RAPPORT

# KLIMATILTAK INNEN GODSTRANSPORT

**MENON-PUBLIKASJON NR. 78/2019**

Av Øyvind N. Handberg, Annegrete Bruvoll, Øyvind Endresen, Lasse Fridstrøm, Jon Espen Riiser, Nikolai Rivedal, Inger Beate Hovi, Daniel Ruben Pinchasik og Guri Natalie Jordbakke

# Forord

På oppdrag for Samferdselsdepartementet har Menon, TØI og DNV GL i dette samarbeidsprosjektet utredet bedriftsøkonomiske og samfunnsøkonomiske kostnader ved klimatiltak innenfor godstransport på hhv. vei og sjø, samt for godsoverføring fra vei til bane eller sjø.

TØI er ansvarlig for teknologiske vurderinger og bedriftsøkonomiske analyser av tiltak innen veitransport og for godsoverføring, DNV GL er ansvarlig for teknologiske vurderinger og bedriftsøkonomiske analyser av tiltak innen sjøtransport og Menon er ansvarlig for de samfunnsøkonomiske analysene og vurderingene. Øyvind N. Handberg (Menon) har vært operativ prosjektleder og Magnus Guldbrandsen (Menon) har kvalitetssikret rapporten.

Vi takker Samferdselsdepartementet for et spennende oppdrag og for konstruktive diskusjoner. Forfatterne står ansvarlig for alt innhold i rapporten.

_____

Januar 2020
Annegrete Bruvoll
Prosjektansvarlig

# Innhold


**OPPSUMMERING** **4**
Bakgrunn 4
Resultater – godstransport på vei 4
Resultater – godstransport på sjø 5
Resultater – godsoverføring 6
Drøfting 7

**1. BAKGRUNN OG INNLEDNING** **8**
1.1. Status – klimagassutslipp og godstransport 8
1.2. Leseguide 8

**DEL I: GODS PÅ VEI – KLIMATEKNOLOGIER OG TILTAKSKOSTNADER** **10**

**2. FRAMSKRIVNINGER AV GODSBILBESTANDEN** **11**
2.1. Metode og datagrunnlag 11
2.2. Referansebanen - NB19 11
2.3. Energieffektivisering av dieselkjøretøyene: EE1 og EE2 15
2.4. Energieffektivisering og bedre kapasitetsutnytting: EEK 16
2.5. Energieffektivisering med innslag av nullutslippskjøretøy: EEK0 17
2.6. Absolutt $CO_2$-utslipp fra tunge godsbiler 18
2.7. Spesifikt $CO_2$-utslipp fra tunge godsbiler 20
2.8. Oppsummering 22

**3. TEKNISK MODENHET FOR LAV- OG NULLUTSLIPPS- GODSKJØRETØY** **24**
3.1. Batterielektriske kjøretøy 24
3.2. Kjøretøy med brenselceller for hydrogen 25
3.3. Biodrivstoff 26
3.4. Hybridkjøretøy 28
3.5. Diskusjon 29

**4. BEDRIFTSØKONOMISKE KOSTNADER I VEITRANSPORT** **32**
4.1. Lav- og nullutslippsløsninger 32
4.2. Hybridløsninger 35

**DEL II: GODS PÅ SJØ – KLIMATEKNOLOGIER OG TILTAKSKOSTNADER** **40**

**5. METODE OG INPUTDATA** **41**
5.1. Utvalg av godsskip i analysen 41
5.2. Modellerte teknologier 43
5.3. Modellbeskrivelse 44
5.4. Beregning av kostnad og effekt 51
5.5. Input 52

**6. TEKNOLOGISK MODENHET I SJØTRANSPORT** **54**
6.1. Modenhet i dag og mot 2030 54

**7. BEDRIFTSØKONOMISKE KOSTNADER I SJØTRANSPORT** **56**
7.1. Nullutslippsteknologi 56
7.2. Delelektrifisering 57

**8. REFERANSEALTERNATIVET** **59**

**9. DRØFTING AV USIKKERHET OG SENSITIVITETER** **60**

9.1. Drivstoffpriser 60
9.2. Fremtidig utvikling av batterier og brenselceller 61
9.3. Lagringskostnader 61
9.4. Tekniske kriterier for teknisk anvendelighet 62
9.5. Trafikkmønster og drivstofftilgang 62
9.6. Usikkerhet i AIS-baserte modelleringer 63

**DEL III: SAMFUNNSØKONOMISKE VURDERINGER 64**

**10. SAMFUNNSØKONOMISKE KOSTNADER PER TONN REDUSERT $CO_2$ 65**
10.1. Samfunnsøkonomiske beregningsprinsipper 65
10.2. Kostnader per tonn redusert $CO_2$ – godstransport på vei 71
10.3. Kostnader per tonn redusert $CO_2$ – godstransport på sjø 75
10.4. Ikke-prissatte virkninger 79
10.5. Betraktninger om 2030-2050 80

**11. SÆRSKILT VURDERING AV OVERFØRING FRA VEI TIL SJØ OG BANE 83**

**12. DRØFTING AV VIRKEMIDLER 88**
12.1. Avgifter med utslippsreduserende insentiver 88
12.2. Direkte subsidier 90
12.3. Indirekte subsidier 91
12.4. Reguleringer 92
12.5. Vurderinger 93

**13. MÅLKONFLIKTER 96**
13.1. Dobbel virkemiddelbruk 96
13.2. Fordelingseffekter ved finansiering 96
13.3. Norsk klimaregnskap versus global påvirkning 97

**REFERANSELISTE 99**

# Oppsummering

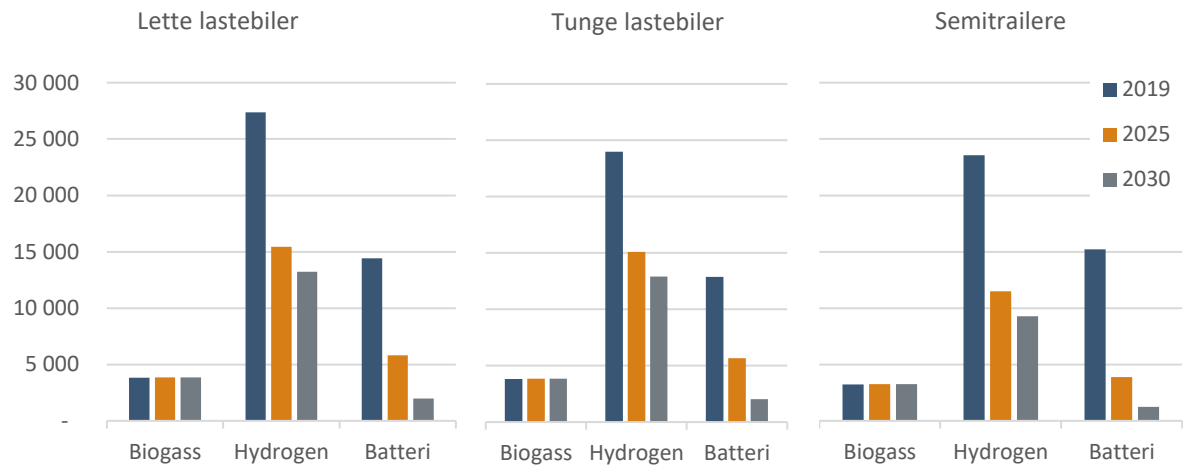
## Bakgrunn

Denne utredningen analyserer og vurderer klimatiltak i norsk godstransport på sjø og vei, ved omlegging til fossilfrie alternativer, økt innfasing av hybridløsninger samt ved overføring fra vei til bane eller sjø. Bedriftsøkonomiske og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn reduserte $CO_2$-utslipp beregnes for hvert tiltak for årene 2019, 2025 og 2030. Referansealternativet på vei er dieselkjøretøy (Euro VI), med årlig en beskjeden energieffektivisering fram mot 2030. Referansealternativet på sjø er hovedsakelig skip driftet på MGO og LNG fram mot 2030. Vi legger kun til grunn vedtatt virkemiddelbruk for perioden, som avgifter på konvensjonelle drivstoff og omsetningskrav for biodrivstoff. Beregningene omfatter kun klimagassutslipp som regnes med i Norges klimagassregnskap. Det betyr at utslipp som følge av produksjon av energibærere, fartøy eller kjøretøy utenfor Norges grenser ikke vurderes.

## Resultater – godstransport på vei

Våre anslag tilsier at tiltaket med lavest samfunnsøkonomiske kostnader innen fossilfrie løsninger for godstransport på vei er i dag omleggingen til **biogass**, for samtlige kjøretøysegmenter (se Figur S.1). Kostnadene ved å legge om fra diesel til biogass anslås til å være omtrent konstant 3 800 kr per tonn $CO_2$ i perioden 2019-2030. Kostnadene ved omlegging til **batterielektrisk** drift anslås til å være sterkt fallende i perioden. Avhengig av kjøretøysegment er nedgangen fra 12 500-15 000 kr per tonn $CO_2$ i 2019 til 800-1600 kr i 2030. Omlegging til **hydrogen** anslås å være det samfunnsøkonomisk mest kostbare tiltaket i hele analyseperioden for samtlige segmenter. De alternative teknologiene har ulike egenskaper og vil i ulik grad være egnet for ulike kjøretøy og kjørelengder. Eksempelvis vil batterielektrisk drift være mer egnet for kortere distanser i tettbygde strøk enn lengre distanser. Teknologiene kan dermed ikke forstås som rene substitutter til hverandre.

**Figur S.1 Anslåtte samfunnsøkonomiske kostnader for fossilfrie løsninger, vei, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**



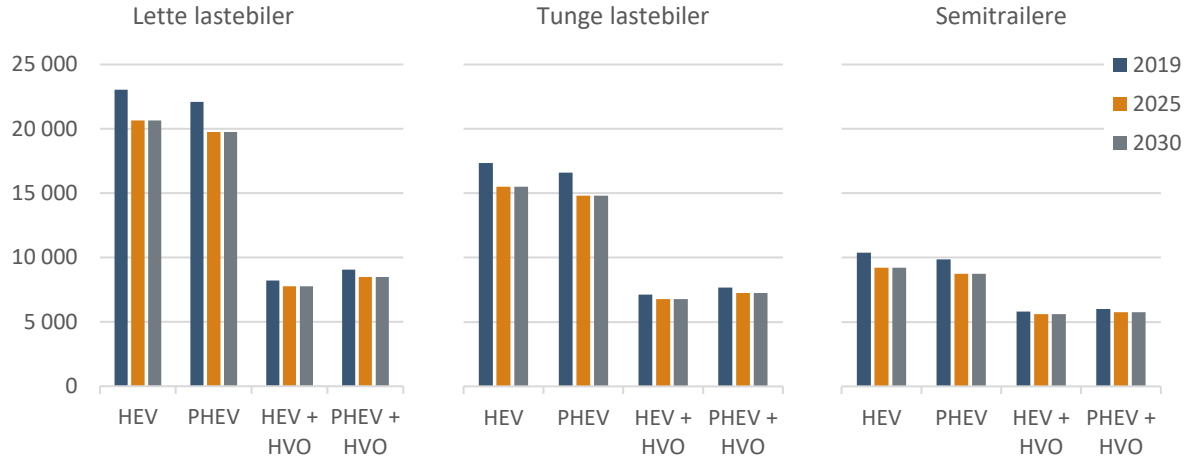

Selv om det er forskjeller i tiltakskostnadene mellom teknologier og over år, er utslippskostnadene per tonn $CO_2$ betydelige for de fleste teknologier, år og kjøretøysegment. Som presenteres nedenfor er kostnadene for omlegging av godstransport på sjø lavere.

**Hybridløsninger** for godstransport på vei kan fases inn med «vanlig» hybridteknologi (HEV) eller som «plug-in hybrid» (PHEV), det kan fases inn i kombinasjon med fornybart biodrivstoff (HVO) eller med konvensjonelle

drivstoff (diesel) og i kombinasjoner av disse. Figur S.2 viser de anslåtte samfunnsøkonomiske kostnadene for omlegging til disse ulike hybridløsningene for de tre vurderte kjøretøysegmentene. Blant hybridløsningene har det å erstatte konvensjonell diesel med HVO, i kombinasjon med hybrid-elektrisk drift, lavest samfunns-økonomisk kostnad per tonn redusert $CO_2$ for samtlige segmenter (selv om drivstoffkostnadene ved HVO er høyere enn for konvensjonell diesel). Tiltakskostnadene går ned med kjøretøystørrelse, hvor en viktig driver er at innkjøpskostnadene er en viktig kostnadskomponent og merkostnaden utgjør en mindre andel av eksisterende innkjøpskostnad for større kjøretøy.

Sammenlignet med fossilfrie løsninger er disse hybridtiltakene kostbare. Overgang til diesel-elektriske hybrider eller hydrogenløsninger er dyrest av tiltakene, avhengig av år og kjøretøysegment. Biogass og fullelektrisk drift er rimeligere klimatiltak enn hybridløsninger kombinert med konvensjonell diesel i 2025 og 2030, og samtlige hybridløsninger i 2030. Biogass har lavere tiltakskostnad enn samtlige hybridløsninger, også i 2019.

**Figur S.2 Anslåtte samfunnsøkonomiske tiltakskostnader for hybridløsninger, vei, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**




Den viktigste driveren av tiltakskostnadene er de bedriftsøkonomiske kostnadene, hvor investering er den viktigste komponenten for batteri- og hybridløsninger, drivstoffkostnadene viktigst for biogass (og HVO) og begge deler er kostnadsdrivende for hydrogen. Modningen av de ulike teknologiene er da også den viktigste grunnen til de forventede kostnadsreduksjonene over tid for hydrogen- og batterielektriske framdriftsløsninger. For andre kostnader er skattefinansieringskostnaden, som følger av tapte avgiftsinntekter og utløste støttebeløp fra eksisterende ordninger, betydelig større enn den eksterne nytten av reduserte lokale luftutslipp, også der tettbygde strøk berøres.

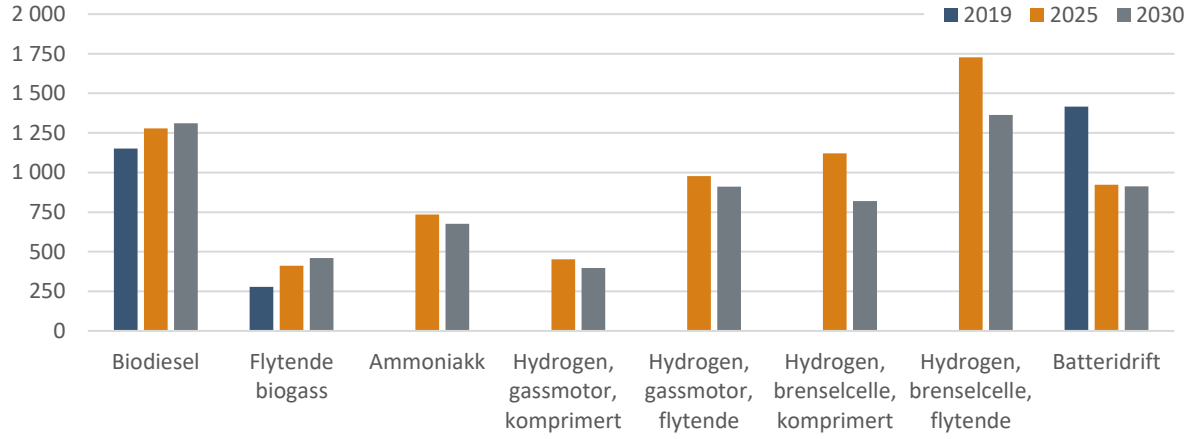
## Resultater – godstransport på sjø

Våre anslag tilsier at den fossilfrie løsningen med lavest samfunnsøkonomiske tiltakskostnader innen godstransport på sjø i dag er **flytende biogass** (se Figur S.3). Kostnadene anslås til å øke fra ca. 300 kr per tonn $CO_2$ i 2019 til ca. 450 kr i 2030, grunnet økende drivstoffpriser. Som på vei, anslås kostnadene til **batterielektrisk** drift å falle i perioden: fra ca. 1400 kr per tonn $CO_2$ i 2019 til 900 kr i 2030. Avhengig av innretning, vil omlegging til **hydrogen** ha en kostnad på 450-1700 kr per tonn $CO_2$ i 2025 og 400-1400 kr per tonn $CO_2$ i 2030. Den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden for omlegging til **ammoniakk** anslås til hhv. 750 og 650 kr per tonn $CO_2$ i 2025 og 2030. Sistnevnte teknologier anses ikke å være tilstrekkelig modne i 2019.

Også som for vei, er ikke teknologiene nevnt her nødvendigvis substitutter til hverandre og enkelte energibærere vil ikke være egnet for flere typer skip og seilingsmønster. Biodrivstoff og ammoniakk vurderes som teknisk

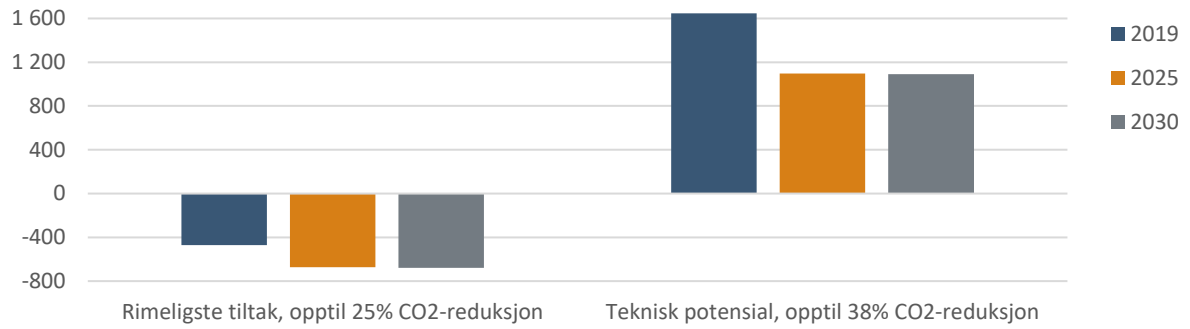
gjennomførbart for nærmest alle godsskip i trafikk i norske farvann, mens hydrogen, avhengig av innretning, er anvendbart for 20-50 prosent av skipene. Batterielektrisk drift anses som teknisk anvendbart for kun ett av 148 vurderte godsskip, men delelektrisk drift er mer aktuelt.

**Figur S.3 Anslåtte samfunnsøkonomiske kostnader for fossilfrie løsninger, sjø, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2e$**




For innfasing av **hybridløsninger** med delelektrisk drift er det samfunnsøkonomisk (men ikke bedriftsøkonomisk) lønnsomt å delelektrifisere deler av skipsflåten, også før klimagevinsten av tiltaket vurderes, som presentert i Figur S.4. Disse rimeligste delelektrifiserings-tiltakene medfører en utslippsreduksjon på 25 prosent av klimagassutslippene fra godsskiptrafikken i Norge. Potensialet for utslippsreduksjon ved delelektrifisering anslås til 38 prosent, hvorpå den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden anslås til å være i gjennomsnitt over 1600 kr per tonn $CO_2$ i 2019 og omtrent 1100 kr per tonn $CO_2$ i 2025 og 2030.

**Figur S.4 Anslåtte samfunnsøkonomiske tiltakskostnader for hybridløsninger, sjø, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2e$**




Sammenlignet med godstransport på vei, er det potensielt store eksterne nyttevirkninger ved klimatiltak på sjø – opptil 1400 kr per tonn $CO_2$ redusert. Dette er hovedsakelig knyttet til reduserte $NO_X$-utslipp, og dermed reduserte skadekostnader gjennom påvirkning på helse. Denne anslåtte virkningen er særlig sensitiv ovenfor antagelser om seilingsmønster. Vi viser i en sensitivitetsanalyse at de samfunnsøkonomiske tiltakskostnadene er betydelig høyere dersom en legger til grunn at skipene oppholder seg i større grad langt utenfor bebyggelse.

## Resultater – godsoverføring

Å flytte godstransport fra vei til jernbane eller sjø har lavere tiltakskostnader per tonn $CO_2$ enn innfasing av alternative energibærere i veitransporten. Godsoverføring anslås til å være samfunnsøkonomisk lønnsomt, da de bedriftsøkonomiske kostnadene anslås til å være lave og de eksterne nyttevirkningene overgår skattefinansieringskostnaden. Særlig er de eksterne nyttevirkningene store for overføring fra vei til sjø, fordi støy- og slitasjekostnadene er større ved godstransport på bane.

Godsoverføring som klimatiltak vurderes imidlertid i større grad enn de fleste andre tiltakene å ha et begrenset potensial. Kun to prosent av godstransport på vei kan potensielt overføres til bane eller sjø, fordi konkurranse-flatene mellom transportformene er små. Over 90 prosent av veitransportens godsmengder er korte transporter knyttet til bygge- og anleggsarbeider og lokale varetransporter. Selv om godsoverføring av enkelte volumer er samfunnsøkonomisk lønnsomt i dag, vil altså ikke tiltakene kunne bidra til store utslippsreduksjoner. Videre vil klimagevinsten ved godsoverføring sannsynligvis reduseres i framtiden, hovedsakelig på grunn av reduserte utslipp fra godstransport på vei.

## Drøfting

De samfunnsøkonomiske kostnadene, regnet per tonn redusert $CO_2$, inkluderer eksterne virkninger. Disse omfatter endrede helsekostnader ved endrede lokale luftutslipp ved de alternative teknologiene til sjøs og på vei og endret risiko for uhellsutslipp til sjøs. I tillegg kommer skattefinansieringskostnaden ved bortfall av eksisterende avgiftsinntekter. Andre eksterne virkninger inkluderer mulige endringer i støybelastning og inngrep i natur ved etablering av ny infrastruktur for forsyning av energibærere. Sistnevnte virkninger drøftes kvalitativt og vurderes til å være relativt begrensede.

Kostnadsanslagene skal forstås som samfunnsøkonomiske tiltakskostnader. Andre kostnader ved virkemidler for å utløse tiltakene, som administrasjon og begrenset treffsikkerhet, er ikke anslått. Virkemidler, som ulike avgifter, subsidier, og reguleringer, samt effekten av disse, vurderes i slutten av rapporten. Generelt er virkemidler rettet mot å utløse tiltak med lavest samfunnsøkonomiske kostnader per tonn reduserte $CO_2$ og med lave administrasjonskostnader mest effektive. Generelle virkemidler som ikke er spesifisert til bestemte sektorer er prinsipielt mer effektive enn sektorspesifikke tiltak. Økt $CO_2$-avgift eller utvidet kvoteplikt er slike virkemidler. Samtidig har transportsektoren egne utslippsmål. Gitt at disse skal følges opp uten hensyn til kostnadseffektivitet på tvers av sektorer, kan spesifikke virkemidler rettet mot transportsektoren være nødvendige.

Dersom en skal iverksette egne virkemidler rettet mot å utløse klimatiltak innen godstransport i Norge, bidrar våre resultater til å peke på hvilke tiltak som har lavest samfunnsøkonomiske kostnader. Innen veitransport er dette biogass og, mot 2030, helelektrisk drift. Godsoverføring fra vei til sjø eller bane er samfunnsøkonomisk lønnsomt. Innen sjøtransport er hybridløsninger lønnsomt blant enkelte skip. Biogass og etter hvert komprimert hydrogen med gassmotor er de rimeligste fossilfrie alternativene.

I tillegg til tiltakskostnadene er det relevant å vurdere den potensielle utslippsreduksjonen tiltaket kan utløse. Godsoverføring er kun relevant for to prosent av godstransporten på vei, mens helelektrisk drift på sjø kun er teknisk mulig for under én av prosent godsskipsflåten (ett av 148 skip) og komprimert hydrogen med gassmotor er teknisk mulig for 18 prosent av flåten. For sjøtransport er biogass og delelektrisk drift relevant for hhv. hele og større deler av flåten, mens biogass og helelektrisk drift er relevant for store deler av veitransporten. Særlig kan helelektrisk drift relevant for lette lastebiler.

Det tredje aspektet å vurdere for å utløse spesifikke tiltak er effektiviteten til mulige virkemidler å utløse vurderte tiltak. Støtteordninger bør ikke rettes mot spesifikke teknologier med mindre disse er i forskings- og utviklingsfasen. Særskilte støtteordninger til bruk av kjente teknologier som elektriske varebiler gir ekstra administrasjonskostnader og er mindre fleksible innføring av kostnadseffektive teknologier. Virkemidler som legger til rette for at tiltakshaver velger rimeligste løsninger kan være mer fleksible for teknologisk modning og heterogene løsninger. Utover nevnte sektorovergripende virkemiddel, er reguleringer som setter utslippskrav, slik som lavutslippssoner eller miljøkrav i havner, eksempler på dette. En rekke andre virkemidler drøftes i rapporten.

# 1. Innledning

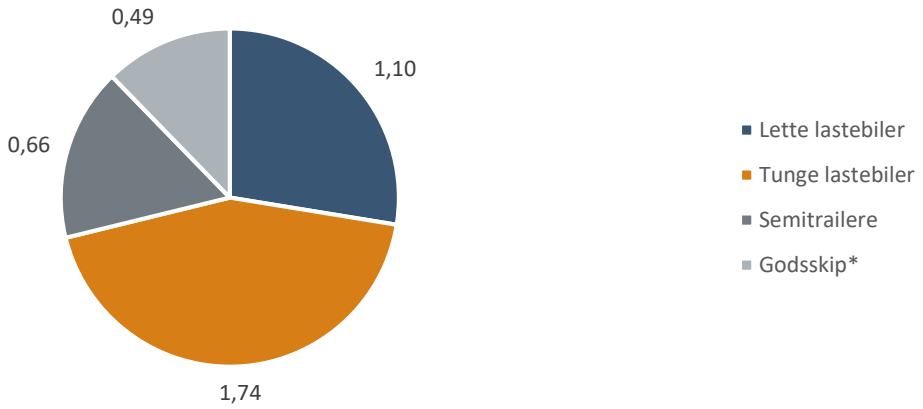
Denne analysen anslår bedriftsøkonomiske og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert $CO_2$ for omlegging til fossilfrie løsninger i godstransport på vei og på sjø. I tillegg anslås kostnader ved omlegging til hybridløsninger for godstransport på både vei og sjø samt ved godsoverføring fra vei til bane eller sjø. Analyseperiodene er fram mot 2025 og 2030. Klimagassutslippene måles i $CO_2$, eller i $CO_2$-ekvivalenter ($CO_2e$) der utslipp av andre klimagasser også omfattes. Videre vurderes utviklingen i referansealternativet versus de fossilfrie løsningene, virkemidler for å utløse tiltakene og målkonflikter som oppstår ved de aktuelle teknologiene.

