, idet der allerede findes BEV biler på markedet mens flere er på vej og det kan antages at strømmen konkret vil blive noget nær CO₂-neutral i en jævnt faldende kurve frem mod 2030 og derefter. Hvis man antager at dele af elektriciteten stadig produceres på biomasse i 2030 vil der dog gå nogle flere år før denne også er udfaset og dekarboniseringen pr km er komplet. Barrieren er især batteriernes vægt og volumen som ser ud til at sætte grænser for et gennembrud for de tunge lastbiler, som transporter langt den største del af godsmængden. Desuden mangler der undersøgelser af opladningsinfrastruktur til tunge køretøjer. Her kan til gengæld ERS løsninger sættes ind, som i kombination med BEV-biler til korte transporter sandsynligvis kan udbrede elektrificering og den dermed følgende dekarbonisering til hele bilflåden i perioden efter 2030.

For **FCEV** mangler der i dag både køretøjer og VE-brint, hvortil der først skal etableres elektrolysekapacitet og systemer til distribution og tankning mm. I princippet vil resultatet på sigt og alt andet lige dog kunne være lignende hvad angår dekarbonisering.

For **flydende brændstoffer** vil noget lignende kunne opnås ved kørsel på e-fuels fremstillet af elektrolysebrint og indfanget CO₂, men prisen vil bl.a. være et højere energiforbrug og høj pris. Og selvom alle eksisterende køretøjer formentlig umiddelbart vil kunne anvende brændstoffet (afhængig af hvilket slutprodukt der leveres) vil der gå en noget længere periode før de første køretøjer vil kunne forsynes med et dekarboniseret produkt på denne basis. Opskalering til bilparkniveau er som for FCEV betinget af en markant udbygning med elektrolysekapacitet og anlæg til brændstofproduktion. For flydende **biobrændstoffer** kan der godt tænkes løsninger som når en meget lavt CO₂-

udledning for enkelte køretøjer, hvis råvarerne fx er baseret på affaldsstoffer uden konkurrerende anvendelser. Udfordringen er her af udbuddet af brændstof på sådanne råvarer er meget begrænset og også vil være det fremover på grund af høj pris og få ressourcer. Derfor vil efterspørgslen i første omgang rettes mod andre mere konventionelle biobrændstoffer, som vil have CO₂-udledning der minder om eller endog er højere end diesel. Forskydninger i markedet for biomasse vil desuden betyde, at tiltag til at 'inddæmme' transportens efterspørgsel til de mest bæredygtigt fremstillede og CO₂-reducerende brændstoffer ikke nødvendigvis rækker. At tilføje godstransportsektoren til de økonomiske aktiviteter, som presser efterspørgslen efter potentielt kritiske biologiske ressourcer og økosystemer, vil være risikabelt. Derfor fremstår øget brug af flydende biobrændstoffer som en af de mest tvivlsomme veje til dekarbonisering.

Hvad angår **gasformige brændstoffer** kan der ikke forventes noget væsentligt bidrag fra fossil naturgas, mens der i princippet er muligheder for meget høj grad af dekarbonisering for enkelte køretøjer/tonkm gennem brug af biogas fremstillet og distribueret under optimale betingelser. Biogas kan således produceres med væsentlig CO₂-reduktion til følge, såfremt der alene indgår restprodukter uden konkurrerende anvendelser (såsom fx gylle og uudnyttet halm) og lækager af methan holdes under 1 % i hel kæden fra fremstilling over opgradering og distribution til anvendelse i bilerne. I dag er potentialet dog umiddelbart begrænset af en lavt udbud af gasbiler, især biler som kan anvende flydende biogas, som heller ikke pt fremstilles i Danmark. Skalering til bilparkniveau er derudover stærkt begrænset af mulighederne for at fremskaffe og udnytte de nødvendige typer råvarer i praksis, hvortil kommer usikkerhed om hvorvidt det vil være muligt at sikre tilstrækkeligt mod lækager. Det tænkte scenarie der blev opstillet i afsnit 6.4 som må anses som meget gunstigt, opnåede kun en begrænset dekarbonisering på omkring 30 % i 2050. Det er muligt at det vil kunne lade sig gøre at opnå mere, men det er nok mindst lige så sandsynligt at konkurrerende anvendelser af både råvarer og gas samt andre forhold vil reducere det reelle potentiale. Dertil kommer at den sammenblanding med fossil naturgas i nettet som indtil videre er nødvendig for biogaforsyningen vil kunne medvirke til at fastholde denne (billigere) ressource som en væsentlig komponent. Det ikke ubetydelige men teoretiske dekarboniseringspotentiale vil altså kun komme til udfoldelse hvis en lang række betingelser kan opfyldes. Et spørgsmål er derfor om det er om det er umagen værd at skifte til en helt ny teknologi, når der er andre løsninger som el eller e-fuels som på sigt vil kunne træde ind.

Forskellige **kombinationer** af de enkelte løsninger er som eksemplificeret ovenfor også mulige og nogle kombinationer vil som det fremgik også kunne levere markant dekarbonisering. Langt mere avancerede koncepter for kombination og integration af forskellige forsyningskæder, teknologier og energiprodukter mv. på tværs af transportgrene og sektorer, kan angiveligt også levere omfattende dekarbonisering, jf. forskellige visioner og analyser (fx Mortensen et al. 2019; Skov & Mathiesen 2018). Udfordringer ved kombination og integration kan bl.a. være hvis flere løsninger konkurrerer om de samme råvarer, teknologier eller mellemprodukter eller hvis fx kritiske 'nøgle-koblinger' ikke kan etableres eller skaleres i praksis. Hertil kommer risiko for redundans eller

overinvestering hvis flere teknologiske spor udbygges mod fuld skala samtidigt. Det betyder langt fra at kombinationer eller vidtgående integration bør undgås, tværtimod, bør forskningen på dette området fremmes yderligere.

Ingen af de i denne projekt undersøgte løsningsveje er umiddelbart i stand til at levere meget hvad angår en hurtig og markant dekarbonisering i 2030. Det eksisterende transportsystem er næsten 100 % baseret på fossil energi og forbrændingsteknologi og desuden indlejret i en sektor der er fragmenteret og konkurrenceudsat. Det betyder at systemet vil være forholdsvis trægt at dekarbonisere. Trægheden skyldes dog delvis forskellige konkrete faktorer såsom behov for i udbygning med ny CO₂-neutral energiforsyning (el, electrofuels), eller infrastruktur (el, flydende biogas), og/eller behov udskiftning af køretøjspark (el, brint, biogas), eller biofysiske, tekniske og markedsmæssige begrænsninger på hvor meget CO₂ reduktion de enkelte løsninger i praksis overhovedet vil kunne yde (biobrændstoffer, biogas).

Det er muligt at yderligere kombinationer af løsninger vil gøre det muligt at komme hurtigere frem, men det er ikke umiddelbart lykkedes at konstruere hertil egnede kombinationer. Det må anses for usandsynligt at dette kan opnås uden væsentlig reguleringsindsats, som ændrer de økonomiske og lovgivningsmæssige rammebetingelser.

Økonomi

Umiddelbart fremstår alle de teknologiske alternativer til diesel som væsentligt dyrere, og det vil da også i praksis være tilfældet, især på den kortere bane. Dette gælder både på virksomheds- og samfundsniveau. Elbiler er fx dyrere at fremstille og kræver infrastruktur til opladning. Electrofuels har stort energitab og forudsætter ny produktionskapacitet. Biogas er dyrere at fremstille og meget afhængig af offentlige subsidier. Flydende biobrændstoffer er også væsentlig dyrere, især hvis man går efter at de skal være 'bæredygtige', 'avancerede' osv. Billedet er dog noget mere nuanceret end som så, især når blikket rettes nogle år frem og perspektivet er hele sektoren/samfundet. Her ser det ud til at løsninger som elektrificering vil kunne komme omkring på niveau med diesel og ifølge nogle analyser endog vil overhale denne (The Pathways Coalition 2018), men dog næppe uden mellemkomst af offentlig støtte. Situationen er noget anderledes for bedre kapacitetsudnyttelse, som vil fremstå som økonomisk fordelagtigt i sig selv på grund af besparelser på udgifter til køretøjer, brændstof, personale og gods. Dette gælder også både på virksomheds og samfundsniveau. Fordelene på virksomhedsniveau kan dog modvirkes af fx øgede udgifter til lager, redundant personale eller tab af markedsandele hos kunder for at opnå dette, hvilket begrænser realiseringen af potentielt. Hertil kommer rebound-effekter på samfundsniveau, som kan tage lidt af den mulige reduktion tilbage. Også her er billedet altså mere nuanceret, omend der er klare eksempler på konkrete gevinster. Alt i alt vurderes økonomien ved højere kapacitetsudnyttelse dog som overvejende gunstig (McKinnon 2018).

Som forklaret i rapportens indledning er det ikke tilstræbt at behandle de forskellige løsningsmuligheder ud fra en ensartet systematik eller økonomisk analysemodel. I det følgende belyses de økonomiske aspekter i stedet yderligere gennem nogle sammenlignende vurderinger fra et antal tyske institutter (Kühnel et al. 2018). Dette suppleres

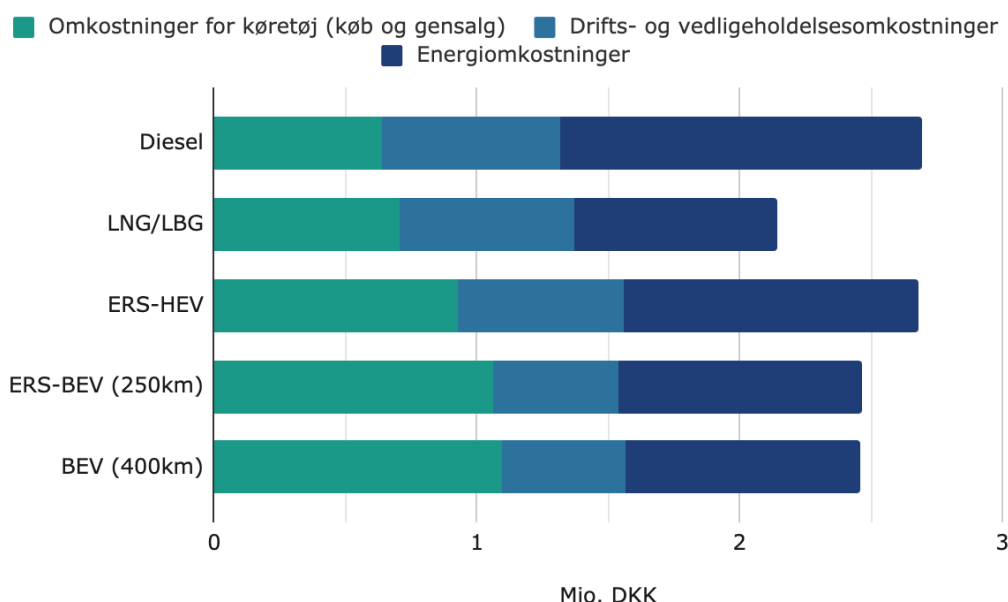
til sidst med nogle tværgående betragtninger på de økonomiske aspekter som er af-dækket i de enkelte afsnit i kapitlet.

I de tyske studier er der arbejdet med at gøre nogle af de mulige alternativer sammenlignelige i forhold til udgangspunktet med diesel dels ud fra et brugerperspektiv (TCO) og dels et investor- eller samfundsperspektiv. Omkostningerne er omregnet til danske kroner af CONCITO men er i øvrigt ikke justeret.

Alternativerne omfatter løsninger med gaslastbiler, batteribiler, hybridlastbiler samt overhængende køreledninger i kombination. Studierne omfatter ikke biogas/LBM, men derimod LNG, som vi her kort kommenterer, vel vidende at omkostningerne for LBM givetvis vil være højere da biogas er dyrere at fremstille end naturgas. Electrofuels indgår kun delvis og ikke i TCO beregningerne og FCEV/brint er heller ikke behandlet.

TCO på køretøjsniveau TCO for de aktuelle alternativer er vist i figur 31, som illustrerer den omkostning en virksomhed ville konfronteres med fra 2025 med hvis den skulle operere en lastbil (sættevognstrækker) i de opstillede teknologiscenarier. De omkostningselementer som er taget med her omfatter køretøjsanskaffelse og forventet gensalg, energiforbrug samt drift og vedligehold. Fordelingen mellem disse er her lidt anderledes end angivet i afsnit 5.2. Omkostningerne er regnet samlet for 5 år ved et kørselsomfang på 120.000 km /år. Priserne er som de forventes at være i 2025, hvor køretøjsmarkedet har udviklet sig væsentligt ift. til i dag.

Alternativerne med 'O' forudsættes at kunne nedtage kørestrøm. De omfatter hhv. en hybridlastbil (O-HEV) samt batteri+ERS bil (O-BEV 250) med. 250 km rækkevidde uden for ledningsnettet.



Figur 31 TCO for lastbilalternativer. Kilde: Kühnel et al. (2018)

Det der umiddelbart springer i øjnene er at alle alternativerne til diesel får lavere TCO eller kommer på niveau med diesellastbilen. Ganske vist øges bilomkostningerne væsentligt (30-40 %) for alternativerne med batteri og strømnedtag, men besparelsen på energien opvejer dette, endda mere for el-køretøjerne.

Det vil dog være et vigtigt spørgsmål om den lave pris der er forudsat for ellastbiler i 2025 er realistisk. Der er trods alt tale om biler i en størrelse der ikke er på markedet i dag og hvor nogle af de mindre elmodeller der findes nu kan være op til 3-4 gange dyrere end tilsvarende dieseludgaver. Dog kan man evt. her tænke på busområdet, hvor der på få år er sket en markant billiggørelse af elmodeller, hvor prisen for elbusser allerede nu nærmere ligger 'nede' omkring det dobbelte af dieselbusser (COWI 2018).

For strøm er der i eksemplet regnet med en rabat på 50 % ift. alm. tysk elafgift. For LNG bilen kan den lavere energiomkostning også delvis skyldes lavere afgift.

Hybridlastbilerne har kun små batterier, men bliver alligevel ca. 30 % dyrere på grund af dual-motor og strømnedtag. At de sparer mindre på energi end BEV bilerne skyldes altså, at de forudsættes at køre på diesel uden for ledningsnettet. O-BEV 250 km og BEV 400 biler har samme omkostning. Man kan altså vælge mellem om man vil have større batteri eller strømnedtag, uden at det påvirker omkostningen, afhængig af om opgaven fx er primært distribution (BEV) eller langtransport (O-BEV). Med det større batteri øges fleksibiliteten mens nyttelasten formentlig reduceres noget.

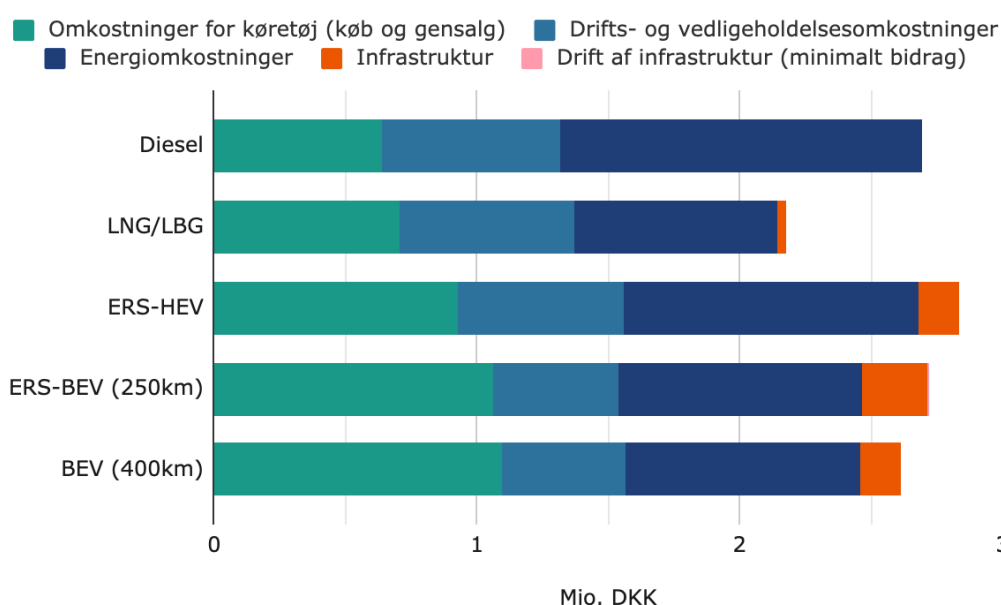
Det bemærkes også, at vedligeholdelsesomkostningerne går betydeligt ned for el-bilerne. Det afspejler formentlig at elmotor og drivline er mindre kompleks og har væsentlig færre komponenter end dieselteknologien.

TCO plus infrastruktur. I studiet foretages også en beregning, hvor udgiften til ny infrastruktur til de alternative køretøjer regnes ind og lægges oven i TCO. Hvor vi kommer nærmere ind på selve investeringerne efterfølgende, drejer det sig altså her om at belyse hvor meget det evt. kan forskubbe balancen for transportørerne hvis man lægger udgiften til infrastruktur oven i transportprisen, på lidt samme måde som udgifter til dieseltankanlæg ville optræde i dag (ellers forudsættes at ERS systemet dækkes af staten som offentlig infrastruktur).

Resultatet for de samme typer biler er vist i Figur 32, nu med tillæg for proportional del af infrastruktur. Prisen er opgjort for 3 'cases' der alle fordeler de samlede udgifter over 5.000 køretøjer. Det svarer til ca. 1/3 af den danske bestand af sættevognstrækkere og vogntog. Forudsætningerne om infrastruktur, som stammer fra det tyske studie (Kühnel et al. 2018) er oplyst i Tabel 10. Strækningen med køreledninger på 500 km ville svare omtrent til Øresund til Femern plus Tyske grænse til Køge bugt, altså to af de største godskorridorer i Danmark.

LNG (LBM)	91 stationer bygges til 1.034.000 EUR/stk. som rigeligt dækker forsyning til 5.000 køretøjer. Drifts- og vedligeholdelseskostninger er 27.000 EUR per station per år.
BEV	75 store 1,2 MW ladere og 6.000 små ladere til at dække 5.000 køretøjer. Hhv. 420.000 og 80.000 EUR. Driftsomkostninger er 1 % per år af omkostningerne til infrastruktur.
OC	500 km strækning med 1 MW/km strømnedtag (tilsammen begge retninger). Systemet kan på samme tid trække 2100 BEV (som oplades), og yderligere hybrid køretøjer (som oplades delvis eller ikke). Driftsomkostninger er 2 % af startomkostningerne.

Tabel 10 Forudsætninger om køretøjer og infrastruktur i regneeksempel



Figur 32 TCO for lastbilalternativer inkl. infrastruktur

Det ses at infrastrukturudgifterne naturligvis øger TCO'en, især for elektrificering. Den største forøgelse er udgiften til køreledninger (og opladning) til O-BEV 250 km bilerne, hvor TCO'en stiger med 10 %. Udgifterne til gastankanlæg øger TCO'en minimalt for LNG. I en dansk sammenhæng ville gastankanlæg formentlig lægges ved naturgasnettet, hvilket måske kunne reducere omkostningerne lidt. Som nævnt vil LBG dog være dyrere at fremstille end LNG.

Udgifterne stiger også for BEV, der kun bruger ladestationer samt for hybridkøretøjerne som ikke forudsættes at kunne lade men trækker strøm fra OC-nettet.

Der er ikke forudsat behov for (gen) investering i dieselinfrastruktur. Der er gjort en række andre specifikke antagelser om køremønstre, opladning/tankning mm, som vi ikke trækker frem her.

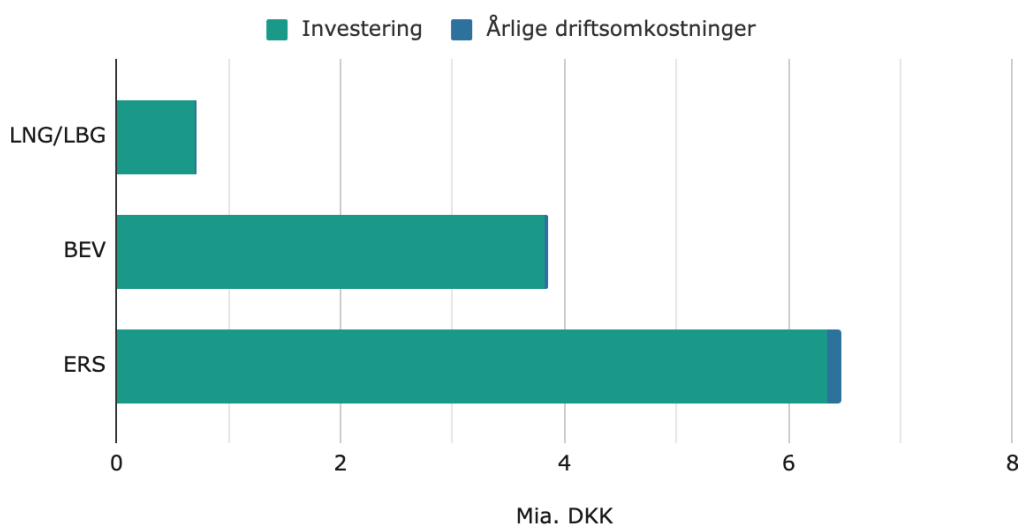
De vigtige her er ikke detaljerede forskelle, som vil være usikre, men det generelle forhold at tillægget af infrastruktur på TCO trods alt ikke er større end op til 10 %. Ekstraomkostningerne neutraliserer stort set den besparelse der kunne opnås ift. diesel, men

bringer altså langt fra el-alternativerne uden for rækkevidde, selv ikke med 'kun' 5.000 lastbiler til at dele 500 km køreledning. Infrastrukturomkostninger får LNG til at fremstå mest økonomisk attraktivt, men som nævnt er der ikke taget højde for LBG.