Arbeidet omfatter klimagassutslipp som regnes med i Norges klimagassregnskap, og i beregningene av klimaeffekter tas det ikke hensyn til eventuelle endringer i utslipp i andre land, eller eventuelle virkninger på utslipp utenfor klimaregnskapet i Norge. Vi drøfter denne begrensningen kvalitativt til slutt i rapporten.

## 1.1. Status – klimagassutslipp og godstransport

Godstransporten vurdert i denne utredningen har et årlig klimagassutslipp på omtrent 4 millioner tonn $CO_2e$. Som presentert i Figur 1.1, utgjør veitransporten nesten 90 prosent av disse utslippene, hvor tunge lastebiler utgjør halvparten av utslippene fra veitransport igjen.

**Figur 1.1 Klimagassutslipp (mill. tonn $CO_2e$) fra godstransporten vurdert i denne utredningen**




*Lasteskip og våt- og tørrbulkskip som tilbringer minst 80 prosent av tiden i norske farvann. Kilde, veitransport: Fridstrøm (2019d, tall for 2015). Kilde, sjøtransport: DNV GL (grunnlaget til Del II).

De totale norske klimagassutslippene var i 2018 på omtrent 52 millioner tonn $CO_2e$, hvor veitrafikk og andre mobile kilder, inkludert fiske, anleggsmaskiner, landbruksmaskiner og motorredskaper, utgjør 16,6 millioner.[1] Utslippene analysert og drøftet i denne utredningen utgjør altså en anselig andel av norske klimagassutslipp. I tillegg er disse utslippene i ikke-kvotepliktig sektor. Klimatiltak innen godstransport har derfor potensial til å være en viktig del på veien mot nasjonale klimamålsetninger.

[1] *https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-transport/ [16.01.20]*

## 1.2. Leseguide

Prosjektet er et samarbeidsprosjekt mellom Menon, TØI og DNV GL, der Menon har prosjektledelsen. TØI er hovedsakelig ansvarlig for analysene av veitransport (rapportens Del I), DNV GL for analysene av sjøtransport (rapportens Del II) og Menon for de samfunnsøkonomiske analysene og diskusjonene (rapportens Del III).

I Del I beskriver TØI i kapittel 2 utviklingen i godsbilbestanden og resulterende klimagassutslipp from mot 2030, delt inn i lette og tunge kjøretøy. I kapittel 3 beskrives den teknologiske modningen for de alternative fossilfrie løsningene batterielektrisk, hydrogen og biodrivstoff samt for hybridløsninger. I kapittel 4 anslås og presenteres de bedriftsøkonomiske kostnadene for å skifte til hver av disse løsningene i hhv. 2019, 2025 og 2030, sammenlignet med referansebanen beskrevet i kapittel 2. TØI anslår og drøfter også samfunnsøkonomiske kostnader ved godsoverføring fra vei til bane og sjø i kapittel 11.

I Del II beskriver først DNV GL metoden og datagrunnlaget for vurderingene før det i kapittel 6 redegjøres for den teknologiske modningen for de alternative fossilfrie løsningene innen sjøfart: batterielektrisk, biodiesel (HVO), biogass, ulike former for hydrogen og ammoniakk. De bedriftsøkonomiske kostnadene for å skifte over til hver av disse teknologiene anslås i kapittel 7, sammenlignet med referansealternativet, som beskrevet i kapittel 8. Usikkerheten og sensitiviteten for disse anslagene for ulike faktorer drøftes i kapittel 9.

I Del III beskriver og anslår Menon i kapittel 10 de samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn reduserte $CO_2$-utslipp for de ulike teknologiene, der informasjon om de bedriftsøkonomiske kostnadene er hentet fra Del I og Del II. I kapittel 12 vurderes aktuelle utløsende virkemidler og i kapittel 13 drøftes mulige målkonflikter ved de ulike teknologiene og virkemiddelbruken.

# Del I: Gods på vei –
# Klimateknologier og tiltakskostnader

# 2. Framskrivninger av godsbilbestanden

## 2.1. Metode og datagrunnlag

Transportøkonomisk institutt (TØI) har utarbeidet fem scenarier for utviklingen i godstransporten på vei i 2018-2030, se Tabell 2.1. Scenariene er basert på observerte bestandstall for årene 2015-2018, eksogent gitte tall for tilvekst av nye kjøretøy 2019-2050 og, i samsvar med dette, beregnede bestandstall for 2019-2050. For alle år 2015-2050 er tallene for energiforbruk og utslipp beregnet ut fra bestandstallene og forutsetninger om kjørelengde og drivstofforbruk i de enkelte vekt- og aldersklasser av kjøretøy. Beregningene er gjort ved hjelp av modellen BIG-5.2 og er konsentrert omkring tunge godsbiler over 7,5 tonn totalvekt.

Det er flere måter å måle gjennomsnittlig $CO_2$-utslipp på for å angi kostnader per tonn reduserte $CO_2$. Forordning 2018/956, om overvåking og regulering av $CO_2$-utslipp og drivstofforbruk i nye tunge kjøretøy, lister opp 'g/km', 'g/t-km', 'g/p-km' og 'g/m$^3$-km'. TØI har på denne bakgrunn beregnet utslipp så vel per kjøretøykm (g/km) som per tonnkm (g/t-km).

En viktig del av bakteppet er at EU innfører utslippskrav for tunge lastebiler, etter liknende mal som for personbiler.[2] Målet er 15 prosents reduksjon i nye lastebilers gjennomsnittlige $CO_2$-utslipp fra 2019 til 2025 og nye 15 prosent innen 2030.

**Tabell 2.1 Scenarier for utviklingen i godstransport på vei**

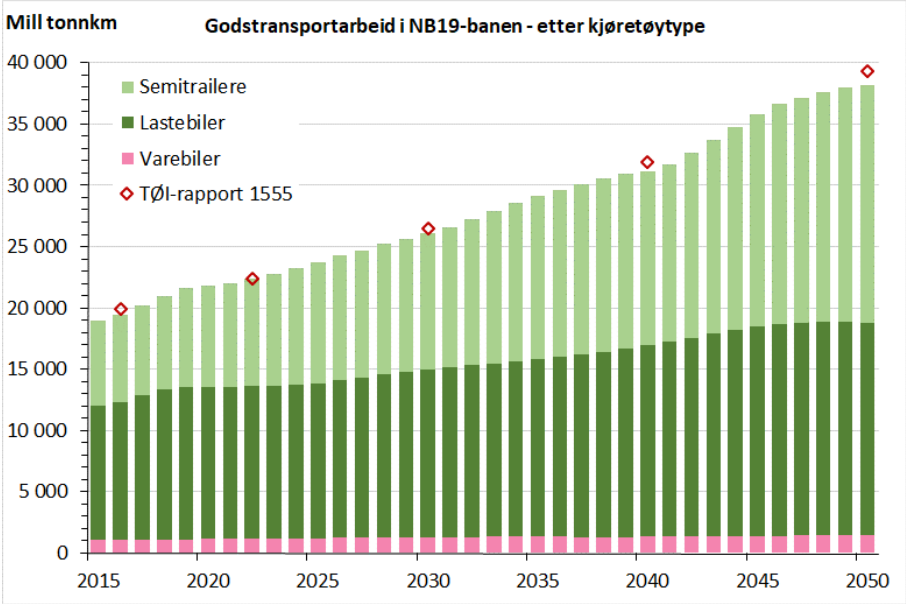
| Scenario | Beskrivelse |
|---|---|
| NB19 - Referansebanen | Konsistent med grunnprognosen for transportetterspørsel i NTP 2018-2029 og med salget av nye kjøretøy i nasjonalbudsjettet 2019 (NB19). Det forutsettes 0,13 prosents årlig forbedring i energieffektiviteten i nye tunge dieselkjøretøy. |
| EE1-banen | 1,25 prosents årlig forbedring i energieffektiviteten i nye tunge dieselkjøretøy. |
| EE2-banen | 2,5 prosents årlig forbedring i energieffektiviteten i nye tunge dieselkjøretøy. |
| EEK-banen | Som EE1, samt 1,25 prosents årlig forbedring i kapasitetsutnyttelsen. |
| EEK0-banen | Som EEK, samt innfasing av batteri, brenselceller og biogass. |

## 2.2. Referansebanen - NB19

Som referansebane for scenariene ('business-as-usual') har vi lagt til grunn samme bane som i framskrivingen publisert i Fridstrøm (2019d). Denne framskrivingen er konsistent med den utvikling i transportetterspørsel som er skissert i Nasjonal transportplan 2018-2029 (Meld. St. 33 2016-2017). Konkret er tilgangen på nye godsbiler satt slik at vi, med uendret kapasitetsutnytting, får fram omtrent samme vekst i transportarbeidet (antall tonnkilometer) som i NTPs grunnprognose for gods (Hovi et al. 2017), se Figur 2.1.

[2] *www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2018/12/20/co2-emission-standards-for-trucks-council-agrees-its-position/?utm_source=dsms-auto&utm_medium=email&utm_campaign=Heavy-duty+vehicles:+Council+presidency+agrees+with+Parliament+on+Europe's+first-ever+CO2+emission+reduction+targets+for+trucks [21.09.19].*

**Figur 2.1 Samlet godstransportarbeid 2015-2050, etter kjøretøytype. NB19-banen sammenholdt med grunnprognosen for NTP 2018-2029 gitt i Hovi et al. (2017)**




Med hensyn til utviklingen i markedet for nye kjøretøy er framskrivingen dessuten i tråd med forutsetningene i nasjonalbudsjettet for 2019. Vi kaller derfor denne banen for *NB19-banen*.

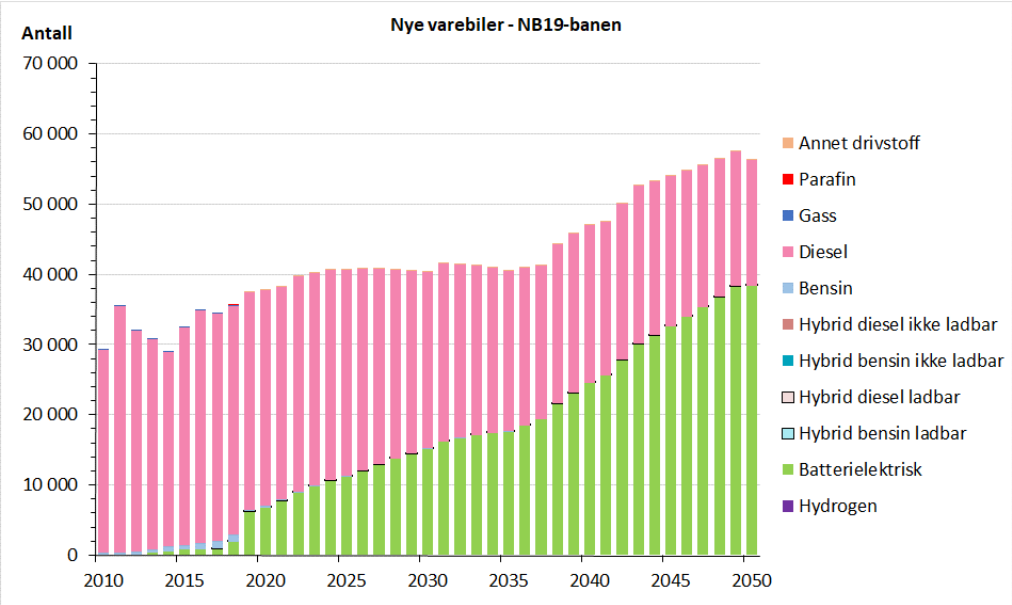
I nasjonalbudsjettet for 2019 (Meld. St. 1 2018-2019) er det lagt til grunn at 75 prosent av alle nye personbiler i 2030 er elbiler. Resten – 25 prosent – skal være ladbare hybrider. For varebiler er det lagt til grunn halvparten så høy batterielektrisk andel, dvs. 37,5 prosent (Figur 2.2).

Med hensyn til tunge lastebiler er det i nasjonalbudsjettet for 2019 ikke spesifisert konkrete antagelser om innfasing av ny teknologi. I tråd med dette har vi i NB19-banen lagt til grunn at nye lastebiler i all hovedsak vil være dieseldrevne fram til 2030 (Figur 2.3). Andelen tunge godsbiler med nullutslipp er nærmest neglisjerbar fram til 2035.

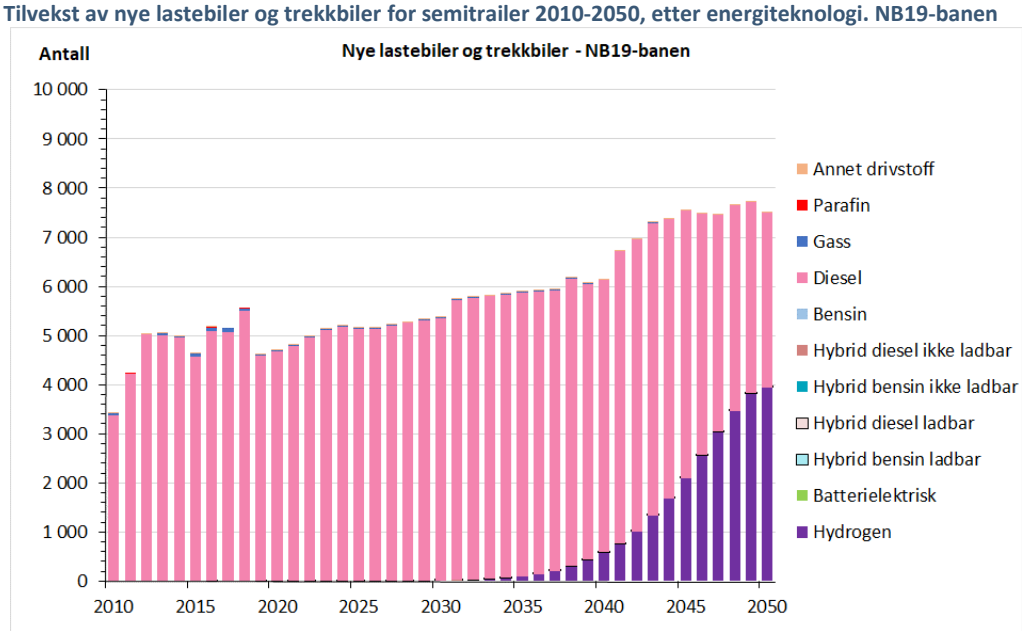
Varebilene står i 2020 for anslagsvis 5,2 prosent av godstransportarbeidet, men en mye større andel av trafikkarbeidet (74 prosent), energiforbruket (32 prosent) og $CO_2$-utslippet (29 prosent) for godskjøretøy totalt.

Beregningene gjelder i prinsippet norskregistrerte kjøretøy og er basert på Lastebilundersøkelsens tall for årlig kjørelengde og HBEFA-modellens tall for drivstofforbruk. Det innebærer at utenlandske kjøretøyers virksomhet på norske veier ikke kommer med, mens norske kjøretøyers kjøring i utlandet er inkludert. Drivstofforbruket for alle typer kjøretøy er i BIG-modellen imidlertid avstemt mot det samlede drivstoffsalget i Norge. I den grad kjøretøyene bringer med seg drivstoff anskaffet i utlandet inn i landet, vil også dette tallet være litt for lavt sammenliknet med det reelle drivstofforbruket på norske veier.

**Figur 2.2 Tilvekst av nye varebiler 2010-2050, etter energiteknologi. NB19-banen**



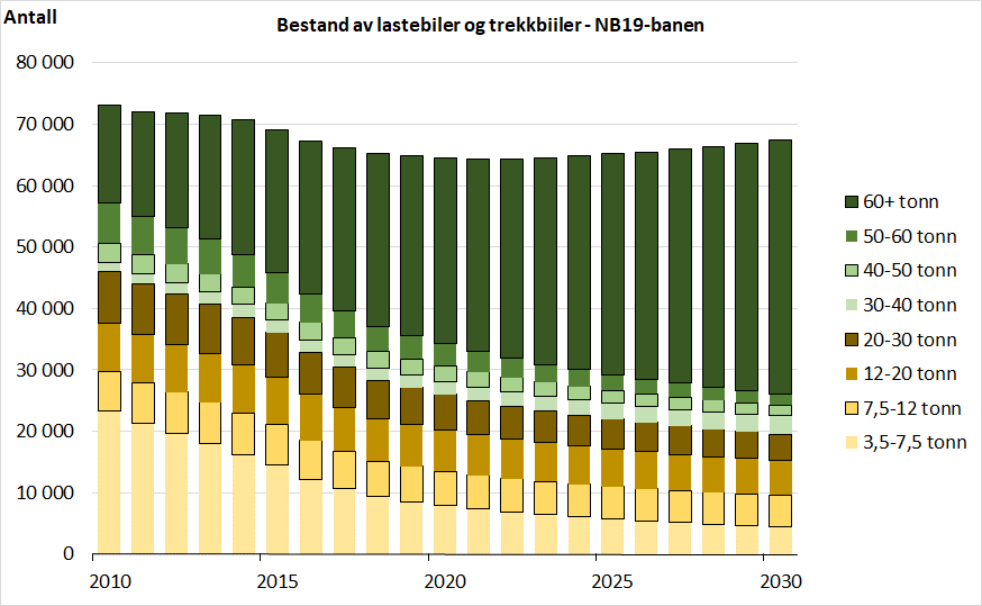

**Figur 2.3 Tilvekst av nye lastebiler og trekkbiler for semitrailer 2010-2050, etter energiteknologi. NB19-banen**




I utgangspunktet opererer BIG-modellen med en beskjeden forbedring i godsbilenes energieffektivitet, med 0,13 prosent per år fra 2015 og framover. Anslaget representerer en forlenging av den observerte trenden fra 1985 til 2015. Det vil si at en for hver vektklasse av nye tunge lastebiler og trekkbiler for semitrailer forutsetter at nye kjøretøy hvert år bruker 0,13 prosent mindre diesel per km enn forrige årsklasse av like tunge biler.

Godsbilene er i perioden 2010-2018 blitt gradvis større. Også denne trenden er forlenget i framskrivingene under NB19-banen, se Figur 2.4.

**Figur 2.4 Bestand av lastebiler og trekkbiler for semitrailer ved årsslutt 2010-2030, etter vogntogets høyeste tillatte totalvekt. NB19-banen**



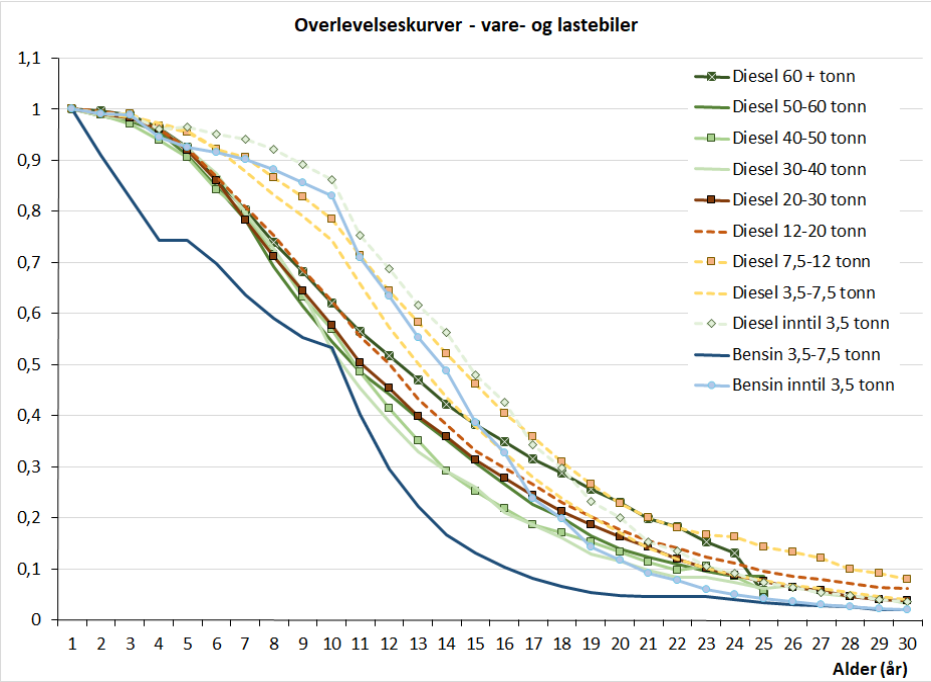

Foruten tilveksten av nye kjøretøy påvirkes bilparken av hvilke og hvor mange kjøretøy som hvert år vrakes, eksporteres eller av andre grunner avregistreres. Modellen BIG-5.2 legger til grunn samme årlige avgang av kjøretøy som observert i gjennomsnitt i årene 2012-2017 ifølge motorvognregistret.

På grunnlag av avgangsratene kan en beregne overlevelseskurver for de ulike grupper av kjøretøy. Med overlevelse mener vi da overlevelse *på norske skilt*. I Figur 2.5 og Figur 2.6 vises overlevelseskurver for henholdsvis vare- og lastebiler og trekkbiler for semitrailer, utregnet på grunnlag av de gjennomsnittlige, observerte avgangsratene i årene 2012 til 2017. Utskiftingsratene har betydning for hvor raskt teknologiendringer og -forbedringer gir seg utslag i redusert samlet energiforbruk og $CO_2$-utslipp.

Vi ser at minst halvparten av lastebilene overlever til sitt ellevte år. Blant trekkbilene for semitrailer, derimot, er median overlevelse på norske skilt i de fleste vektklasser bare 6 til 8 år. Det skyldes at bilene ofte blir solgt til utlandet, snarere enn at de blir vraket. Dette har antakelig sammenheng med at vedlikeholdskostnadene er høyere i Norge enn i de fleste andre land. Det lønner seg derfor for norske lastebileiere å skifte ut bilen forholdsvis raskt. Spesielt gjelder det de bilene som går aller lengst.

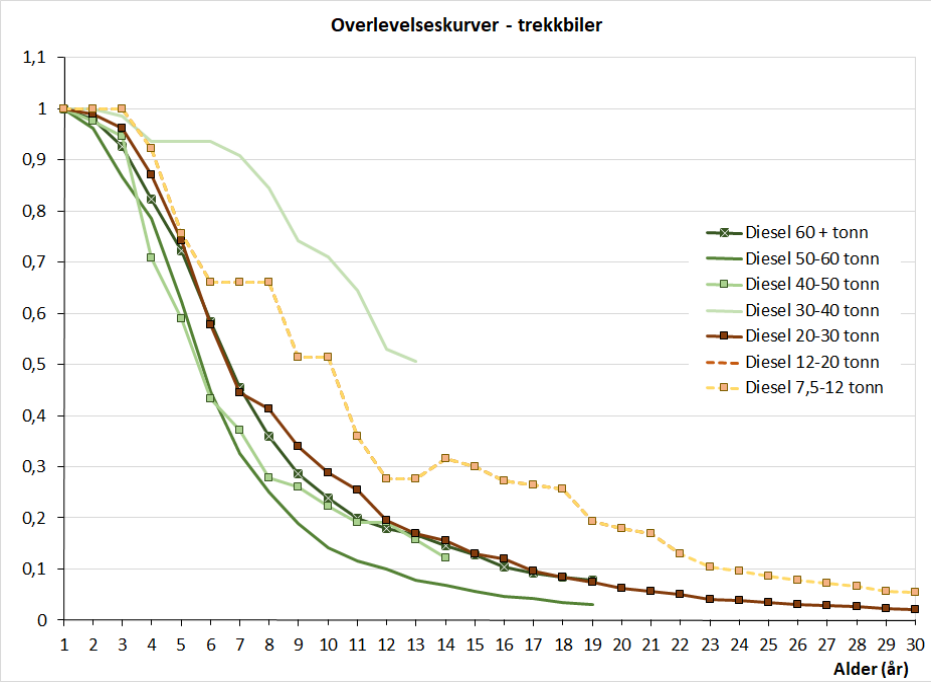
Godsbilene lever kortere på norske skilt enn personbilene. Som vist av Fridstrøm et al. (2016) blir mer enn halvparten av personbilene mer enn 17 år gamle. Unntak fra dette gjelder bare for de minste dieselbilene (under 1200 kg egenvekt), som det er svært få av.

**Figur 2.5 Overlevelseskurver for vare- og lastebiler, etter vogntogets høyeste tillatte totalvekt**




Kilde: Fridstrøm (2019a), basert på uttrekk fra motorvognregistret 2012-2017

**Figur 2.6 Overlevelseskurver for trekkbiler for semitrailer over 7,5 tonn, etter vogntoget høyeste tillatte totalvekt.**




Kilde: Fridstrøm (2019a), basert på uttrekk fra motorvognregistret 2012-2017

## 2.3. Energieffektivisering av dieselkjøretøyene: EE1 og EE2

Som et første alternativ til referansebanen har vi beregnet en bane der de tunge godsbilenes drivstofforbruk synker betydelig raskere – konkret med 1,25 prosent per år i perioden 2015-2050, altså nesten ti ganger så raskt som i referansebanen. Vi kaller dette optimistiske scenariet *EE1-banen*.

Tilgangen av nye kjøretøy forutsettes å være den samme som i referansebanen.

Kjøretøyenes gjennomsnittlige kapasitetsutnytting forutsettes uendret, i EE1-banen så vel som i referansebanen. Konkret innebærer dette at det i hver alders- og vektklasse av henholdsvis tunge lastebiler og trekkbiler for semitrailer, er et uendret forhold mellom antall godstonnkilometer og antall kapasitetstonnkilometer.