Samlede infrastrukturomkostninger De samlede udgifter til investering og drift af ny infrastruktur alene viser umiddelbart et noget andet billede hvor der er meget større forskel på alternativerne.

Figur 33 viser en sammenligning af de tre alternativer gas-tankning, ladeinfrastruktur til BEV samt køreledninger. Det er de samme 'cases' som ovenfor.

Investeringen i køreledningsnettet OC ligger på lidt over 6 mia. DKK mod 700 mio. for gastank anlæggene. Lade infrastrukturen som beskrevet i Tabel 10 koster 3,8 mia. DKK at etablere. Kun for køreledninger ses en merudgift til drift og vedligehold af betydning.



Figur 33 Samlede infrastrukturomkostninger

OC løsningen skiller sig ud som den der kræver de største investeringer efterfulgt af BEV opladning, som indebærer betydelig investering for blot 5.000 køretøjer.

Det skal understreges at det i analyserne angives at der er tale om relativt grove skøn især for OC-løsningen, eftersom der ikke findes fuldskala erfaringer med for vejnettet. Dog er selve teknologien meget beslægtet med elektrificeret infrastruktur til jernbaner.

Det skal også gentages at økonomien i OC-løsningen er meget afhængig af antallet af lastbiler der tilsluttes systemet og som deles om omkostningerne. Forskellige overslag over dette giver en meget stor spredning på resultaterne.

Dette er altså et eksempel hvor skala har voldsomt stor betydning. Der er tale om et dilemma, fordi risikoen ved en markant investering for at udnytteskala fordelen vil være stor hvis brugen overlades til markedet. Det kan konstateres, at initialomkostningen ved et OC system under alle omstændigheder vil være så stor at investeringen ikke kan forudsættes dækket af brugerne og givetvis vil kræve betydelig offentlig medvirken.

Set i lyset af de samlede fordele og den lave TCO tyder eksemplerne derimod på, at det vil give god mening at gennemføre det som offentligt støttet projekt. Man kunne evt.

overveje en form for tilslutningspligt eller indarbejde en betalingsmodel i forbindelse med etableringen af et road pricing system.

Øvrige økonomiske forhold. Brint og electrofuel løsninger indgik ikke i den ovennævnte analyse, men det er vigtigt at være opmærksom på den lave energieffektivitet for disse systemer, især sammenlignet med elektrificering. Dette vil bl.a. være med til at fordyre transporten og begrænse de ressourcer der er til rådighed til energi til andre transportformer og sektorer. Der findes aktører som argumenterer for at også brint kan blive konkurrencedygtig inden for en overskuelig horisont, mens andre udpeger FCEV som det dyreste alternativ (fx Cambridge Econometrics 2018; Pathways Coalition 2018).

Det er klart at økonomivurderinger for alternativerne til diesel er meget usikre hvor forskellige studier som når til varierende resultater hvad angår både omkostninger, investeringsbehov og TCO. Dette skyldes dels genuint manglende viden og forudsigelsesmuligheder, men også forskellige antagelser omkring forhold som tidshorisonter, afskrivning, biprodukter/sektorkobling, alternative anvendelser og eksterne omkostninger. Det er derfor uden tvivl relevant at fortsætte arbejdet med økonomiske analyser og sammenligninger, og i den forbindelse søge at udbygge og integrere de fælles analyserammer og modeller med relevans for Danmark og EU, så der kan etableres en mere ensartet og robust beslutningsplatform end hvad som findes i dag.

Tilgængelighed og fleksibilitet

Den teknologiske modenhed varierer over alternativerne, hvor fx electrofuels-vejen generelt er på et meget tidligere udviklingstrin end biogas udnyttelse og med elektrificerings-vejen et sted derimellem. Der er dog store variationer mellem enkelte led eller komponenter i de respektive transport/energisystemer, hvilket umuliggør en helt entydig rangordning. Fx er halmudnyttelse i biogas, som indgår som en vigtig forudsætning for det skønnede dekarboniseringspotentiale, ikke en fuldt ud moden teknologi, hvilket til dels også gælder anlæg til nedfrysning af gassen til LBM. Til gengæld er køretøjer til electrofuels – forudsat at der produceres et dieselækvivalent drop-in fuel - på det højeste TRL 9, hvor både BEV, HCEV, ERS og til dels LBM køretøjer stadig er under udvikling. Dette afspejles i manglende udbud af køretøjer inden for flere segmenter af disse alternativer. Klassificeringen (og udbuddet) kan dog sprænges af teknologiske gennembrud, fx solid-state batterier til BEV eller billiggørelse af elektrolysekapacitet.

Hvad angår **tilgængelighed og anvendelighed** af køretøjer og energi i den daglige drift så vil der indtil videre være væsentlige begrænsninger på BEV i form af fx rækkevidde, nyttelast og nedetid på grund af opladning. Dette vil ikke i samme grad gøre sig gældende for gas og flydende løsninger, hvis ellers den nødvendige infrastruktur til energi etableres. ERS biler vil være begrænset af ERS nettet, men dette kan overvindes med hybridkonstruktioner. Effektivisering af kapacitetsudnyttelse kan frigøre køretøjer og ressourcer men kan også lægge visse begrænsninger fx på hyppighed af leverancer.

Vedligeholdelse og reservedele er især et problem ved nye teknologier og systemer der endnu ikke understøttes af masseproduktion og serviceinfrastruktur. Brint/FCEV samt BEV/ERS er i den henseende mest udsat. Til gengæld kan el-teknologiens mere simple

og robuste opbygning på sigt betyde lavere vedligeholdelsesbehov end i dag, som det også fremgik af TCO-opstillingen ovenfor.

Samfundshensyn

Miljømæssigt byder elektrificering på væsentlige fordele i form af eliminering af lokal og regional luftforurening, reduceret støj samt minimering af olieforurening. Desuden betyder den høje energieffektivitet mindsket ressourcetræk. E-fuels og FCEV kan byde på lignende fordele bortset fra det lave ressourceforbrug samt støj for e-fuels. Fastholdelse af transportsystemet på flydende brændstoffer i afventen på e-fuels vil dog forudsætte en periode med fortsat diesel med fortsat forurening (dog reduceret i takt med skærpede krav) eller midlertidig overgang til biobrændstoffer, med risiko for påvirkning af natur og biodiversitet som følge af arealanvendelse mm. Biogas kan reducere luftforurening noget ift. diesel og bidrage til at forbedre gødningsudnyttelsen og mindske miljøpåvirkninger fra landbruget.

Hvad angår **sikkerhed** er der næppe større problemer ved de alternative teknologier som adskiller sig fra dagens situation. Dog indebærer udbredt brug af brint og gas visse nye risikomomenter i forbindelse med især distribution, oplagring og tankning. Elkøretøjer kan under visse omstændigheder udgøre en brandfare og kan måske resultere i nye typer ulykker på grund af det lave lydniveau, med mindre der tages forholdsregler.

Forsynings sikkerheden er formentlig højst ved udbygget elektrificering givet el-systemets stor udbredelse, fleksibilitet og stabilitet. Det er dog vigtigt at der findes løsninger i form af grundlast eller lagring til at sikre mod perioder uden vind eller sol.

Erhvervspotentialer findes formentlig inden for alle løsningsvejene. Hvor store de er i forhold til hinanden skal det ikke forsøges at byde på.

Figur 34 viser et forsøg på yderligere sammenfatning for alle kriterier og spor.

1. Dekarboniserings-potentiale	LOGISTIK	EL (BEV OG ERS)	FLYDENDE (Electrofuels)	BIOGAS
Reduktion af CO ₂ på mikro-niveau				
Fuld dekarbonisering på længere sigt				
Markant og hurtig reduktion ift. 2030-mål				
2. Økonomi				
Energieffektivitet i hele kæden				
TCO på virksomhedsniveau				
Infrastrukturinvesteringer				
Rebound effekt				
3. Tilgængelighed og fleksibilitet				
Technology Readiness Level				
Udbud/diversitet af køretøjer og andre komponenter				
Køretøjers tilgængelighed og anvendelighed				
Energiforsyningens tilgængelighed				
Vedligeholdelse og reservedele				
Øget/mindsket adgang til ruter/områder				
4. Samfundshensyn				
Miljø og sikkerhed				
Forsyningsikkerhed				
Samfundsrisici				
Vækst og arbejdspladser				

Farve	Tolkning
	Væsentlige potentialer og/eller meget gunstige udsigter
	Potentialer og/eller forholdsvis gunstige udsigter med nogen forbehold
	Begrænset potentiale og/eller udsigt til barrierer eller risici
	Væsentlige udfordringer, begrænsninger eller risici

Figur 34 Tværgående sammenligning i forhold til kriterier. OBS: kun hovedalternativer i hvert spor

Afrunding

Den tværgående analyse tillader at følgende pointer kan uddrages.

Med hovedfokus på målet om dekarbonisering forekommer **elektrificering med kombination af BEV og ERS** teknologi som den mest lovende løsningsvej med de største potentialer. Dette skyldes primært muligheden for at anvende en stadig mindre CO₂-udledende energikilde i en meget effektiv transportteknologi. Denne kombinerede løsning muliggør at elektrificering i løbet af en årrække gradvis kan komme til at kunne dække hele viften af transportopgaver, uden dette formentlig vil indebære uoverstigelige omkostninger for virksomheder og samfund. Dertil kommer væsentlige fordele med hensyn til miljø, forsyningsikkerhed mv.

Elektrificering forudsætter dog at barrierer i forbindelse med især udbud af køretøjer, pris, fleksibilitet og tilgængelighed løses, ligesom der vil være behov for investeringer i ny infrastruktur til forsyning og opladning, hvor der stadig mangler viden om de bedste modeller. Samtidig er der ikke udsigt til at elektrificering kan nå at bidrage markant til dekarbonisering ift. 2030-målsætningen, især på grund af behovet for ny bilpark.

Elektrificering via **brint til FCEV** (som ikke ses i Figur 34) kan i princippet bidrage til dekarbonisering på lignende måde, men uden at rækkevidden for køretøjer på samme måde er et problem. Dog forekommer det alt i alt som en mindre attraktiv og potentielt konkurrerende løsning fordi der forudsættes udrulning af helt ny infrastruktur og motor/køretøjsteknologi (som for el) og samtidig opstå ret stort energitab genne kæden (omtrent som for electrofuels). Dette udelukker dog ikke nødvendigvis relevansen af fortsat udvikling på området, i håb om teknologiske og markedsmæssige gennembrud.

Electrofuels rummer også interessante potentialer af lignende årsager og på grund af muligheden for at opbygge et integreret energisystem på CO₂-neutral el, uden at transporten behøver at forlade den flydende form for energi med høj energitæthed og stor fleksibilitet. Dette forudsætter dog en markant og langsigtet satsning på udvikling af VE-baseret elektrolyse, og der er tale om til dels umoden teknologi, som samtidig medfører store tab af energi. E-fuels kan næppe heller levere meget i 2030. Det lange perspektiv vil medføre at perioden hvor transporten må forblive på diesel eller biobrændstoffer forlænges. Dette betyder selvsagt ikke at teknologien som sådan bør opgives. Forskning og udvikling kan bidrage til at afdække hvordan Power-to-X løsninger bedst kan indgå i det samlede energisystem med energi til tung transport som et muligt element.

Biobaserede løsninger (biobrændstoffer og især biogas) har også teoretiske potentialer for at bidrage til dekarbonisering, men de forudsætninger som skal være opfyldt for at bidragene kan blive reelle og markante er yderst restriktive. I værste fald kan der opstå øgede udledninger som følge af areal- og ressourcefortrængninger, lækager og andet. Dertil kommer risici forbundet med at lænke transportsektoren til bioøkonomi (og muligvis import) i en fremtid hvor biologiske ressourcer vil blive udsat for et stigende pres.

I Figur 34 fremstår biogas-sporet med kun få 'dramatiske' svagheder. Det er dog et til dels misvisende udtryk for, at der i afsnittet er arbejdet ud fra et biogasscenario med til sigtet gunstige omstændigheder. Hvis omstændighederne ændres således at fx klimavenlige råvarer som halm alligevel ikke kan udnyttes i stor skala, eller lækagerne ikke kan undgås vil flere felter kunne skifte til gult eller rødt. Med andre ord skal biogassens eventuelle rolle i en dekarboniseringsstrategi nøje gennemarbejdes og kontrolleres.

Både **flydende og gasformige** løsninger kan indebære længere perioder hvor eksisterende fossile teknologier og ressourcer fastholdes, med henblik på at opretholde infrastruktur, sikre økonomi, mm. Dette kan på den side hjælpe til at begrænse omkostningerne ved at bane vej for de alternative løsninger, men kan på den anden side også give bagslag i form af skærpet konkurrence med de alternative teknologier og medvirke til at forsinke dekarboniseringen.

Bedre kapacitetsudnyttelse gennem logistik og organisering fremstår relativt uproblematisk i analysen og i Figur 34, og det forekommer da også at være en oplagt vej at følge, bl.a. for at mindske behovet for investeringer i kostbare alternative teknologier og systemer. Bagdelene er at effektiviseringstiltag nok kun kan yde beskedent til dekarboniseringen og samt at det ikke er særlig oplagt hvordan hele potentielt skal kunne høstes.

7. Politiske håndtag

De løsningsmuligheder der er afdækket i kapitel 6 kan ikke forventes at føre til markant dekarbonisering af godstransporten frem mod 2030 og 2050, hvis de ikke drives frem af politiske tiltag. I dette kapitel er det målet at identificere og beskrive de vigtigste politiske håndtag der vil kunne tages i anvendelse for at fremme dekarboniseringen.

Overordnet kan der angives seks typer *virkemidler* der teoretisk set vil kunne bidrage:

- tekniske krav til brændstoffer, køretøjer, infrastruktur, mm
- økonomiske incitamenter herunder afgifter på, og tilskud til, køretøjer, brændstoffer, kørsel og infrastruktur
- direkte investeringer i anlæg, infrastruktur, energiforsyning mv.
- offentlige indkøb af transportmateriel, energi, varer og tjenesteydelser
- regulering af trafik, hastigheder, kørsel
- information, forskning, uddannelse, samarbejde, mv.

Målet med analysen er er imidlertid ikke at gennemføre en teoretisk analyse, men at afdække mulige konkrete indsatsområder og initiativer der kan vil kunne aktualiseres i praksis i den nærmeste fremtid, ud fra en betragtning om at det haster med at få indsatsen i gang.

I den sammenhæng vurderes, at de internationale rammer i form af EU-politik og grænseoverskridende samarbejde vil have stor betydning for den nationale indsats der konkret vil kunne iværksættes i forhold til vejgodstransportens CO₂-udledninger i Danmark. Dette gælder ikke mindst hvad angår regulering og fremme af køretøjer, brændstoffer og infrastruktur der kan understøtte dekarboniseringen, hvor det kan være svært at forestille sig effektive rent nationale løsninger

Derfor indledes kapitlet med en gennemgang af de vigtigste **EU-mål, reguleringer og tiltag** som har betydning for regulering af godstransportens klimapåvirkning, hvor det samtidig søges at finde åbninger for mulige initiativer i Danmark eller i forhold til EU

Der er dog også vigtige håndtag som kan benyttes **nationalt** og til dels lokalt. Det drejer sig om bl.a. om mange aspekter af afgifter og tilskud, rammer for etablering af ny energiinfrastruktur, samt planlægning, trafikregulering, og samarbejde.

Derfor ses også på den eksisterende nationale regulering og indsats i Danmark samt nogle af de nationale initiativer til fremme af dekarbonisering der er foreslået eller lanceret i Danmarks nabolande, og som måske kan inspirere til handling.

Hvert afsnit afrundes i gennemgangen afrundes derfor med at pege på aktuelle og fremtidige politiske **handlemuligheder**.

7.1 EU-regulering

EU har lagt rammer for den nationale indsats ift. dekarbonisering af transport, dels gennem **overordnede mål for klima, energi og transport**, og dels gennem **indsatspakker og konkrete reguleringer af transport systemer**

I det følgende gennemgås følgende områder:

- Overordnede klimamål og transportmål
- CO₂-krav til varebiler og lastbiler
- Krav til brændstoffer, herunder om VE-andele
- Handlingsplaner for infrastruktur til alternative brændstoffer
- Revideret 'Clean Vehicles' direktiv (krav til offentlig sektor køretøjer)
- Regler om opkrævning af vejafgift ('Eurovignette')
- Regler om vægt og dimensioner for tunge køretøjer
- Forskning og udvikling

Overordnede klimamål og transportmål

I EU's klimapolitik er der opstillet **overordnede klimamål** for 2020 og 2030 samt indikative mål for 2050.

2020 målene, herunder mål om 10 % VE i transportsektoren i 2020 anses for opfyldt i Danmark og gennemgås ikke nærmere her.

For 2030 er EU-målet en 40 % reduktion af drivhusgasudledninger. Her er Danmarks nationale mål for udledningen der ikke indgår i ETS-systemet (herunder transport) 39 % reduktion 2005-2030. Dette mål forventes *ikke opfyldt* af Danmark uden nye tiltag (Klimarådet 2019). Om VE-mål for transport i 2030, se senere.

For 2050 har det indikative mål hidtil været en reduktion på mellem 80 og 95 % i 2050. Den forrige kommission fremlagde i 2018 forslag om at EU i 2050 skal være 'klimaneutral' og den nytiltrådte har også denne vision højt på dagordenen i 'A European Green Deal' fra december 2019. Målet er dog endnu ikke udmøntet i konkrete vedtagelser, særlige mål for transportsektoren, eller nationale rammer.

Specifikt for **transport** fremlagde den tidligere kommission den tredje Hvidbog om Transport "Roadmap to a Single European Transport Area" (EU 2011).

I hvidbogen blev foreslået et indikativt mål om mindst 60 % reduktion af transportsektorens drivhusgasudledning i 2050 i forhold til 1990. Der blev også opstillet nogle mere specifikke mål, herunder om at **halvere brugen af køretøjer på konventionelt brændstof i byerne inden 2030 og at opnå "stort set CO₂-fri bylogistik" i de større bycentre inden 2030**. Altså et meget vidtgående mål for godstransport, men ikke bindende.

I perioden siden 2011 har Kommissionen udsendt en række mere konkrete **transportpakker** med initiativer der bl.a. har til formål at reducere CO₂-udledningen. Nogle elementer af disse pakker er siden implementeret i konkret lovgivning mens andre er under forhandling eller revision, jf. de følgende afsnit.

Der har været tradition for at udarbejde en Hvidbog omkring hver 10 år. Den nye kommission igangsætter arbejdet med en ny hvidbog i 2020

Handlemuligheder: Danmark kan med fordel arbejde for ambitiøse EU-klimamål som bedst muligt flugter med og understøtter Danmarks egne klimamål og strategier (fx netto-nul inden 2050 og 70 % reduktion i 2030).

Det vil være af stor interesse for Danmark at overordnede europæiske klimamål kommer til at stille lignende krav om dekarbonisering mv. i de enkelte sektorer som de danske mål formentlig vil gøre det.

Danmark kan tillige spille ind for at præge den kommende transporthvidbog, med henblik på at sikre ambitiøse mål, opfølgning og effektive initiativer. De kommende sektorer vil indkredse nogle af de vigtige elementer.

CO₂-krav til køretøjer





Varebiler. I 2011 blev der for første gang indført typegodkendelseskrav til CO₂-udledning fra varebiler op til 3,5 tons (Forordning 510/2011). Kravet var at nyregistrerede varebiler i gennemsnit højt måtte udlede 175 g CO₂/km i 2017. Dette krav blev opfyldt allerede 2013. Der er siden vedtaget et opdateret krav på 147 g CO₂/ fra og med 2020 (Forordning 253/2014). Dette mål kan det blive vanskeligere at nå.

Der blev i der i 2018 vedtaget skærpelser der skal resultere i yderligere 15 % reduktion i 2025 og 31 % i 2030 set ift. 2021. Der blev også vedtaget lignende mål for andelen af lav-emissionsvarebiler, med under 50 g/CO₂/km (Forordning 2019/631).