I tillegg til EE1-banen har vi utarbeidet en bane med dobbelt så rask forbedring i energieffektiviteten: 2,5 prosent per år i tiden 2018-2050, nesten tyve ganger så rask forbedring som i referansebanen. Vi kaller dette enda mer optimistiske scenariet for *EE2-banen*.

Det kan synes urealistisk at energieffektiviseringen i dieselkjøretøy med ett skal skje i mye høyere tempo enn tidligere, men det er nettopp dette den nye EU-reguleringen legger opp til. Det er så vidt vi forstår første gang Europakommisjonen knytter finansielle insentiver til $CO_2$-reduksjon i tunge kjøretøy. Det heter på Kommisjonens nettside:[2]

> A financial penalty in the form of an excess emissions premium is foreseen for those manufacturers which do not comply with the CO2 emission reduction targets.
>
> There will be an incentive system, called super-credits, whereby zero- and low-emission vehicles will be counted as more than one vehicle when calculating the specific emissions of a truck manufacturer.

Det blir med andre ord særlig attraktivt for lastebilprodusentene å markedsføre nullutslippskjøretøy og hybridkjøretøy. I lys av dette framstår våre scenarier EE1 og EE2 som ikke helt urealistiske.

## 2.4. Energieffektivisering og bedre kapasitetsutnytting: EEK

I et fjerde scenario har vi, i tillegg til den energieffektivisering som er forutsatt i EE1-banen, også sett for oss en viss forbedring i kjøretøyenes gjennomsnittlige kapasitetsutnytting. Konkret er det her forutsatt at forholdet mellom antall godstonnkilometer og antall kapasitetstonnkilometer øker med 1,25 prosent hvert år i perioden 2019-2030. Forbedringen gjelder ikke bare nye godsbiler, men kjøretøy i alle aldersklasser. Vi kaller dette scenariet *EEK-banen*.

En forbedring i kapasitetsutnyttingen kan i prinsippet komme i stand på to måter. En kan enten se for seg at tomkjøringsandelen går ned, og/eller at bilene frakter litt mer last hver gang de har oppdrag. Framskrivingen tar ikke stilling til hvilken av disse to mulighetene som utnyttes (mest).

Det er ikke uten videre lett å se for seg hvilke nye forhold som skal føre til merkbart bedre kapasitetsutnyttelse enn tidligere. Teknologiske forbedringer vil kunne bidra til bedre planlegging og informasjon til bedriftene, eksempelvis gjennom bedre data fra bedriftenes ordresystemer og/eller vha. data fra sensorer i kjøretøyene. Det pågår for tiden et arbeid i LIMCO-prosjektet som ser på relaterte problemstillinger.

Ett annet mulig potensial kan ligge i samordnet distribusjon i bystrøk. Et slikt scenario forutsetter at konkurrenter samarbeider, noe som kan være tillatt dersom ordningene «bidrar til å bedre produksjonen eller fordelingen […] eller til å fremme den tekniske eller økonomiske utvikling, samtidig som de sikrer forbrukerne en rimelig andel av de fordeler som er oppnådd» (konkurranseloven §10).

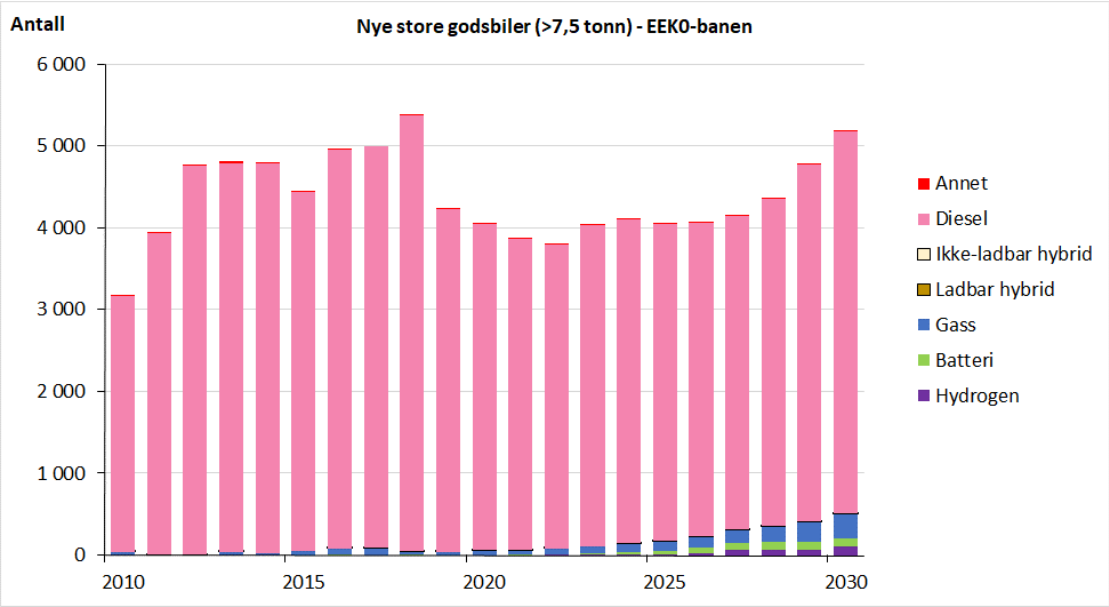
For at bedre kapasitetsutnytting skal gi seg utslag i drivstoffbesparelser og reduserte klimagassutslipp, må en se for seg at det samme transportarbeidet skal utføres av noe færre kjøretøy. I tråd med dette har en i EEK-banen lagt til grunn en noe redusert tilvekst av nye tunge godsbiler i de fleste år. Tilveksten av nye kjøretøy er regulert ned akkurat nok til at godstransportarbeidet blir det samme som i Nasjonal transportplan 2018-2029.

Alle fire scenarier – NB19, EE1, EE2 og EEK – er med andre ord satt opp slik at kjøretøyparken med små avvik betjener den godstransportetterspørselen som er skissert i myndighetenes sentrale plandokument. Slik sett kan scenariene sammenliknes 'på like vilkår'.

## 2.5. Energieffektivisering med innslag av nullutslippskjøretøy: EEK0

Det samme gjelder vårt femte og siste scenario, EEK0, hvor vi har simulert en utvikling basert på EEK-banen, men der ulike typer nullutslippsteknologi – batteri, brenselceller eller biogass – får et visst innpass blant nye lastebiler i perioden 2020-2030. Til sammen utgjør disse tre teknologiene drøyt 10 prosent av alle nye tunge godsbiler i 2030, i henhold til EEK0-banen, se Figur 2.7. Veksttakten for nye nullutslippskjøretøy er i dette scenariet 22,5 prosent per år i perioden 2018-2030, med andre ord en drøy fordobling hvert fjerde år. Salget av slike biler beregnes å være drøyt 11 ganger så høyt i 2030 som i 2018.

**Figur 2.7 Nye godsbiler over 7,5 tonn 2010-2030, etter energiteknologi. EEK0-banen.**




Bestanden av nullutslipps tunge godsbiler øker i samme periode med gjennomsnittlig 18 prosent per år. Bestandsutviklingen i EEK0-banen er vist i Figur 2.8. Nullutslippsbilene, som går på biogass, batteristrøm eller hydrogen, utgjør til sammen 1,5 prosent av bestanden i 2025 og 4,2 prosent i 2030.

Figur 2.8 Bestand av godsbiler over 7,5 tonn ved årsslutt 2010-2030, etter energiteknologi. EEK0-banen.

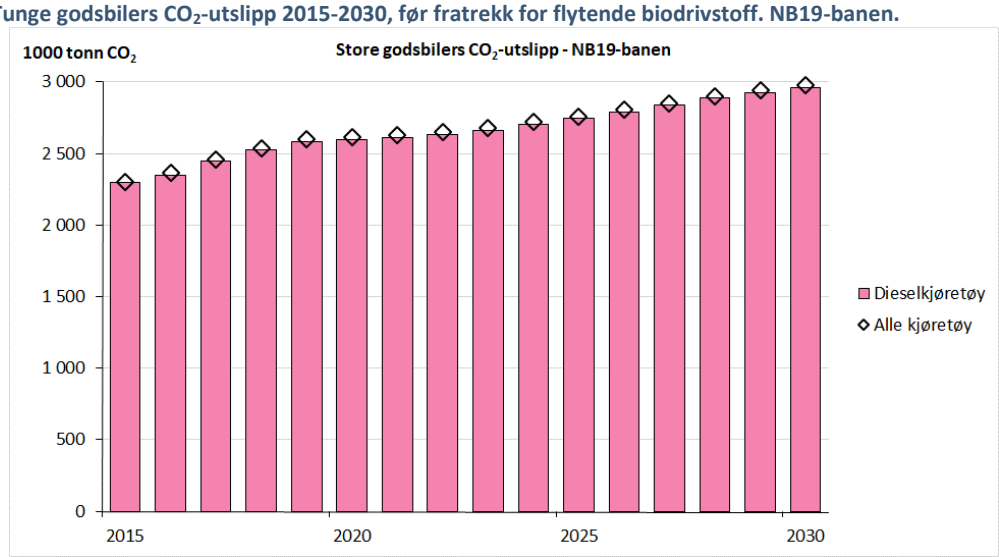
I EEK0-banen setter vi utslippet fra gassdrevne kjøretøy til null, i tråd med en antakelse om at disse bilene går på klimanøytral biogass.

Dieseldrevne kjøretøy kan bruke enten konvensjonelt eller fornybart drivstoff. Men bruken av flytende biodrivstoff er ikke en iboende egenskap ved kjøretøyene. Vi tar derfor ikke hensyn til dette i framskrivingen av kjøretøyparken. I stedet kan en, i etterkant av framskrivingen, beregne hvor stort innslaget av flytende biodrivstoff må være for at vi skal nå bestemte mål for klimagasskutt fra tunge godsbiler per 2030.

## 2.6. Absolutt $CO_2$-utslipp fra tunge godsbiler

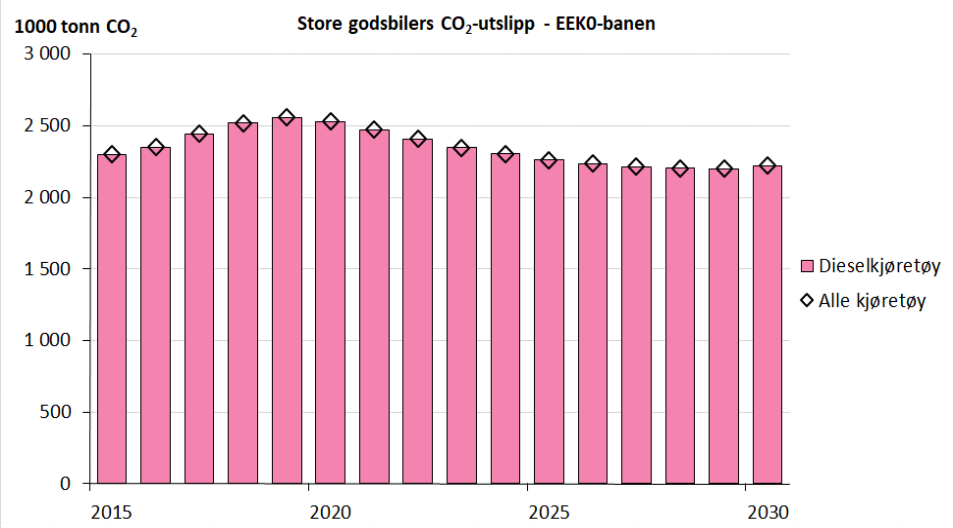
Det samlede utslippet av $CO_2$ fra godsbiler over 7,5 tonn i referansebanen, før fratrekk for biodrivstoff, er vist i Figur 2.9. Dieselkjøretøyene står for over 99 prosent av utslippet. Den siste lille prosenten skriver seg fra bensin- eller gassdrevne kjøretøy.

Figur 2.9 Tunge godsbilers $CO_2$-utslipp 2015-2030, før fratrekk for flytende biodrivstoff. NB19-banen.



Det aggregerte utslippet fra tunge godsbiler i den mest radikale tiltaksbanen, EEK0, er til sammenlikning vist i Figur 2.10. I EEK0-banen blir det samlede $CO_2$-utslippet fra tunge kjøretøy i 2030, før fratrekk for flytende biodrivstoff, beregnet til 2,2 mill. tonn, dvs. 756 000 tonn mindre enn i referansebanen per 2030.

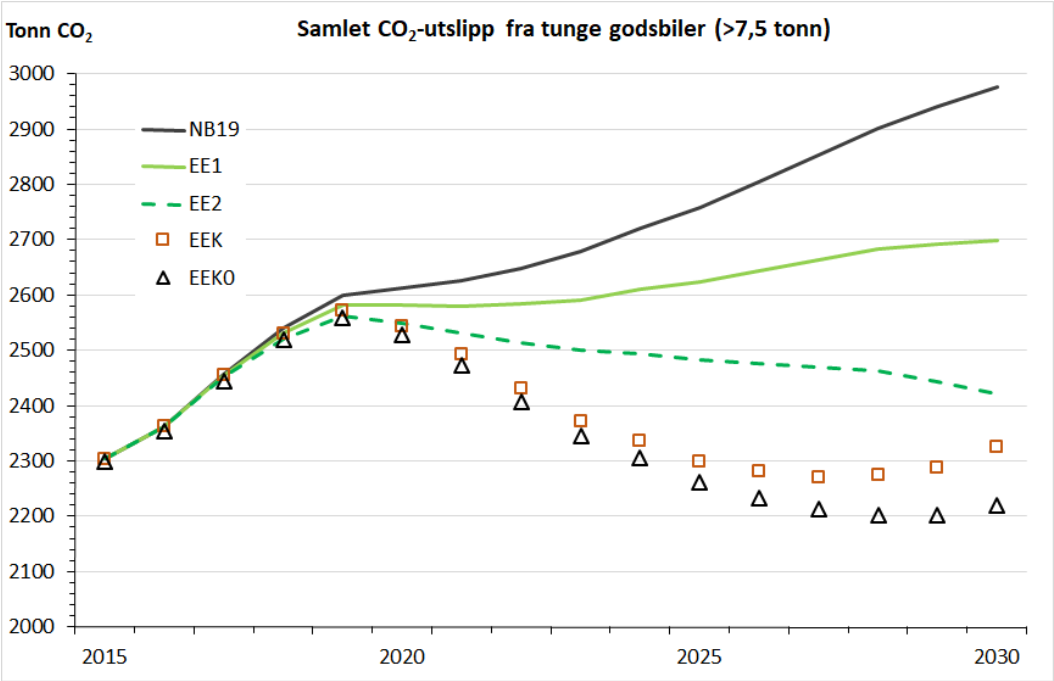
**Figur 2.10 Tunge godsbilers $CO_2$-utslipp 2015-2030, før fratrekk for flytende biodrivstoff. EEK0-banen.**




I Figur 2.11 har vi sammenstilt hovedresultatene fra de fem utviklingsbanene. Det samlede $CO_2$-utslippet fra tunge godsbiler beregnes i referansebanen (NB19) å *øke* med 438 000 tonn, eller 17,2 prosent, fra 2018 til 2030. Da har vi ikke tatt hensyn til et mulig (økt) innslag av flytende biodrivstoff. I henhold til EE1-banen, basert på 1,25 prosent årlig forbedring i nye kjøretøys energieffektivitet, *øker* utslippet med 167 000 tonn, eller 6,6 prosent, i samme periode.

EE2-banen, som forutsetter dobbelt så rask bedring i energieffektiviteten, gir *reduserte* utslipp med 101 tusen tonn, eller –4 prosent.

**Figur 2.11 Beregnet samlet $CO_2$-utslipp fra godsbiler over 7,5 tonn 2015-2030, før fratrekk for flytende biodrivstoff, i de fem scenariene.**



EEK-banen, som på toppen av 1,25 prosents forbedret energieffektivitet også forutsetter 1,25 prosent årlig forbedret kapasitetsutnytting, gir enda litt større utslipps*reduksjon*, med 206 000 tonn, eller –8,6 prosent.

I EEK0-banen, der det, i tillegg til alle ingrediensene i EEK-banen, innfases nullutslippskjøretøy, innebærer utslipps*kutt* på 298 000 tonn fra 2018 til 2030, eller –11,8 prosent, før en tar hensyn til flytende biodrivstoff.

Når kurvene i EEK- og EEK0-banen peker nedover fram til 2028 og deretter oppover, har det sammenheng med utviklingen i tunge godsbilers trafikkarbeid (antall kjøretøykm). Fordi godsbilene fram til 2028 raskt blir større (jf. Fig. 3.4), synker trafikkarbeidet. Men etter 2028 er ikke dette nok til å oppveie etterspørselsveksten regnet i tonnkm.

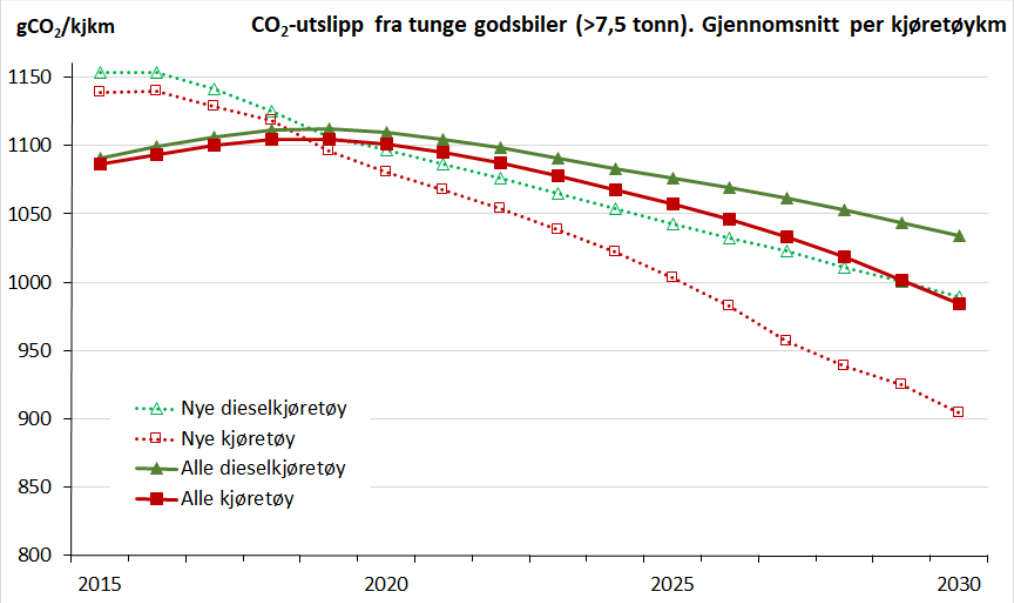
## 2.7. Spesifikt $CO_2$-utslipp fra tunge godsbiler

Regnet per kjøretøykilometer går utslippet i den mest klimavennlige banen (EEK0) ned med 10,9 prosent fra 2018 til 2030. Ser vi kun på nye kjøretøy, er nedgangen 19,2 prosent, se Figur 2.12.

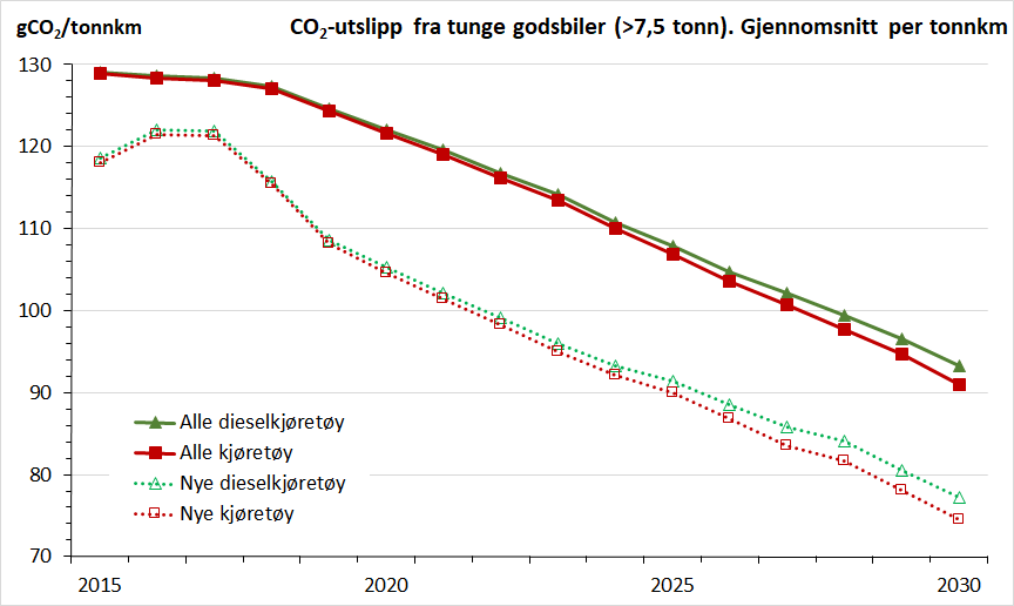
I starten av perioden (2015-2018) er gjennomsnittsutslippet fra nye kjøretøy høyere enn for bestanden sett under ett, når en regner per kjøretøykm. Det skyldes at de nye kjøretøyene er større enn gjennomsnittet i bestanden. Etter hvert som den ti ganger raskere takten i energieffektivisering av nye kjøretøy slår inn, begynner de nye godsbilene likevel å trekke gjennomsnittet ned.

Denne kuriositeten forsvinner hvis vi i stedet regner utslipp per tonnkm (Figur 2.13). Regnet på denne måten er utslippskuttene 28,4 og 35,4 prosent for alle, henholdsvis nye kjøretøy per 2030. Oppgangen i nye tunge godsbiler utslipp per tonnkilometer i 2016 og 2017 har sammenheng med at de mindre godsbilene i disse årene hadde en svakt økende markedsandel, i strid med den langsiktige trenden.

**Figur 2.12 Tunge godsbilers spesifikke $CO_2$-utslipp 2015-2030 (per gjennomsnittlige transportenhet), før fratrekk for flytende biodrivstoff, regnet i gram per kjøretøykilometer. EEK0-banen.**



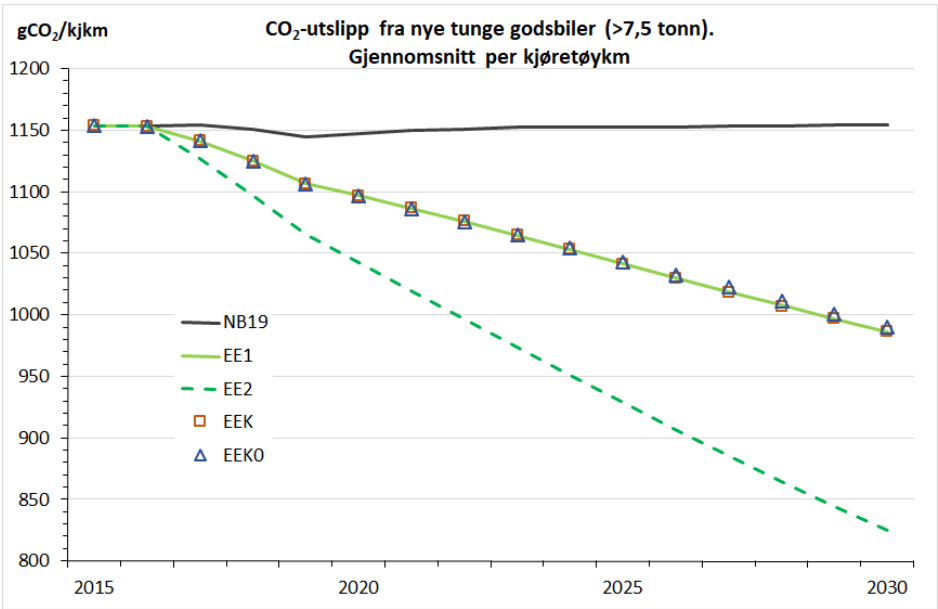
**Figur 2.13 Tunge godsbilers spesifikke CO2-utslipp 2015-2030, før fratrekk for flytende biodrivstoff, regnet i gram per tonnkilometer. EEK0-banen.**




Mesteparten av utslippsreduksjonen i EEK0-banen kan tilskrives at dieselkjøretøyene er blitt mer energieffektive, samt at kapasitetsutnyttingen er forbedret. Den forsiktige innfasingen av nullutslippskjøretøy medfører et ytterligere utslippskutt på 4,5 prosent per 2030.

Den kommende EU-reguleringen fokuserer på spesifikke utslippsrater – $gCO_2$/kjkm og $gCO_2$/tonnkm – for *nye* godsbiler. Det er derfor også av interesse å sammenlikne scenariene mht. utslipp fra nye kjøretøy, se Figur 2.14 og Figur 2.15.

**Figur 2.14 Nye tunge godsbilers spesifikke $CO_2$-utslipp 2015-2030, før fratrekk for flytende biodrivstoff, regnet i gram per kjøretøykilometer. Fem scenarier.**

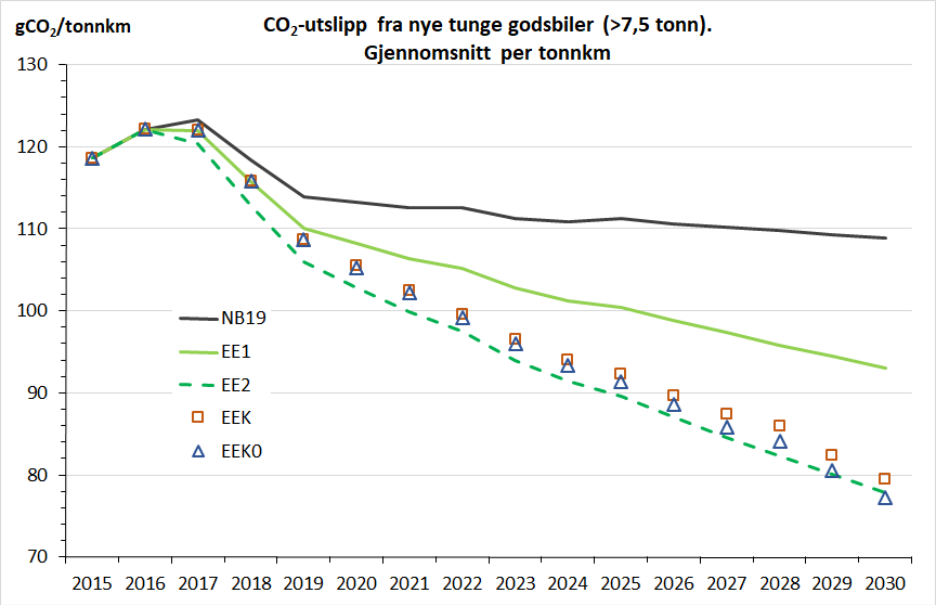



Som det framgår av Figur 2.14, vil det i henhold til referansebanen (NB19) knapt skje noen forbedring i nye kjøretøys utslipp per kjøretøykilometer fram til 2030. For bestanden under ett vil utslippet per kjøretøykilometer faktisk gå ørlite opp, fordi kjøretøyene blir gradvis større.

Men om vi regner per tonnkilometer, blir bildet et annet, se Figur 2.15. Forutsatt uendret relativ kapasitets-utnytting kan vi forvente en rundt 6 prosents forbedring i nye kjøretøys utslipp per tonnkilometer fram til 2025, og 8 prosents reduksjon innen 2030. Denne klimagevinsten følger av at kjøretøyene forventes å bli større og dermed mer energieffektive.

Under forutsetning av 1,25 prosents årlig energieffektivisering (EE1) kan vi regne med en anslagsvis 13,2 prosents nedgang i utslippet per tonnkilometer fra nye tunge godsbiler innen 2025 og en 19,7 prosents reduksjon innen 2030. Regner vi per kjøretøykilometer er forbedringen fra 2018 7,5 prosent innen 2025 og 12,4 prosent fram til 2030.

**Figur 2.15 Nye tunge godsbilers spesifikke CO2-utslipp 2015-2030, før fratrekk for flytende biodrivstoff, regnet i gram per tonnkilometer. Fem scenarier.**




Med dobbelt så rask energieffektivisering (EE2) blir gevinsten 20,6 prosent per 2025 og 31 prosent innen 2030, regnet per tonnkilometer. 2,5 prosent årlig energieffektivisering er med andre ord nok til å oppfylle et krav om 15 prosent utslippskutt innen 2025 og 30 prosent innen 2030.

Om vi regner per kjøretøykilometer blir utslippsratene under EE2-banen henholdsvis 15,4 og 24,8 prosent lavere per 2025 og 2030, med utgangspunkt i 2018.

Utslippsgevinsten i EEK-scenariet kommer først og fremst fordi trafikkarbeidet går ned når kjøretøyene blir bedre utnyttet. Når reduksjonen blir såpass stor som vist i Figur 2.14 og Figur 2.15, er det blant annet fordi forbedringen i kapasitetsutnytting er forutsatt å berøre hele kjøretøyflåten, ikke bare siste års nye tunge godsbiler. En klarer seg med færre kjøretøy og færre kjøretøykilometer.

## 2.8. Oppsummering

Energieffektivisering av dieselkjøretøy kan under ytterst optimistiske forutsetninger – tyvedoblet takt i effektiviseringen – gi grunnlag for en liten nedgang i klimagassutslippene fra store godsbiler fram til 2030. En 2,5 prosent årlig forbedring i nye tunge godsbilers drivstofføkonomi ville kunne være tilstrekkelig til å motvirke veksten i godstransportetterspørsel og gi 4 prosents reduksjon i de samlede klimagassutslippene fra tunge godsbiler mellom 2018 og 2030.

Dersom det hadde vært mulig å øke den gjennomsnittlige kapasitetsutnyttingen, og en slik kunne klare seg med færre kjøretøykilometer, ville en i prinsippet kunne oppnå ytterligere noen prosentpoengs kutt.

Men sammenlignet med de krevende klimamål som følger av Norges forpliktelser i henhold til Paris-avtalen, EØS-avtalens bestemmelser om felles oppfyllelse med EU av utslippsmålet for 2030 (Prop. 94 S 2018-2019), samt klimamålene nedfelt i regjeringens Granavolden-plattform, framstår disse klimastrategiene som utilstrekkelige. For å nærme seg utslippsmålene må en etter alt å dømme fase inn en nokså stor andel utslippsfrie godsbiler. Hvorvidt dette vil være mulig avhenger i stor grad av utviklingen i nullutslippsteknologienes modenhet i dag og de nærmeste ti år.

# 3. Teknisk modenhet for lav- og nullutslipps- godskjøretøy

Internasjonale metastudier om teknologiutvikling for tunge godsbiler viser sprikende resultat. Selv om mange studier peker på alternative drivstoff og drivlinjer (AFP: alternative fuels and powertrains) som eneste mulige strategi for massive klimagasskutt i veisektoren, tyder de fleste studier på at en overgang i stort omfang ikke vil skje før etter 2030. Tunge godsbiler vil være sist i rekka av kjøretøytyper som blir utslippsfrie.

Teknisk modenhet for nullutslipps-godskjøretøy er oppsummert i en nokså fersk rapport fra forskningssentret MoZEES (Mobilility Zero Emission Energy System) og dessuten i en enda ferskere artikkel i tidsskriftet *Energy Reports*. Framstillingen i det følgende henter i stor grad tekst fra Jordbakke et al. (2018) og momenter fra Kluschke et al. (2019) supplert med informasjon innhentet fra kjøretøyleverandører på transport- og logistikkmessen på Lillestrøm i september 2019.

Ettersom potensialet for godskjøretøy med nullutslipp av teknologiske og økonomiske hensyn viser seg å være begrenset mot 2030, er det på forespørsel fra oppdragsgiver utført en ytterligere analyse av godskjøretøy med hybridteknologi. Til dette er det sett på både vanlige hybrider (HEV) og plug-in hybrider (PHEV).

## 3.1. Batterielektriske kjøretøy

Mens markedet for batterielektriske busser nærmer seg et teknisk og økonomisk modenhetsnivå, ikke minst gjennom storsatsingen i Kina, er det fortsatt et stykke fram for helelektrisk drift i tyngre nyttekjøretøy og lastebiler. Pilotforsøk med batterielektriske lastebiler har vært begrenset til kjøretøy som opprinnelig var utstyrt med forbrenningsmotor, men som er blitt ombygget til batterielektrisk drift.

Flere aktører har kommet på banen og har lovet små serieproduksjoner av batterielektriske lastebiler. Volvo, Renault og MAN ser ut til å være først ut og har lovet en liten serieproduksjon av elektriske lastebiler i løpet av 2019-2020.

**Volvo** har allerede levert to elektriske lastebiler, for renovasjon og bydistribusjon, i en før-serie tidligere i år. De har dessuten hatt testperioder med batterielektriske lastebiler og vil lansere prisliste og åpne for bestilling av de første serieproduserte elektriske lastebilene i uke 42 i 2019. Dette vil være to- og treakslede distribusjonsbiler. Den minste bilen (to aksler) vil ha størst batteripakke, på 6 x 50 kWh, som anslagsvis veier 3 tonn til sammen. Asko er i dialog med Volvo om batterielektriske trekkvogner til deres nye logistikkonsept fra Vestby til Sande med autonom elektrisk båt over Oslofjorden (Moss-Holmestrand). Det er foreløpig ikke satt noen dato for dette. Under transport- og logistikkmessen på Lillestrøm september 2019 hadde Volvo også utstilt en batterielektrisk autonom trekkvogn (Vera), som benyttes i et pilotprosjekt i Gøteborg havn i samarbeid med DFDS. Vera benyttes til å frakte containere fra kaifront til et distribusjonslager i et repetitivt transportmønster. Transporten er på et lukket område og styres i første omgang fra et kontrolltårn, og trekkvognen har induktiv lading.

**Renault** har pågående piloter med elektriske lastebiler. De har foreløpig ikke satt noen tydelig dato for når serieproduserte biler kommer for salg i Norge, men har antydet 2020.

**MAN** skal levere fire batterielektriske distribusjonslastebiler til Norge i 2019/2020.

**IVECO** er største leverandøren av gassdrevne lastebiler i Europa. De har kjøpt seg opp med 20 prosent i Nicola. De har foreløpig ikke batterielektriske lastebiler i pipeline, men leverer IVECO Daily, som egentlig er en varebil i batterielektrisk variant, mens som registreres som liten lastebil pga at totalvekten klart overstiger grensen til en varebil.

**Mercedes** er eid av Daimler, som også eier **Fuso** (tidligere Mitsubishi) og som produseres for det europeiske markedet i Portugal. Fuso hadde en elektrisk lastebil, men vil i andre generasjon flytte drivlinjen fra en sentral plassering til to drivlinjer ved hvert av hjulene, slik det er for en av bussene som leveres av Daimler. Dette har forsinket tidspunktet for når Fuso igjen har batterielektriske lastebiler for salg. Mercedes anslår derfor at det vil være noen år fram før batterielektriske lastebiler er tilgjengelige. De har større tro på hybride løsninger, da det vil redusere behovet for batterier som forventes å bli en knapp ressurs. Batteri vil da kunne dekke en del av nærdistribusjonen. Også **Scania** har større tro på hybride løsninger for lastebilmarkedet på kort sikt enn rent elektriske løsninger. Scania lanserte i fjor en plug-in hybridelektrisk lastebil primært for urban transport innenfor distribusjon og anlegg. Lastebilen vil kunne kjøres i helelektrisk modus uten noen hjelp fra forbrenningsmotor, noe som skyldes elektrisk tilbehør for styring og trykkluftforsyning. Ifølge Scania kan bilen i kombinasjon med HVO gi en $CO_2$-reduksjon på opptil 92 prosent. En ekstra fordel med plug-in-løsningen er at om lastebilen utstyres med kran, vil den eksempelvis kunne kobles til strømnettet på en byggeplass og dermed operere utslippsfritt i anlegget. **Mercedes** har noen pågående pilottester av batterielektriske biler og anslo at nyttelasten på disse var redusert med i underkant av ett tonn, både for to- og treakslede biler. De har også gassdrevne lastebiler både for komprimert og flytende gass.

**DAF** har for tiden uttesting av batterielektriske lastebiler i Tyskland, Nederland og England. Testene omfatter både batterielektriske distribusjonsbiler og trekkbiler for semitrailer. Det er foreløpig ingen dato for når disse vil komme til det norske markedet. Ved utgangen av 2019 annonserer DAFs hovedkontor i Nederland at de nå er kommet til et steg der de kan begynne å selge trekkbilen i liten skala («noen få dusin i året») og er nå tilgjengelig for salg i Nederland, Belgia og Tyskland.

**Scania** hadde en lastebil med pantograf utstilt på transport- og logistikkmessen på Lillestrøm 26.-27.9.2019. Scania oppgir i første omgang å satse på hybride løsninger og dynamisk lading.

I tillegg til disse har **BYD, Cummins, Tesla, Thor** og **Nikola** lansert batterielektriske lastebiler som sies å ville være på markedet innen 2022. Det er usikkerhet om hvorvidt dette innebærer liten serieproduksjon eller ikke. Med unntak av Tesla er ingen av disse i dag leverandører til det europeiske markedet, men det behøver ikke være en hindring. Kinesiske Maxxis kom for eksempel inn på det norske markedet, og har allerede blitt en stor leverandør av større elektriske varebiler.

Generelt er det heftet usikkerhet rundt de oppgitte tidspunktene for produksjon, og tidspunktene er erfaringsvis blitt skjøvet på i tid.

Selskaper som distribuerer post, har vært blant de første til å investere i større flåter av batterielektriske varebiler i Europa. Små elektriske varebiler er egnet for postleveranser fordi de daglige rutene vanligvis er faste og dermed har et forutsigbart rekkeviddebehov.

## 3.2. Kjøretøy med brenselceller for hydrogen

Et brenselcellekjøretøy har elektrisk drivlinje og bruker komprimert hydrogen som energibærer. Kjøretøyet er gjerne også utstyrt med små batterier for å øke akselerasjonen, oppta bremseenergi og fungere som en energi- og effektbuffer. Disse batteriene kan, men trenger ikke, være eksternt oppladbare.

I Europa blir 82 brenselcellebusser testet ut i forskjellige pilotprosjekter (CHIC 2017). Testingen av ytterligere 200-300 brenselcellebusser i Europa i perioden 2018-2020 planlegges av EU-prosjektene Jive 1 og 2 og andre prosjekter (FCH Joint Undertaking 2017, FCH Joint Undertaking 2018). Kollektivselskapet Ruter i Oslo er partner i Jive2.

Ifølge CHIC (2017) må tilgjengeligheten av både busser og infrastruktur forbedres ytterligere for at videre bussvirksomhet kan initieres. Dette inkluderer tekniske forbedringer, forbedrede muligheter for leverandører og vedlikehold, forbedret tilgjengelighet av reservedeler, samt redusert respons- og reparasjonstid når problemer oppstår.

På samme måte som for batterielektriske kjøretøy ligger utviklingen av vare- og lastebiler med hydrogendrift et stykke etter utviklingen av busser og personbiler. Det er få konkrete planer for serieproduksjon av denne typen kjøretøy blant europeiske selskaper. Scania, i samarbeid med dagligvareleverandøren Asko har bygget om fire lastebiler til brenselcelleteknologi. Disse er planlagt brukt fra distribusjonsterminalen deres i Trondheim fra høsten 2019, og er med det Europas første hydrogenlastebiler. Det finnes også noen eksempler på pilottester med hydrogenlastebiler i USA, hovedsakelig tilknyttet distribusjonskjøring til/fra havner. Den amerikanske produsenten Nikola motor har lansert en hydrogenlastebil til det Europeiske markedet, Nikola Three. Denne er sagt å være på markedet rundt 2022-2023. I tillegg har Hyundai i samarbeid med H2 Energy avtalt å produsere over 1600 hydrogenlastebiler for bruk i Sveits fram til 2025.

Hordaland fylkeskommune opplyste på transport- og logistikk-konferansen på Lillestrøm september 2019 at de har et felles prosjekt med flere aktører for å kartlegge potensialet for hydrogenlastebiler mellom Stavanger/Bergen og Oslo.

Mangel på hydrogenfyllestasjoner regnes, sammen med høyere kostnadsnivå for hydrogenkjøretøy, gjerne som en barriere for innfasing av denne type kjøretøy. Dette er en årsak til at Asko også har etablert sitt eget hydrogenproduksjonsanlegg på eget terminalområde utenfor Trondheim. Hydrogen produseres ved hjelp av solcelleanlegg på taket, og forsyner, i tillegg til lastebilene, også hydrogendrevne gaffeltrucker på anlegget.

Pilotprosjektene i USA opplevde noen av de samme problemene som i Europa: Dårlig tilgjengelighet på reservedeler, høye vedlikeholdskostnader for et relativt lite antall biler og konkurranse med andre nullutslippsteknologier.

## 3.3. Biodrivstoff

Framskrivingene i kapittel 2 gjør det klart at en neppe vil komme langt i retning av null- eller lavutslipps godstransport gjennom forbedringer i dieselmotorene. Det vil ta tid før nullutslippsteknologiene er modne, kommersielt tilgjengelige og dessuten lønnsomme for godsbileierne. I påvente av en slik utvikling kan biodrivstoff vise seg som det mest konkurransedyktige null- eller lavutslippsalternativet.

Grovt sett kan en dele biodrivstoff i tre typer: biodiesel, bioetanol og biogass. Biodiesel og bioetanol er de to mest utbredte biodrivstoffene, begge kan anvendes i ren form i kjøretøy, men blir stort sett brukt som drivstofftilsetning for å redusere utslipp fra fossile kilder. Biogass kan stort sett brukes på kjøretøy som er tilpasset gassdrift – LNG eller CNG – flytende eller komprimert naturgass.

**Biodiesel** finnes i ulike former basert på framstillingsmåte. FAME (fettsyre-metyl-ester) er den mest bruke biodieselen i Europa og Norge, dette drivstoffet er basert på vegetabilske og/eller animalske oljer/fettstoffer. Primært brukt i Norge er RME (raps-metyl-ester) – altså FAME basert på raps. Diesel som selges på det kommersielle markedet i Norge inneholder maksimalt 7 prosent FAME/RME. En annen type biodiesel er HVO (hydrert vegetabilsk olje) og er i sin kjemiske sammensetning svært lik fossil diesel. På grunn av dette kan HVO helt eller delvis erstatte diesel (NAF 2019).

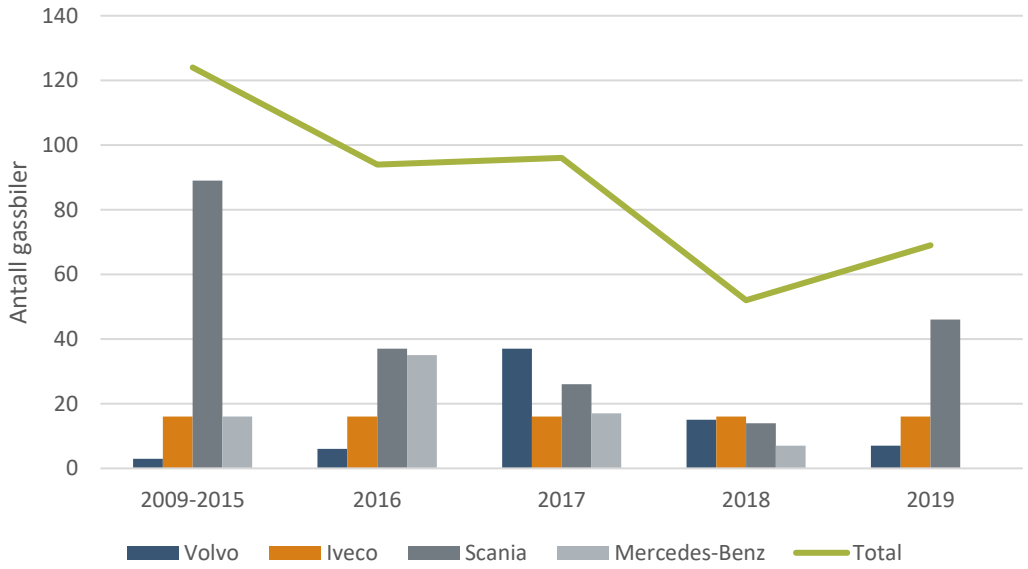
Det finnes en rekke lastebilprodusenter som tilbyr lastebiler som kan anvende 100 prosent biodiesel. I 2014 godkjente Scania 100 prosent biodiesel RME (B100) for alle sine Euro VI-motorer (Biofuel-express, u.å., a). Volvo lanserte like etter, i 2016, godkjenning av bruk av 100 prosent RME biodiesel i lastebiler med Euro VI-motor (Biofuel-express, u.å., b). Samme år ga også Mercedes-Benz godkjenning for bruk av HVO-diesel for sine Euro VI-biler (Anleggsmaskinen 2016). Dette viser at det eksiterer et tilbud av lastebiler for anvendelse av 100 prosent biodiesel.

**Bioetanol** kan blandes med bensin på samme måte som biodiesel blandes med diesel, og anvendes i en bensinmotor. Dette er svært utbredt i Brasil og til dels i USA. I Norge er bensinmotorer med mulighet for bruk av større andeler etanol mindre utbredt. Likevel er det noen tyngre kjøretøy som er bioetanoldrevet i Norge. I 2009 fikk ASKO Norges første lastebil drevet på bioetanol, og har siden dette satt i drift ytterligere 40 etanolbiler (Paaveien 2016). De har uttalt at dette er et reelt alternativ mot diesellastebiler, når det gjelder distribusjon. I tillegg vil Scania fra 2019 kunne levere lastebiler med etanolmotorer, som den eneste leverandøren i Norge (Paaveien 2019). Selv om det eksisterer et tilbud, synes dette mer begrenset enn tilbudet av biodiesellastebiler i Norge. Sammenliknet med lastebiler drevet av biodiesel er hovedutfordringen for bioetanolkjøretøy at drifts-kostnadene er høyere pga. dyrere vedlikehold, og at det mangler infrastruktur for fylling.

**Biogass** kan benyttes i motorer som er tilrettelagt for metan. I motsetning til LNG og CNG (liquefied/compressed natural gas) blir biogass alltid karakterisert som fornybar energi, mens LNG og CNG kan være basert på fossile kilder. Biogass varebiler har blitt testet ut i Norge siden 2012 da Posten anskaffet rundt 30 biogassvarebiler, og bestilte i 2013 flere lastebiler drevet av biogass (Yrkesbil 2012, Dagsavisen 2013).

I 2019 har også Volvo lansert tunge lastebiler (modellene FH og FG) som kan bruke enten naturgass (LNG) eller biogass (LBG). For å få en oversikt over hvor utbredt gasslastebiler er, har vi talt opp registrerte gasslastebiler i Autosys (motorvognregistret). I Figur 3.1 vises utviklingen av registrerte gasslastebiler i Norge fra 2009 til første halvår 2019.

**Figur 3.1 Antall gasslastebiler nyregistrerte per år i perioden 2009- 2019, etter bilmerke, fra motorvognregistret**




I Norge har det vært registrert gasslastebiler fra fire tilbydere: Volvo, Scania, Iveco og Mercedes-Benz, der Scania har levert flest.

Når det gjelder gasslastebiler og hvilken form gassen har på tanken, har utviklingen vært at lette lastebiler kjører på komprimert metan (CBG), mens tyngre lastebiler kjører på flytende metan (LBG). Tilsvarende tall for biodiesel og bioetanol foreligger dessverre ikke.

## 3.4. Hybridkjøretøy

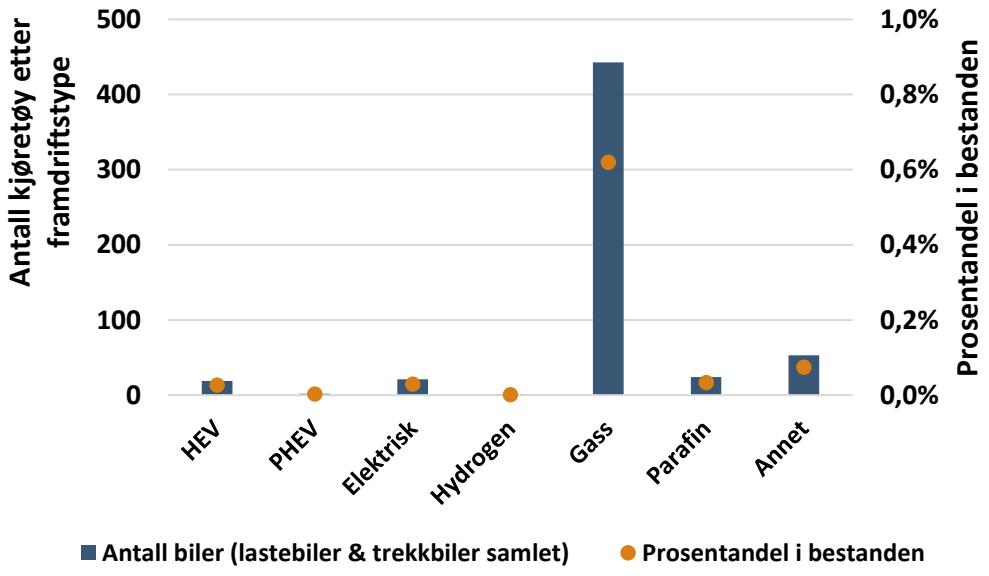
Som diskutert i delkapittel 3.1-3.2 er det fortsatt et stykke fram for helelektrisk drift i tyngre nyttekjøretøy. Tilsvarende gjelder for kjøretøy med brenselceller. Oppdragsgiver etterspurte av denne grunnen om det også kunne utarbeides en omtale og vurdering av hybridteknologi som potensiell overgang til nullutslippsløsninger.

Når det gjelder hybridkjøretøy kan det i denne rapportens sammenheng skilles mellom vanlige hybrider (HEV) og plug-in hybrider (PHEV). Både vanlige og plug-in hybrider består av en konvensjonell drivlinje (som for tyngre kjøretøy pleier å basere seg på dieselframdrift) samt en elektrisk drivlinje med batteri. Ved vanlige hybrider lades batteriene ved at energi regenereres ved bremsing og nedoverkjøring. Plug-in hybrider lader gjennom samme prinsipp, men kan i tillegg kobles til strømnettet for ekstra lading.

Selv om batteriene på hybridlastebiler varierer i størrelse, er de mye mindre enn for tilsvarende batterielektriske kjøretøy. Dette gir kjøretøyene en mindre helelektrisk rekkevidde (se under), men innebærer at kjøretøyet i mye mindre grad har samme begrensninger som helelektriske biler (total rekkevidde, batterivekt, teknologisk modenhet og i noen grad pris).

Til tross for at hybridlastebiler er et logisk midlertidig steg på vei til nullutslippskjøretøy, er det kun solgt et fåtalls slike lastebiler i Norge, og flere av produsentene opplyser at det ikke forventes særlig endring framover grunnet mangel på insentiver. Figur 3.2 viser antall tyngre godskjøretøy (lastebiler og trekkbiler for semitrailer) fordelt etter framdriftsteknologi, pr 31.12.2019. Dieselkjøretøy står for over 96 % av bestanden for tyngre kjøretøy og er utelatt fra figuren for å bedre kunne belyse de andre framdriftsteknologiene. Også bensinbiler (som utgjør 2,9 % av bestanden eller litt over 2 000 biler) er utelatt. Dette er tilnærmet kun små lastebiler og som oftest eldre biler.

**Figur 3.2 Antall tyngre godskjøretøy (lastebiler og trekkbiler for semitrailer) etter «alternativ» framdriftsteknologi, og prosentandel i bestanden, pr 31.12.2019. Totalt antall biler i bestanden: 71 496**



Fra figuren framkommer at under 1 % av norskregistrerte lastebiler/trekkbiler for semitrailer bruker «alternative» framdriftsteknologier. Når det gjelder hybridteknologi var det ved slutten av 2019 registrert 21 tyngre godsbiler i Norge. Herav var 19 biler vanlige hybrider, mens de andre to var plug-in hybrider.