Handlingsmuligheder. Reguleringen skal undergå review i 2023. Dette kan give mulighed for at indstille om fx øgede krav til andelen af lavemissionsvarebiler og vurdere om de målemetoder der er indført er retvisende.

Lastbiler. I 2019 blev der for første gang endelig vedtaget krav til CO₂ for tunge køretøjer (Forordning 2019/1242). Målet er ikke formuleret som en absolut værdi men som %-vis reduktion ift. nye køretøjer i 2019. Emission fra nye lastbiler skal være reduceret med 15 % i 2025 og 30 % i 2030 ift. 2019. Der er lavet målinger for at fastlægge 2019 niveauet.

Reguleringen omfatter i første omgang kun visse grupper lastbiler på over 16 tons totalvægt, 4 ud af i alt 18 køretøjskategorier jf. Figur 35. Disse grupper repræsenterer dog ifølge EU-kommissionen 2/3 af CO₂-udledningerne i EU. Hvor stor del af den danske lastbilpark der omfattes af kravene vides så vidt bekendt ikke.

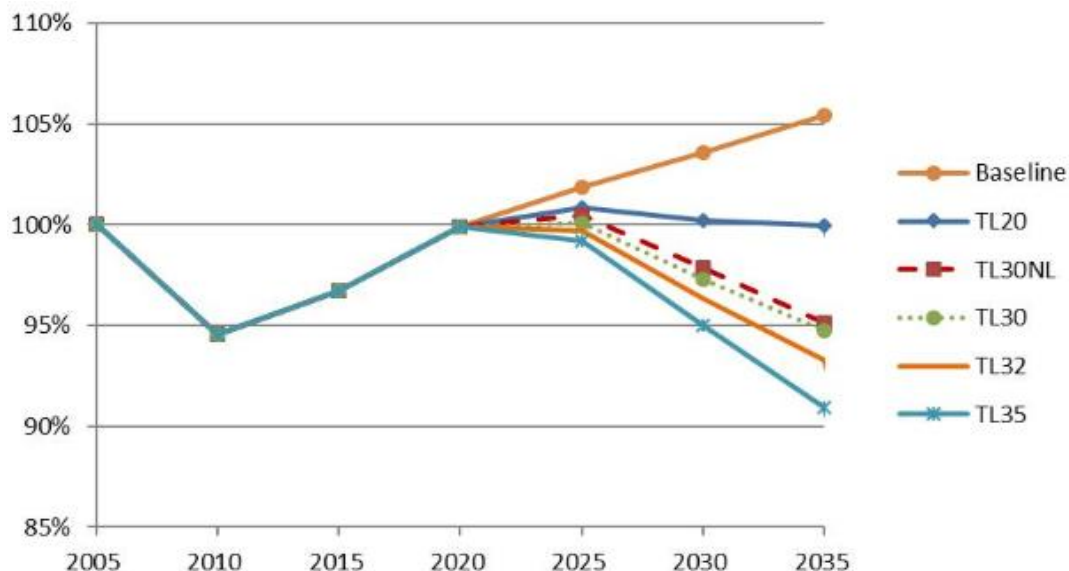
Vehicle group	Axle and chassis configuration	Without trailer
4	4x2 Rigid	
5	4x2 Tractor	
9	6x2 Rigid	
10	6x2 Tractor	

Figur 35 Typer af lastbiler omfattet af de nu vedtagne EU CO₂-krav (EC Climate Action 2019)

Der indgår også en mekanisme som sigter til at fremme salg af nul- og lav-emissions-lastbiler, såkaldte ZLEVs. Dette indbefatter 'super-credits' hvor producenterne frem til 2024 kan få op til 3 % rabat på CO₂-kravet til alle deres solgte køretøjer i det omfang de sælger ZLEVs. Fra 2025 er kriteriet at producenterne skal markedsføre minimum 2 % ZLEVs for at kunne opnå rabat, men princippet er ellers nogenlunde det samme. Der er fastlagt bødestørrelser for ikke at opfylde kravene.

Der er dog forskellige andre mekanismer som giver producenterne fleksibilitet ift. at opfylde kravene, hvilket er med til at gøre det de vanskeligt at forudsige hvad effekten af disse regler konkret vil være.

EU kommissionen foretog i forbindelse med forarbejderne til reguleringen en vurdering af forslagets konsekvenser hvad angår bl.a. økonomi og CO₂ udledningen fra tunge køretøjer jf. Figur 36.



Figur 36 CO₂-udledning fra tunge køretøjer som følge af EU-krav (Kilder: European Commission 2017a og Narkevičiūtė 2019).

Der er analyseret forskellige scenarier, den endeligt vedtagne minder mest om TL30.

Det fremgår af kurven, at de samlede årlige udledninger forventes reduceret relativt lidt, med en reduktion på omkring 5 % i 2035 sammenlignet med 2005. Reduktionen ift. baseline udviklingen (uden tiltag) i 2035 er lidt større, ca. 10 % point. Kommissionen angiver at CO₂-besparelsen i hele perioden 2020-30 er ca. 50 mio. tons CO₂ i alt, eller omtrent som Danmarks samlede (årlige) udledninger.

Transportørerne opnår angiveligt en stor besparelse på samlet 25.000 EURO pr ny lastbil over de første fem år, som følge af lavere energiforbrug.

Vurderingen indikerer, at de vedtagne krav bidrager til dekarboniseringen og samtidig giver andre fordele, men at bidraget ikke er ret stort. Desuden afhænger slutresultatet af en lang række forhold, herunder udviklingen i transport og lastbilmarkedet samt producenternes strategier ift. ZLEV-køretøjer.

Handlemuligheder: Reguleringen skal undergå review i 2022. Dette vil være en mulighed for dels at inkludere flere køretøjstyper som det allerede er påtænkt, og dels se på hvorvidt kravene til udledninger samt og regler og mål for ZLEV-køretøjer med fordel kan skærpes eller suppleres.

Der bør også ses på om test-målingerne afspejler de faktiske køremønstre og energiforbrug, jf. uheldige erfaringer fra personbilsreguleringen.

Det tyske partnerskab for grøn energi 'Agora Energiewende' har konkret foreslået at den nye Kommission ved den kommende revision skærper kravet til 40 % i 2030 og pålægger bindende krav til kvoter for ZLEV-køretøjer på mindst 25 % i 2030. (Agora Energiewende 2019).

Det vil også være relevant at se på, om revision af emissionskravene kan suppleres med andre tekniske krav til køretøjerne, fx vedrørende størrelse, aerodynamik, mm. Det internationale analyseinstitut ICCT har fx peget på muligheder for at opstille krav om teknologi til måling kapacitetsudnyttelsen i lastbilerne (ICCT 2019).

Det bør under alle omstændigheder undgås at revisionen benyttes til at *slække* kravene. Denne mulighed kom ind i reguleringen som led i et kompromis.

VE og brændstofkrav

VE-direktivet fra 2009 pålagde medlemslandene at 10 % af det endelige energiforbrug til transport skal være fra VE-kilder i 2020. Direktivet fastlægger tillige bæredygtighedskriterier som brændstoffer skal opfylde for at tælle med ift. målet, herunder en multiplikationsfaktor (dobbelttælling) for visse bioressourcer og el på VE.

VE-direktivet blev suppleret af Brændstofkvalitetsdirektivet som bl.a. fastlagde at livscyklus-emissionerne af drivhusgasser pr. energienhed skal reduceres med 6 % i 2020 i forhold til 2010, fx gennem brug af VE. Dertil kom ILUC-direktivet fra 2015 der bl.a. præciserer bæredygtighedskravene og herunder angiver krav om at min. 0,5 % af målet skal opfyldes af avancerede biobrændstoffer (list i direktivets bilag IX, del A), mens maks. 7 % må komme fra fødevarebaserede biobrændstoffer.

Disse direktiver er implementeret i Danmark via lov om bæredygtige biobrændstoffer, som bl.a. pålægger virksomheder som sælger transportbrændstof at iblande en bestemt mængde biobrændstof og dokumentere dette. Til og med 2019 var kravet om iblanding på 5,75 %. I praksis opfyldtes dette primært gennem brug af standarderne E5 for benzin og B7 for diesel, som er aktuelt for lastbiler. Der indgår også krav om at 0,9 % skal være avancerede biobrændstoffer. I 2019 blev reglerne opdateret så Danmark kan opfylde VE-direktivets 2020 mål. Ændringen påvirker direkte ikke dieselblandingen.

VE-Direktivet er opdateret i 2018 (RED II). Heri indgår mål og regler for perioden efter 2020 frem mod 2030, hvilket har betydning for godstransportens dekarbonisering. Denne opdatering er endnu ikke implementeret i dansk lov.

Ifølge RED II øges kravet til brændstofleverandører til at mindst 14 % af det endelige energiforbrug til transport skal være dækket af VE 2030. Heraf skal 0,2 % komme fra avancerede biobrændsler i 2022, hvilket skal stige til 1 % i 2025 og 3,5 % i 2030.

Stadig må højst 7 % af de 14 % komme fra fødevarerbaserede biobrændsler. Medlemslandene kan dog vælge en lavere grænse og dermed også et lavere VE-mål end 14 %. VE-baseret el skal tælle med faktor 4, når den anvendes i vejtransportsektoren.

Der indføres også justerede bæredygtighedskrav som skal være opfyldt for at forskellige ressourcer kan tælle med i opfyldelsen og være berettiget til at modtage offentlig støtte. Det omfatter min 50 % ->65 % CO₂ reduktion for biobrændstoffer. Der åbnes også for at ikke-biologisk materiale, herunder electrofuels og fx recirkuleret plastic kan indgå i målopfyldelsen (kræver min. 70 % CO₂ fortrængning).

Der er ultimo 2019 udmeldt supplerende regler (en såkaldt delegeret akt) som fastfryser brug af biobrændstof med særlig høj ILUC risiko (palmeolie) på omkring dagens niveau, og fra 2030 kan disse ikke længere tælle mod målet. Dog tillades visse undtagelser, fx hvis palmeolien er certificeret eller dyrkes på smålandbrug. Palmeolie vil også stadig frit kunne importeres og anvendes uden begrænsninger blot uden at tælle ift. VE-målet. Andre planteolier som sojaolie kan stadig tælles med ift. målet og indgår i de maks. 7 %.

Landene skal også fastsætte en vejledende sti for indfasningen frem til 2030.

Revisionen af VE-direktivet har været længe undervejs og resultatet er problematisk. Ud fra en klimabetragtning er det positivt at der lægges låg på anvendelse af 1. generation (fødevarerbaserede) biobrændstoffer, og at palmeolie (sort set) stort set udfases. Dog er opgøret med disse ressourcer ikke helhjertet, og det samme gælder de spage forsøg på at fremme avancerede biobrændstoffer samt electrofuels, som også er underlagt restriktioner på hvordan de kan medregnes. Grundlaget for at fritage andre bioressourcer end palmeolie på basis af ILUC risikovurdering problematiseres også fra flere sider (se bl.a. Malins 2019 og Copenhagen Economics 2019).

Dertil er det usikkert hvordan medlemslandene vil gribe implementeringen an. De enkelte lande kan i et vist omfang vælge at fastlægge strengere krav end i direktivet. Reglerne angiver både begrænsninger og frihedsgrader for landene som det umiddelbart er vanskeligt at overskue spillerummet i. Det er fastlagt at Kommissionen i 2026 skal evaluere konsekvenserne af eventuelle specifikke nationale krav.

Handlemuligheder: Det forekommer vigtigt at kulegrave nærmere hvordan den nationale implementering af RED II og den delegerede akt i revideret dansk lovgivning bedst kan fremme dekarboniseringen. Det kan i den forbindelse overvejes at undersøges muligheder for at afvige fra kravene fx ved at,

- sætte en lavere andel 1. generations biobrændstoffer end 7 %
- sætte en højere andel avancerede biobrændstoffer
- øge krav til CO₂-fortrængning/ILUC risiko
- gøre medregning af electrofuels mere favorabel

RED II Direktivet skal undergå review i 2023, og den delegerede akt ligeledes. Dog skal de dele af akten der handler om kriterier for afgrænsning af høj-risiko ILUC samt certificering af palmeolie vurderes af kommissionen allerede i 2021.

Disse reviews bør forberedes fx ved at gennemføre analyser af muligheder for at skærpe ILU-regler, især hvis de nationale regler ikke kan 'bøjes' som anført.

Infrastruktur for alternative drivmidler (AFI)

Som led i 'Clean Power for Transport' pakken fremlagde kommissionen forslag til Direktiv om udrulning af infrastruktur for alternative brændstoffer (AFI), der blev vedtaget af medlemslandene i 2014. Direktivet kræver, at medlemsstaterne etablerer en minimumsinfrastruktur til alternative brændstoffer herunder for elektricitet, CNG og LNG. Infrastruktur for brint indgår også men er frivilligt at rapportere om for landene

Der blev ikke opnået enighed om bindende mål for omfanget af infrastruktur. Der er derimod opstillet indikative mål for tætheden af el-ladestander samt for tæthed af gastankningsmuligheder i byområder og langs TNT-vejnettet i hhv. 2020 og 2025.

Der indgik ikke overvejelser om el-opladning til varetransport og tunge køretøjer i direktivet. CNG/LNG-tankning er derimod primært tiltænkt tung transport. Men som tidligere beskrevet vil disse fossile brændstoffer ikke eller kun i begrænset omfang kunne bidrage til dekarboniseringen. Formålet i direktivet har da også primært være forbedret luftkvalitet og mindsket afhængighed af olie.

I overensstemmelse med artikel 3 i direktivet skulle medlemsstaterne senest i november 2016 indrapportere til Kommissionen om deres nationale politiske rammer (NPF) for AFI. Kommissionen har i 2017 og 2019 udmeldt sin vurdering af de nationale planer (European Commission 2017b). Der er stor spredning i hvor godt landene opfylder de opstillede indikative mål. Opfyldelsen er generelt ringest for LNG.

For *Danmark* bemærkes at landet p.t. har en af de højeste dækningsgrader med el-ladestander målt for personbiler og dertil også mål for CNG-opladning. Derimod har DK ingen infrastruktur for LNG og har heller ingen planer herfor. Forklaringen er at man fra dansk side ønsker at afvente erfaringer fra andre lande frem til 2025.

Der er ingen direkte sanktioner for ikke at opfylde målene.

Den grønne europæiske interesseorganisation 'Transport & Environment' roser i sin evaluering af EU-landenes transportpolitik direkte Danmark for ikke at låse sig fast på

LNG/LBG infrastruktur, så længe det anses for tvivlsomt om LNG/LBG reelt kan bidrage positivt til dekarboniseringen (jf. også afsnit 6.4) (T& E 2019)

Handlemuligheder: Ud over at medlemslandene af egen drift kan vedtage nye politiske tiltag mhp. at udbrede alternativ brændstofinfrastruktur særligt til tung transport i form af fx el-opladning, køreledninger, brint eller LBG er EU-kommissionen aktuelt ved at forberede en revision af AFI direktivet i 2020 (European Transport Forum 2019).

I den sammenhæng er der ved at komme øget fokus på AFI til lastbiler og tung transport. Elektrificering er en af muligheder, der er meget fokus på i drøftelserne, selvom Kommissionen argumenterer for en teknologineutral tilgang.

En anden diskussion er om der skal foreslås bindende mål for medlemslandenes AFI infrastruktur, sådan som det blev forsøgt men forkastet ifm. vedtagelsen af det gældende direktiv. Bindende mål vil kunne sikre stærkere fremdrift mod dekarbonisering.

Den høring om direktivet som forventes igangsat primo 2020 vil være anledning til at bringe behovet for AFI til tung transport bredere op, herunder fx analyser af teknologiske muligheder og begrænsninger ift. elektrificering, og fælles europæiske tekniske standarder og forretningsmodeller for batterier, opladning og ERS.

Clean Vehicles Direktivet

Direktiv 2009/33/EC fra 2009 har til formål at fremme grønne køretøjer gennem offentlige indkøb. Direktivet pålægger offentlige myndigheder at inddrage energi- og miljøhensyn ved anskaffelse af køretøjer. I dag vurderes offentlige indkøb i EU bl.a. at tegne sig for ca. 3 % af alle nyindkøbte varebiler og 6,4 % af nye lastbiler (i modsætning til busser hvor andelen er oppe på 75 %). Direktivet er implementeret i Danmark som bekendtgørelse nr. 1394 af 14. december 2010.

Kommissionen foretog i 2017 en evaluering, som viste at direktivet hidtil havde haft meget begrænset effekt på udbredelsen af grønne køretøjer og CO₂-mål (EP 2019).

Kommissionen udarbejdede herefter et forslag til et revideret direktiv som udvider og skærper kravene på flere områder. Dette forslag har nu været igennem en langstrakt høring og lovgivningsproces og er i sommeren 2019 endeligt vedtaget som direktiv 2019/1161.

Hovedelementer i det reviderede direktiv er,

- Direktivet udvides til også at omfatte køretøjer der leases, lejes eller på anden måde hyres til offentlige opgaver (ikke blot offentlige køb af køretøjer)
- Det opstilles opdaterede definitioner af og krav til 'rene' køretøjer. For varebiler er udgangspunktet kravene i forordningen om køretøjers CO₂-udledning (Forordning 2019/631), på 50 g/CO₂/km. For lastbiler er definitionen lastbiler der kører 100 % på alternative drivmidler, dvs. el, brint, biobrændstof, eller CNG/LNG

- Der opstilles konkrete mål for hvilken andel af nye køretøjer i offentlig tjeneste der skal leve op til kravene i de enkelte medlemslande, i de to perioder hhv. op til 2025 og op til 2030.
- For Danmark skal hhv. 37 % og 38 % af varebilerne være 'rene' i de to perioder mens kravene til lastbiler er hhv. 10 % (2025) og 15 % (2030)

Bestemmelserne kan synes at være af mindre betydning da kun få vare- og lastbiler ejes af det offentlige. Men udvidelsen af reglerne til køretøjer der udfører offentlige opgaver, herunder 'specifikke post- og pakkeleveringstjenester samt tjenester i forbindelse med affaldsindsamling' kan det dog få øget betydning.

Der er lagt op til ny revision af direktivet i 2027, bl.a. mhp. at skærpe kravene fra 2030 og frem.

Det tyske partnerskab for grøn energi 'Agora Energiewende' har bl.a. foreslået at der ud over krav til udledning fra til selve kørslen indarbejdes regler om anvendelse af en vis mængde lav- og o-emissions-stål ved fremstilling af køretøjer i offentlig tjeneste.

Handlemuligheder: Da ny revision af direktivet først er programsat til 2027 vil de mest aktuelle danske handlemuligheder formentlig ligge i forbindelse med implementering af direktivet i en ny bekendtgørelse samt i de konkrete udbud der foretages.

Direktivets Artikel 5 åbner for at medlemslandene kan anvende strengere krav en direktivet foreskriver, dvs. der bør kunne stilles skrappe klimabetingelser (fx om o-emission) til køretøjer der skal udføre offentlige opgaver.

Energiafgifter

EU's EU's energibeskatningsdirektiv fastlægger bl.a. minimumsafgiftssatser på fossile brændstoffer elektricitet. Energibeskatningsdirektivet er ikke grundlægende revideret siden det trådte i kraft den 1. januar 2004 men satserne er senest justeret i 2010. (Sekretariatet for afgifts- og tilskudsanalysen på energiområdet 2018).

For diesel gælder en minimumssats på 2,46 DKK/liter eller 70 DKK/GJ. Satser for bio-brændstoffer følger som udgangspunkt det brændstof de er iblandet eller erstatter. Naturgas og el til erhvervsformål har lave minimumssatser.

Der skelnes ikke mellem egentlige energiafgifter og CO₂-afgifter. Begge tæller med i forhold til overholdelse af minimumssatserne. Minimum afspejler hverken energiprodukternes energi- eller CO₂-indhold.

Ud over minimumsniveauet har medlemslandene vide muligheder for selv at anvende højere og/eller differentierede afgifter for de forskellige brændselstyper.

De danske afgifter for transportbrændstoffer afviger således en del fra EU-minimum og er ikke stærkt styret af dette, jf. senere i kapitlet.

Vejafgifter / 'EUROVIGNETTE'

Direktiv 2006/38 med senere ændringer ('Eurovignette'-direktivet) fastlægger regler for opkrævning af afgifter for tunge køretøjers brug af vejinfrastrukturen.

I Danmark (og Sverige, Holland og Luxemburg) og danner direktivet baggrund for den fælles Eurovignette-ordning som pålægger lastbiler over 12 tons en tidsbetinget vejbenyttelsesafgift på motorvejene. I Danmark indbragte vejbenyttelsesafgiften 490 mio. DKK i 2018 (DST 2019).

EU-reglerne tillader at der i opkrævningen også indgår afgifter, som afspejler eksterne miljøomkostninger (støj og luftforurening), inden for visse grænser. De tillades imidlertid ikke dag at vejafgifterne afspejler CO₂-udledningen.