## 3.5. Diskusjon

### 3.5.1. Biodrivstoff

Selv om motordrift basert på biodrivstoff fortsatt er under utvikling, synes det å være et alternativ som kan implementeres allerede nå. Lastebilene som tilbys, og som kjører på biodrivstoff, har i noen tilfeller noe redusert ytelse og noe redusert lastekapasitet, men tilsvarer ellers lastebiler med konvensjonelt drivstoff. Foreløpig er kjøretøyene som har vært og er tilbudt i stor grad rettet mot distribusjonskjøring – både lokalt og regionalt – og i mindre grad mot langtransport. Det ser likevel ut til å være en utvikling også mot dette segmentet, blant annet ved at Volvo har lansert nye versjoner av modellene FH og FM, samt at Scania leverer lastebiler for HVO biodiesel.

Utfordringene ved bruk av kjøretøy drevet av biodrivstoff ligger i hovedsak i at de genererer økte driftskostnader og at tilgangen til drivstoff er vanskeligere, grunnet lite utbygd infrastruktur. Biogass-fyllestasjoner er på grunn av høyere investeringskostnader mindre utbredt enn pumper for annet biodrivstoff.

Scania har kommet med lastebiler som går på flytende gass. Disse er både større og har økt rekkevidde i forhold til tidligere biler, som hadde komprimert gass som drivstoff.

Motorer på 280-320 og 360 kW kan gå på HVO. Større motorer trenger høyere energiinnhold enn det som er i HVO. Biler som brukes på de lengste transportene har i stor grad større motor enn 500 HK (= 373 kW), i hvert fall i Norge.

I tillegg er biodrivstoff fortsatt dyrere å produsere, men har vært billigere for forbrukerne på grunn av avgiftsfritak. Både biodiesel og bioetanol har i 2019 fritak fra $CO_2$-avgiften. Bioetanol og biodiesel som omfattes av omsetningskravet er belagt med samme veibruksavgift som konvensjonelt drivstoff, men omsetning utover omsetningskravet er foreløpig avgiftsfri.

Et annet aspekt er om, og hvor mye, biodrivstoff reduserer utslippene. Dette er svært avhengig av produksjonsprosessen av drivstoffet, som er et omdiskutert tema. Biodieselen som omsettes i Europa og Norge i dag, er stort sett produsert av matråvarer, herunder raps, som er dyrket fram for dette formålet. Dersom biodrivstoffet er produsert av avfall vil utslippsreduksjonen kunne være betydelig, men tilbudet av slikt drivstoff er fortsatt begrenset. Likevel viser Statistisk sentralbyrå (SSB) til økt forbruk av avansert biodrivstoff, drivstoff produsert av rester og avfall, selv om det generelt var reduksjon i bruken av biodrivstoff i 2018 fra tidligere år (SSB 2019).

I forslaget til statsbudsjett for 2020 er det foreslått at biodrivstoff igjen skal bli avgiftsbelagt. Innføringen av dette forslaget har blitt utsatt til minst juli 2020 (Motor 2019). Dersom forslaget innføres vil det trolig føre til at biodrivstoffandelen synker til det lovpålagte minimumsnivået. Av enda større betydning enn denne kortsiktige effekten er det forhold at det igjen skapes usikkerhet om lønnsomheten i bruk og produksjon av biodrivstoff.

### 3.5.2. Elektrifisering

Potensialet for elektrifisering, med tilsvarende teknologi og batteristørrelse som for busser, er foreløpig størst ved renovasjonstransport og distribusjonstjenester i byer som opererer på liknende vilkår som busser. Dette er

spesielt relevant da kortere distribusjonsruter gjerne innebærer retur til forbrenningsanlegg, terminal eller grossistlager og muliggjør lading i tilknytting til lasting og lossing eller i tilknytting til f.eks. lunsjpausen. For lastebiler, som brukes til lengre distribusjonsruter eller som har et mindre forutsigbart transportmønster over dagen, er det viktigere med større batteri og lengre rekkevidde. Kjøretøy som går i fast pendeltransport vil også være et segment som er egnet for elektrifisering i en tidlig fase, da det muliggjør hurtiglading på tilsvarende måte som for lastebiler som benyttes til distribusjonskjøring. Dersom lastekapasiteten reduseres og tiden det tar å fylle energi inn i kjøretøyet øker sammenliknet med kjøretøy med forbrenningsmotorer, vil også transportkostnadene øke, fordi flere biler og sjåfører trengs for å utføre de samme transportoppgavene. Derfor har disse parameterne en sterk innvirkning på økonomien til gods- og kollektivtransport ved bruk av batterielektriske kjøretøy.

Ulike typer av batterier brukes, der litium-ione-batterier (Li-Ion) er den vanligste batteritypen i Europa. I Kina er litium-jernfosfat-batterier, en variant av Li-Ion, vanlige i batterielektriske busser. Ivecos minibusser og varebiler har sodium-nikkel-klorid-batterier ($NaNiCl_2$), en batteritype som skal fungere bedre under lave temperaturer, da batterikjemien opererer ved 270°C.

Selv om energitettheten i batterier har økt de senere årene, er batterielektriske kjøretøy fortsatt tyngre enn tilsvarende kjøretøy med forbrenningsmotor, noe som vanligvis resulterer i redusert passasjer- eller lastekapasitet. Bilens rekkevidde er også en begrensende faktor, og det er gjerne en avveining mellom laste-/passasjerkapasitet, rekkevidde (batteristørrelse) og ladetid. Batteripakkene til busser er derfor gjerne skreddersydd for spesifikke bussruter basert på kjørerute, topografi og lademuligheter ved endestoppene. For å minske disse utfordringene vedtok Europaparlamentet i april 2019 en lovgivende resolusjon som øker maksimum tillatt totalvekt for nye tyngre godsbiler med nullutslippsteknologi med opptil to tonn (Europaparlamentet 2019; Transport & Environment 2019). Dette vil kunne gi rom for ca. 200 kWh økt batterikapasitet.

Noen operatører er bekymret for batterienes holdbarhet. I Kina er det rapportert om en reduksjon av batterikapasitet etter 3-5 års bussbruk (Sun Shengyang 2018). Elbussene på dagens marked har vanligvis en batterigaranti fra fire og opp til 10 år (Bloomberg 2018), det samme som for ladestasjonene. Litium-titanoksid-batterier (LTO) har en garanti på opptil 15 000 ladesykluser, mens forventet levetid på batteriene er ca. 18 000 full-oppladningssykluser (Linkker 2017).

Det er bare Norge og Sveits som har stort fokus på batterielektriske lastebiler, mens markedet for batterielektriske busser er langt større. For de tyngste bilene og de mest trafikkerte vegene er elektrifisering vha. kjøreledning et mulig framtidig scenario. Det drives pilotprosjekter for uttesting av dette blant annet i Sverige, Tyskland, Frankrike, Italia og USA. Det foreligger foreløpig ingen pålitelige kostnadskalkyler for dette konseptet, men det er hevet over tvil at infrastrukturinvesteringene vil være betydelige. I tillegg må det investeres i nytt rullende materiell. I Norge vil rommet for denne typen løsning trolig være begrenset til noen få strekninger med stort volum av regelmessig spesialtransport. For at kjøretøyene skal kunne brukes også på veier uten kjøreledning, og slik kunne frakte gods dør-til-dør, vil de måtte være utstyrt med enten brenselceller, store batterier eller forbrenningsmotor i tillegg til elmotoren.

En annen mulig løsning er således hybridteknologi (jf. delkapittel 3.4 og nærmere beskrevet i delkapittel 3.5.4). Den nye EU-reguleringen kan gi et visst insitament til å markedsføre hybridlastebiler, jf. delkapittel 2.3.

### 3.5.3. Gass og HVO

Alternativ til elektrisk drift er framdriftsløsninger basert på gass eller etanol som energibærer. Biometan er å regne som klimanøytralt, men ett problem er at alle kjøretøy beregnet for biometandrift like gjerne kan bruke

metan fra fossile kilder. Det er derfor vanskelig å utforme en effektiv regulering utelukkende på kjøretøynivå. Skattlegging av det fossile drivstoffet, eller subsidiering av det fornybare, vil være mer treffsikkert.

Noe tilsvarende gjelder for HVO i relasjon til fossil diesel. Bildet kompliseres ytterligere av spørsmålet om hvorvidt de ulike typer biodrivstoff i realiteten er klimanøytrale. I våre kostnadsberegninger har vi lagt til grunn et utslipp ved bruk av HVO på 576 $gCO_2$/liter, dvs. 78 prosent mindre enn for fossil diesel. I tillegg har vi tatt hensyn til at energiinnholdet i en liter HVO er ørlite lavere enn i fossil diesel, noe som gir litt høyere forbruk per kjøretøykilometer.

Også fossil naturgass gir noe mindre klimagassutslipp per energienhet enn diesel. Innfasing av gassdrevne lastebiler kan således bidra til noe reduserte klimagassutslipp. I henhold til europeisk standard (CEN 2012) er utslippet 'tank-to-wheel' ved forbrenning av diesel 74,5 $gCO_2$/MJ, mot 67,3 $gCO_2$/MJ for LPG (dvs. fossil propan eller butan) og 59,4 $gCO_2$/MJ for metan. Regnet per energienhet gir altså LPG en klimagevinst på 9,7 prosent sammenliknet med fossil diesel, mens fossil metan gir en gevinst på 20,3 prosent.

### 3.5.4. Hybridteknologi

Generelt vil hybridkjøretøy ha størst nytte i byområder, på grunn av reduksjonen i forurensning og støy som følge av at kjøretøyet over korte avstander kan gå på helelektrisk framdrift. Andre bruksområder som påpekes er anleggsplasser (der plug-in hybrider kan kobles til ekstern strømkilde), og renovasjon, bl.a. på grunn av mindre støy.

Delkapittel 3.4 viste imidlertid at det i dag kun er få norskregistrerte lastebiler/trekkbiler for semitrailer med hybridteknologi. Til tross for at teknologien har vært tilgjengelig en betydelig periode,[3] har hybrider heller ikke slått gjennom i buss-segmentet (med en andel på under 2,9 % av bestanden av bybusser og 10 langdistansebusser).

I dag er det kun en av leverandørene på det norske markedet som tilbyr hybride lastebiler. Blant tilbakemeldinger på hvorfor det ikke selges flere hybridlastebiler poengteres relativt høye merkostnader og mangel på støtteordninger (som f.eks. Enova-støtte). Samtidig er besparelsene på driftskostnader lave, og i noen tilfeller vil driftskostnadene faktisk kunne være høyere enn ved dieseldrift. I motsetning til batteri- og hydrogenelektriske lastebiler får hybridbiler videre ikke fritak eller rabatt på bompenger eller fergesatser. Når det i tillegg ikke foreligger besparelser på vedlikehold, er det i hovedsak redusert drivstofforbruk som gir kostnadsbesparelser. I praksis er disse besparelsene ikke tilstrekkelige for å dekke hybridbilenes relativt store merkostnad.

Selv om hybriddrift som kombinerer konvensjonell diesel med elektrisk drift kan gi noen miljøfordeler (både globale utslipp gjennom noe lavere drivstofforbruk, og lokale utslipp ved kjøring på elektrisk drivlinje) gir disse fordeler ifølge en av leverandørene lite eller ingen uttelling i f.eks. anbudsrunder. Det samme gjelder fordeler som mindre støy i tettbygde strøk (som kan åpne for drift på tidspunkter dette nå er problematisk).

Avslutningsvis kan det nevnes at hybridlastebiler i noen tilfeller markedsføres med forutsatt bruk av HVO istedenfor fossil diesel, og at i disse tilfellene vil utslippsreduksjonene kunne være store (men ikke 100 %). Vi har derfor i neste kapittel også utarbeidet tall for kombinasjonen av hybriddrift og HVO. Dette gir imidlertid høyere drivstoffkostnader, uten at det utløser økonomiske insentiver.

---

[3] *Ruter fikk for eksempel levert sine første hybridbusser i 2010.*

# 4. Bedriftsøkonomiske kostnader i veitransport

## 4.1. Lav- og nullutslippsløsninger

Som nevnt ovenfor har pilotforsøk med batterielektriske lastebiler så langt vært begrenset til kjøretøy som er konvertert fra forbrenningsmotor til batterielektrisk framdrift. Basert på informasjon om kostnader fra intervjuer med bl.a. operatører av disse pilotforsøkene og kjøretøyleverandører er kostnadsfunksjonene fra Nasjonal Godsmodell (NGM) benyttet som utgangspunkt for å lage sammenliknbare, dekomponerte eierskapskostnader for ulike framdriftsteknologier, kjøretøytyper og grader av teknologimodenhet. Dette er et pågående arbeid i forskningssenteret MoZEES (se Hovi et al. 2019). Det er tatt utgangspunkt i årlige kjørelengder på 45 000 km, leasingperioder på 5 år, samt ulike forutsetninger om kostnadsutvikling framover og om når batterielektriske løsninger blir satt i småskala serieproduksjon og senere masseproduksjon[4].

Våre (foreløpige) beregninger viser at ved dagens investeringskostnad i ombygde lastebiler med batterielektrisk framdrift, ligger eierskapskostnader (ekskl. lønn) pr km 55-90 prosent høyere enn for tilsvarende dieselbiler[5]. Selv om batterielektriske biler gir store besparelser særlig på energikostnader (og sparte drivstoffavgifter), må det i dag urealistiske årlige kjørelengder til for at batteridrevne biler kan konkurrere med dieselbiler. Biogass gir per i dag litt lavere drivstoffkostnader enn diesel (ca. 4 prosent), men dette er ikke nok til å dekke høyere investeringskostnader ved typiske årlige kjørelengder.

I et scenario der vi antar kostnadsreduksjoner gjennom småskala serieproduksjon av batterielektriske lastebiler finner vi at disse blir betydelig mer konkurransedyktige vis-à-vis konvensjonelle diesellastebiler[6]. Forventede besparelser gjennom særlig lavere energikostnader, men også gjennom lavere utgifter til f. eks. vedlikehold, bompenger mv., vil, ved typiske årlige kjørelengder, nesten kunne dekke merkostnaden ved investering. Ved høyere årlige kjørelengder (så lenge rekkevidde- og ladebehov tillater dette), vil besparelsene ved batterielektrisk drift øke. Det må imidlertid bemerkes at særlig anslagene på investeringskostnadene under småskala serieproduksjon er usikre, bl.a. fordi produsenter per i dag ikke vil uttale seg om forventede priser når de elektriske lastebilene kommer på markedet. Det er derfor tatt utgangspunkt i tilsvarende kostnadsdifferanse som det vi har fått oppgitt for elektriske bybusser sammenliknet med tilsvarende busser med dieseldrift.

I et scenario med masseproduksjon av elektriske lastebiler, der vi antar betydelige reduksjoner i merkostnaden ved investering, finner vi at batterielektriske lastebiler kan få ca. 15-25 prosent lavere eierskapskostnader pr km[7] enn konvensjonell drift, samt enn drift basert på biodiesel eller biogass. I tillegg til at det forventes at rekkevidde (og dermed potensiell årlig kjørelengde) blir mindre utfordrende, tyder våre estimater på at batterielektrisk drift kan være konkurransedyktig allerede ved årlige kjørelengder fra 20 000 km.

---

*[4] For dagens tidlige fase er antakelser rundt merkostnader til elektriske lastebiler basert på informasjon fra (pilot-) brukere og produsenter, dvs. for biler som er konvertert fra forbrenningsmotor til elektrisk drift. Det er også gjort noen valideringer mot ulike kilder fra litteraturen. For småskala serieproduksjon har vi antatt at batterielektriske lastebiler koster to ganger så mye som tilsvarende biler med forbrenningsmotor, mens hydrogenelektriske lastebiler koster tre ganger så mye. I masseproduksjonsfasen har vi antatt at batterielektriske lastebiler koster 50 prosent mer enn biler med forbrenningsmotor, og hydrogenelektriske biler ca. det dobbelte. Sistnevnte er i tråd med forskjellige estimater i litteraturen.*

*[5] Der km-kostnaden (ekskl. lønn) ved dieseldrift er 9,3 kr/km, 11,6 kr/km og 13,9 kr/km for henholdsvis lette distribusjonsbiler, tyngre distribusjonsbiler, og trekkbiler for semitrailer, ligger anslagene for batterielektrisk drift på henholdsvis 14,5 kr/km, 17,9 kr/km og 26,8 kr/km.*

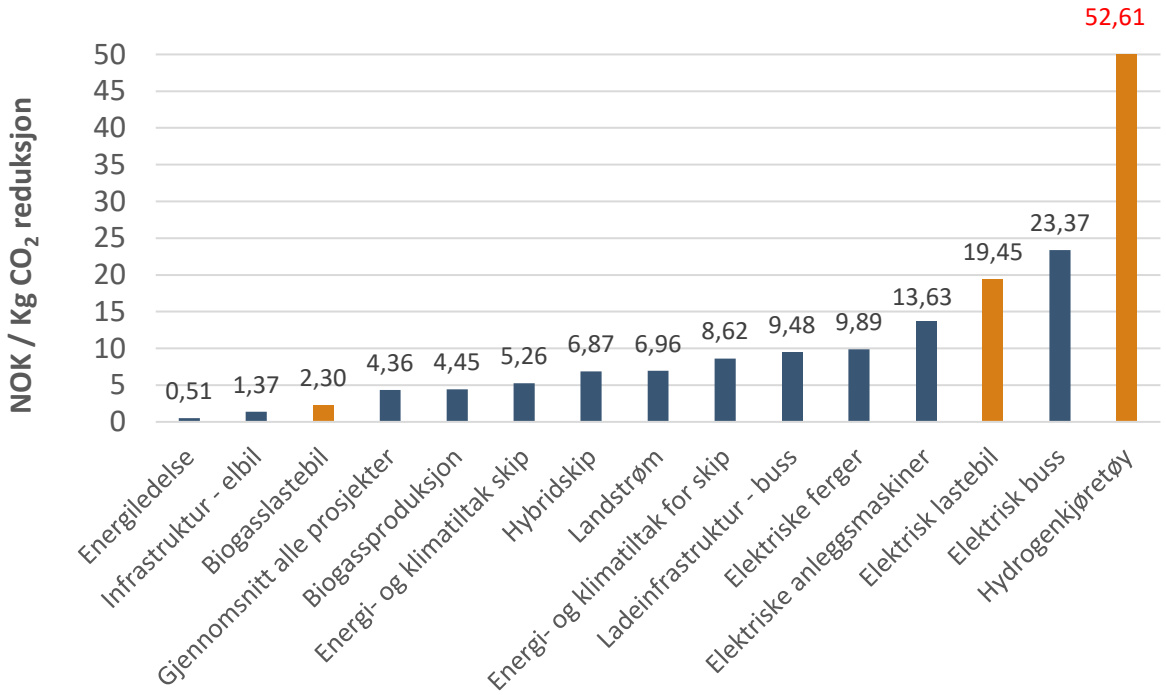
*[6] Under våre antakelser om investeringskostnader ved småskala serieproduksjon av batterielektriske lastebiler vil km-kostnaden ved batterielektrisk drift gå ned til henholdsvis 9,6 kr/km, 12,4 kr/km og 13,8 kr/km.*

*[7] Under våre antakelser om masseproduksjon av batterielektriske lastebiler vil km-kostnaden kunne falle til 7,4 kr/km, 9,6 kr/km og 10,7 kr/km for henholdsvis lette distribusjonsbiler, tyngre distribusjonsbiler og trekkbiler for semitrailer.*

I tillegg til batterielektrisk drift har vi i forskningssenteret MoZEES også utarbeidet grove kalkyler for hydrogenelektrisk drift. Disse anslagene er svært usikre grunnet få observasjoner og uvisshet om utviklingen i merkostnadene for slike kjøretøy. I store trekk tyder våre foreløpige beregninger på at hydrogenelektrisk drift foreløpig vil være mye dyrere enn andre framdriftsteknologier, noe som skyldes høye merkostnader ved investering og kun marginale besparelser på energikostnader ved dagens hydrogenpris (som for øvrig ikke reflekterer produksjonsprisen). Først når hydrogenbilers investeringskostnad reduseres sterkt (slik vi antar ved masseproduksjon) og hydrogenprisen samtidig reduseres betydelig (f. eks. drevet av større etterspørsel og produksjonsvolumer) tyder våre grove og foreløpige estimater på at hydrogendrift på lastebiler kan bli konkurransedyktig overfor konvensjonell diesel ved typiske årlige kjørelengder. Ettersom hydrogendrift sannsynligvis fortsatt vil være dyrere enn batterielektrisk drift, vil hydrogenlastebiler først og fremst være aktuelle for langtransporter og andre oppdrag som er mindre egnet for batterielektriske kjøretøy.

Enova publiserer en gang per år alle innvilgede søknader for utslippsreduserende tiltak med informasjon om prosjekt, prosjekteier, innvilget støtte og forventet resultat i energibesparelse (målt i kWh) og redusert utslipp (målt i kg $CO_2$). De to siste komponentene er oppgitt av søker og kan derfor være optimistiske anslag. Vi har tatt utgangspunkt i listen over transportrelaterte prosjekter som Enova har gitt støtte til i perioden 2015 til og med 2018. Dette utgjør 530 tiltak, hvorav 360 har oppgitt forventet klimaresultat. Listen inkluderer ikke støtte gitt til privathusholdninger. Vi har kategorisert tiltakene basert på programmet det er søkt om støtte fra og tilgjengelig informasjon om prosjektet. Dette gir mulighet til å regne støttebeløp per redusert tonn $CO_2$, og dermed sammenlikne på tvers av transportsektorer og framdriftsteknologier. Resultatet framgår av Figur 4.1.

**Figur 4.1 Beregnet støttebeløp pr kg redusert $CO_2$ for ulike transportrelaterte prosjekter**




Kilde: Enovas liste over transportprosjekter som har fått innvilget støtte i perioden 2015-2018

Det framkommer at energiadministrasjon er den prosjektformen som har høyest forventet $CO_2$-reduksjon pr innvilget krone (510 kroner per tonn $CO_2$-reduksjon). At det også er denne prosjektformen som har flest søknader påvirker gjennomsnittlig støttebeløp per tonn $CO_2$-reduksjon. Av tilskudd til lastebiltransport er det

biogasslastebiler som har lavest støttebeløp målt per tonn $CO_2$-reduksjon (2300 kr/t$CO_2$), etterfulgt av batterielektriske lastebiler (19 450 kr/t$CO_2$) og hydrogenelektriske kjøretøy (52 610 kr/t$CO_2$). Med unntak av støtte til biogasskjøretøy og biogassproduksjon er tilskuddet per tonn $CO_2$ høyere i veitransport enn i andre sektorer.

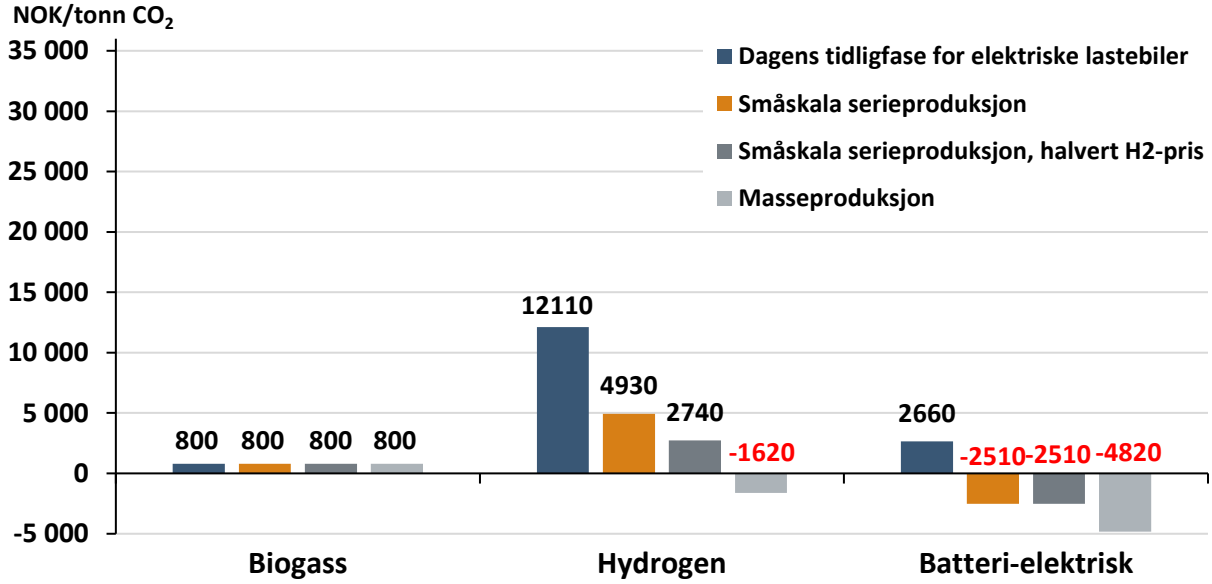
Tilskuddsbeløpet er ikke hele den bedriftsøkonomiske kostnaden. Tiltakshaver vil normalt ha egne kostnader i tillegg til den delen som dekkes av Enova, som pga. statsstøtteregelverket ikke kan dekke mer enn 40 prosent av merkostnaden for store selskap og inntil 50 prosent av merkostnaden for små- og mellomstore bedrifter. For hurtigladeinfrastruktur kan Enova støtte opp til 100 prosent av godkjente investeringskostnader. For hydrogeninfrastruktur kan Enova støtte inntil 40 prosent av godkjente prosjektkostnader.

I den bedriftsøkonomiske kostnaden inngår alle skatter og avgifter som påløper ved valg av den enkelte framdriftsteknologi. Dieselkjøretøy må svare bompenger og drivstoffavgifter, mens nullutslippsbiler kan være belagt med 'negative avgifter' (tilskudd) i form av Enova-støtte.

I Figur 4.2 vises beregninger av de bedriftsøkonomiske kostnadene, regnet per unngått tonn $CO_2$, ved overgang fra dieseldrift til biogass, hydrogen eller batteri, henholdsvis, i fire teknologifaser for distribusjonslastebiler. Det er tatt utgangspunkt i at Enova dekker 40 prosent av merkostnaden ved investeringen.

Det er utfordrende å lage kostnadsanslag for 2025 og 2030. For batterielektriske lastebiler, legger beregningene til grunn småskala serieproduksjon innen 2025 og masseproduksjon innen 2030. For hydrogenelektriske lastebiler legger beregningene til grunn småskala serieproduksjon innen 2025 og småskala serieproduksjon med halvert hydrogenpris innen 2030. Vi legger til grunn at masseproduksjon av hydrogendrevne lastebiler ikke vil komme i gang innen 2030. Kostnadene ved biogass legger vi til grunn er uendret i tidsperioden.

**Figur 4.2 Bedriftsøkonomisk kostnad i kroner pr tonn redusert CO2-utslipp, ved overgang til henholdsvis biogassdrevne, hydrogenelektriske eller batterielektriske distribusjonslastebiler, forutsatt 45 000 km årlig kjørelengde. Fire scenarioer for produksjonsfaser/modenhet av elektriske lastebiler**




I dagens situasjon er en overgang fra diesel til biogass billigst, med en anslått bedriftsøkonomisk kostnad på 800 kr/t$CO_2$.

Allerede i neste fase – småskala serieproduksjon – vil imidlertid batterielektriske løsninger kunne konkurrere og faktisk bli lønnsomme for det private foretaket, gitt at dagens insentiver for nullutslippsbiler videreføres også i

scenariet med masseproduksjon. Vi beregner en negativ bedriftsøkonomisk kostnad per unngått tonn $CO_2$ med 2510 kroner. Ved masseproduksjon beregnes besparelsen å bli nesten dobbelt så stor: 4820 kr/t$CO_2$.

Ved masseproduksjon og halverte priser på hydrogen kan også brenselcelleteknologi bli bedriftsøkonomisk lønnsomt.

## 4.2. Hybridløsninger

I tillegg til analysen av bedriftsøkonomiske kostnader ved batterielektrisk, hydrogenbasert og biogassframdrift, ble det på etterbestilling fra oppdragsgiver utført en analyse for godskjøretøy med hybridteknologi. Denne analysen bygger på en utvidelse av kostnadsmodellen som er utviklet i MoZEES-arbeidet. Detaljer om selve modellen og forutsetninger ved flere framdriftsteknologier står beskrevet i delkapittel 4.1 og Hovi et al. (2019). For hybridteknologi er bakgrunn og hovedforutsetninger for modellutvidelsen nærmere beskrevet under. Det er også utarbeidet noen tall for hybridteknologi kombinert med bruk av HVO, istedenfor konvensjonell diesel.

### 4.2.1. Merkostnader ved investering/kjøp

Generelt er hybridbiler dyrere i innkjøp enn konvensjonelle dieseldrevne lastebiler. Tilbakemeldinger fra et antall lastebilprodusenter tyder på at denne merkostnaden i hovedsak er knyttet til at bilen har en ekstra drivlinje. I lys av diskusjonen om batterielektriske og hydrogendrevne lastebiler kan det tenkes at også dagens mindre produksjonsskala for hybridbiler i noen grad kan bidra til at hybridbiler er dyrere enn konvensjonelle dieselbiler.

Selv om merkostnadene er lavere enn ved batterielektriske lastebiler og lastebiler med brenselceller (som begge har dyrere komponenter og så langt i hovedsak er konverterte kjøretøy), er merkostnadene ved hybridlastebiler betydelige. Noen estimater tyder eksempelvis på at et chassis med hybridteknologi kan være dobbelt så dyrt som et tilsvarende chassis for en vanlig diesellastebil. I tillegg til dette kommer påbygg, som avhengig av valgt type kan variere mye i pris.

Ettersom merkostnadene skal være omtrent de samme for to- og tre-akslede kjøretøy, vil merkostnaden relativt sett være høyere for mindre kjøretøy. Videre avhenger det av påbyggsalternativer hvor høye hybridteknologiens merkostnad er relativt til bilens totale eierskapskostnad.

Beregninger av eierskapskostnadene tar utgangspunkt i de samme lastebilkategoriene som i analysen for lastebiler med batterielektrisk, biogass- og brenselcelleløsning (hhv lette distribusjonsbiler, tyngre distribusjons-biler, og trekkbiler for semitrailer), der referansekjøretøyet er en bil med (dieselbasert) forbrenningsmotor (for mer detalj, se delkapittel 4.1 og Hovi et al., 2019).

For dagens situasjon, basert på småskala serieproduksjon, er merkostnadene basert på tilbakemeldinger fra kjøretøyprodusenter. Merkostnadene ble oppgitt i kroner og forutsatt uavhengig av biltype/antall aksler. For en tyngre distribusjonsbil med vanlig hybridteknologi (HEV) ligger merkostnaden på rundt 48 % sammenliknet med en tilsvarende dieselbil. For en plug-in hybridbil (PHEV) av samme type er merkostnaden anslått til ca. 62 %. At kronetillegget er likt, uavhengig av bilkategori, gjør merkostnadene relativt sett noe høyere for mindre biler, og noe lavere for større biler.

Potensialet for framtidige kostnadsreduksjoner er mye mindre for hybridbiler enn for batterielektriske lastebiler og lastebiler med brenselceller. Dette skyldes at brorparten av eventuelle prisreduksjoner forventes å komme fra reduserte priser pr battericelle og brenselceller, samt effektivitetsgevinster ved produksjonsutvikling fra enkeltstående konverteringer til småskala serie- og senere masseproduksjon. En reduksjon i batteripriser vil ha

mye mindre å si for hybridbiler, som i utgangspunktet har mindre batterier og ikke bruker brenselcelle. Videre anslås også effektivitetsgevinsten ved å gå fra dagens situasjon til masseproduksjon å være mye mindre. Det er derfor lagt til grunn et hypotetisk scenario med masseproduksjon av hybridbiler i 2025, og uendret situasjon i 2030. Her forutsettes det at merkostnaden for hybridbiler er redusert med 10% sammenliknet med i dag.

### 4.2.2. Drivstoffkostnader

Sammenliknet med batterielektriske lastebiler er batteriene i hybride lastebiler relativt små (ofte vel under 20 kWh), noe som gir mindre «elektrisk» rekkevidde (avhengig av modell oppgis eksempelvis ca. 1 mil, men det finnes også modeller med større batteri og som markedsføres med en elektrisk rekkevidde på 30-50 km, se f.eks. Inside EVs 2018). Både markedsføring og tilbakemeldinger fra produsenter poengterer at hybridbilenes største miljøfordeler er ved elektrisk drift i lavutslippssoner, og modellene er i hovedsak rettet mot bydistribusjon- og renovasjonstjenester. Estimater på besparelser i drivstofforbruk sammenliknet med konvensjonelle diesel-lastebiler varierer. Brorparten av besparelsene kommer fra regenerativ bremsing, mens mindre besparelser kommer fra at forbrenningsmotoren blir slått av automatisk en større del av tiden, og fra mer energieffektive sekundære systemer (se f.eks. Scania, 2015). For drift av vanlige hybrider antas drivstoffbesparelsen å ligge på maksimalt ca. 15 %. For plug-in hybrider forventes drivstoffbesparelsen å være litt større, og er forutsatt å ligge på maksimalt ca. 20 %. Ifølge produsenter kan besparelsene være noe større for renovasjonsbiler enn for vanlige lastebiler, grunnet relativt mye bruk av sekundære systemer, og mulighet for å drive disse elektrisk.

Om det velges HVO istedenfor konvensjonell diesel, vil drivstoffkostnaden øke. Dette skyldes både at HVO samlet sett er dyrere enn konvensjonell diesel (avgiftene inkludert har dette hos en av de største leverandørene variert mellom ca. 13-25 % dyrere mellom november 2018 og januar 2020), og at HVO i tillegg har et litt lavere energiinnhold per liter.

### 4.2.3. Vedlikehold

Når det gjelder vedlikehold skilles det på samme måte som for andre teknologier og i MoZEES (Hovi et al., 2019), mellom vedlikehold knyttet til vask, rekvisita, dekkslitasje, osv., og generelt vedlikehold. Det legges til grunn at kun kostnader til generelt vedlikehold vil kunne variere i betydelig grad mellom ulike framdriftsteknologier.

Når det gjelder hybridlastebiler tilsier tilbakemeldinger fra produsenter at vedlikeholdskostnader ikke avviker mye sammenliknet med konvensjonelle dieselbiler, men at en må regne med noe dyrere vedlikehold.

Der batterielektriske lastebiler og lastebiler med brenselceller anslås å gi betydelige besparelser på vedlikeholdet og dermed en liten kostnadsfordel sammenliknet med dieseldrift (grunnet færre bevegelige deler og fordi oljeskift ikke er nødvendig), trenger hybridbiler vedlikehold både på den fossile og elektriske drivlinjen. En ytterlig grunn til at vedlikeholdskostnadene anslås å være noe høyere ved hybridteknologi enn for vanlige dieselbiler er at hybridbiler omtales som å stille høyere krav til regelmessig oljeskift. Dette skyldes at hybridbilenes elektriske drivlinje må kunne ha en sømløs overgang til den fossile drivlinjen under kjøring, noe som er mer krevende når oljen ikke har varmet opp under kjøringen på samme måte som i en ikke-hybrid dieselbil.

Basert på tilbakemeldinger fra produsenter har vi derfor lagt til grunn i våre beregninger at kostnader til generelt vedlikehold ved hybriddrift ligger 10% høyere enn ved dieseldrift (der hvor det ved batterielektriske lastebiler og lastebiler med brenselceller ble lagt til grunn besparelser på generelt vedlikehold på 50%). Det antas ikke å være store forskjeller mellom vedlikeholdskostnader for vanlige hybrider og plug-in hybrider.

### 4.2.4. Andre forutsetninger

Når det gjelder andre forutsetninger er det i hovedsak lagt til grunn samme eller tilsvarende antakelser som for andre framdriftsteknologier (se også delkapittel 4.1 og Hovi et al., 2019). Dette gjelder for eksempel årlige kjørelengder (45 000 km), analyseperioden (5 år, basert på typiske leasingperioder) og diskonteringsfot (3,5 %).[8] Hybridbilenes restverdi etter analyseperioden er satt til samme restverdiandel som for dieselbiler.

Vektårsavgiften for hybridbiler er satt til samme beløp som for dieselbiler, men denne avgiften, og særlig dens miljødifferensiering, viser seg generelt å kun være en marginal kostnadsdriver. Også utgifter til bompenger/ ferger er antatt lik som for diesel, ettersom hybridbiler i motsetning til nullutslippskjøretøy ikke har fritak (rabatt).

Avslutningsvis bør det nevnes at eierskapskostnadene, på samme måte som for de andre framdriftsteknologiene, er beregnet ekskludert eventuelle tilskudd fra ENOVA. Enova-tilskudd gis ikke til hybridlastebiler.

### 4.2.5. Eierskapskostnader og bedriftsøkonomiske kostnader

Basert på forutsetningene ovenfor er det også for hybridlastebiler beregnet eierskapskostnader pr km. Disse kan sammenliknes med eierskapskostnader for dieselbiler, men også med tallene for biler med batterielektrisk, hydrogenelektrisk eller biogassframdrift fra MoZEES-arbeidet (Hovi et al., 2019) og som er kort oppsummert tidligere i rapporten.

Tabell 4.1 oppsummerer eierskapskostnader pr km for hybridbiler, både i dag (basert på småskala serie-produksjon) og anslag for 2025 og senere (basert på masseproduksjon). Tilsvarende tall ved bruk av HVO istedenfor konvensjonell diesel er gitt i parentes.

**Tabell 4.1 Eierskapskostnader (pr km) for hybridbiler av tre størrelser. I dagens situasjon og et scenario med masseproduksjon forutsatt fra 2025 av. Tall ved bruk av HVO istedenfor konvensjonell diesel gitt i parentes. Tallene er i kroner og er ekskludert lønnskostnader.**

| | Dagens situasjon (2019) | | Masseproduksjon (2025 og senere) | |
|---|---|---|---|---|
| | HEV | PHEV | HEV | PHEV |
| **Lett distribusjonsbil** | 11,0 (11,7) | 11,5 (12,1) | 10,8 (11,4) | 11,2 (11,8) |
| **Tung distribusjonsbil** | 13,3 (14,1) | 13,8 (14,6) | 13,1 (13,9) | 13,5 (14,3) |
| **Trekkbil for semitrailer** | 15,3 (16,6) | 15,7 (16,8) | 15,1 (16,4) | 15,4 (16,6) |

Fra tabellen framkommer at ved gjennomsnittlige årlige kjørelengder ligger eierskapskostnader for hybridlastebiler høyere enn for dieselbiler, der vi har sett at pr-km-kostnaden kostnaden anslås til 9,3 kr/km, 11,6 kr/km og 13,9 kr/km for hhv lette distribusjonsbiler, tyngre distribusjonsbiler, og trekkbiler for semitrailer. Dette gjelder også når det forutsettes prisreduksjoner som følge av masseproduksjon av hybridbiler. Bruk av HVO istedenfor konvensjonell diesel gir gjennomgående høyere eierskapskostnader.

Også sammenliknet med biogassbiler har hybridbiler en høyere pr-km-kostnad. Om den pågående (men forsinkede) utredningen av et bompengefritak for biogasskjøretøy i Osloringen fører til et slikt bompengefritak, vil lønnsomhetsulempen for hybridbiler bli større.

---

*[8] Diskonteringsrente på 3,5% følger av tidligere beregninger gjort av eierskapskostnader ved MoZEES (Mobilility Zero Emission Energy System). Raten er derfor konsistent med andre analyser og publikasjoner gjennomført av senteret, og er ment å reflektere finansieringskostnader for bedrifter som leaser kjøretøy.*

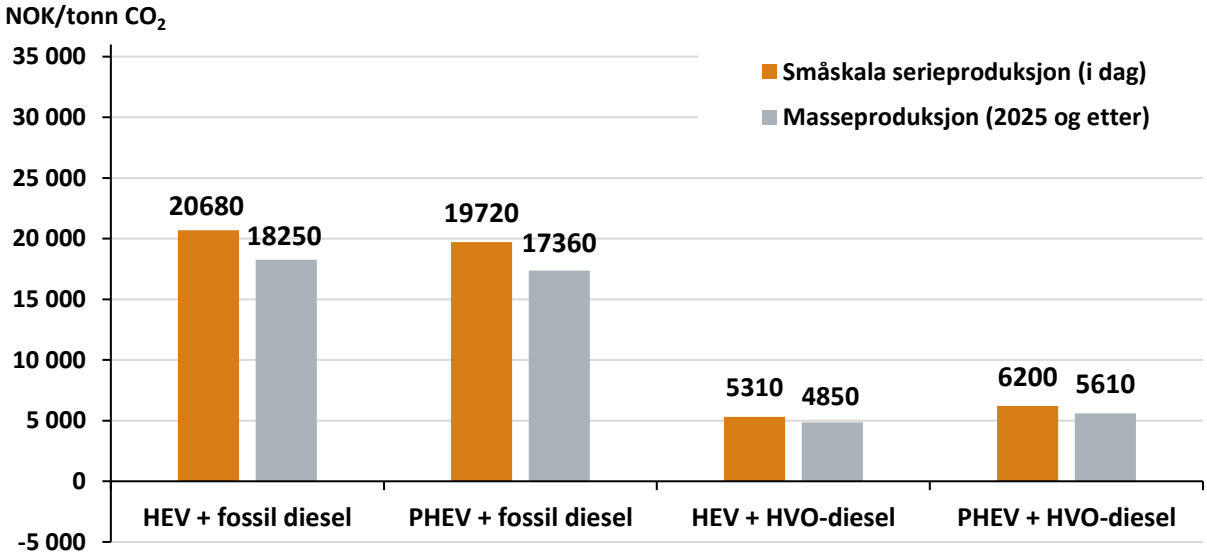
Når det gjelder batterielektriske lastebiler er disse anslått til å oppnå betydelig lavere pr-km-kostnader allerede ved småskala serieproduksjon. Dette skyldes at selv om merkostnaden til batterielektriske kjøretøy forventes å være høyere enn for hybridbiler, er merkostnaden for hybridkjøretøy relativt høy og besparelser på drivstoffutgifter betydelig mindre (både fordi diesel relativt sett er betydelig dyrere enn strøm, og fordi effektivitetsgevinsten ved helelektrisk drift er stor). Videre har hybridbiler ikke samme besparelser på vedlikeholdskostnader og bompengeutgifter.

Under masseproduksjon av både batterielektriske og hybridbiler anslås batterielektriske lastebiler å ha rundt 25 % lavere eierskapskostnader pr km, ved gjennomsnittlige årlige kjørelengder.

I Figur 4.3 vises, på tilsvarende måte som for batterielektrisk, hydrogenelektrisk, og biogassdrift i delkapittel 4.1, de bedriftsøkonomiske kostnadene, regnet per redusert tonn $CO_2$, ved overgang fra dieseldrift til hybriddrift. Figuren illustrerer dagens situasjon (som karakteriseres av småskala serieproduksjon av hybridbiler) og et scenario med masseproduksjon, som forutsettes kan være gjeldende fra 2025 og utover. Resultater vises både for hybriddrift med konvensjonell diesel, og hybriddrift kombinert med HVO-diesel.

I figuren er det i tråd med dagens praksis forutsatt at bedriften ikke mottar Enova-støtte. Dette er i motsetning til beregningene for batterielektriske, hydrogenelektriske, og biogassdrevne lastebiler, der vi ved tilsvarende beregninger la til grunn at Enova dekker 40 prosent av merkostnaden ved investeringen.

**Figur 4.3 Bedriftsøkonomisk kostnad i kroner pr tonn redusert $CO_2$-utslipp, ved overgang til hybridbiler (HEV og PHEV), i kombinasjon med hhv. konvensjonell diesel og HVO-diesel for lette lastebiler, forutsatt 45 000 km årlig kjørelengde. Dagens situasjon (tilsvarende småskala serieproduksjon) og masseproduksjon (antatt fra 2025 av).**




Fra figuren framkommer det at den bedriftsøkonomiske kostnaden pr tonn redusert $CO_2$-utslipp er svært høy for hybridbiler som bruker konvensjonell diesel. Kostnaden ligger til og med betydelig høyere enn i dagens situasjon for lastebiler med brenselceller, basert på individuelle konverteringer. Det er flere grunner til dette. Som nevnt får bedrifter ikke Enova-støtte ved kjøp av hybridbil. Dette betyr at bedriften bærer hele merkostnaden ved investeringen. For det andre er merkostnadene for hybridbiler relativt høye. For det tredje er bedriftsøkonomiske besparelser på drivstoffutgifter lave, sparer bedriften ikke på vedlikeholdsutgifter, og har bedriften ikke bompengefritak. Til slutt beregnes den bedriftsøkonomiske kostnaden over en relativt beskjeden reduksjon i $CO_2$-utslippsammenliknet med batterielektriske, hydrogenelektriske og biogassdrevne lastebiler sine nullutslipp.

Når en ser på hybridløsninger kombinert med bruk av HVO-diesel, er den bedriftsøkonomiske kostnaden per tonn redusert $CO_2$-utslipp betydelig lavere. Dette skyldes at ved bruk av HVO[9] er reduksjonen i $CO_2$-utslipp større. Det er i hovedsak drivstoffet som bidrar til dette, og i mindre grad et mer effektivt kjøretøy på grunn av hybridteknologi.

Med mellom 4 850 og 6 200 kroner pr tonn redusert $CO_2$-utslipp er denne bedriftsøkonomiske kostnaden sammenliknbart med det vi så ved småskala serieproduksjon av lastebiler med brenselceller ved dagens hydrogenpriser, i Figur 4.2. Ved framtidige reduksjoner i hydrogenpriser eller mer moden teknologi for lastebiler med brenselceller, har hybridløsninger, også ved bruk av HVO, betydelig høyere kostnader pr tonn redusert $CO_2$-utslipp. Sammenliknet med batterielektriske og biogasslastebiler er forskjellen enda større, jfr. Figur 4.2.

[9] *Dette gjelder selv om bedriften har en noe høyere drivstoffkostnad ved HVO-bruk framfor fossil diesel.*

# Del II: Gods på sjø – Klimateknologier og tiltakskostnader

# 5. Metode og inputdata

Dette kapittelet beskriver kort godsflåten som omfattes i denne analysen, nullutslippsløsningene som analyseres, samt modellen vi har utviklet og anvendt, inkludert vurderinger og forutsetninger rundt modelleringen. Videre presenteres sentrale inputdata som benyttet i modelleringen (valgte drivstofftyper, drivstoffpriser og investeringskostnader, osv.).

## 5.1. Utvalg av godsskip i analysen

Flåten av godsskip som opererer i norsk innenriks trafikk[10] består av mange svært forskjellige skipstyper. Her benytter vi samme inndeling av skipstyper som i underlagsrapporten for regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart (DNV GL 2019), der godsskipene deles i to hovedkategorier:

- **Våt- og tørrbulk:** Denne kategorien omfatter skipstypene oljetankere, oljeprodukttankere, kjemikalie-tankere, gasstankere og bulkskip.
- **Lasteskip:** Denne kategorien omfatter skipstypene stykkgodsskip, kontainerskip, ro-ro lasteskip og kjøle-/fryseskip.

Videre avgrenses analysen til å omfatte de godsskip som tilbringer minst 80 prosent av året i norske farvann basert på AIS-data for 2018. Det er flere grunner til at en slik avgrensning er hensiktsmessig:

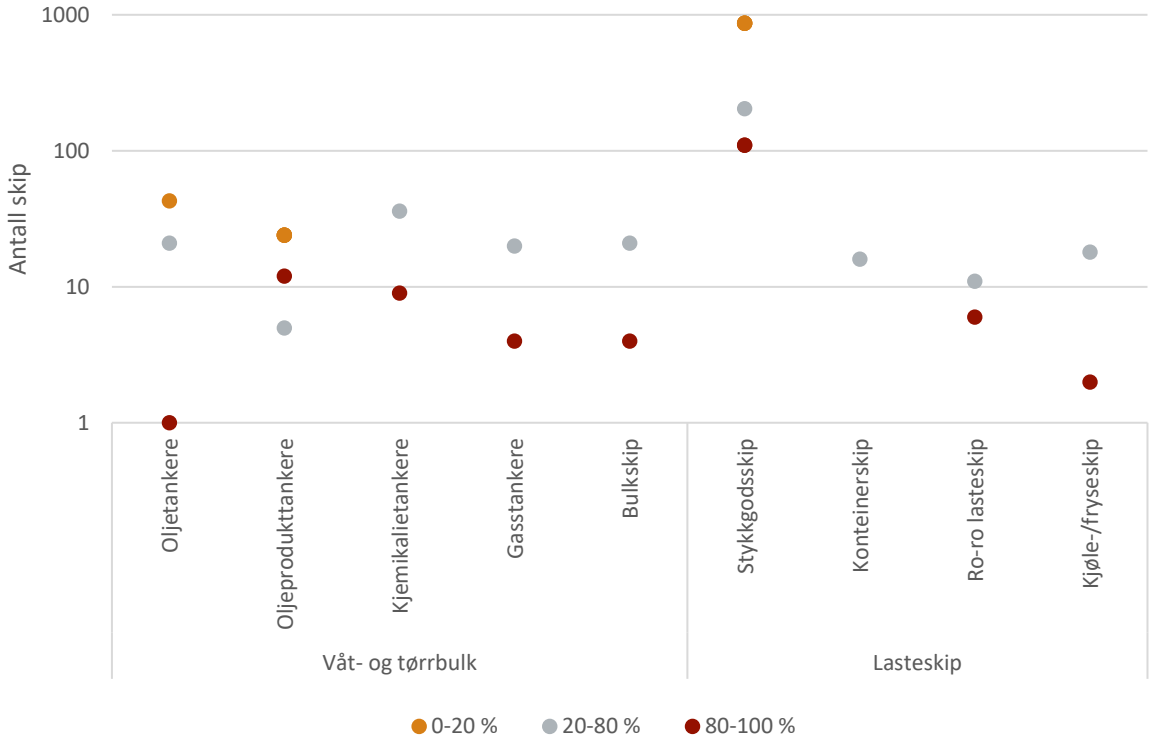
- Det er naturlig å anta at disse skipene bunkrer drivstoff her til lands, i motsetning til skip som ofte trafikkerer utenlandske havner og kan bunkre avgiftsfritt.
- Disse skipene har gjennomsnittlig de høyeste bidragene per skip til innenriks utslipp (148 skip står for 488 ktonn $CO_2$, ref. under).
- Nullutslippsteknologier vil i størst grad være anvendelig på den kystnære flåten på grunn av operasjonsprofil og energibruk (mer om dette i kapittel 5.3.2).
- Det er trolig mer realistisk for norske myndigheter og virkemiddelapparatet å påvirke disse skipene i tilstrekkelig grad til at nullutslippsskip kan realiseres. Dette inkluderer tilrettelegging av infrastruktur på land til å fasilitere bunkring.

AIS-analysen for 2018 viser at det er 148 godsskip som opererer 80 – 100 prosent av tiden i norske farvann. Det er disse godsskipene som vil analyseres videre i denne rapporten.

Figur 5.1 viser hvordan antallet godsskip fordeler seg delt inn etter skipstype og andel tid i norske farvann. Totalt er dette 1438 godsskip – hvorav så mange som 1185 er stykkgodsskip. Innen de andre skipstypene var det 16-65 skip. De aller fleste av skipene i godsflåten er imidlertid skip som opererer en liten andel av året i norske farvann (norsk økonomisk sone).