Som optakt til en kommende revision har kommissionen gennemført en række høringer og fremlagde tilbage i maj 2017 forslag til revideret direktiv med forskellige ændringer i reguleringen (European Commission 2018; EP 2018).

I forslaget indgik som centrale elementer,

- muligheden for at anvende afgiften til at fremme dekarbonisering ved at variere afgiften for tunge køretøjer efter CO₂ i stedet for EURO klasse
- udvidelse af reglerne til at omfatter alle køretøjer, herunder person- og varebiler. Specifikt foreslås at afskaffe muligheden for at fritage køretøjer under 12 tons (sådan som det gælder i DK i dag)
- øremærkning / incitamentter til at indtægterne fra vejafgifter i højere grad målrettes til at vedligeholde og udvikle infrastrukturen.

Der pågår stadig drøftelser om revision af direktivet her over to år efter forslaget.

Det er interessant at en bred vifte af aktører i transportsektoren bakker op om inddragelse af CO₂-elementet i vejafgifterne for derigennem at fremme udbredelsen af lav- og nulemissionskøretøjer. Dette rækker fx fra miljøorganisationen Transport & Environment (T&E 2018) til bilindustrisammenslutningen ACEA (ACEA 2019).

Yderligere interessant er det at ACEA bakker op om at indtægterne til dels målrettes udvikling af vejinfrastrukturen, og især at man bl.a. peger på udbygning af infrastruktur til alternative drivmidler som et formål.

Det tyske partnerskab Agora Energiewende har ligeledes foreslået at indtægterne delvis målrettes dekarboniseringen i transportsektoren, og herunder at der skabes mulighed for at medlemslandene kan opkræve mindst 80–100 EURO (600–750 DKK.) pr ton CO₂ som element i vejafgiften (Agora Energiewende 2019).

Et statsligt svensk analyseinstitut har foreslået at der ved revision af direktivet sikres at det bliver muligt at opkræve infrastrukturafgift for elektrificering i form af ERS (Trafik-analys 2017).

Hvor medlemslandene angiveligt har forholdt sig åbent til at inddrage CO₂ i ordningen har der været væsentlig mere modstand mod at udvide afgiftsgrundlaget til andre køretøjer, samt forpligtelser til at øremærke indtægterne mere entydigt til vedligeholdelse og udvikling af infrastruktur (EP 2018). Det gælder også Danmark som har udtrykt modstand imod disse elementer (Transport-, Bygnings- og Boligministeriet (2017)).

Handlemuligheder: Fra dansk side kan der skubbes på for at EUROVIGNETTE direktivet revideres med inddragelse af CO₂-differentiering for tunge køretøjer (og evt. varebiler), og åbning for at dele af indtægterne kanaliseres til investeringer i dekarboniseret infrastruktur langs vejnettet, herunder lademuligheder og ERS.

Regler om vægt og dimensioner for tunge køretøjer

Bestemmelser om lastbilers tilladte vægt og dimensioner er fastlagt i EU-regler, bl.a. typegodkendelsesforordningen 2018/858 og direktiv 96/53/EF. Bestemmelserne er implementeret i dansk lov via dimensionsbekendtgørelsen.³⁸

At bestemmelser om lastbilers størrelse og vægt kan være relevante i forhold til dekarbonisering skyldes primært argumenter om at større køretøjer som EMS-modulvogn-tog har øget kapacitet og dermed kan transportere mere gods uden en tilsvarende forøgelse af energiforbrug og CO₂-udledning, jf. afsnit 6.1 om Logistisk optimering og køretøjsudnyttelse.

Der har været betydelig debat i EU om forøgelse af lastbilernes tilladte vægt og størrelse (primært længde), især mhp. at høste de økonomiske fordele, men også ud fra overvejelser om miljøhensyn og klima samt evt. konkurrence med jernbanetransport.

I 1996 blev EU-reglerne om dimensioner ændret mhp. at indpasse Sverige og Finland, hvorved større og tungere lastbilkonfigurationer end hidtil blev tilladt. Forudsætningen var der i alle lande der tillader større lastbiler end normalt også i blev åbnet for godkendelse af lastbiler efter European Modular System (EMS), dvs. modulvogn-tog. De enkelte lande kan herefter give tilladelse til kørsel med større lastbiler hvis de følger EMS-standarden. Den typiske grænse er længde på 25,25 m og maks. vægt på 60 tons. Det er dog langt fra alle EU-lande der som DK har indført EMS tilladelser og tilhørende vejnet.

EU-reglerne tillader kun at EMS og andre store lastbiler kører nationalt eller overskrider højst én landegrænse med mindre det sker som led i et afgrænset lokalt forsøg. Der har fra flere sider, især transport- og logistikbranchen i Europa været rejst forslag om en EU-harmonisering på området og herunder indførelse af regler der vil tillade EMS-lastbiler at køre mere frit internationalt (fx ACEA 2019b; NEA 2010; CLECAT et al. 2009).

Organisationerne peger bl.a. på fordele ift. effektivitet, sikkerhed, og CO₂, dog uden at fremlægge bud på den mulige samlede CO₂-besparelse. I en artikel fra 2016 anslår to belgiske forskere Breemersch & Vanherle (2016) at der ved frigivelse af store EMS lastbiler på hele det overordnede vejnet i EU svarende til 8 % af markedet ville kunne opnås

³⁸ BEK 1497 af 01/12/2016

en samlet reduktion på 2 % af CO₂-udledningen fra tung vejtransport i 2020. Det er dog langt fra givet at alle lande er indstillede på at tillade større lastbiler. Til gengæld kan CO₂-effekten formentlig øges hvis EMS-køretøjerne opnår større markedsandel.

Handlemuligheder: Det kan overvejes at støtte op om forslaget om at fremme en harmoniseret standard for store lastbiler med tilladelse til fri grænseoverskridende transport i Europa, og herunder påpege behovet for opdaterede analyser af potentialet for samlet CO₂-reduktion i EU, som indspil til arbejdet med ny transportpolitisk hvidbog fra den tiltrædende kommission, som også foreslået af bilproducenterne (ACEA 2019b).

Det kan ligeledes være mulighed at udbygge de allerede igangværende samarbejder om forsøg med grænseoverskridende kørsel med modulvogntog mellem Danmark og hhv. Sverige og Tyskland inden for rammerne af de eksisterende regler.

Forskning og udvikling, standardisering, mv.

EU råder over meget store midler til fælles forskning og udvikling hvoraf betydelige beløb gennem årene har været øremærket til forskning i transport og logistik herunder udvikling af fælles tekniske standarder for fx intermodal transport og ITS, samt alternative drivmidler mv. Ud over selve EU- budgettet bidrager medlemslande, virksomheder, fonde mm også til en række fælles Europæiske forsknings- og udviklingssamarbejder og -projekter. Her skal blot opregnes nogle få af de større fremadrettede initiativer.

De Europæiske rammeprogram for forskning og udvikling *Horizon 2020* har haft et samlet budget på 80 mia. EURO (ca. 600 mia. DKK) fordelt over 7 år, hvoraf ca. 47 mia. DKK har været /allokeret til delprogrammet 'Smart, green and integrated transport'. Derudover indgår forskning og teknologisk udvikling på i transportområdet i en række af de øvrige store delprogrammer i H2020.

En del af denne forskning og udvikling har været samlet og koordineret i platforme og partnerskaber med fokus på godstransport. Et eksempel er den Europæiske teknologi platform *ETP-ALICE*, som består af virksomheder inden for transportmateriel, produktion, distribution, logistik, havne, infrastruktur samt branchetilknyttede organisationer, universiteter og myndigheder. ALICE blev etableret i 2013 og har i dag 107 medlemmer.

Formålet med ALICE har været udvikle og bistå Kommissionen med at implementere en samlet strategi for forskning, innovation og markedsudvikling inden for logistik og supply chain management som led i H2020. Blandt de mange indsatsområder har været standardisering af logistiske enheder til by distribution (Modular Urban Load Units).

ALICE-plattformen forventes at fortsættes som et omfattende samarbejdsnetværk under stadig udbygning efter udløbet af H2020 Det er for nyligt besluttet at opstille "Zero Emissions Logistics" som mål for platformens langsigtede strategi mod 2050. Der skal udarbejdes et Roadmap som bl.a. skal identificere de nødvendige former for teknologi

og praksis som skal til for at opfylde målet med dertil hørende målesystemer og milepæle³⁹. Så vidt vides er der ingen danske virksomheder som er direkte medlemmer af ETP-ALICE.

Et andet vigtigt initiativ som fortsætter ud over H2020 er det Europæiske Innovationsinstitut EIT (The European Institute of Innovation and Technology). I regi af EIT er der siden 2010 etableret i alt otte (milliard) store 'Innovation communities' med hver typisk +50-deltagende virksomheder og universiteter og med en forventet levetid på op mod 10 år. EIT communities har til hovedformål at fremme innovation som vej til løsning af større samfundsudfordringer. I 2019 er netop igangsat et nyt community indenfor Urban Mobility med fokus på effektiv og bæredygtig transport i byer for både personer og gods.⁴⁰. Initiativet består organisatorisk af et center og 4 regionale hubs, hvor Københavns kommune udgør det nordlige hub, og bl.a. DTU og EON Denmark som partnere.

Endelig er i foråret 2019 opnået foreløbig enighed om grundlaget for EU kommende rammeprogram for perioden 2021- 2027 'HORIZON Europe', som skal afløse H2020 med et budget på ca. 750 mia. DKK.

I det nye program er der bl.a. etableret af seks store emneklynger i programmets søjle 2 om globale udfordringer og konkurrenceevne. En af dem er 'Climate, Energy and Mobility'. Der er altså dermed skabt i hvert fald principiel mulighed for et tættere samspil mellem F&U i transport og klima. Dette kan bl.a. udmøntes gennem de såkaldte 'Missions' som skal forberede en målrettet indsats overfor udvalgte problemetikker. To af de fem definerede 'Missions' lægger op til et sådant samspil, herunder 'Climate neutral and smart cities' samt til dels 'Adaptation to climate change including societal transformation', som ledes af CONCITO's formand Connie Hedegaard.

Det er endnu for tidligt at sige hvordan Horizon Europe's program, emneklynger og missioner endeligt vil blive udmøntet, men det er vanskeligt at forestille sig at et tema som dekarbonisering af vejgodstransporten ikke vil kunne placeres centralt i EU's forsknings- og udviklingsprogram, evt. via platforme som ALICE og communities som EIT Urban Mobility.

Handlemuligheder: Danske myndigheder, virksomheder, universiteter mm indgår i forskellig grad men ikke nødvendigvis specielt konsekvent eller markant i Europæiske programmer, initiativer og projekter der vedrører dekarbonisering af godstransport.

Det kan overvejes om der kan formuleres en mere samlet strategi for dansk indflydelse på og konkret medvirken i, centrale europæiske programmer, som rummer finansieringsmuligheder for forskning og udvikling af relevans for dekarbonisering af godstransport. Det kunne bl.a. bygge på den kortlægning af forskningskompetencer og -aktiviteter på området i Norden som CONCITO p.t. udfører for Nordic Energy Research.

³⁹ ALICE [Towards Zero Emissions Logistics Workshop](#), March 2018

⁴⁰ [EIT Urban Mobility](#)

7.2 Status i Danmark

Det er karakteristisk at der ikke hidtil i Danmark er gjort nogen særlig markant politisk indsats for dekarbonisering af vejgodstransporten gennem lovgivning, bevillinger, el. lign. Tiltagene er forblevet i det små.

Hvad angår implementering af **EU-regler** som ovenfor beskrevet er de relevante direktiver og revisioner i overvejende grad implementeret og opfyldt i Danmark som tilsigtet.

Det gælder fx regler for vejbenyttelsesafgift og køretøjsdimensioner (herunder EMS), minimumssatser på brændstofafgifter; og krav til VE-andel i brændstof, samt i lidt mindre grad alternativ brændstofinfrastruktur (AFI) for tunge køretøjer. Der er dog ikke umiddelbare tegn på at Danmark har været specielt aktiv i at påvirke disse EU-dagsordner i retning af skærpede klimahensyn, eller ved selv at overopfylde EU-krav i klimavenlig retning.

I den hjemlige politik har investeringer i **transportinfrastruktur** heller ikke haft markant klimafokus. De har mest rettet sig mod øget fremkommelighed og sikkerhed samt modernisering og indhentning af efterslæb på jernbaneområdet. Initiativer og overvejelser om infrastruktur til **elektrificering** har til dels har et klimaperspektiv, men har været koncentreret om jernbaner. På det seneste er der dog også kommet mere fokus på infrastruktur til personbiler og busser på el, men ikke vejgodstransport.

Ej heller er **afgiftsreguleringen** indrettet mod at opnå reduktion i CO₂-udledning fra den tunge transport. I lighed med de øvrige nordiske lande har Danmark ingen afgifter på anskaffelse eller registrering af lastbiler (Nordic Council of Ministers 2018). Der betales derimod årlig vægtafgift og udligningsafgift for diesellastbiler. Satserne afhænger af om køretøjet også betaler vejbenyttelsesafgift (dvs. over 12 tons eller ej). Desuden varieres for affjedring, antal aksler og vægt mm.

Der opkræves energiafgift på flydende og gasformig transportenergi samt el. Afgifterne er til dels differentieret efter de forskellige drivmiddeltyper som beskrevet i det følgende.

Afgift på brændstoffer består af en energidel, en NO_x-del og en CO₂ del. Energidelen udgør langt hovedparten (for diesel ca. 85 %; benzin 91 %). CO₂ delen er lille og NO_x endnu mindre. Satserne for de enkelte transportenergiformer og afgiftselementer (undtagen NO_x-afgift) ses i Tabel 11, hvor de er omregnet til sammenlignelige energienheder.

DKK/GJ	Energi	CO ₂	I alt
Benzin	129,10	12,50	141,60
Benzin (5 % bio)	129,10	0	129,10
Diesel	76,90	13,00	89,90
B7 (7 % bio)	76,80	12,10	88,90
B100 (ren biodiesel)	76,90	0	76,90
Naturgas til transport	76,80	10,00	86,80
Biomethan (1)	76,80	1,22	78,02
El (2)	1,10	0	1,10

Tabel 11 Afgiftssatser for transportenergi omregnet til samme energienhed (OBS 2016/18)

Note (1): Opgraderet biometan beskattes som naturgas

Note (2): Lav (proces) afgift, 0,4 øre/kwh. Der betales også til ETS kvoter ved el

Kilde: Energistyrelsen samt Sekretariatet for afgifts- og tilskudsanalysen på energiområdet (2018)

Energiafgiften på diesel er væsentligt lavere pr. energienhed end benzinafgiften, hvilket delvis opvejes af den årlige udligningsafgift, men dog favoriserer dieselskørslen.

Det kan også bemærkes at dieselaftgiften i Danmark ligger lavere end niveauet i både Sverige og især Tyskland, jf. Tabel 12. Dette medvirker angiveligt til et betydeligt oversalg af dieselbrændstof med dertil hørende højt afgiftsprovener i Danmark hvilket alt andet lige kan medvirke til fastholdelse af høj dieselandel.

	Euro/1000 l	DK øre/liter
Tyskland	470	351
Danmark	426	318
Sverige	437	326

Tabel 12 Samlet energiafgift på diesel (Kilde: EU *Weekly Oil Bulletin*, Sept. 2019)

For *biobrændstoffer* og *-gas* betales en energiafgift der er ækvivalent med diesel pr. energienhed, jf. Tabel 11. Der er til gengæld ingen eller kun lav CO₂-afgift på disse brændstoffer, men da CO₂-delen er lille har fritagelsen ringe betydning så længe der betales fuld energiafgift. Afgiftsincitamentet til at benytte (dyrere) biobrændstoffer er dermed relativt svagt.

Elektriske vare- og lastbiler vil ligesom personbiler kunne omfattes af den fordelagtige men midlertidige lave afgiftssats på processtrøm på kun 0,4 øre/kwh. Ordningen stod til udløb pr 1.1. 2020, men en forlængelse på yderligere to år indgår i Finanslov for 2020. Hvis ordningen bortfaldt, ville afgiften umiddelbart stige til et niveau der er væsentligt højere niveau end de fossile brændstoffer pr. energienhed.

Det hører med i billedet at en række af de alternative energiformer har været eller er stærkt subsidieret på anden vis, fx gennem støtte til udvikling, etablering, produktion,

distribution og forbrug. Biogas er den VE-kilde der modtager de største subsidier overhovedet på samlet op mod 2 mia. DKK i 2020. Ifølge en fremskrivning vil biogas endda kunne nå op over at beslaglægge 50 % af tilskuddene i 2030, mens den kun vil levere 13 % af den anvendte VE.⁴¹ At der betales energi- og til dels CO₂ afgift af biogas er således kun ét mindre aspekt af incitamentstrukturen.

Alt i alt er der tale om en noget uoverskuelig tilstand hvad angår afgiftssignaler omkring de forskellige energiformer til transport, og man kan ikke sige at der fremstår særlig stærke eller klare incitamenter til dekarbonisering. OECD kritiserer da også i sit aktuelle Environmental Performance Review af Danmark specifikt, at lastbiler generelt er underbeskattet ift. deres eksterne omkostninger (OECD 2019).

Af mulige nationale indsatsområder kan endelig også nævnes et område som **fremme af forskning og innovation**.

Danmark råder over at antal forsknings- og udviklingsmiljøer der bidrager med viden om mulige løsninger i forhold til transportsystemerne, herunder både inden for energi, infrastruktur, logistisk organisering, digitalisering og (i mindre grad) transportmidler og fartøjer. Der har været gennemført forskellige forskningsprojekter, demonstrationer og forsøg inden for grøn transport. Aktiviteten ift. godstransport har dog alt i alt været ret begrænset.

Der findes ikke i dag et samlet forskningsprogram med målrettet fokus på udfordringer ved dekarbonisering af godstransporten. En evaluering af EUDP-programmet fra april 2019 peger fx på at der er relativt få projekter med fokus på udvikling af energiløsninger til tung transport, hvilket anføres som en markant svaghed, i lyset af de energi- og klimapolitiske mål (Damvad & Muusmann 2019).

Alt i alt må situationen hvad angår den hidtidige politiske indsats i Danmark som beskrevet ovenfor ses som udtryk for en relativt udbredt passivitet med svage og uklare signaler ift. klimaudfordringen for vejgodstransporten.

Da nogle af Danmarks nabolande dog allerede synes at være længere fremme på denne dagsorden gives i det følgende en beskrivelse med eksempler på initiativer og tiltag i hhv. Sverige, Tyskland og Norge.

⁴¹ [Ingeniøren, 7. Aug. 2018](#)

7.3 Tiltag og initiativer i nabolande

Sverige

I 2017 vedtog Sverige et nyt klimapolitisk rammeværk med en ny klimalov og et mål om netto-nul udledning i 2045.

Rammen indeholder også et specifikt mål om 70 % reduktion af CO₂ fra transportsektoren i 2030 i forhold til 2010.

Året efter blev der vedtaget en national godstransportstrategi der skal bidrage til at opnå klimamålet. (Regeringskansliet 2018) Strategien har tre hovedmålsætninger:

- Konkurrencedygtig og bæredygtig godstransport,
- Omstilling till fossilfrihed,
- Fremme af innovation, kompetence og viden

Målene er udmøntet i 14 indsatsområder og 95 konkrete indsatser, hvoraf adskillige er igangsat og andre bygger videre på allerede igangværende politikker og programmer (Trafikanalys 2019). Der er også nedsat et nationalt godstransportråd som skal bidrage til at virkeliggøre strategien.

I Sverige er man dermed på vej med en forholdsvis markant portefølje af tiltag til at fremme dekarbonisering af godstransport, hvor nogle centrale punkter fremhæves her.

Alternativ drivmidler til godstransport er et stort satsningsområde i Sverige. Målet er at opnå en successiv omstilling til VE i transporten gennem en kombination af brændstofkrav, afgiftsincitament, planlægning for og støtte til udbygning af infrastruktur til el og LBG, samt forskning og udvikling.

Hvad angår flydende VE er reglerne om iblanding hidtil været suppleret af afgiftsfritagelse for rene biobrændstoffer der opfylder nationalt fastlagte bæredygtighedskriterier herunder biogas. Fritagelsen gælder både energi- og CO₂-delen af brændstofafgiften. EU har dog løbende anfægtet disse undtagelser, som derfor er midlertidige, foreløbig til og med 2020 (Schiebe 2019). Elektricitet beskattes ligeledes lavt (Trafikanalys 2019).

Disse tiltag er senest blevet opdateret og suppleret med et krav om om CO₂-fortrængning, den såkaldte *reduktionspligt*. I 2019 er kravet 19,3 % fortrængning for diesel og 2,6 % for benzin. Procenten skal øges gradvis mod 2030 hvor målet samlet er 40 % fortrængning. Fortrængningen skal som udgangspunkt dokumenteres af leverandøren ud fra en livscyklusanalyse af det aktuelle biobrændstof, med mindre der er tale om råvarer uden risiko for ILUC effekter. Reduktionspligten anses for et mere effektivt virkemiddel end afgiftsfritagelsen (Statens Energimyndighed 2019).