[10] *Innenriks trafikk er definert som trafikk mellom to norske havner*

**Figur 5.1 Antall skip delt inn i skipstype og andel tid i norske farvann. Merk at logaritmisk skala er brukt på aksen.**

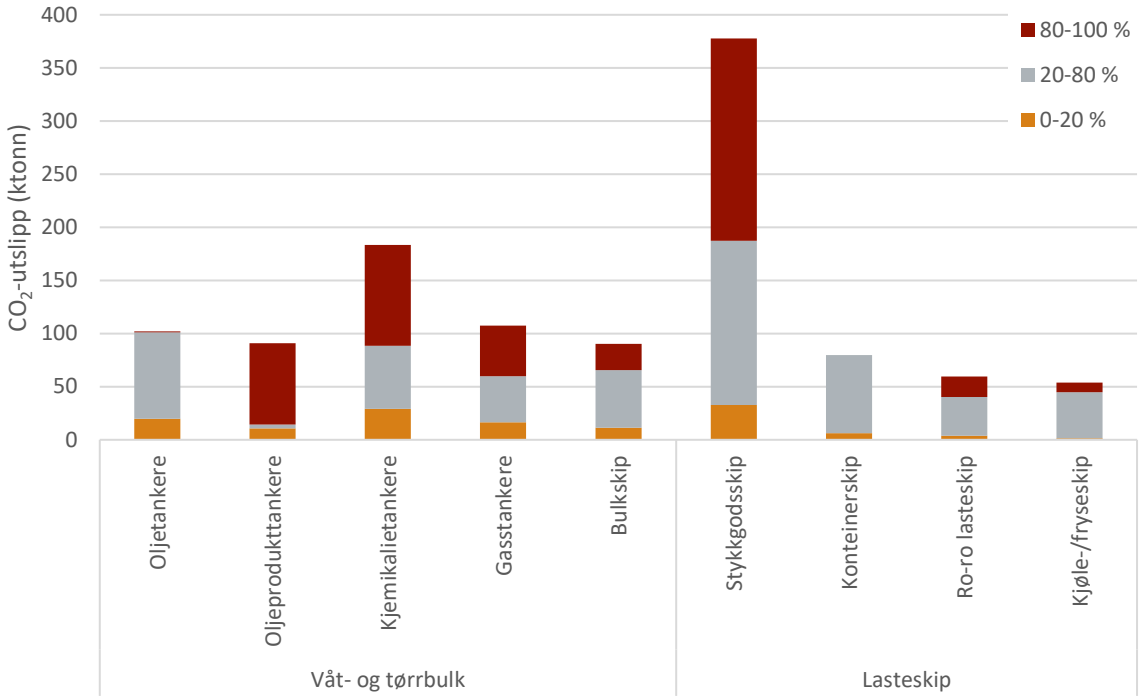



Figur 5.2 viser estimert innenriks $CO_2$-utslipp fordelt på skipstyper og operasjonstid i norske farvann, inkludert utslipp i norske havner. Totalt er innenriks utslipp fra godsskipene estimert til 1145 ktonn $CO_2$ basert på AIS-modellering[11] for 2018. De 148 skipene med over 80 prosent av årlig operasjonstid i norske farvann utgjorde 488 ktonn $CO_2$. Stykkgodsskip dominerer med mer enn 100 skip, fulgt av oljeprodukttanker og kjemikalietanker. Disse tre skipstypene utgjorde nesten 80 prosent av utslippet for skip med over 80 prosent av årlig operasjonstid i norske farvann.

Det bemerkes at de AIS-baserte tallene for innenriks utslipp ikke nødvendigvis sammenfaller med SSBs utslippsregnskap (nasjonalregnskapet[12]) for innenriks skipsfart. Det benyttes to ulike tilnærmingsmåter; AIS-regnskapet er aktivitetsbasert, mens SSBs statistikk benytter solgt drivstoff til innenriks trafikk som basis for beregningen. For å analysere tiltak er det hensiktsmessig å ta utgangspunkt i AIS-metodikken, da denne gir detaljert informasjon om det enkelte skips tekniske og operasjonelle egenskaper og forutsetninger for tiltak.

[11] *De AIS-baserte beregningene av drivstofforbruk og tilhørende $CO_2$-utslipp er gjort med DNV GLs program MASTER, beskrevet nærmere i Mjelde et al. (2014), DNV GL (2018a), DNV GL (2019a).*
[12] *https://www.ssb.no/statbank/table/08940 [07.11.19].*

**Figur 5.2 Innenriks $CO_2$-utslipp fordelt på skipstyper og operasjonstid i norske farvann, inkludert utslipp i norske havner.**




## 5.2. Modellerte teknologier

Teknologiene vi vurderer i denne analysen er følgende:

- Drift på biodiesel (HVO - hydrotreated vegetable oil)
- Drift på flytende biogass (LBG)
- Drift på hydrogen ($H_2$)
- Drift på ammoniakk ($NH_3$)
- Helelektrisk drift (minst 95 prosent av årlig energibehov dekkes av batterier ladet med strøm fra land)
- Delelektrisk drift (en andel av energibehov dekkes av batterier ladet med strøm fra land, i kombinasjon med konvensjonelt drivstoff (marin gassolje))

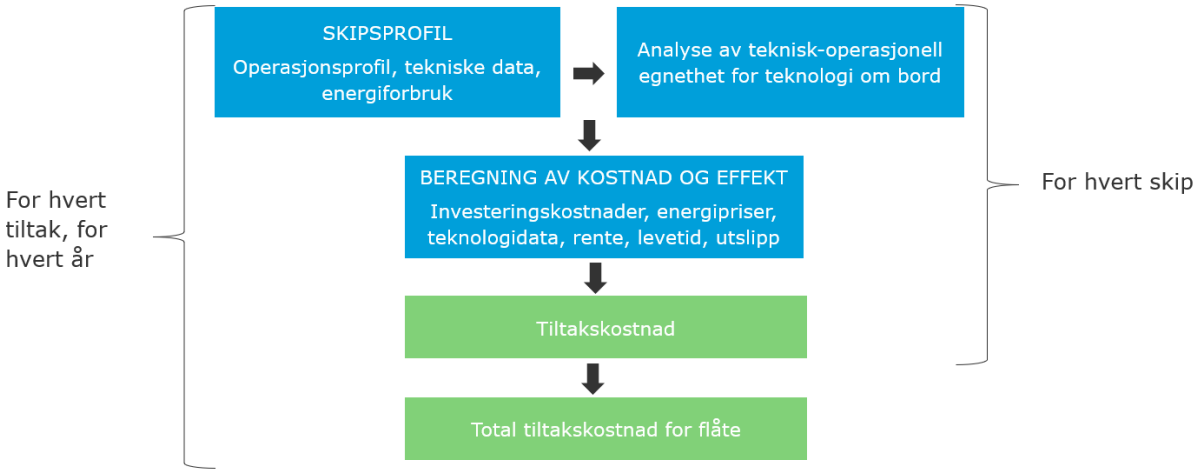
Med unntak av delelektrisk drift, ansees disse alternative teknologiene i denne rapporten å være løsninger for å eliminere $CO_2$-utslipp, enten ved at de er karbonnøytrale eller at de ikke gir $CO_2$-utslipp fra forbruk om bord på skipet. Utslippsreduksjonene ved delelektrisk drift vil avhenge av størrelsen på batteriet og hvor stor del av operasjonen dette kan dekke. Denne delen av analysen har kun beregnet $CO_2$-tiltakskostnaden for de ulike nullutslippsteknologiene anvendt på de utvalgte skipene. Det vil også være andre utslipp som $CH_4$, SOx, NOx, PM osv. Disse utslippene vil avhenge av en rekke forhold, bl.a. drivstofftype og valgt framdriftsløsning. Utslippet av disse avgassene er vurdert i den samfunnsøkonomiske delen av rapporten, se kapittel 10.

For skipsfarten finnes det ulike lavutslippsteknologier som f.eks. LNG og energibesparende tiltak, også relevante for å redusere energiforbruk og utslipp, men disse er ikke vurdert i dette studiet.

## 5.3. Modellbeskrivelse

Beregningsmodellen benyttet i dette studiet er skjematisk illustrert i Figur 5.3. Modellen beregner tiltakskostnaden (kr/tonn redusert $CO_2$) for de ulike nullutslippsteknologiene anvendt på de utvalgte skipene. De blå boksene viser input eller beregninger, og er beskrevet nærmere nedenfor.

**Figur 5.3 Overordnet illustrasjon av beregningsmodellen.**




### 5.3.1. Skipsprofil (individuelle skip)

Hvert modellerte skip er karakterisert ved følgende parametre, funnet fra skipsdatabasene eller estimert basert på AIS-data:

- Operasjonsprofil: Havneanløp, hastighet, utseilt distanse
- Årlig energiforbruk, drivstofforbruk (marin gassolje, MGO)
- Installert motoreffekt
- Vekt og plass, gitt som dødvekttonn (DWT; mål på vekt av last, drivstoff etc.) og grosstonn (GT; mål på volum)

Til sammen 148 godsskip ble valgt ut for videre analyser, med bakgrunn i at disse tilbrakte mer enn 80 prosent av i tiden i norske farvann. Vi benytter disse som referanseskip, og regner dermed kostnader og effekter av tiltak på disse. Selv om det vil være mulig å implementere flere av nullutslippsløsningene også på eksisterende skip, vil det trolig være mest hensiktsmessig å gjøre det på nybygg. Kostnadsestimatene anvendt forutsetter derfor implementering på nybygg, med identiske karakteristikker som referanseskipene. Dette er en hensiktsmessig forenkling siden analysen skal sammenligne teknologisk modenhet og kostnader for ulike tiltak i de ulike årene.

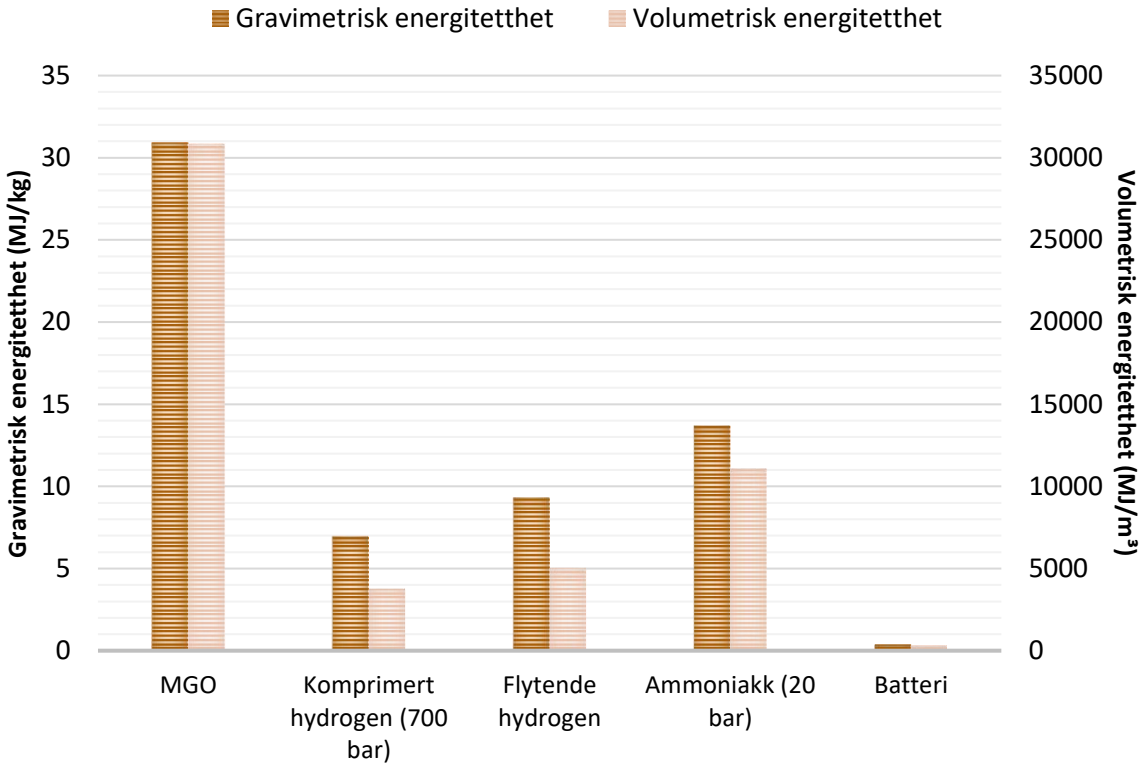
### 5.3.2. Analyse av teknisk-operasjonell egnethet for teknologi om bord

Flere av energibærerne som er aktuelle for å realisere nullutslipp karakteriseres ved lav energitetthet, sammenlignet med konvensjonelt drivstoff (fossil diesel/MGO). Dette gjelder særskilt for batteri, i stor grad for hydrogen, men også for ammoniakk (DNV GL 2019b, c). Disse energibærerne har i utgangspunktet lav energitetthet per masse og/eller per volum, og når en i tillegg tar hensyn til systemene som kreves for å lagre og benytte energibærerne om bord på skipet (tanker, brenselceller, battericeller), blir energitettheten ytterligere redusert sammenlignet med konvensjonelle drivstoff, som vist i Figur 5.4.

Energitettheten for biodiesel og biogass er ikke vist i figuren. Biodiesel har imidlertid omtrent samme energitetthet og lagringsforutsetninger som fossil diesel, mens flytende biogass har noe lavere volumetrisk

energitetthet og trenger derfor større plass om bord sammenlignet med fossil diesel. For disse alternativene vurderes ikke volum og vekt som en begrensende faktor for teknisk egnethet.

**Figur 5.4 Gravimetrisk (per masse) og volumetrisk (per volum) energitetthet for batteri, hydrogen og ammoniakk, inkludert systemer for lagring og bruk om bord. Energitettheter er basert på data fra b.la. MariGreen (2018) og Sandia (2017)**

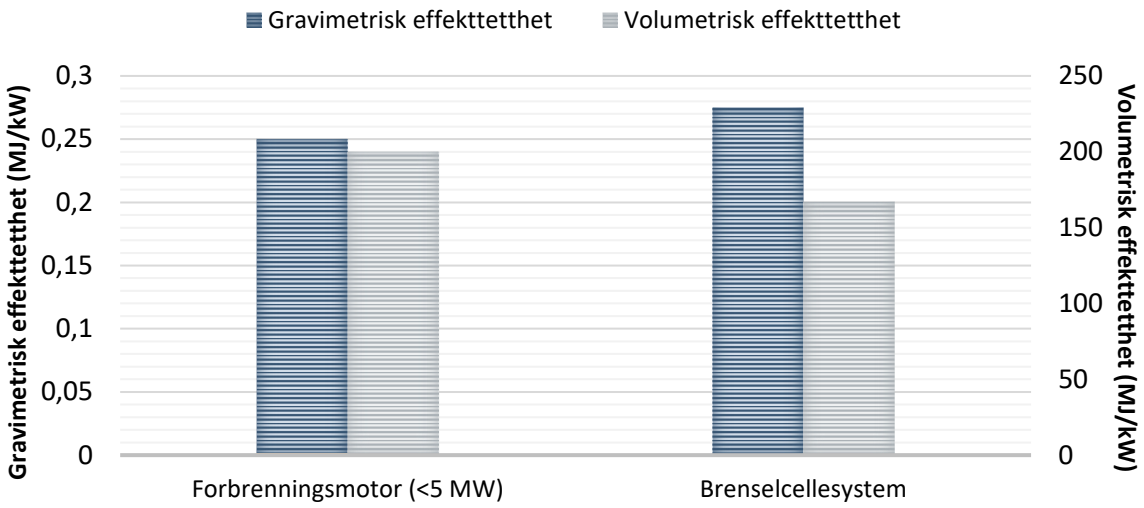



Den lavere energitettheten til hydrogen, batteri og ammoniakk gir et stort plass- og vektbehov om bord for at skipene skal kunne fortsette å operere som i dag. Alternativt må de bunkre langt oftere enn det som er tilfelle med konvensjonelt drivstoff. Avhengig av skipstype, skipsstørrelse og operasjonsprofil (energiforbruk og hyppighet av havneanløp) vil enkelte skip kunne ta i bruk disse drivstoffene, mens andre ikke.

I tillegg til drivstoff, vil størrelsen og vekt for framdriftsmaskineri (med tilhørende systemer) også påvirke vekt- og plassbehov for hvert enkelt skip. Dette avhenger av valgt framdriftsmaskineri, som vist i Figur 5.5. Angitte effekttettheter er basert på en litteraturstudie utført i SANDIA (2017), der det rapporteres at forbrenningsmotorer og brenselceller har forskjellige effekttettheter avhengig av størrelse og design. Brenselcellesystemer har typisk en lavere installert effekt per volumenhet sammenlignet med konvensjonelle forbrenningsmotorer (under 5 MW i installert effekt). Effekttettheter i Figur 5.5 er basert på forbrenningsmotorer med under 5 MW i installert effekt, samt brenselcellesystemet Hydrogenics HD 180, med en installert effekt på 198 kW. Det bemerkes imidlertid at det rapporteres om forbedret effekttetthet for nye og innovative brenselcellekonsepter[13].

[13] https://www.powercell.se/wordpress/wp-content/uploads/2018/12/powercell-ms100-datasheet-pdf.pdf [30.09.19].

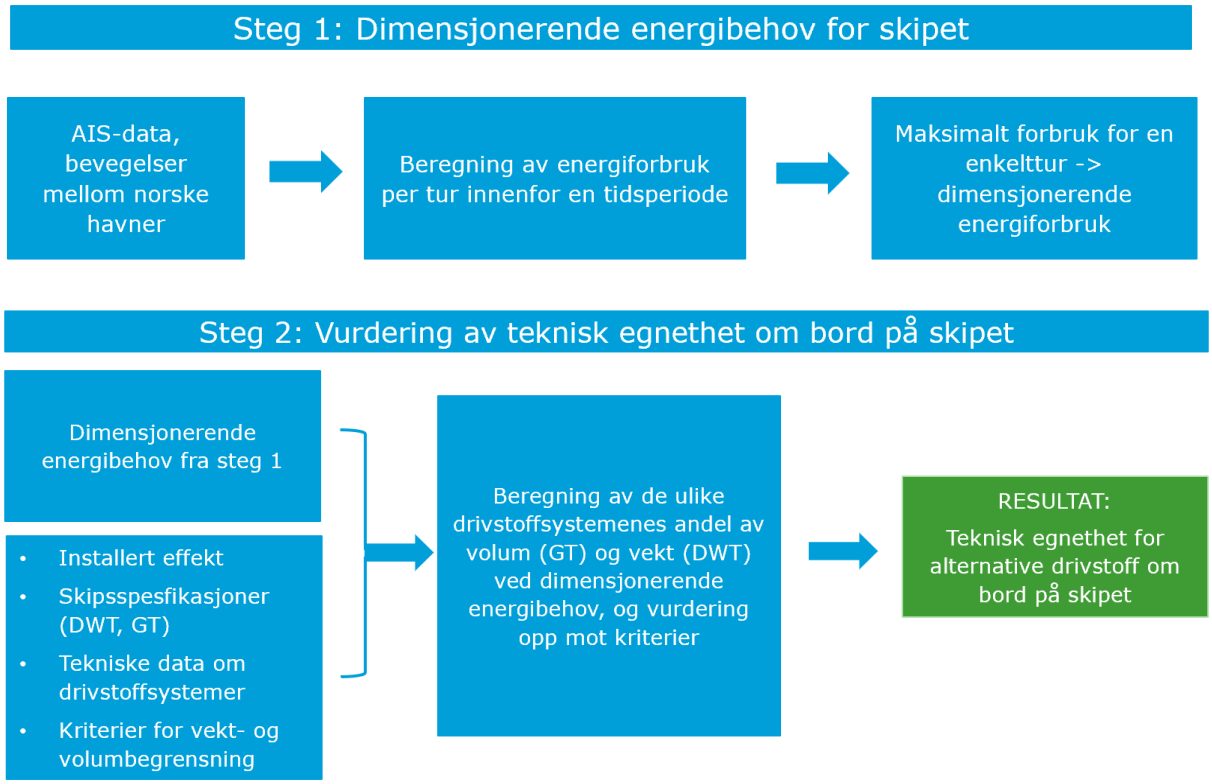
**Figur 5.5 Typisk gravimetrisk og volumetrisk effekttetthet for forbrenningsmotorer og brenselceller**




**Nullutslippsteknologier**

For å analysere i hvilken grad nullutslippsteknologiene (alle alternativene listet i kapittel 5.2, bortsett fra delelektrisk drift) er anvendelige for referanseskipene i denne studien, benytter vi en prosedyre som vist i Figur 5.6. De to stegene som inngår i prosedyren, beskrives kort nedenfor.

**Figur 5.6 Skjematisk oversikt over prosedyre for analyse av teknisk-operasjonelle egnethet for nullutslippsteknologier om bord på enkeltskip**




**Steg 1: Dimensjonerende energibehov for skipet**

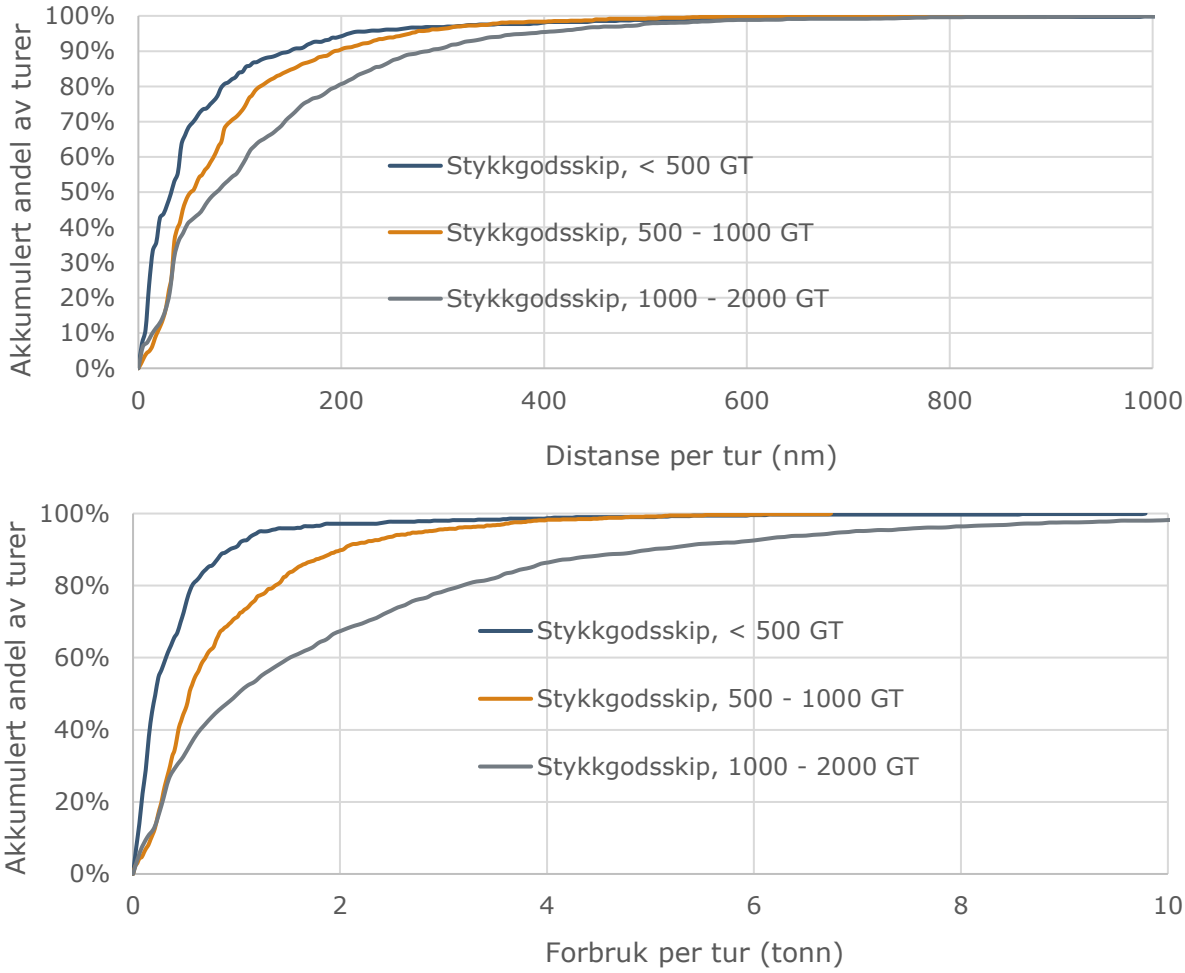
Fra AIS-data har vi detaljert informasjon om hver skipsbevegelse i 2018 i norske farvann, med omtrent ett datapunkt (posisjon) hvert sjette minutt. Fra dette materialet beregner vi blant annet utseilt distanse og modeller

drivstofforbruk mellom hvert datapunkt. I tillegg har vi informasjon om hvilke havner skipene anløper, og når de anløper disse. Dermed kan vi estimere energiforbruket mellom havneanløp; energiforbruk per tur. Turene vil variere i distanse, varighet, fart og dermed energiforbruk. Vi velger et energibehov som er tilstrekkelig for å dekke 95 prosent av alle turer for enkeltskip, dette blir da den dimensjonerende energimengde, altså den mengden energi som må kunne lagres av tankene/batteriet om bord.

Vi foretar med dette ingen direkte vurdering av hvor eller hvor ofte skipene bunkrer, men sikrer med denne tilnærmingen at energilagringen om bord er tilstrekkelig for gjennomføring av flere kortere turer uten å måte bunkre. Hvor ofte hvert skip må bunkre avhenger av hvordan energiforbruket varierer mellom ulike turer, men vi finner at i skipene må bunkre omtrent for hver fjerde gjennomsnittstur.

Figur 5.7 viser hvordan distanse og forbruk av drivstoff per tur er knyttet til skipstørrelse. Dette er illustrert med stykkgodsskip som er den dominerende skipstypen i utvalget av godskip, med en flåte på rundt 100 skip med flere tusen turer. Jevnt over har som forventet større skip lenger turer og høyere drivstofforbruk per tur. Av den øverste figuren sees for eksempel at rundt 95 prosent av turene for stykkgodsskip < 500 GT har en distanse på under 200 nautiske mil (nm), mens for skipene med størrelse innenfor 1000-2000 GT gjelder dette for over 80 prosent av turene. Likeledes viser den nederste figuren at de aller fleste turene for de minste skipene har et drivstofforbruk under 2 tonn, mens dette gjelder for under 70 prosent av turene for de største skipene (1000-2000 GT) i dette utvalget.