Elektrificering af godstransporten er en anden national satsning. Det er besluttet at udarbejde en national plan for ERS/Elveje. Den skal bygge videre på Trafikverkets igangværende program og skal især fokusere på Europavejstrekanten Stockholm, Göteborg, Malmö samt vigtige havne, og der skal etableres en længere forsøgsstrækning. Dette skal suppleres med muligheder for lynopladning uden for el-vejnettet. Der nedsættes et forum af offentlige og private aktører som skal drøfte aspekter som teknologi, sikkerhed og drift og der etableres et nationalt testcenter for elektricitet.

Konkret er der på regeringens foranledning for nylig foreslået en miljølastbilspræmie, som skal dække 40-60 % af meromkostningen ved anskaffelse af lastbil over 16 tons der kører på gas, el eller ethanol. Det foreslåede beløb er maks. 400.000 SEK/lastbil. Det skal bl.a. være en betingelse for støtte at lastbilen forbliver i landet i 5 år (Eriksson 2019). Det vurderes at det i første omgang vil blive benyttet af gaslastbiler (Trafikanalylys 2019). Forslaget er inspireret af Tyskland (næste afsnit), men ikke vedtaget.

Der er også stor fokus på muligheder for *logistisk effektivisering* i den svenske godsstrategi, herunder bedre kapacitetsudnyttelse og reduceret tomkørsel. Udover fortsat satsning på muligheder for anvendelse af længere og tungere lastbiler (HCV) har regeringen til hensigt at sikre forbedret adgang til information og åbne data omkring tilgængelig kapacitet i lastbiler mm. Den svenske myndighed Trafikverket er blevet pålagt at udarbejde forlag til et konkret system for dataudveksling.

Derudover er der i Sverige etableret et antal større partnerskaber, videnscentre og platforme til fremme af mere effektiv og bæredygtig godstransport, med deltagelse af både offentlige og private aktører. Af særlig interesse er her initiativet Fossil Free Freight (TripleF), som er forankret i Lindholmen Science Park i Göteborg⁴². Initiativet arbejder med forskning, innovation og vidensopbygning i sektoren inden for teknologi, logistik og politik, med henblik på at understøtte målet om 70 % CO₂-reduktion i 2030. TripleF har et budget på op mod 400 mio. SEK (Vierth 2019).

Et andet vigtigt initiativ er 2030-Sekretariatet. Organet blev nedsat som et frivilligt samarbejde mellem ca. 70 virksomheder og organisationer inden for transportbranchen til at følge op på af en tidligere politisk målsætning fra 2008 om indførelse af en fossilfri bilpark i Sverige. Nu har sekretariatet til opgave at følge og løbende vurdere fremskridt mod fossilfrihedsmålet mål om samlet CO₂-reduktion i sektoren på 70 % i 2030.

I opfølgningen har man fokus på de tre områder 'Bilen, Bränslen, och Beteendet', dvs. køretøjer, brændstoffer og adfærd. Opfølgning sker gennem et stort sæt af indikatorer for udviklingen, både for godstransport og persontransport og både på det nationale og det kommunale niveau. Indikatorerne følges løbende og opdateres mindst årligt.

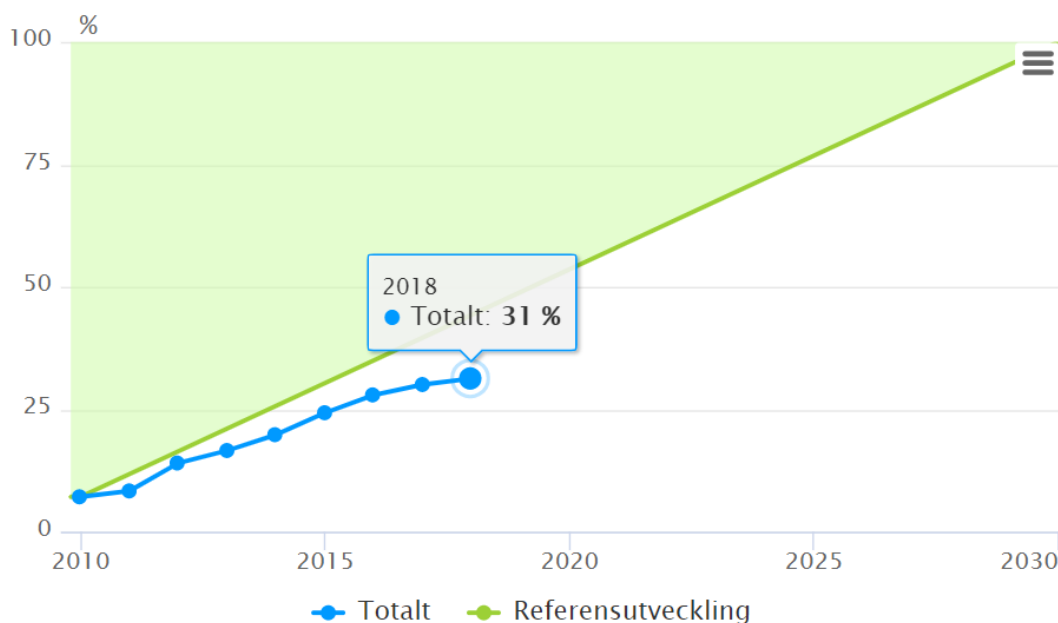
Af relevans for vejgodstransport følges bl.a. de indikatorer der fremgår af Tabel 13.

- Antal fossiluafhængige lette og tunge lastbiler, både i brug og nyregistrerede
- Gennemsnitlig CO₂ pr. let og tung lastbil, både i brug og nyregistrerede
- Antal nul-emissionslastbiler, både i brug og nyregistrerede
- Forbrugt mængde alternativt brændstof efter type
- Forbrugt mængde avancerede biobrændstoffer
- Gennemsnitlig klimapåvirkning fra brændstoffer pr type (på livscyklusbasis)
- Antal steder med takning/ladning for køretøjer på alternative drivmidler
- Godstransport fordelt på transportgrene
- Godsmængde og godstransportarbejde pr lastbil
- Omfang af E-handel
- Nøgleindeks: Fossilt energiforbrug i tunge lastbiler

Tabel 13 Indikatorer af relevans for dekarbonisering af vejgodstransport. Kilde: [2030-Sekretariatet](#)

⁴² [TripleF](#)

I Figur 37 ses den seneste status for nøgle indeks om fossiluafhængig lastbiltransport. Det fremgår at udviklingen i Sverige bevæger sig i rigtig retning men p.t. ikke er på kurs mod målet. Der er i øvrigt for nylig rettet kraftig kritik af 70 %-målet for transportsektoren i Sverige som værende for ambitiøst (Kågeson 2019).



Figur 37 Eksempel på indikator for fossilt uafhængig vejgodstransport i Sverige. Kilde: [2030-Sekretariatet](#)

Tyskland

Det er et nationalt mål i Tyskland at CO₂-udledningen fra transportsektoren skal reduceres med 40-42 % i 2030 i forhold til 1990. Den generelle vurdering er der i øjeblikket mangler meget for at dette mål kan nås (Hochfeld 2019).

Der er i 2018 etableret en såkaldt 'National platform for fremtidens mobilitet', som bl.a. har til opgave at afklare hvordan klimamålet kan nås. Scopet minder meget om den svenske godstransportstrategi med tilhørende godstransportråd.

Der er for nylig indført to politiske tiltag som retter sig direkte mod at fremme mere miljøvenlige lastbiler, dels et tilskud til anskaffelse af miljøvenlig tunge lastbiler, og dels fritagelse for betaling af kilometerafgift (Maut'en) for visse lastbiler.

Støtten til lastbiler blev indført medio 2018. Den dækker lastbiler over 7,5 tons som kører på CNG, LNG/LBM, el (batterier eller brændselsceller). Der kan højst dækkes 40 % af meromkostningerne ved anskaffelsen. Sætserne fremgår af Tabel 14.

	EURO	DKK (ca.)
CNG	8.000	59.680
LNG/LBM	12.000	89.520
El op til 12 tons	12.000	89.520
El over 12 tons	40.000	298.400

Tabel 14. Støttesatser for grønne lastbiler i Tyskland

Maut er den tyske vejbenyttelsesafgift for tunge køretøjer over 7,5 tons. Den omfatter både tyske og udenlandske køretøjer. Satserne afhænger af vægt, aksler og EURO-klasse og varierer mellem ca. 70 øre og 2 DKK pr km. (Toll-Collect 2019).

Fra 1. januar 2019 blev lastbiler på el, CNG eller LNG/LBG fritaget for at betale Maut. For-gaskøretøjerne gælder fritagelsen dog fra 1. januar 2021 kun den del af Mauten som dækker luftforurening, hvilket kun er 12-33 % af den samlede sats (7,5 øre/km for en EURO6 lastbil). For ellastbiler gælder fuld fritagelse indtil videre.

I efteråret 2019 lancerede regeringen en ny klimaplan, som bl.a. indeholder et tiltag hvor brændstofleverandører fra 2021 skal pålægges at købe CO₂-certifikater for at kompensere for udledningen fra de produkter de sælger til vejtransport (dvs. ved kørsel). Prisen skal frem mod 2025 stige fra 10 til 35 EURO/ton.

Set i forhold til den aktuelle tyske dieselolieafgift på 470 EURO/1000, liter ville dette svare til omkring 20-25 % forøgelse af transportbeskatningen pr. km i 2025. Efter 2025 skal antallet af certifikater gradvis indskrænkes, hvilket vil få prisen til at stige yderligere. Klimaeksperter kritiserer dog tiltaget for langt fra at give tilstrækkelig kraftige incitamenter til at klimamålene kan nås.⁴³ Det endelige udfald kendes ikke ved redaktionens slutning.

Der foregår en lang række større udviklingsprojekter omkring mere klimavenlig gods-transport i Tyskland.

Blandt de mest interessante er en række projekter og forsøg med elveje/ERS. Der er i 2019 startet to ny forsøgsstrækninger i Hessen og Schleswig-Holstein, og en tredje i Baden-Württemberg afventer beslutning (Bylund 2019 se fig. 30). Strækningerne er hver på 5-6 km længde. Lastbilerne er hybridmodeller fra Scania med både strømnedtag, batteri og diesel og operatørerne er forskellige transportvirksomheder. Formål er bl.a. test af teknologi og drift samt miljømæssige konsekvenser og social accept.

Yderligere interessant for Danmark er at der er etableret et samarbejde mellem ERS projekter i hhv. Tyskland og Sverige, kaldet COLLERS.⁴⁴ Samarbejdet omfatter et antal forskningsinstitutioner, projekter samt miljø- og transportmyndigheder i de to lande.

⁴³ Climate Change News <https://www.climatechangenews.com/2019/09/20/germany-announces-host-new-measures-bring-co2/>

⁴⁴ [COLLERS](#)



Figur 38 Oversigt over tre nye ERS projekter i Tyskland. Kilde: Bylund (2019)

Norge

Norge har inkluderet målsætninger for godstransport som led i den nationale Transportplan 2018-29 (Samferdselsdepartementet 2017). I planen indgår mål om at reducere CO₂-udledningen fra godstransport ved at stimulere til hurtigere indfasning af miljøvenlig teknologi, alternative drivmidler og effektivisering af transport og logistik.

Blandt de konkrete mål er at alle tunge varebiler og 50 % af nye lastbiler skal være nulemission inden 2030 samt at varedistribution i de største bycentre inden 2030 skal være tilnærmet nulemission (svarer målet i EU Hvidbogen fra 2011).

Der er indført enkelte konkrete tiltag der fremmer disse mål.

Der er krav om høj iblanding af biobrændstof. Andelen hæves til 20 % i 2020, og samtidigt øges andelen af avancerede biobrændstoffer til 8 % med mulighed for dobbelttælling. 90 % er i dag biodiesel. Kun 1 % af biobrændstofferne stammer imidlertid fra indenlandsk træaffald, resten importeres (Nordic Council of Ministers 2018). Ligesom i Danmark fritages biodiesel fra CO₂ delen af brændstofafgift (ca. 1,33 NOK/l).

Nulemissionskøretøjer (fx el-lastbiler) slipper desuden for at betale bomafgift omkring de større byer. Besparselsen kan angiveligt udgøre op mod 100.000 NOK/år for en el-lastbil.

Der er i Norge etableret en offentligt finansieret grøn fond ENOVA som støtter den grønne omstilling. ENOVA giver bl.a. tilskud til at dække meromkostninger til køretøjer på alternativ energi. I 2019 er indført en støtteordning for køb af el-varebiler op til 4,2 tons. Der gives op til 50.000 NOK i klimarabat. Ordningen er angiveligt en stor succes, eftersom ansøgningsproceduren er meget enkel og elbilmarkedet er forholdsvis udviklet i Norge.

8. Sammenfatning og anbefalinger

8.1 Sammenfatning på status og udvikling

Den grønne omstilling har endnu ikke indfundet sig i den danske vejgodstransportsektor. Over 99 % af de omkring 42.000 lastbiler på 3,5 tons årligt og derover kører på diesellole. De lastbiler som kører i Danmark forbruger derigennem ca. 43PJ energi om året. Af dette er ca. 7 % biodiesel af blandet oprindelse, men klimaeffekten af dette er i bedste fald minimal. Samet set udleder danske og udenlandske lastbiler der kører i Danmark ca. 3 mio. tons CO₂, hvilket svarer til ca. 25 % af transportsektoren eller 6 % af de samlede nationale udledninger af drivhusgasser.

Kapacitetsudnyttelsen af lastbiler over 6 tons ligger relativt stabilt og forholdsvis højt i europæisk sammenhæng, men viser ikke tegn på markante forbedringer over tid.

De tungere lastbiler samt sættevognstrækkere fra 26 t totalvægt og opefter, som udgør 60 % af lastbilparken, står for over 80 % af trafikarbejdet og 85 % af CO₂-udledningen.

Det vil sige at, en effektiv indsats for dekarbonisering af godstransporten ikke mindst bør fokusere på de større lastbiler især sættevognstrækkerne. Varebiler er derudover en anden stor post som dog ikke er behandlet nærmere i denne analyse.

Der ses i dag et begyndende, men stadig kun lille markedsudbud af lastbiler på alternative energibærere som el, gas og brint, hvor kun yderst få køretøjer er i konkret drift i dagens Danmark. Infrastruktur og forsyning med alternativ energi som el og biogas er da også stærkt begrænset, især til tung transport på længere distancer.

Markedspriser for alternativer til dieselbrændstof og dieselkøretøjer er i dag typisk væsentligt højere, og den brug der faktisk ses skyldes derfor i vidt omfang offentlige subsidier og forsøg. Der ligger ikke umiddelbart danske planer for yderligere at fremme alternative drivmidler og lastbiler, eller andre markante tiltag

Mens CO₂ udledningen fra Danmark fremover som helhed ventes at falde med omkring 25 % frem til 2030 (uden nye politiske tiltag), gælder den samme forventning dermed ikke for lastbilkørslen, hvor udledningen vil ligge på omtrent uændret niveau (ligeledes uden nye tiltag). Som det ser ud nu, vil lastbilerne altså ikke bidrage til dekarboniseringen af Danmark i de næste 10 år; tværtimod vil deres andel af CO₂-udledningen øges.

EU's krav til tunge køretøjer, der blev vedtaget i 2019, er indregnet i fremskrivningen og vil altså kun give et mindre fradrag i de samlede udledninger frem mod 2030.

Billedet er ikke umiddelbart meget anderledes i de øvrige europæiske lande. Nogle lande som Tyskland og Sverige har dog forskellige tiltag i gang eller på vej og Sverige skiller sig ud med en andel på omkring 20 % VE i vejgodstransporten, men dette sker næsten kun med brug af importeret biomasse med tvivlsom samlet klimaeffekt.

Der er alt i alt behov for en markant ny indsats hvis dekarboniseringen i vejgodstransporten skal tage fart i Danmark og i Europa i øvrigt.

8.2 Sammenfatning på løsningsveje og muligheder

Der findes en bred vifte af løsningsmuligheder, hvor rapporten har koncentreret sig om fire hovedspor.

I dette afsnit opsummeres for hvert spor det potentiale for dekarbonisering som analysen peger på og de øvrige fordele som tegner sig. Herefter påpeges vigtige forbehold og begrænsninger, der vil være for at opnå dekarbonisering via det pågældende spor.

Efter de fire spor opsummeres også på tværgående muligheder.

Elektrificeringsspor

Det mest lovende spor hvad angår vidtgående og langsigtet dekarbonisering forekommer at være **elektrificering med kombination af batteribiler (BEV) og elektriske vejsystemer (ERS)**. Denne kombination synes at have potentiale for **noget nær fuld dekarbonisering** på sigt, uden at meget grundlæggende teknisk-økonomiske barrierer skal overvindes

Hvor BEV-køretøjer i første omgang kun vil kunne understøtte lokal og til dels regional transport, vil ERS systemer især kunne forsyne de lange tunge transportere på det overordnede vejnet. Køretøjer med både strømledninger og (mindre) batterier vil kunne operere stort set overalt, og opgaverne kan tænkes fordelt på forskellige måder. I det hele elforsyningen er på vej mod nul-udledning inden 2030 slår dekarboniseringen igennem i lidt langsommere takt end elektrificeringen frem til da, og i samme takt derefter.

Andre fordele som tegner sig ved dette spor er bl.a. væsentlig højere energieffektivitet i el-motorteknologi og dermed følgende begrænset behov for ny energiforsyning, reduceret lokal miljøbelastning, høj forsyningsikkerhed, reducerede driftsomkostninger og på sigt formentlig bedre totaløkonomi, sammenlignet med diesel. Elektrificering af vejgodstransport kan til dels bygge på systemer, erfaringer og skalafordele opnået verden over inden for igangværende elektrificering af både jernbaner, personbiler og busser.

Der er sær følgende vigtige **begrænsninger og forbehold**:

- Der forudsættes et grundlæggende skift af teknologi fra forbrænding til el. Helt nye lastbiltyper skal erstatte de nuværende og delvis ny energiforsyning skal etableres. En vis konkurrence med andre anvendelser af el kan også opstå
- Elforsyningen har endnu ikke nul-udledning, og hvis man begynder at medregne udledning fra afbrænding af biomasse-el skal vi givetvis et godt stykke forbi 2030 før der er fuld neutralitet
- Batterier er dyre og medfører indtil videre anskaffelsesomkostninger der kan være 3-4 gange tilsvarende dieselkøretøjer endda uden samme aktionsradius; trods markant billigere drift ved el ser TCO stadig ofte ugunstig ud
- Der er fysiske barrierer i batteriteknologien som indtil videre forhindrer, at der kan leveres BEV biler til det tungeste segment i den danske vejgodstransport, som står for op mod 85 % af CO₂-udledningen. Dette gør kombinationen med ERS helt nødvendig hvis el-potentialet skal realiseres fuldt ud, indtil der måtte komme tekniske gennembrud på batterisiden

- Der er til dels uafklarede initialomkostninger til etablering infrastruktur (ERS og opladning) som gør overgangen til el afhængig af markant offentlig støtte og/eller evt. anden form for samfundsmæssig risikospredning. Tillægget til TCO bliver dog forventeligt ikke stort
- ERS-teknologier findes, men er stadig under udvikling og der er nogen usikkerhed om hvilke teknologier (fx konduktion/induktion) der på lang sigt 'vinder'. Det er særlig vigtigt at der sker en standardisering og koordination i forhold til ERS-udviklingen især Sverige og Tyskland
- Elektrificeringen vil ikke kunne nå at slå meget igennem til 2030 og bidraget til opfyldelse af 70 % mål i 2030 vil være beskedent, måske omkring 10 % reduktion i lastbilflådens udledninger

Hvis dekarboniseringen i høj grad skal baseres på elektrificering, er derfor for behov for en politisk indsats, der vil afhænge af hvor stor en rolle elektrificeringen skal spille.

Indsatsen skal bl.a. kunne bidrage til at understøtte markedet i efterspørgsel på elektriske køretøjer og transport, fremme udbygning af relevant el-infrastruktur (opladning, ERS), sikre tilstrækkelig tilslutning til ERS systemer, harmonisere løsninger over landegrænser og i EU, samt yderligere fremskynde dekarboniseringen af elforsyningen.

Hvilke konkrete tiltag som er relevante og kan anbefales vil fremgå af afsnit 8.3.

Et elektrisk 'sidespor' er **brændselscelle-køretøjer (FCEV)** på VE-brint. Teknologien er delvis baseret på elmotorens overlegne virkningsgrad, og potentialet for dekarbonisering svarer på lang sigt til det man kan forestille for elektrificering i øvrigt. Desuden har brint den potentielle fordel at være et flydende brændstof med høj energitæthed som kan tankes væsentlig hurtigere end batterier kan oplades.

Der er dog **væsentlige begrænsninger og forbehold** som gør at denne analyse ikke fremhæver FCEV som en særlig oplagt del af løsningen:

- Der vil være behov for grundlæggende teknologiskifte, som er mere vidtgående end skiftet til BEV/ERS, eftersom der også skal opbygges helt ny produktion og infrastruktur til fremstilling og distribution af nedkølet brint, udover selve skiftet af køretøjer, som i øvrigt endnu ikke er på markedet
- Fremstilling og distribution af VE brint via elektrolyse er meget energikrævende, hvilket trods brug af elmotor indebærer et væsentligt større samlet tab end ved direkte elektrificering (effektivitet W-t-W ca. 25 % mod ca. 70-75 % ved BEV) og tilsvarende større behov for udbygning af el-produktionen.
- Teknologien er dyr, og det er væsentlig mere usikkert end for BEV og ERS hvor meget og hvornår den kan komme ned i pris; risici ved utætheder og brand indebærer også høje sikkerhedskrav, som yderligere fordyrer teknologien.
- VE-brint har en lang række andre mulige anvendelser i et integreret VE-baseret energisystem herunder bl.a. til fremstilling af electrofuels, som vil kunne fases ind i det eksisterende transportsystem som drop-in fuel uden teknologiskifte (jf. næste punkt).

Skal FCEV-køretøjer spille en større rolle i dekarboniseringen af godstransport vil der i første omgang være behov for fortsat forskning og udvikling i flere led i kæden fra elektrolyse, til brændselsceller, til køretøjer, til håndtering af nedkølet brint i et kommercielt transportsystem.

Flydende brændstofspor

Flydende alternativer baseret på biomasse eller syntetiske produkter (electrofuels), er potentielt interessante fordi der *kan* fremstilles diesel-ækvivalent brændstof på både biologisk og elektrokemisk basis som er tilnærmelsesvis CO₂-neutralt. Dette åbner for større eller mindre dekarbonisering, uden det nødvendigvis kræver grundlæggende teknologiskift som ved overgang til el, brint eller gas.

Der nødvendige infrastruktur til distribution eksisterer således allerede, og eksisterende motorteknologi og køretøjer vil i vidt omfang kunne benyttes, hvis der fx skiftes til biobrændstoffet HVO eller syntetisk diesel, som kan droppes ind op mod 100 % (nogle andre alternative produkter som DME vil kræve tilpasning eller udskiftning af køretøjer).

Biobrændstoffer fremstilles og sælges allerede på et udviklet verdensmarked, og der er flere lande og selskaber som er interesserede i at øge udbuddet, som i disse år er i stærk vækst. Størrelsen på både de nationale og det samlede globale potentiale for bioenergi er dog meget omdiskuteret, især hvis der lægges bæredygtighedshensyn til grund for vurderingen, og der er næppe mange som forestiller sig at biobrændstoffer globalt set kan udgøre hovedparten af vejgodstransportens energiressourcer.

Electrofuels fremstilles indtil videre kun i meget små mængder på forsøgsbasis, men det langsigtede perspektiv er en opskalering, hvor det samlede forbrug af flydende brændstoffer en gang i fremtiden kunne baseres på CO₂-neutral el og CO₂ opfanget fra biobaseret røggas eller direkte fra atmosfæren, og dermed er fuldt ud dekarboniseret.

Ovenstående kunne tilsammen pege på muligheden for en 'flydende' dekarboniseringsstrategi der kombinerer hurtig og kortsigtet opskalering af biobrændstofforbruget med en langsigtet overgang til electrofuels når disse blive tilgængelige i tilstrækkelig skala.

Der er dog betydelige begrænsninger ved og forbehold mod en sådan strategi, som adskiller sig mellem biobrændstoffer og electrofuels. Derfor er det **ikke uden videre bedømt muligt at opstille et klart dekarboniseringspotentiale** for dette spor.

For *biobrændstoffer* gælder især følgende **væsentlige begrænsninger og forbehold**:

- Den dekarbonisering som kan opnås afhænger umiddelbart af hvilke biomasser og produkter som brændstoffet baseres på, hvor fx palmeolie, som pt. ikke benyttes i DK, men også substitutter såsom soja, under visse omstændigheder ikke bidrager til at mindske udledningen sammenlignet med diesel, måske tværtimod. Der er usikkerhed om effekterne af flere biologiske råvarer

- Udbuddet af såkaldt avancerede biobrændstoffer, hvor råvaren er affaldsprodukter o. lign., som ikke har umiddelbare arealanvendelseskonsekvenser er meget begrænset, og de aktuelle betingelser for at udvikle dem er langt fra stærke nok til at de evt. vil kunne opnå en dominerende stilling.
- Biobrændstoffer på markedet, herunder HVO, er for langt størstedelens vedkommende baseret på importerede råvarer. Øget brug af biobrændstoffer vil dermed forstærke Danmarks allerede markante import af biomasse til energi, som i forvejen næppe er bæredygtig.
- Overgang til biobrændstoffer til den tunge transport vil bidrage til en generel forøgelse af efterspørgslen efter biomasse, hvilket alt andet lige vil øge presset på de biologiske ressourcer globalt og med stor sandsynlighed vil medføre ikke-observerbare udledninger andre steder, tab af biodiversitet, og andre effekter uanset om brændstoffet i sig selv er baseret på råvarer med lav nominel impact. Dette medvirker til at skabe en vanskeligt overvindelig uoverskuelighed i de konsekvenser det vil følge med et øget biobrændstofforbrug.

CONCITO's vurdering er på den baggrund, at en dekarboniseringsstrategi baseret på massiv overgang til HVO el. lign. biobrændstoffer vil være højst tvivlsom, og der ses ikke umiddelbart grundlag for at opstille en forventet samlet CO₂-reduktion ad den vej.

Hvad angår *electrofuels* ses der især følgende **væsentlige begrænsninger og forbehold**:

- Overgang til electrofuels kræver betydelige investeringer i energianlæg og -infrastruktur (hvis da ikke man vil afvente at der med tiden udvikler sig et verdensmarked for electrofuels) herunder,
 - en væsentlig udbygning af VE-produktion på vind og sol
 - opbygning af en national elektrolysekapacitet som kan operere med acceptabel økonomi under de betingelser som sættes af fluktuerende energiforsyning, herunder evt. lagerkapacitet
 - etablering af anlæg til CO₂ fangst fra røggasser eller mere perspektivrigt via DAC
 - opbygning af anlæg til syntese og produktion af flydende brændstoffer, fx baseret på Fischer-Tropsch metoden
- Det vil tage en længere årrække før kapacitet på disse områder vil kunne være opbygget, og der er forskellige bud på økonomien, men de er temmelig usikre, givet at nogle teknologiske elementer i systemet befinder sig på TRL ned til 3
- Energitalbet ved fremstilling og brug af electrofuels er meget stort, endda i nogle vurderinger væsentlig større FCEV-vejen som allerede er ineffektiv
- Electrofuels i transport indebærer at opfanget CO₂ igen udledes til og ender i atmosfæren. Hvis den alternativt kan lagres ville klimaeffekten være større
- Der vil være behov for CO₂-neutral energi, brint og Power-to-X-løsninger til områder som søfart og fly hvor elektrificering næppe er mulig i noget større omfang, til forskel fra godstransport på vej.

Electrofuels kræver altså en omfattende udviklingsindsats og store investeringer, og der vil dermed sagtens kunne gå 10-15 år eller mere før CO₂-neutrale electrofuels kan komme ind og begynde at tage mærkbart over fra andre flydende brændstoffer i vejgodstransporten, det være sig fra diesel eller biobrændstoffer. Der er også mere fundamental usikkerhed om der *nogensinde* kan komme økonomi og realisme i electrofuels for lastbiltransport, givet lav effektivitet, behov for nyudviklet produktionskapacitet, samt mulige alternative anvendelser.

Hvis dekarbonisering gennem electrofuels først kommer meget sent i gang, vil der kunne opstå en stadig *forøgelse* af de akkumulerede drivhusgasudledninger, uanset om diesel fortsat dominerer, eller om man i iver for at afvikle diesel ukritisk øger biomasseforbruget i forventning om at electrofuels kommer ind og løser problemet om få år.

Skal flydende brændstoffer spille en større rolle i dekarboniseringen vil det derfor som minimum *dels* forudsætte effektive tiltag til at inddæmme de samlede risici for øget drivhusgasudledning andre bæredygtighedshensyn ved øget afhængighed af bio-brændstoffer, og *dels* forudsætte en indsats for at fremskynde udviklingen og introduktionen af electrofuels. Det vender tilbage til i afsnit 8.3.

Gasformigt brændstofspor

Gas har påkaldt sig interesse som muligt spor for dekarbonisering af vejgodstransporten ud fra en række ret forskellige grunde, som dog hver især og til sammen udviser nogle svagheder ved nærmere eftersyn.

På den ene side ser nogle et potentiale i at *naturgas* som energiform har et lavere kulstofindhold end diesel, samtidig med at der allerede findes et effektivt distributionssystem i form det danske naturgasnet, og at der nu også står lastbiler med gasmotorteknologi og venter på at komme ind på markedet, bl.a. takket være støtteordninger i flere andre lande. På den anden side ses et potentiale i *biogas*, som kan fremstilles ud fra gødning og biologisk affald og dermed ideelt set kan yde energi med lav eller endda negativ CO₂-udledning, og som i disse år – i opgraderet form - er under kraftig udbygning i Danmark, også takket være omfattende støtteordninger.

Kobles disse to elementer sammen kan der tegnes et spor hvor naturgassen i første omgang fortrænger diesel som transportbrændstof, samtidig med at biogassen, som nu allerede udgør omkring 12-14 % af gassen i nettet, skales op og gradvis fortrænger naturgassen via det uudnyttede gaspotentiale i husdyrgødning, biologisk affald mm.

Det hele bygger på relativt kendt og etableret teknologi som så at sige blot skal udbygges og tilpasses for at kunne understøtte større eller mindre dele af godstransporten uden voldsomme fordyrelser; med komprimeret mix af CNG/CBG til lokale og regionale flåder mm og nedkølet LNG/LBM til lange, tunge transportere, hvor biogassen gradvis fortrænger den fossile naturgas i begge. Dertil kan medfølge en række fordele for det lokale miljø i form af reduceret luftforurening og bedre gødningsudnyttelse i landbruget.

Der er i analysen opstillet et scenarie hvor der opnås **en dekarbonisering på omkring 30 % i 2050**. Scenariet skal dog ikke opfattes som det mest realistiske bud men som illustration af, hvad der med meget gunstige forudsætninger måske ville kunne opnås.

Der er således også en række **væsentlige begrænsninger og forbehold** ift. en sådan strategi. Dels hvad angår naturgas og dels hvad angår biogas.

- For *naturgas* er det umiddelbart klart, at der er tale om en fossil gas som i sig selv kan levere det markante brud ift. diesel.
- Desuden peger de forskellige undersøgelser på at man næppe kan forvente nogen videre reduktion af CO₂-udledningen ved naturgas i stedet for diesel, eftersom forskellige betingende faktorer (kulstofindhold, brændværdi, virkningsgrad, methanlækage) forenklet sagt har det med at udligne hinanden.
- Naturgassens rolle kan dermed klimamæssigt alene begrundes som et muligt instrument i en overgang mod biogas, jf. nedenfor.
- Omstilling til gas vil i øvrigt forudsætte at lastbilparken udskiftes til køretøjer med gas eller dual-fuel teknologi, og at der sker en udbygning af tankningsmuligheder, herunder med nedkølet, flydende gas som ikke er til rådighed i dag.

Hvad angår *biogas* er der afdækket følgende væsentlige forbehold:

- Der er en del usikkerhed om det *råvarepotentiale* der er til rådighed for at udvide biogasproduktionen i forhold til det niveau på omkring 27 PJ som forventes nået, når støtten til biogasopgradering og -anvendelse flader ud om et par år. Det praktiske potentiale adskiller sig fra det teoretiske og afhænger af faktorer som variationer i råvaretilgængelighed, transportafstande, anlægsdesign, mm
- Det 'CO₂-neutrale' potentiale er igen en anden størrelse idet nettoreduktionen der kan opnås afhænger af bl.a. råvarekombinationer, hvordan de håndteres, og hvilke alternative anvendelser der er. Der kan ikke udvindes meget gas af den rene gylle, som har en bedste klimaprofil; mere gasproduktive substrater kan til gengæld have høj udledning; i rapportens analyse er forudsat et CO₂-gunstigt potentiale på ekstra 30 PJ ved en kombination af gylle og (udnyttet) halm/ensilage; hvor forskellige studier når frem til større og mindre potentialer
- Methanlækage i gennem hele forsyningskæden er så at sige en 'dark horse', som hvis under stærk kontrol kan have minimal betydning, men hvis ikke, kan vælte hele balancen så biogasproduktion og -anvendelse *forøger* drivhusgasudledningen. Et mål om max 1 % lækage synes bredt anerkendt, men der er divergerende rapporter om hvordan virkeligheden ser ud over hele forsyningskæden.
- Biogas anvendes i dag stort set ikke til transport men har andre opgaver. Det vurderes at der i fremtiden vil være faldende anvendelse til el og varmeproduktion, men til gengæld vil der kunne opstå nye områder, hvor biogassen måske vil være bedre anvendt, som fx energi til skibe, eller biopolymerer

- I en længere årrække vil biogassen være opblandet med naturgas, i et forhold hvor naturgassen stadig dominerer; i rapportens scenarie hvor 15 % af vejgodstransportens energi i 2030 er biogas (mod < 1 % i dag) vil naturgassen stadig kunne udgøre op mod 70 % af den gas der reelt tankes (jf. Energistyrelsen 2019)
- BiogASForsyning til transport forudsætter også udskiftning af biler, opbygning af tankning mv., hvilket begrænser hvor meget den kan slå igennem til 2030. Bidraget fra biogas ift. opfyldelse af 70 % mål i 2030 er skønnet til højst 10 %, omtrent svarende til el, *med mindre* der fx sker politisk bestemt hurtig omdirigering af biogas fra andre sektorer til transport fx i takt med at el og varme kan produceres billigere med vind og sol

Ovenstående forbehold betyder ikke at gas dermed kan udelukkes som element i en dekarboniseringsstrategi for vejgodstransport. Men skal biogassen spille en positiv rolle må der som minimum opstilles klare politiske rammer som sikrer at det i forvejen begrænsede potentiale ikke sættes over styr som følge af diverse modvirkende effekter. Det må bl.a. omfatte styr på råvareforsyningen, substitution mellem alternative anvendelser og udvikling af teknologien (fx halmudnyttelse, lækager og flydende gas). Dette vender vi tilbage til i afsnit 8.3.

Organisering og logistik

Øget kapacitetsudnyttelse i lastbiler var det fjerde spor som blev belyst. Også her kan man tale om et *teoretisk* potentiale, som fx observeres ved tomkørsel og lav kapacitetsudnyttelse af køretøjer, og et *praktisk* potentiale som er meget lavere, eftersom der er mange strukturelle og operationelle barrierer for fuldt ud at tilpasse godsmængde og transportopgaver til hinanden.

Der findes adskillige analyser og konkrete eksempler på tiltag som flådestyring, konsolidering, vidensdeling, mv. som opnår forbedret udnyttelse med tilhørende energibesparelse og CO₂-reduktion på virksomhedsniveau. Mulighederne er dog stærkt betinget af konkrete forhold ved de enkelte virksomheder, varegrupper, køretøjer, og logistiske regimer. Det er derfor meget vanskeligt at pege på mekanismer som gør det mulig at generalisere og opskalere resultaterne til branche- eller sektorniveau.

Et eksempel der blev belyst er modulvogntog (EMS) som i nogle cases har kunnet realisere omkring 20 % CO₂ reduktion på virksomhedsniveau. Eftersom langt fra alle EMS-flåder når dette niveau og EMS kun er aktuelt for et mindre udsnit af transportmarkedet er det samlede potentiale på sektorniveau dog meget mindre, hvor nogle analyser siger omkring 2 %, hvis fx EMS blev åbnet i EU. EMS er dog klart nok ikke det eneste tiltag der kan fremmes. Udbygning af IT til styring og mulig deling af kapacitet er fx en mere sektorovergribende tendens. Over en længere tidshorizont kunne man også forestille sig mere gennemgribende strukturelle skift til nye optimerede standarder for fx containere og andre lastenheder. Hvilke ændringer i økonomiske rammebetingelser og andet der skal til for at udløse og udnytte sådanne potentialer er dårligt belyst.

Det har alt i alt ikke været muligt at pege på et konkret realistisk dekarboniseringspotentiale gennem effektivisering på sektorniveau, men det må alligevel anses for meningsfuldt at sigte mod udformning af overordnede rammebetingelser mv. der skaber muligheder for og incitamenter til at optimere kapacitetsudnyttelsen. Det vender vi tilbage til i afsnit 8.3.

Samlet og tværgående perspektivering

Samlet set tegner der sig på baggrund af analysen en lang række mulige, men også betingede, indsatspunkter for at fremme dekarboniseringen gennem de opstillede teknologiske og logistiske spor.

Elektrificering fremstår alt i alt er som det mest perspektivrige spor hvad angår markant samlet dekarbonisering, mens *flydende* og *gasformige* spor og det elektriske 'sidespor' via brændselsceller rummer mere afgørende begrænsninger og udfordringer, og *logistisk effektivisering* vil kunne have en mere understøttende end substantiel funktion.

Ingen af sporene udgør dog en let og hurtig vej til fuld dekarbonisering, og ingen af sporene synes umiddelbart at kunne levere særlig meget i forhold til 2030 målsætningen.

Der tegner sig derfor behov for en markant politisk indsats hvis der skal sikres en tilnærmelsesvis fuld dekarbonisering frem mod 2050 og markante fremskridt allerede i 2030.

Det er dog muligt, at en fremadrettet indsats ikke nødvendigvis behøver at *vælge imellem eller begrænse sig til* et enkelt spor. Dette blev bl.a. illustreret i det kombinerede scenarie i kapitel 6. Elementer fra flere spor kan kombineres eller flere spor kan bringes i spil samtidig gennem tværgående initiativer.

Men også her er der væsentlige forbehold.

For det første er det ikke umiddelbart lykkedes at opstille et kombineret spor, som 'løser knuden', ved at pege mod en markant hurtigere, billigere, mere vidtgående eller mindre usikker dekarbonisering uden medfølgende ulemper, sammenlignet med hvad der tegner sig muligt gennem elektrificering. Electrofuels kan måske overflødig gøre EMS systemer men på bekostning af væsentligt øget energiforbrug, sandsynligvis højere omkostninger samt risiko for en længere periode med diesel eller problematiske biobrændstoffer. Det er heller ikke lykkedes at pege på en kombination der kan levere en markant og sikker CO₂- reduktion ift. 2030-målet, hvis man lægger rimeligt realistiske forudsætninger til grund. Skal dette opnås vil det formentlig snarere afhænge af politisk vilje og prioritering frem for valget af et andet teknologisk spor.

For det andet kan kravet om kombination af elementer og integration af spor – udover mulige fordele – lige så vel resultere i situationer med konflikt, redundans eller direkte gensidig underminering, fx hvis flere spor forudsætter adgang til de samme råvarer, investeringer i infrastrukturer og køretøjer, eller andre privilegerede rammebetingelser, for at kunne lykkes. Overgang til elektricitet via ERS vil fx forudsætte en kritisk masse af køretøjer, der vil benytte systemet; og som så ikke skal køre på gas eller e-fuels. Den samme biomasse eller den samme brint kan heller ikke understøtte udbygningen af forsyning og bilpark på både flydende og gasformige brændstoffer.

Det er muligt at der kan udvikles integrerede energisystemer der trækker på et bredt spektrum af råvarer, udnytter energien optimalt, og leverer specifikke produkter i passende mængder til flere sektorer mv. (jf. fx Mortensen et al. 2019 og Skov & Mathiesen 2018). Dette vil måske overvinde nogle af de angivne begrænsninger og risici ved kombination. Det synes dog stadig åbent om den optimale løsning for vejgodstransporten i set sådant fremtidigt system vil være flydende, elektriske eller gasformige platforme. Og det er langt fra sikkert at en fuldt integreret systemløsning uden konkurrence om råvarer og produktionskapacitet og uden modstridende geografiske og funktionelle hensyn i systemopbygningen kan udvikles i et set-up med reelt fragmenterede energisystemer og ressourcemarkeder, som vi kender i dag.

Disse usikkerheder peger på et stort behov for fortsatte og dyberegående analyser af potentialer og sårbarheder ved forskellige integrerede og kombinerede løsninger, inden man læner sig op ad dette som en umiddelbar løsningsvej.

En central pointe der fremkommer er dog, at godtransportens energiomstilling bort fra fossil diesel - hvad enten den antager elektrisk, flydende eller gasformig karakter eller kombinationer heraf – må ses i sammenhæng med de øvrige energiråvareforbrugende aktiviteter som søfart, fly, el/varme, og på sigt materialer og recirkulation.

Alle transportformer og sektorer har brug for alternativer, men der savnes i høj grad en analytisk platform hvis man ønsker en optimal løsning for hvilken integration og kombinationer af ressourcer, løsninger, teknologier mv. der bedst kan understøtte de enkelte områder ud fra en samlet langsigtet dekarboniseringsstrategi.

8.3 Sammenfatning på handlemuligheder og anbefalinger

På baggrund af de udviklingsspor og betingede løsninger som blev tegnet i kapitel 6 og de virkemidler og handlemuligheder som blev identificeret i kapitel 7 kan anbefales en samlet indsats for dekarbonisering af vejgodstransporten med tre *hovedelementer* eller *policy pakker*:

For det første etablering af en overordnet strategisk ramme som sikrer, at dekarbonisering af godstransporten generelt kommer på den politiske dagsordenen herhjemme og i EU, og som understøtter dette gennem tværgående initiativer inden for afgiftspolitik, infrastrukturpolitik og forskning og udvikling.

For det andet en målrettet indsats for at understøtte elektrificering af godstransporten på de områder hvor det er muligt og på sigt giver mening, gennem hertil egnede konkrete nationale og EU-tiltag samt grænseoverskridende samarbejde med i sær Tyskland, Sverige og Norden.

For det tredje en supplerende indsats for at understøtte potentialer som vil kunne bidrage på områder hvor og når elektrificeringen ikke nødvendigvis rækker, og for at inddæmme mulige negative klima- og miljøkonsekvenser af udviklingen i vejgodstransportsystemets forskellige teknologiske spor og markedsområder i øvrigt.

Den overordnede strategiske ramme

Der udarbejdes en national strategi og handlingsplan for dekarbonisering af godstransporten som samtidig tager højde for samspillet med vigtig tilgrænsende politikområder som energi, infrastruktur, klima og bæredygtig udvikling.

Handlingsplanen skal bygge på målsætninger og rammer i Danmarks kommende klimalov, og bør indgå i den efterfølgende klimahandlingsplan.

Ud over målsætninger for dekarbonisering af godstransporten bør strategien udpege,

- de vigtigste indsatsområder og virkemidler, som Danmark vil satse på
- sammenhæng med andre vigtige nationale strategier og planer, herunder en kommende infrastrukturplan, og samlet plan for alternativ energiforsyning
- de vigtigste partnere og aktører som skal bidrage til strategiens realisering
- relevante indspil til EU-samarbejdet
- konkret opfølgning på strategien i form af indikatorer og løbende resultatmåling fx med inspiration fra det svenske 2030-sekterat og TripleF-plattformen

Inspiration til udformning af handlingsplanen kan bl.a. hentes i Sveriges godstransportstrategi, Norges nationale transportplan samt i den tyske 'National platform for fremtidens mobilitet'.

Til at understøtte planens udmøntning bør der snarest muligt igangsættes en samlet analyse af de afgiftsmekanismer, tilskud og støtteordninger som tilsammen betinger udviklingen i vejgodstransportens CO₂-udledning, hvad de betyder for fremme eller

blokering af dekarboniseringen, samt hvordan de økonomiske incitamenter kunne omlægges så godstransportens CO₂-udledninger minimeres og afvikles, samtidig med at dens centrale funktioner i samfundsøkonomien opretholdes og videreudvikles.

Der bør også hurtigst muligt udarbejdes et samlet indspil til den nye EU-kommission som skal inspirere kommissionens oplæg til forslag og prioriteringer på godstransportområdet i den kommende transporthvidbog, med afsæt i visionen om 'En Europæisk Grøn aftale'. Her bør der peges på behovet for en samlet grøn godsstrategi som omfatter køretøjer, drivmidler og infrastruktur og som anviser de fælleseuropæiske virkemidler og initiativer som vil være nødvendige for at skærpe ambitionerne, opdatere de aktuelle rammer og supplere de nationale indsatser, herunder indsatser som standardisering af teknologiske og styringsmæssige komponenter i godstransportens elektrificering, og overflytning til sø og bane, som har begrænset perspektiv på nationalt plan.

Der bør i samme omgang udvikles et proaktivt udspil til EU forsknings- og innovationsinitiativer inden for transport og klima, for at sikre god repræsentation af temaer med særlige dansk og nordisk interesse, set i lyset af de målrettede og supplerende indsatser nedenfor, herunder elektrificering, integration af vind og anden VE i transportsektoren (Power-to-X mv), samt mulige mekanismer til øget effektivitet i godstransporten gennem logistiske, teknologiske og organisatoriske indsatser. Mere specifikt kunne indgå forslag til udmøntning af 'missions' i Horizon Europe programmet samt dansk deltagelse i initiativer som ETP-ALICE og EIT Urban Mobility.

Der bør samtidig etableres en national forsknings- og vidensplatform om dekarboniseringsløsninger for godstransporten, som kan understøtte både den brede strategi og de internationale, målrettede og supplerende indsatser, på en mere permanent basis end det sker i dag. Platformen kan hente inspiration i svenske platformsiniciativer som TripleF og bør omfatte videns- og forskningsinstitutioner, virksomheder inden for transport, logistik, energi, infrastruktur, IT og rådgivning, samt relevante organisationer og F&U-finansierende instanser. Platformen kunne bl.a. videreføre analyse- og scenarie kapacitet som fx. er udviklet i COMETS-projektet og det nordiske SHIFT. Platformen skal gerne kobles til de tilsvarende platforme i de andre nordiske lande og i Nordisk regi, da der er flere områder med fælles nordiske interesser og vidensbehov inden for dekarboniseret godstransport.

Målettet indsats for elektrificering

Elektrificering af vejgodstransporten er identificeret som den samlet set mest lovende løsningsmulighed, som imidlertid ikke foreløbig vil slå stærkt igennem uden en markant politisk indsats.

Dette skal ikke forstås således, at elektrificering umiddelbart kan implementeres og dermed løse alle udfordringer, mens andre teknologier er uinteressante. Overgang til el er ikke på kort sigt billigt, og endnu heller ikke 100% CO₂-neutral. Der vil derfor også være behov for supplerende indsatser på andre områder initiativer jf. det næste punkt.

Men vurderingen er, at der hverken er grund eller tid til at vente på at alle udfordringer og tvivlsspørgsmål er udryddet førend der tages fat på at udbrede elektrificering som den mest direkte vej til en langt renere og mere effektiv form for vejgodstransport.

Elektrificeringsindsatsen foreslås at følge *tre hovedlinjer*:

Den **første hovedlinje** består i at iværksætte tiltag her og nu som vil fremme udnyttelsen af el til last- og varetransport særligt i lokal og regional distribution og lign., hvor BEV køretøjer allerede er en realistisk mulighed

Til denne hovedlinje foreslås følgende initiativer nationalt og i forhold til EU:

Der indføres incitamenter til at transportører og virksomheder anskaffer og bruger el-køretøjer til vare- og godstransport. Modellen kan være et tilskud til anskaffelse af nul-emissions køretøjer efter delvis tysk og svensk forbillede, og evt. også til opladning som i den norske ordning. Dog er det vigtigt at et kun er til reel nul-emissionskørsel, ikke gas, HVO o. lign. Tilskuddet skal være tilstrækkeligt til at drive en efterspørgsel, uden at overstimulere markedet, og der skal være tilknyttet vilkår som imødegår u hensigtsmæssige effekter såsom spekulation i udenlandsk videresalg. Det kan også overvejes at udforme incitamenter som ændrede afskrivningsregler, ændrede årlige afgifter el. lign. Ordningen evalueres og justeres efter en passende periode.

De etableres en lignende model som giver incitamenter til at kommuner (og evt. offentlige forsyningselskaber) anskaffer el-/nul-emissionskøretøjer eller fremmer at disse benyttes til udførelse af kommunetransportopgaver. Dette kan knytte an til den forestående implementering af det reviderede Clean Vehicles Direktiv, som bør gribes ambitiøst an.

Der iværksættes en analyse af behov for offentlige eller fælles opladningsmuligheder samt tilhørende udbygning af el-forsyningen ved forskellige scenarier for udbredelse af el-last- og varebiler. På den baggrund udformes en strategi for at fremme markedsudviklingen på opladningsområdet for godstransport.

Der iværksættes en analyse af hvordan danske kommuner i øvrigt kan bidrage til at bane vej for at el-drevne last- og varebiler fremmes lokalt, fx i forbindelse med city-logistik og pakkedistribution, jf. nærmere i projektets kommende 2. publikation.

Der udarbejdes en analyse af, hvordan den kommende revision af EU-reglerne om CO₂-krav til hhv. last- og varebiler kan udformes, så producenterne får størst muligt incitament til at producere og markedsføre nul-emissionskøretøjer med elmotor. Dette kan evt. udføres i samarbejde med nordiske eller andre partner lande. Analysen skal benyttes i forberedelse og forhandlinger om revision af direktivet, gerne tidligere end p.t. forudsat (2022).

Den **anden hovedlinje** består i at afdække og tilvejebringe forudsætningerne for at der kan etableres en ERS løsning for dele af det overordnede vejnet, som er kompatibelt med tilsvarende løsninger i Sverige og Tyskland.

Til denne hovedlinje foreslås følgende tiltag nationalt og tværnationalt:

Der tages initiativ til at Danmark indgår i tværnationalt samarbejde med Sverige og Tyskland om test og udvikling af ERS systemer, fx gennem Colliers konsortiet. Samarbejdet skal sigte mod at der etableres fælles standarder for at teste og etablere ERS-systemer, og at den konkrete udrulning samordnes på tværs af landegrænser. Det første forsøg med grænseoverskridende kørsel med ERS biler bør være et sigtepunkt.

Det igangsættes et arbejde til at afklare forudsætninger og muligheder for at etablere danske ERS korridorer og forsøgsstrækninger, herunder med fokus på både tekniske aspekter, geografisk dækning og mulige forretningsmodeller, finansiering og institutionelle arrangementer. Arbejdet følger og tage højde for udviklingen i der tværnationale og internationale samarbejde på området.

Der sigtes mod oplæg til EU-samarbejdet om en fælles EU strategi for at forske i, teste og udrulle ERS systemer i Europa. Dette kan evt. ske i ovennævnte Colliers regi eller som led i et fælles nordisk program for forskning og udvikling inden for elektrificering af godstransport og ERS systemer, og evt. indspil til EU- F&U programmer.

Der udarbejdes tillige indspil til revision af Eurovignette-direktivet, hvor el-infrastruktur, herunder opladning og ERS, indgår som element i de faciliteter som vejafgifterne kan bidrage til at finansiere. Indspillet kan evt. udformes i samarbejde med Sverige, hvor denne ide har været fremme.

Den **tredje hovedlinje** består i at understøtte en langsigtet udvikling som vil gøre det muligt at elektricitet på sigt kommer til at udgøre en effektiv, konkurrencedygtig og attraktiv energibasis for hele transportsektoren.

Til denne linje foreslås følgende tiltag nationalt og internationalt:

Der afsættes ressourcer til målrettede forsknings- og udviklingsprojekter for elektrificering, gerne i regi af den ovennævnte nationale platform for dekarboniseringsløsninger for godstransporten, og i koordination med eksisterende initiativer og programmer såsom EUDP og InnovationsFonden.

Danmark engagerer sig aktivt i at skabe fokus på elektrificering af godstransport i regi af relevante internationale samarbejder og fora som fx International Transport Forum (ITF), Electric Vehicle Initiative (EVI) og Transport Decarbonization Alliance (TDA).

Der afsættes ressourcer til at iværksætte andre initiativer som skal understøtte en langsigtet indsats for at udvikle, effektivisere, billiggøre, konsolidere og popularisere transport på el. Det kan være i form af nationale og internationale events, messer, idekonkurrencer, innovationspriser, hackatons o. lign. fx i tilknytning til Formel-E løbsarrangementer, 'De elektriske lege', eller lignende events.

Supplerende indsatser

På den korte bane vil elektrificering kun kunne understøtte et begrænset segment af transporten, typisk regional distribution og service opgaver i lokalområder. På den længere bane afhænger resultaterne af elektrificering af gennemslag for løsninger som ERS eller helt ny batteriteknologi og fuldført dekarbonisering af elforsyningen.

Dertil kommer at uforudsete udviklinger i produktion, forbrug og markeder vil kunne føre til større vækst i transportefterspørgslen end forudsat i fremskrivningerne, hvilket kan gøre det sværere for elektrificeringen af 'følge med'.

Derfor vil størstedelen af lastbiltrafikken i en årrække forsætte på flydende brændstoffer, hvor forskellige varianter af og alternativer til diesel vil byde sig til, og hvor leverandører mfl. vil søge at påvirke rammebetingelserne så disse indrettes til fordel for de respektive alternativer.

Dette skaber behov for at supplere en elektrificeringsstrategi med flere andre indsatser.

Der foreslås også *tre hovedlinjer* i dette element:

I den *første hovedlinje* skal der arbejdes på at understøtte effektivisering som sparer transportenergi ved at forbedre mulighederne for at matche køretøjer og transportopgaver til hinanden, da dette formentlig er det billigste bidrag til dekarbonisering. Det kan fx indebære åbning for grænseoverskridende EMS-kørsel, IT-systemer der fremmer samarbejde og konsolidering af gods på logistik- og transportmarkederne samt udvikling af nye internationale standarder og systemer for lastbærere mm. Men det må samtidig sikres at effektiviseringer kommer klimaet til gode frem for alene at føre til en billigørelse af transporten som udløser øget transportvækst. Dette kan bl.a. modvirkes gennem hensigtsmæssig indretning af det samlede afgiftssystem. Et hensyn om øget effektivitet uden tilsvarende trafikvækst bør derfor indgå som et element i den analyse af afgifterne som indgår i den overordnede strategiske ramme jf. ovenfor.

Der bør også etableres rammer som gør det muligt for kommuner og regioner at bidrage til at effektivisere citylogistik og distribution, hvilket belyses nærmere i projektets efterfølgende 2. publikation.

Endelig bør der arbejdes på at afdække mulighederne på de områder der ikke er belyst i denne rapport, herunder muligheder for at overflytte lastbilgods, pakker mv. til andre transportformer samt muligheder for kontraktioner i selve transportefterspørgslen gennem mere grundlæggende omstillinger i samfundets produktions- og forbrugsmønstre.

I den *anden hovedlinje* skal der tages initiativer der sikrer, at gradvis afvikling af fossilt dieselbrændstof til fordel for alternativer ikke vil forårsage *en samlet nettoforøgelse* af drivhusgasudledningen.

I den forbindelse er det afgørende at biomasse, biogas, electrofuels, mm. ikke fejlagtigt forudsættes at være alternativer som pr. definition er CO₂-neutrale eller endog CO₂-negative. Det bør i den forbindelse sættes et overordnet mål om at der *ikke sker en yderligere forøgelse af Danmarks samlede import til af biomasse til forbrænding som følge af efterspørgsel på transportområdet*. Dette for at modvirke effekten af principielt overskuelige, men potentielt skadelige, forskydninger på markeder for biomasse.

Den forestående *implementering af VE-direktivet (RED II)* i dansk lovgivning og den fleksibilitet som er indbygget må udnyttes til at fremme størst mulig dekarbonisering. Der bør i den forbindelse ses på om de svenske regler om udvidet *reduktionspligt* ift. EU's krav kan være inspiration til udformning af regler som pålægger brændstofleverandører en dokumenteret årligt voksende netto-CO₂-fortrængning. Det må konkret undersøges

om dette EU-retligt og effektivt kan støttes ved fx at sætte en lavere andel af 1. generations biobrændstoffer end direktivets 7 %, en højere andel avancerede biobrændstoffer end direktivets 3,5 % i 2030 og mere favorable regler for medregning af el og electrofuels i VE-målet.

Regler om tilskud til og afgifter på brændstoffer, køretøjer og infrastruktur vil være et andet vigtigt instrument til at influere på godstransportudviklingens drivhusgasprofil. Hvor brændstofafgifterne i dag er indrettet så de enkelte drivmidler er ligestillet ift. energiindhold bør de snarere indrettes så de afspejler klimapåvirkningen. Her skal der dog tages højde for de samlede klimavirkninger over hele af forsyningskæden, sådan som der er lagt op til i den analyse der er foreslået i den overordnede strategiske ramme, inden der drejes på enkelte skruer i systemet.

Ifølge den *trede hovedlinje* bør der udvikles specifikke delstrategier for to centrale hovedalternativer til elektrificering der tegner sig, nemlig biogas og electrofuels, ud fra følgende betragtninger:

- det kan være *relevant* at sikre et vist beredskab til alternativer mhp. at mindske risiko ved for tidligt at gøre sig afhængig af en enkelt løsningsvej
- det vil være *nødvendigt* med en strategi for at fastlægge et rimeligt niveau af investeringer

Biogas er en af de investeringsmuligheder som aktuelt præsenteres som et klimavenligt alternativ til diesel, og som en konkurrent til elektrificering. Ifølge rapportens analyser er biogaspotentiallet dog begrænset og betinget og nært koblet til den fossile naturgas, og en gasstrategi vil derfor ikke nødvendigvis føre til markant CO₂-reduktion der kan retfærdiggøre et teknologiskifte. Der foreslås en *afgrænset* udviklingsfokuseret delstrategi for biogas i godstransporten med fokus på udnyttelse af kombinationer som halm og husdyrgødning, skrap kontrol med lækager gennem hele systemet samt begrænset støtte til etablering af et flydende gasanlæg med højt biogaselement (LBM). Dette kan danne basis for at vurdere de videre perspektiver i biogas til tung vejtransport.

Electrofuels er en anden af de investeringsmuligheder der tegner sig. Ifølge rapportens analyser kan electrofuels på lang sigt i bedste fald føre mod fuld dekarbonisering, men med relativt stort tab af energi, mange usikkerheder, og risiko for en lang periode med binding til ikke-bæredygtige flydende brændstoffer. Det må anses for helt uafklaret hvordan et fremtidigt system med Power-to-X løsninger bedst skrues sammen og i hvilken form og mængde der vil kunne leveres dekarboniseret energi til tung vejtransport. Der foreslås en forsknings og udviklingsorienteret delstrategi med fokus på Power-to-X løsninger i *det samlede energisystem*, frem for en specifik strategi for electrofuels i tung vejtransport på nuværende tidspunkt. Muligheder for forsøgsvis anvendelse af electrofuels bør dog tænkes ind når der indføres regler, afgifter, støttemuligheder, mv som omfatter vejgodstransport, fx ved fastlæggelse af regler om VE-brændstof.

Referencer

- Abate, M. (2014). Determinants of Capacity Utilisation in Road Freight Transportation. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)* 48, pp. 137–152
- ACEA (2019a). Position Paper. Road Charging and the Eurovignette Directive. European Automobile Manufacturers Association, Brussels, November 2019
https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Position_Paper-Road_Charging_Eurovignette_November_2019.pdf
- ACEA (2019b). High Capacity Transport. Smarter policies for smart transport solutions. European Automobile Manufacturers Association, Brussels, May 2019
- Agora Energiewende (2019). European Energy Transition 2030: The Big Picture - Ten Priorities for the next European Commission to meet the EU's 30 targets and accelerate towards 2050. <https://www.ecologic.eu/16385>
- Agora Verkehrswende, Agora Energiewende & Frontier Economics (2018). The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels. Berlin
- Allegue, L B & Hinge, J (2012). Overview of biogas technologies for production of liquid transport fuels. Teknologisk Institut, Århus, december 2012
- Aarts, L & Feddes, G (2010). Experiences with longer and heavier vehicles in the Netherlands. In: B. Jacob & et al. (Eds.) *Proceedings of the International Conference on Heavy Vehicles – HVTT10* (pp. 97–106), Wiley, UK
- Baldino, C; Pavlenko, N; Searle S (2018). The potential for low-carbon renewable methane as a transport fuel in France, Italy, and Spain. WORKING PAPER 2018-28, ICCT
- BEK nr. 1044 af 07/09/2017. Bekendtgørelse om biobrændstoffers bæredygtighed m.v.
- Breemersch, T & Vanherle K (2016). An integrated approach to road freight transport CO₂ reduction in Europe. Future pathways: International Symposium on Heavy Vehicle Transport Technology (HVTT14), Roturua, New Zealand
- Buschmann, C; Röder, N; Berglund, K; Berglund, Ö et al. (2020). Perspectives on agriculturally used drained peat soils: Comparison of the socioeconomic and ecological business environments of six European regions. *Land Use Policy*, Volume 90, January 2020
- Bylund, A (2019). eHighway Electrified heavy duty road transport. Technology and Status. Trafikdage, Aalborg, august 2019
- Cambridge Econometrics et al. (2018). *Trucking into a Greener Future*. European Climate Foundation; Bonn
- Chrintz, T (2013). Klimapåvirkningen fra biomasse og andre energikilder. Hovedrapport. CONCITO, juli 2013
- CLECAT et al. (2009). Joint industry position on the European Modular System (EMS). Workshop on the European Modular System, June 24. 2009

- Connolly, D. (2016). eRoads: A comparison between oil, battery electric vehicles, and electric roads for Danish road transport in terms of energy, emissions, and costs. Aalborg Universitet
- Copenhagen Economics (2019). Biofuels and Indirect Land Use Change. Malaysian Palm Oil Council, February 2018
- COWI (2018). Alternative drivmidler i Sydtrafik. 21. september 2018
- Damvad & Muusmann (2019). Evaluering af EUDP. Energistyrelsen, April 2019
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Tilskud/evaluering_af_eudp_2019.pdf
- Damvad (2014). Analyse af erhvervsmæssige potentialer ved grøn omstilling af transportsektoren. Udarbejdet for Energistyrelsen
- Deniz, O (2018). Total cost of ownership and future prospects of battery electric freight vehicles. EUFAL Conference, Copenhagen
- Drivkraft Danmark (2019). Energistatistik 2019
- Edwards, R; Larivé, JF; Rickeard, D; Weindorf W (2014). Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Well-To-Tank (WTT) Report Version 4.a, European Commission Joint Research Centre, APRIL 2014
- EA og SDU (2016). Biogas og andre VE brændstoffer til tung transport. EA Energianalyse a/s, København 22-12-2016. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/bio-gas_og_anden_ve_til_tung_transport.pdf
- EA Energianalyse (2015). Grøn Roadmap 2030. Scenarier og virkemidler til omstilling af transportsektorens energiforbrug, København, november 2015
- EC Climate Action (2019). CO₂ emission standards for heavy-duty vehicles. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/heavy/docs/hdv_co2_standards_en.pdf
- ECE-TRANS (2013). LNG: A safe fuel for trucks. Economic Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Transport of Dangerous Goods, Ninety-fifth session 8 November 2013 Geneva, 4–8 November 2013
- Energinet (2019a). PTX I DANMARK FØR 2030. Potentiale for PtX i Danmark på kortere sigt i et systemperspektiv. April 2019
- Energinet (2019b). Årsrapport
- Energistyrelsen (2019). Basisfremskrivning BF 2019. Energi-og klimafremskrivning frem til 2030 under fravær af nye tiltag. Energistyrelsen, København, august 2019
- Energistyrelsen (2018). Perspektiver for produktion og anvendelse af biogas i Danmark. Energistyrelsen, København, november 2018.
- Energistyrelsen (2016). Alternative drivmidler. Energistyrelsen, København, januar 2016.

- EP (2018). Briefing. EU Legislation in Progress. Revision of the Eurovignette Directive. European Parliamentary Research Service [http://www.europarl.europa.eu/Reg-DATA/etudes/BRIE/2017/614625/EPRS_BRI\(2017\)614625_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/Reg-DATA/etudes/BRIE/2017/614625/EPRS_BRI(2017)614625_EN.pdf)
- EP (2019). Briefing. EU Legislation in Progress. Review of the Clean Vehicles Directive. European Parliamentary Research Service [http://www.europarl.europa.eu/Reg-DATA/etudes/BRIE/2018/614690/EPRS_BRI\(2018\)614690_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/Reg-DATA/etudes/BRIE/2018/614690/EPRS_BRI(2018)614690_EN.pdf)
- Eriksson, G (2019). Indlæg ved CONCITO's Workshop om Dekarbonisering af godstransport, 14. Maj 2019
- Europakommissionen (2019). Den Europæiske Grønne Aftale. Bruxelles, 11.12.2019. COM (2019) 640 final
- European Commission (2019). Sustainability criteria for biofuels specified. Fact Sheet, Brussels, 13 March 2019
- European Commission (2018). EU CO₂ emission policy: State of Play. [Slides] DG Clima. <http://www.asecapdays.com/2018/images/2018/PRESENTATIONS/ANNEBERGEN-FELTEC.pdf>
- European Commission (2017a). Impact Assessments (emission performance standards) SWD (2018) 185 final and SWD(2017) 650 final
- European Commission (2017b). Report on the Assessment of the Member States National Policy Frameworks for the development of the market as regards alternative fuels in the transport sector and the deployment of the relevant infrastructure pursuant to Article 10 (2) of Directive 2014/94/E. European Commission, Bruxelles, 8. November 2017
- European Environment Agency Scientific Committee (2011). Opinion of the EEA Scientific Committee on Greenhouse Gas Accounting in Relation to Bioenergy. 15 September 2011
- European Transport Forum (2019). Charging Towards the Future. Making EU infrastructure fit for the clean vehicle revolution. Memorandum. Brussels, 8 October 2019
- Felby, C & Bentsen, N S (2012). At høste solen. Optimal udnyttelse af arealerne. Robust og bæredygtig bioenergi. Biopress, september 2012
- FREVUE (2017). FREVUE: Validating Freight Electric Vehicles in Urban Europe. Project Final Report v2.0, December 2017. https://frevue.eu/wp-content/uploads/2019/04/FREVUE-Final-Report_v2.0.pdf
- GrønGasDanmark. (2017). *Grøn gas er fremtidens gas - Baggrundsnotat*. Hentet fra <https://grongasdanmark.dk/fakta>
- Gudmundsson, H (2019). Notat om Special Session på Trafikdage i Aalborg 2019 - Dekarbonisering af gods på vejene, med fokus på elektrificering og ERS. https://trafikdage.dk/wp-content/uploads/2019/10/Program_netudgave_2019.pdf

- Gylling, M; Olsen, F.L; Hagelund, A; Jakobsen, A B (2019). Analyse af det eksisterende og potentielle råvaregrundlag og forarbejdningsteknologier til produktion af biopolymerer. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi (IFRO), Københavns Universitet
- Hall, D & Lutsey, N (2019). Estimating the Infrastructure needs and costs for the launch of zero-emission trucks., ICCT Washington/Berlin
- Hjort, A; Hansson, J; Lönnqvist, T; Nilsson, J. (2019). Utsikt för förnybar flytande metan i Sverige till år 2030. Rapport nr 2019:05, f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara transportbränslen. www.f3centre.se
- Hjort-Gregersen, K; Larsen, S U; Pedersen, J (2017). Fleksibel kraft-varmeproduktion fra biogas baseret på restbiomasser fra landbruget. Delrapport 1. Teknologisk Institut og Agrotech
- Hochfeld, C (2019). Konferenz Ausgeliefert?! Die Zukunft des städtischen Güterverkehrs, Kalkscheune, Berlin, 4. September 2019
- Huang, W-D & Zhang, Y-H P (2011). Energy Efficiency Analysis: Biomass-to-Wheel Efficiency Related with Biofuels Production, Fuel Distribution, and Powertrain Systems. PLOS ONE. July 2011, Volume 6, Issue 7
- Hviid, NT; Therkildsen, M; Pedersen, TR (2018). Anvendelsesmuligheder for CBG og LBG til transport. Status, muligheder og strategi for udbygning af CBG og LBG. Biogas 2020, HMN Naturgas I/S
- ICCT (2019). CO₂ standards for heavy-duty vehicles in the European Union. Policy update. International council on clean transportation, April 2019
- IEA (2019). Renewables 2019. Market analysis and forecast from 2019 to 2024. Fuel report, International Energy Agency, Paris. October 2019. <https://www.iea.org/reports/renewables-2019/transport#abstract>
- IEA (2017). The Future of Trucks. Implications for energy and the environment. Second Edition. International Energy Agency, Paris
- IEA (2017b). Technology Roadmap. Delivering Sustainable Bioenergy- International Energy Agency, Paris
- IPCC (2018) [Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development](#). Chapter 2
- IrisGroup (2019). Danske styrker inden for forskning, teknologi og uddannelse – og deres betydning for vækst og erhvervsudvikling. Udarbejdet for Erhvervsstyrelsen, juni 2019
- ITF (2019). High Capacity Transport: Towards Efficient, Safe and Sustainable Road Freight. International Transport Forum, Policy Papers, No. 69, OECD Publishing, Paris
- ITF (2018). Is Low Carbon Road Freight Possible? International Transport Forum, OECD, Paris.
- ITF (2018b). Towards Road Freight Decarbonisation - Trends Measures and Policies. International Transport Forum Policy Papers, OECD, Paris

- Karlström, M; Pohl, H; Grauer, A; Holmberg, E (2019). Can fuel cells become a mass-produced option globally for heavy-duty trucks 2030+? REPORT 2019:604. ENERGI-FORSK, September 2019. <https://www.energifo>
- Klimarådet (2019). Status for Danmarks klimamålsætninger og -forpligtelser 2019. Klimarådet, København, november 2019
- Klimarådet (2018). Biomassens betydning for grøn omstilling. Klimaperspektiver og anbefalinger til regulering af fast biomasse til energiformål. Klimarådet, København, maj 2018
- Klimarådet (2017). Omstilling frem mod 2030. Byggeklodser til et samfund med lavere drivhusgasudledninger. Klimarådet, København, juni 2017
- Krawack, S (2015). Energibesparelser i godstransportkæder. CONCITO
- Kristensen, N B; Nielsen, T A S; Gudmundsson, H et al. (2014). Drivers and limits for transport: Report 9. DTU Transport
- Kühnel, S; Hacker, F; Görz W. (2018). Oberleitungs-LKW im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Ökoinstitut, Freiburg
- Kågeson, P (2019). Klimamål på villovägar? En ESO-rapport om politiken för utsläppsminskningar i vägtrafiken. Regeringskansliet, Stockholm, 2019
- Laborde, D (2011). Assessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policies. Final Report. International Food Policy Institute, IFPRI, Washington DC, October 2011
- Langhelle, O; Bohne, R; Nørbech, T.E (2018). Elektrisk veg i Norge? Oppsummering av en konseptanalyse. ELinGo. Elektrisk infrastruktur for godstransport. www.elingo.no
- Le Fevre, C (2019). A review of prospects for natural gas as a fuel in road transport. Energy Insight: 50. Oxford Institute for Energy Studies, April 2019
- Lee, D Y; Elgowainy, A; Kotz, A; Vijayagopal, R; Marcinkoski J (2018). Life-cycle implications of hydrogen fuel cell electric vehicle technology for medium- and heavy-duty trucks. J. Power Sources, vol. 393, January, pp. 217–229.
- Lof, J & Layzell, DB (2019). The Future of Freight. Part A: Trends and Disruptive Forces Impacting Goods Movement in Alberta and Canada. University of Calgary, Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR) Initiative. www.cesarnet.ca
- Llorca, M; Jamasb, T (2017). Energy efficiency and rebound effect in European road freight transport. Transportation Research Part A 101 (2017) pp. 98–110
- Lonza, L & O'Connell, A (2019). Biofuels Sustainability - Focus on Lifecycle Analysis (LCA). Workshop Report. IEA Bioenergy: Task 39: 07, 2019
http://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2019/07/T39-WorkshopReport-JRC-Sustainability-LCA_final.pdf
- Majer, S; Oehmichen, K; Kirchmeyr, F; Scheidl, S (2016). D5.3. Calculation of GHG emission caused by biomethane. Methodology for the calculation and certification of GHG

- emission caused by the production of biomethane. BIOSURF project (BIOmethane as Sustainable and Renewable Fuel). http://www.biosurf.eu/en_GB/
- Malins, C (2019). Risk management. Identifying high and low ILUC-risk biofuels under the recast Renewable Energy Directive. CERULOGY, January 2019
- Mathiesen, B V (2020). Vejen til storskala produktion af Power-to-X og flydende el i et bæredygtigt energisystem. Høring om Power-to-X, 30. januar 2020, Landstingssalen, Christiansborg
- Mathiesen, B V; Connolly, D; Lund, H; Nielsen, M P; Schaltz, E; Wenzel, H; Hansen, K (2014). CEESA 100 % Renewable Energy Transport Scenarios Towards 2050: Technical Background Report Part 2. Department of Development and Planning, Aalborg University
- McKinnon, A (2018). Decarbonizing Logistics. Distributing goods in a low-carbon world, Kogan Page, London, 310 s.
- Meijaard, E et al. (eds.) (2018). Oil palm and biodiversity. A situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force. IUCN Oil Palm Task Force. The International Union for Conservation of Nature (IUCN), Gland.
- Mortensen, A W; Wenzel, H; Rasmussen, K D; Stine, S J; Wormslev, E; Porsgaard, M (2019). Nordic GTL - a pre-feasibility study on sustainable aviation fuel from biogas, hydrogen and CO₂. NISA, NIRAS, SDU
- Murphy, J D (ed.) (2017). Methane emissions from biogas plants. Methods for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced. IEA Bioenergy: Task 37: 2017: 12
- Narkevičiūtė, Rasa (2019). GHG emissions from road freight transport in Europe – impact of new emission regulations. Workshop om dekarbonisering af godstransport på vej. 2019/05/14 | CONCITO
- NEA (2010). European Modular System (EMS) Paper. Panteia, Zoetermeer, March 2010
- Nielsen, O-K; Plejdrup, M S; Winther, M; Hjelgaard, K; Nielsen, M; Mikkelsen, M H; Albrektsen, R; Gyldenkærne, S; Thomsen, M (2019). Projection of greenhouse gases 2018-2040. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy. Scientific Report No. 345
- Nielsen, O.-K.; Plejdrup, M.S.; Winther, M.; et al. (2018). Denmark's National Inventory Report 2018. Emission Inventories 1990-2016 - Submitted under the United Nations Framework. Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE, Danish Centre for Environment and Energy.
- Nordic Council of Ministers (2018). Reducing CO₂ emissions from freight. Recent developments in freight transport in the Nordic countries and instruments for CO₂ reductions. TemaNord 2018:554, Nordic Council of Ministers, Copenhagen
- OECD (2019). Environmental Performance Reviews. DENMARK. HIGHLIGHTS. OECD, Paris, 2019 [EMBARGOED TO 15.11.2019]

- Olsson, L. et al. (2019). Land Degradation. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Phadke, A; Khandekar, A; McCall, M; Karali, N; Rajagopal, D (2019). Long-haul battery electric trucks are technically feasible and economically compelling. Working Paper 005, International Energy Analysis Department, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, Ca. https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/working_paper_005_battery_electric_trucks_906_o.pdf
- Plötz, et al. (2018). Alternative drive trains and fuels in road freight transport – recommendations for action in Germany; Karlsruhe, Berlin, Heidelberg
- Pohl, H (2019). Real-world applications of fuel cells in heavy vehicles, RISE VIKTORIA, May 2019 <https://www.energiforsk.se/media/26377/10-fuel-cells-in-heavy-vehicles-hans-pohl.pdf>
- Regeringen (2019). Aftale om klimalov. Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet
- Regeringen (2018). Energiaftale 2018. Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet af 29. juni 2018
- Regeringskansliet (2018). Effektiva, kapacitetsstarka och hållbara godstransporter – en nationell godstransportstrategi. Näringsdepartementet, Stockholm
- Ridjan, I (2015). Integrated electrofuel and renewable energy systems. PhD Dissertation. Aalborg University
- Rockström, J et al. (2017). A roadmap for rapid decarbonization. Science, 24 March 2017, Vol 355, Issue 6331
- Rogelj, J; Shindell, D et al. (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte et al. (eds.)] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf
- Roland Berger (2017). Fuel Cells and Hydrogen Applications for Regions and Cities Vol. 2. Cost analysis and high-level business case. Brussels and Frankfurt, September 2017
- Rycroft, S (2019). Electric drives for trucks and heavy goods vehicles. EE Publishers. <https://www.ee.co.za/article/electric-drives-trucks-heavy-goods-vehicles.html>
- Samferdselsdepartementet (2017). Nasjonal transportplan 2018–2029. Stortingsmelding, Meld. St. 33 (2016–2017) <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-33-20162017/id2546287/sec11>
- Sanchez Rodrigues, V; Piecyk, M; Mason, R; Boenders, T (2015). The longer and heavier vehicle debate: A review of empirical evidence from Germany. Transportation Research Part D, 40, pp. 114–131.

- Scarlat, N; Dallemand, J-F; Fahl, F (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy* 129, pp 457-472
- Schiebe, T (2019). Designing environmental taxes to promote biofuels from a State aid perspective. The impact of the Energy Taxation Directive on assessing selectivity of the Swedish and Finnish energy taxation systems. Master Thesis, Faculty of Law, Lund University
- Searchinger, T & Heimlich, R (2015). Avoiding Bioenergy Competition for Food Crops and Land. Working Paper, Installment 9 of Creating a Sustainable Food Future. World Resources Institute, Washington, DC. <http://www.worldresourcesreport.org>
- Sekretariatet for afgifts- og tilskudsanalysen på energiområdet (2018). Afgifts- og tilskudsanalysen på energiområdet, Delanalyse 1, Udviklingen i afgifts- og tilskudsgrundlag. Sekretariatet for afgifts- og tilskudsanalysen på energiområdet, december 2018
- Siemens (2018). eHighway SoCalFinal Report. Construction of a 1 Mile Catenary System and Develop, Demonstrate Catenary Hybrid Electric Trucks & Demonstrate Catenary Hybrid Electric Trucks http://clkrep.lacity.org/online/docs/2019/19-0216_misc_02-27-2019.0001.pdf
- Skov, I R; & Mathiesen, B V (2018). Handlingsplan for storskala anvendelse af elektrolyse i Danmark. Aalborg Universitet
- Smokers (2017). Decarbonizing commercial road transport. TNO, Den Haag
- Statens Energimyndighet (2019). DRIVMEDEL 2018. Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten. ER 2019:14
- Stettler, M; Woo, M; Ainalis, D; Achurra-Gonzalez, P; Speirs J (2019). Natural Gas as a Fuel for Heavy Goods Vehicles. Centre for Transport Studies, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, London, UK
- Sundelin, H; Ezer, O; Tongur, S (2020). Smartroad Gotland: Demonstration of a wireless electric road. Proceedings of 8th Transport Research Arena TRA 2020, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland [paper submitted]
- T&E (2019). Draft National Energy and Climate Plans transport ranking. Transport & Environment, Brussels, June 2019
- T&E (2018). How to Decarbonize European Transport? Transport & Environment, Brussels, November 2018
- The Pathways Coalition (2019). Fossil free alternatives for commercial road transportation in Sweden <https://www.thepathwayscoalition.com/resources/the-pathways-study-achieving-fossil-free-commercial-transport-by-2050/>
- The Pathways Coalition (2018). Achieving fossil-free commercial transport by 2050. <https://www.thepathwayscoalition.com/resources/the-pathways-study-achieving-fossil-free-commercial-transport-by-2050/>
- The Smart Freight Centre (2018). <https://www.smartfreightcentre.org/en>

- TML (2017). Commercial Vehicle of the Future. A roadmap towards fully sustainable truck operations. Transport and Mobility Leuven. For IRU, Geneva
- Toll Collect (2019). Lastbilsgebyr i Tyskland. <https://www.toll-collect.de/de/>
- Trafikanalys (2019). Styrmedel för tunga miljövänliga lastbilar. Rapport 2019:2 Trafikanalys, Stockholm
- Trafikverket (2019). Electrified Road Systems. Riskanalytdag 2019.10.15
- Trafikverket (2017). Nationell färdplan för elvägar. Trafikverket, Borlänge, 2017-11-29. www.trafikverket.se
- T&E (2018). CNG and LNG for vehicles and ships - the facts. Transport & Environment, Bruxelles, Oktober 2018
- Transport-, Bygnings- og Boligministeriet (2017). Grund- og nærhedsnotat 7. juli 2017 Forslag til Europa-Parlamentets og Rådets direktiv om ændring af direktiv 1999/62/EF
- US EPA, NHTSA, & DOT (2016). Greenhouse Gas Emissions and Fuel Efficiency Standards for Medium- and Heavy-Duty Engines and Vehicles - Phase 2. 2016, US Government Publishing Office. p. 73478-74274.
- Valin, H et al. (2016). The land use change impact of biofuels consumed in the EU. Quantification of area and greenhouse gas impacts. Report by Ecofys, IIASA and E4Tech, European Commission.
- Vega, G C & Chrintz, T (2015). Bæredygtig biogasproduktion i Danmark. CONCITO, København, August 2015
- Wenzel, H (2019). Ressourcegrundlag og bæredygtighed for brændstoffer til skibsfarten. Workshop, Det Blå Danmark, 17. december 2019
- Vejdirektoratet (2019) Statsvejnettet 2019.
- Vierth, I (2019). TRIPLE-F Fossil Free Freight Workshop om Klimaplaner og klimabudgetter - hvad betyder det for godstransporten. København, 14. maj 2019
- Winther Mortensen, A; Wenzel, H; Dalgas Rasmussen, K; Sandermann Justesen, S; Wormslev, E; & Porsgaard, M (2019). Nordic GTL: A pre-feasibility study on sustainable aviation fuel from biogas, hydrogen and CO₂. SDU Livscykluscenter.
- Winther, K & Jeppesen, J (2016). Validering af energiforbrugsdata for køretøjer i AD modellen. Teknologisk Institut, Aarhus, januar 2016



CONCITO er en uafhængig tænketank, der formidler klimaviden og -løsninger til politikere, erhvervsliv og borgere.

Vores formål er at medvirke til en lavere udledning af drivhusgasser og en begrænsning af skadevirkningerne af den globale opvarmning.

www.concito.dk • info@concito.dk