**Figur 5.7 Andel av turer (akkumulert) med distanse (over) og drivstofforbruk (under) per tur, illustrert med data for flåten av stykkgodsskip med ulike størrelser**

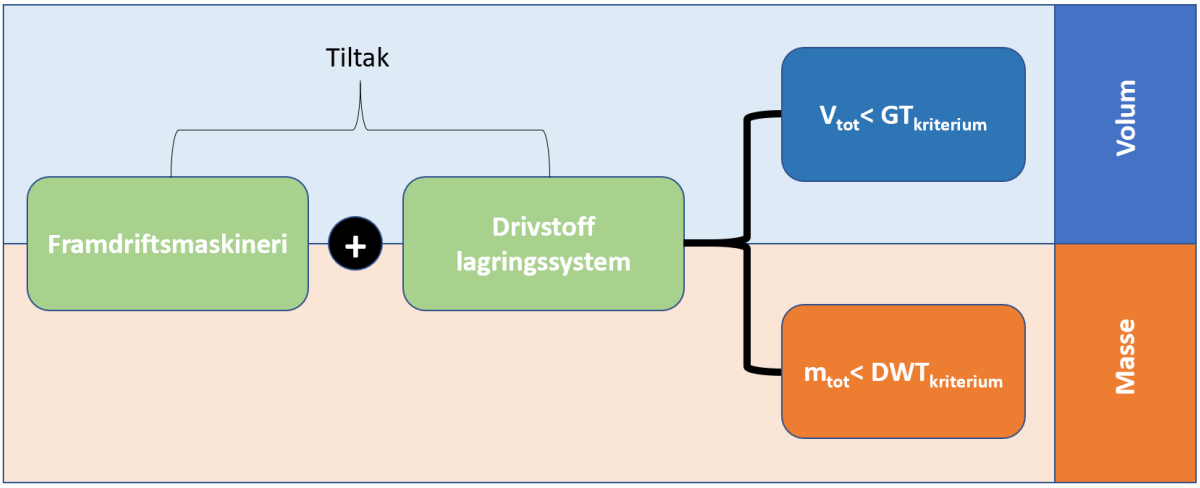


Mens Figur 5.7 viser forbruksprofilen for flåten av skip samlet, lager vi i analysen én slik kurve per enkeltskip, og setter det maksimale enkeltturforbruket til det dimensjonerende forbruket. Basert på dette regner vi ut hvor mye dette dimensjonerende forbruket tilsvarer i mengde hydrogen, ammoniakk og batterikapasitet, ved å ta hensyn til de ulike energibærernes energiinnhold, framdriftssystemenes virkningsgrad, og valg av framdriftssystem. Denne mengden tas så videre i evalueringen av teknisk egnethet for skipet i steg 2.

**Steg 2: Vurdering av teknisk egnethet om bord på skipet**

Bruttotonn (GT) og dødvekttonn (DWT) er to generiske mål på henholdsvis et skips interne volum og bærekapasitet med tanke på vekt. Disse to målene blir brukt i modellen for å sette tekniske kriterier med tanke på vekt og volum ved hvert tiltak, som vist i Figur 5.8. Prinsippet er at skipene ikke kan anvende en nullutslipps-løsning som forutsetter energilagring ombord utover en gitt andel av GT eller DWT.

**Figur 5.8 Teknisk egnethet av hvert nullutslippstiltak blir vurdert med tanke på volum- og vektopptak. Hvert tiltak innebærer en endring i vekt på grunn av framdriftsmaskineri (med systemer), drivstoff og lagringssystem relativt til referansealternativet (tradisjonell løsning)**




Gitt et dimensjonerende energiforbruk per tur og installert effekt på hvert enkeltskip, som forklart i Steg 1, kan nødvendig volum- og vektopptak for hvert tiltak bli regnet ut. Videre må det bestemmes til hvilken grad volum- og vektbidrag fra framdriftsmaskineri og drivstofflagringssystem kan aksepteres for et skip.

Det ble observert at et stort flertall av skipene i utvalget har masse- og volumopptak (målt i tonn og kubikkmeter fra framdriftsmaskineri og drivstoff lagringssystem) som utgjør omkring 1-2 prosent av både DWT og GT gitt at de benytter det konvensjonelle drivstoffet MGO. Med bakgrunn i dette ble tekniske kriterier satt som anvist i Tabell 5.1.

**Tabell 5.1 Tekniske kriterier for bruk av nullutslippsteknologi om bord skip**

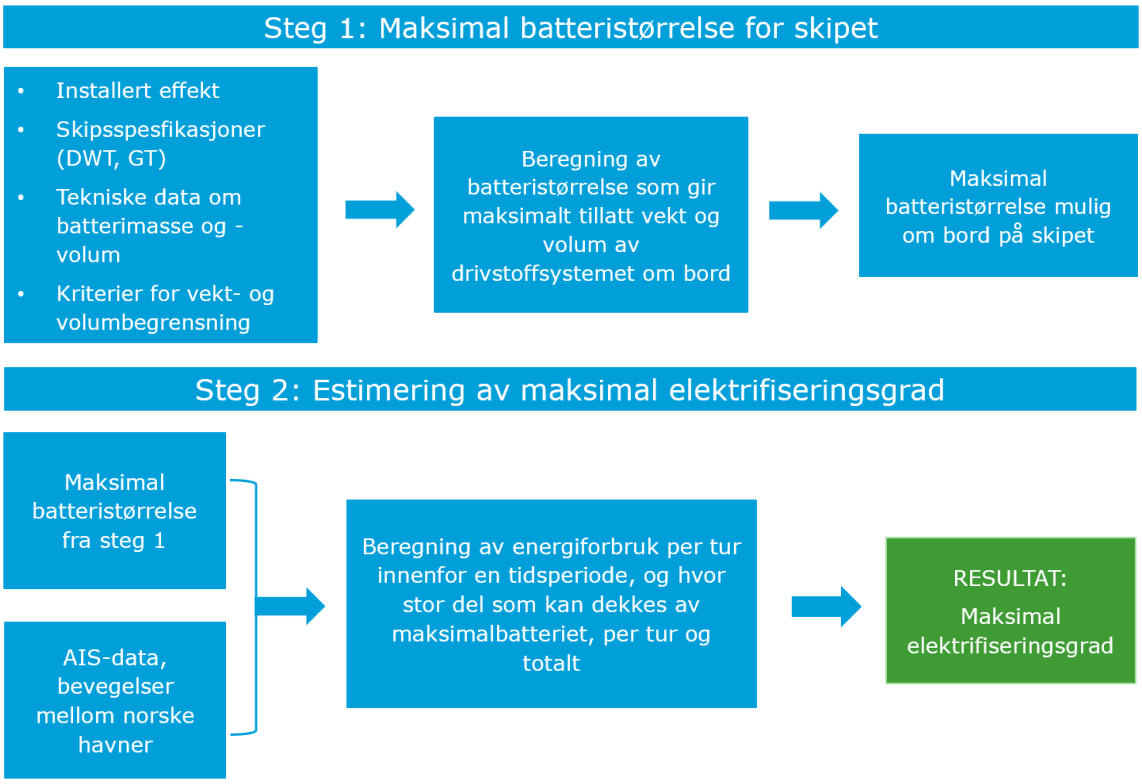
| | Volum | Masse |
|---|---|---|
| **Teknisk kriterium** | Volum målt i kubikkmeter kan maks ta opp volum tilsvarende 5 prosent av skipets GT. | Vekt målt i tonn kan maks ta opp 5 prosent av skipets DWT. |

De tekniske kriteriene vist i Tabell 5.1 innebærer at de fleste skip kan maksimalt bruke rundt tre ganger så mye volum og masse på framdriftsmaskineri og drivstoff lagringssystem, som et alternativ der konvensjonelt MGO blir brukt. Dette vil kunne påvirke muligheten for å ta last, og dermed påvirke lønnsomheten. Slike forhold er ikke vurdert i dette studiet.

**Delelektrisk drift**

Alle godsskip kan i prinsippet operere delelektrisk, forutsatt at strøm er tilgjengelig i havn og det kan installeres batteri om bord. Hvor stor del av energibehovet som kan dekkes av strøm avhenger av hvor stort batteri som installeres om bord, og hvor energikrevende overfartene mellom havneanløp er. For å bestemme dette, benytter vi som over skips- og AIS-data for de utvalgte skipene. Vurderingen gjøres også her i to steg, der det første innebærer å bestemme en maksimal batteristørrelse for hvert skip og det andre innebærer å estimere hvor stor andel av skipets samlede energibehov dette batteriet kan dekke. Skipene forutsettes å kunne lade i havn (ladestrøm), samtidig som forbruket mens skipene ligger i havn dekkes av landstrøm. Prinsippene for vurderingen i vist i Figur 5.9 og beskrevet nærmere nedenfor.

**Figur 5.9 Skjematisk oversikt over prosedyre for analyse av mulig elektrifiseringsgrad for skip**




*Steg 1: Maksimal batteristørrelse for skipet*

Det antas at batteriets masse og volum maksimalt kan oppta en viss andel av skipets DWT og GT. Disse maksimalandelene er vist i Tabell 5.1. Ved å bruke typiske energitettheter (per masse og volum) for maritime batterisystemer, finner vi dermed med utgangspunkt i hvert enkelt skips DWT og GT en maksimal batteristørrelse som kan installeres om bord. Dette er en forenklet tilnærming der målet er å knytte skipets størrelse til maksimal batteristørrelse, uten å ta hensyn til økonomien i tiltaket. Men flere andre parameter vil kunne være styrende for hvor stort batteri som kan installeres, for eksempel hvilken ladeeffekt som antas tilgjengelig i havnene (for å fylle batteriet med tilstrekkelig mengde elektrisk energi). Har batteriet 5 MWh kapasitet, og ladeeffekten er på 1 MW vil det ta 5 timer å fylle batteriet. Vi ser fra AIS at gjennomsnittlig oppholdstid i havn for skipene i analysen er rundt 10 timer. Skal det i havn betjenes flere skip med begrenset liggetid samtidig med både land- og ladestrøm, vil tilgjengelig effekt kunne bli en begrensning. Videre har det største kjente maritime batterisystemet

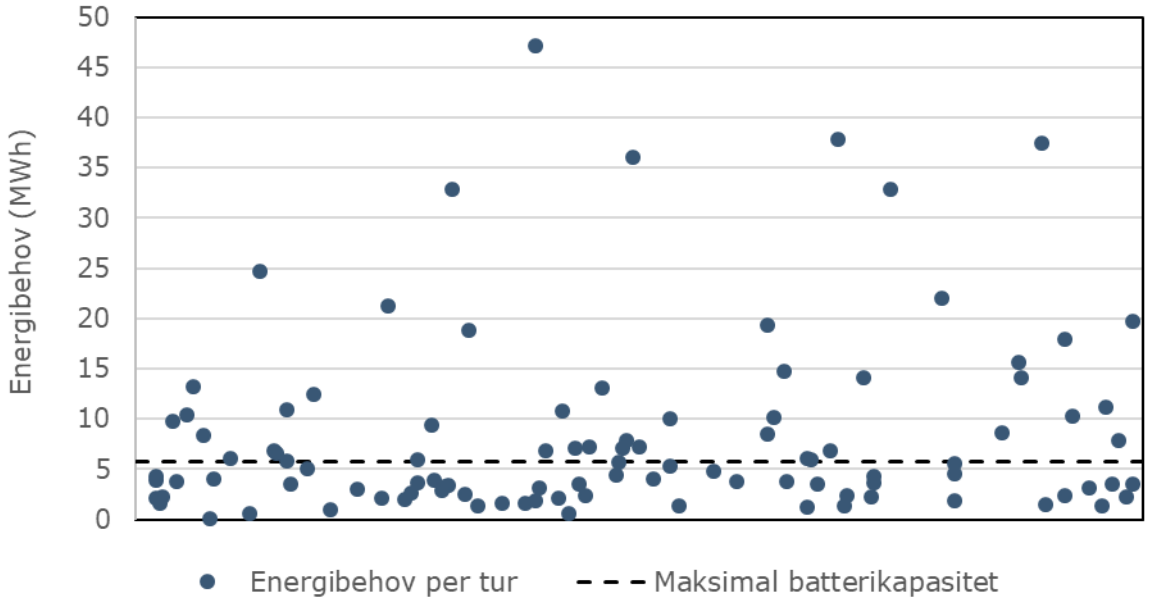
i dag en kapasitet på 10 MWh, og installeres på et cruiseskip i 2020[14]. På bakgrunn av disse momentene velger vi å sette maksimal batteristørrelse til 20 MWh.

*Steg 2: Estimering av maksimal elektrifiseringsgrad*

Som beskrevet tidligere finner vi fra AIS-data energibehovet til hver enkelt overfart mellom to havner gjennom ett år (2018) for hvert enkelt skip. Vi beregner hvor mye av hver tur som kan driftes elektrisk – med batteriet fra Steg 1 installert – og hvor mye som må driftes av forbrenningsmotor. Ved å legge sammen elektrisk forbruk for alle turene og se det opp mot totalt energiforbruk, estimerer vi slik hvilken maksimal elektrifiseringsgrad batteriet gir. I beregningen tas det hensyn til de ulike systemenes virkningsgrader, samt at ikke hele batteriets installerte kapasitet benyttes. Videre vil batteriet uavhengig av størrelse gi en reduksjon av drivstofforbruk på grunn av optimalisering av motorlasten, reduksjon av forbruk på hjelpemotorer etc. (hybrid drift). Hvor stor denne reduksjonen vil være, avhenger stort av skipets operasjonsmønster – her er det brukt en reduksjon på 5 prosent, som er antatt representativt for godsskip (DNV GL 2016). Beregnet elektrifiseringsgrad gjelder for skipets operasjon i overfart; forbruket i havn antas uansett å være elektrisk ved at det er dekket ved landstrøm. Det er viktig å merke seg at redusert drivstofforbruk og derav $CO_2$-utslipp alltid vil være høyere enn elektrifiseringsgraden, siden elektrifiseringen reduserer det totale energiforbruket på grunn av at virkningsgraden er høyere.

Figur 5.10 viser hvordan enkeltturer varierer i energibehov for et av skipene i analysen. Her er maksimal batteristørrelse i overkant av 5 MWh. En del av turene kan dekkes i sin helhet med dette batteriet, mens for mange turer vil batteriet kun dekke deler av overfarten. Samlet sett oppnås med batteriet for dette skipet en elektrifiseringsgrad på 20 %, beregnet som andel elektrisk forbruk av totalt energiforbruk for alle turene.

**Figur 5.10 Energibehov per tur og maksimal batterikapasitet for et utvalgt skip i analysen**

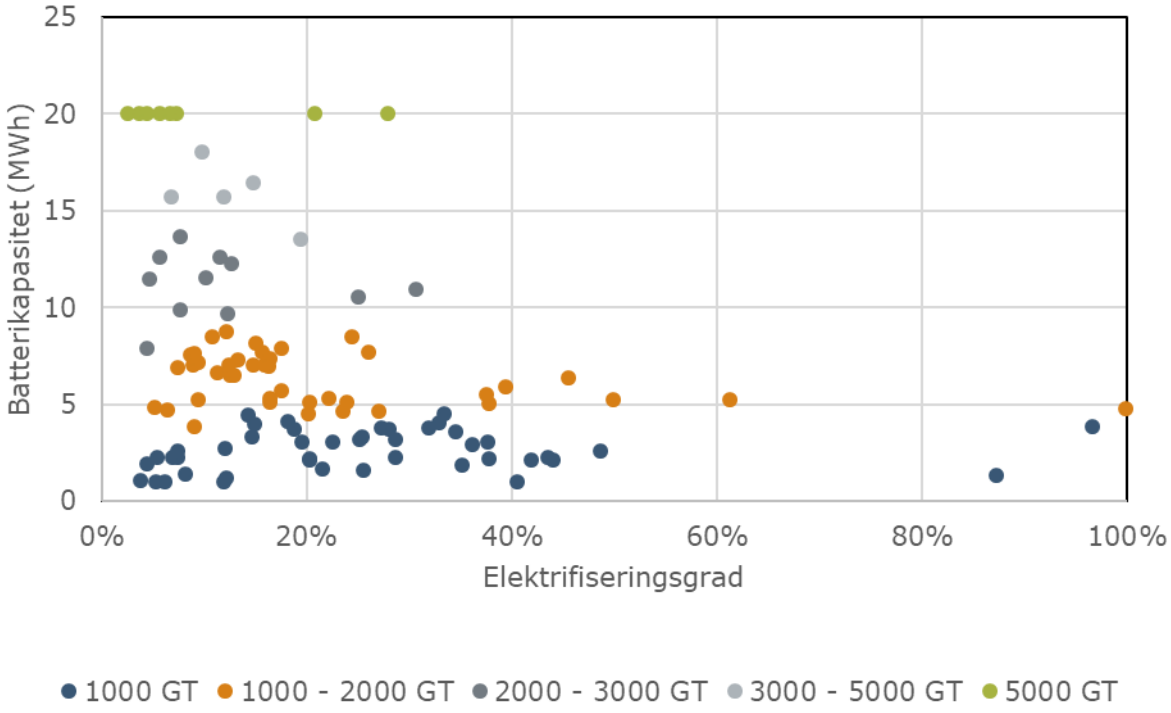



Figur 5.11 viser maksimal batterikapasitet og tilhørende elektrifiseringsgrad for skipene i analysen. Maksimal batterikapasitet følger noenlunde skipenes størrelse, mens elektrifiseringsgraden er størst for de minste skipene. De minste skipene har typisk under 5 MWh maksimal batterikapasitet, mens de nest minste ligger mellom 5 og

[14] https://www.maritime-executive.com/article/aidaperla-to-get-battery-system-in-2020 [16.01.20].

10 MWh. Kun de største skipene (over 5000 GT) når maksimalgrensen på 20 MWh batteri. Elektrifiseringsgraden varierer naturlig nok mye også innenfor hver størrelseskategori, siden skipene har svært ulike operasjonsmønster med korte og lange overfarter.

**Figur 5.11 Maksimal batterikapasitet og tilhørende elektrifiseringsgrad for skipene i analysen**




## 5.4. Beregning av kostnad og effekt

For skipene vi finner som teknisk egnede beregner vi merkostnaden sammenlignet med referanseskipet, som driftes med dieselmaskineri og MGO. Kostnader beregnes for i dag (2019), 2025 og 2030.

Kostnaden for hvert tiltak utgjøres i modellen av investeringskostnaden $\Delta CAPEX$ på det tidspunktet tiltaket innføres, samt drivstoffprisen og eventuelle erstatning av enkeltkomponenter (f.eks. brenselcellestabler[15]). Investeringskostnader og drivstoffpriser er beskrevet i kapittel 5.5. Investeringskostnaden er bestemt av dimensjonerende energimengde (enhetskostnaden for tank/batteri er typisk gitt per lagret energienhet) og installert effekt (enhetskostnaden for framdriftsmaskineri).

Årlig operasjonell merkostnad eller besparelse for et gitt fartøy er bestemt ved det årlige drivstofforbruket $D_{basis}$ uten tiltaket, årlig drivstofforbruk $D_{tiltak}$ med tiltaket, og differansen mellom drivstoffprisen p. Den årlige operasjonelle merkostnaden kan da uttrykkes slik:

$$\Delta OPEX = D_{tiltak} \cdot p_{tiltak} - D_{basis} \cdot p_{basis} \quad (1)$$

[15] *Kan også bli referert til som brenselcelle stacks.*

Det er ikke tatt hensyn til eventuelle operasjonelle besparelser ved skifte av framdriftssystem, som for eksempel redusert behov for vedlikehold, da vi ser at energiprisen er den store driveren for de operasjonelle kostnadene.

I tillegg vil det tilfalle en merinvestering for enkelte komponenter $n$ ganger i løpet av tiltaket levetid, der $n$ er et heltall, bestemt av den tekniske levetiden for komponenten ($t$) og tiltakets levetid ($T$). Dette gjelder for battericeller og brenselcellestabler, som er forutsatt å ha en teknisk levetid på henholdsvis $t$=10 år og $t$=5 år. Etter endt teknisk levetid må disse erstattes. For brenselceller innebærer det at halvparten av den opprinnelige investeringskostnaden (dette omfatter brenselcellestablene) må tas på nytt hvert femte år, mens battericellekostnaden (noe over halvparten av total investeringskostnad for batteriinstallasjonen) må tas på nytt etter 10 år. Denne «fornyingen av tiltaket» modelleres som en operasjonell merkostnad innenfor tiltakets levetid $T$:

$$\sum_{0<n<\frac{T}{t}} \Delta CAPEX\ (komponent)_{x+n\cdot t} \tag{2}$$

Netto nåverdi av investeringen gjort i år x er gitt av:

$$NNV_x = \Delta CAPEX_x + \sum_{i\leq T} \frac{\Delta OPEX}{(1+r)^i} + \sum_{0<n<\frac{T}{t}} \frac{\Delta CAPEX(komponent)_{x+n\cdot t}}{(1+r)^{n\cdot t}} \tag{3}$$

Dette er en standard nåverdiberegning over tiltakets levetid $T$=20 år med rente $r$=7,7 prosent.[16] Tiltakskostnaden, eller kostnadseffektiviteten, blir beregnet for hvert skip. Denne vil være nåverdien (3), dividert på total utslippsreduksjon i hele perioden tiltaket har effekt:

$$TK = \frac{NNV_x}{T \cdot \Delta E} \tag{4}$$

Her er $\Delta E$ årlig reduksjon i $CO_2$-utslipp. Samlet tiltakskostnad for en samling med skip, enten hele flåten eller et utvalg uttrykkes som en vektet gjennomsnittlig tiltakskostnad:

$$TK_{total} = \frac{\sum_{alle\ skip} TK_{skip} \cdot \Delta E_{skip}}{\sum_{alle\ skip} \Delta E_{skip}} \tag{5}$$

## 5.5. Input

### 5.5.1. Investeringskostnader ombord

Kun merkostnaden (relativt til konvensjonelt skip) av hvert nullutslippstiltak blir beregnet. Investeringskostnader for hvert nullutslippstiltak kan bli fordelt på framdriftsmaskineri og lagring av drivstoff. For lagring er kostnaden basert på mengde energi lagret (NOK/GJ), mens for framdriftsmaskineri er kostnad basert på effekt (NOK/kW). Investeringskostnader for hvert nullutslippstiltak er hentet fra kilder som b.la. Raucci (2017), Saito (2018) og Batelle (2017).

---

[16] *Denne rentesatsen er brukt av Miljødirektoratet (2018a) i bedriftsøkonomiske analyser som bakgrunn for potensiell miljøavtale med $CO_2$-fond.*

En viktig antagelse for investeringskostnader ombord er at $NH_3/H_2$ forbrenningsmotorer regnes for å være tilgjengelige i 2025 og har tilsvarende pris som dagens maritime firetaktsmotorer som går på naturgass. Siden $NH_3/H_2$ forbrenningsmotorer så langt ikke har blitt levert kommersielt, er det usikkerheter når det gjelder disse prisene. I tillegg er det antatt at investeringskostnad på batteri- og brenselceller reduseres noe mot 2030. For skip som er batterielektriske eller benytter seg av brenselceller for framdrift inkluderer investeringskostnaden en inverter og elektrisk motor. For redundans er alle nullutslippstiltak påkostet en ekstra drivstofftank (for konvensjonelt drivstoff) med en passende energikonverter, avhengig av hvilken teknologi som blir anvendt.

### 5.5.2. Energipriser

Alle prisprognoser brukt som input til modellen er utledet fra Miljødirektoratet (2019), med unntak av flytende hydrogen og ammoniakk. En omfattende litteraturstudie[17] ble gjennomført for å kartlegge pris på flytende hydrogen og ammoniakk. Med referansepunkt i prisen på komprimert hydrogen fra Miljødirektoratet (2019), er pris på ammoniakk og flytende hydrogen estimert.

Prisprognoser viser at MGO er billigere i hele den aktuelle tidsperioden (per energienhet) sammenlignet med de andre drivstoffene som er evaluert i dette studiet, bortsett fra strøm. Som følge har alle nullutslippstiltak et høyere OPEX kostnadsbidrag fra drivstoff. Flytende hydrogen og ammoniakk er konsekvent dyrere enn komprimert hydrogen. Dette skyldes blant annet at flytendegjøring av hydrogen og ammoniakksyntese er energikrevende prosesser som øker prisen. En antagelse som ligger bak antatte priser er at storskala produksjon og distribusjon av hvert drivstoff er på plass og har forbigått pilotfase i 2025. Med unntak av MGO antas det at de alternative drivstoff har blitt produsert ved hjelp av fornybare ressurser.

[17] *Internt DNV GL litteraturstudie angående kostnad av hydrogen (flytende og komprimert) og ammoniakk*

# 6. Teknologisk modenhet i sjøtransport

## 6.1. Modenhet i dag og mot 2030

Overordnet antar vi at ammoniakk- og hydrogendrift er mulig i 2025, mens de øvrige teknologiene antas anvendbare i dag, riktignok med begrensninger i drivstofftilgjengelighet. Under følger en kort diskusjon rundt modenhet for de enkelte teknologiene. For flere detaljer om modenhet og opptak for de enkelte teknologiene henvises til b.la. DNV GL (2019b, c) og nettportalen *Alternative fuel Insight*.[18] I DNV GL studie «Maritime forecast to 2050», omtales flere av disse teknologien i mer detalj (DNV GL 2019b).

### 6.1.1. Elektrifisering/batteridrift

Batteridrift på skip i dag foregår i stor grad som hybriddrift, altså som drivstoffbesparende tiltak om bord der batteriene brukes til å optimalisere energiforbruket om bord. En del av systemene er også tilrettelagt for å lades med strøm fra land (*plug-in hybrid*)[19]. Mens ferjer i Norge i stor grad har en operasjonsprofil som gir gode forutsetninger for (tilnærmet) helelektrisk drift på batterier, er dette langt mer utfordrende for godsskip. Dette er både fordi lengre og mer energikrevende turer gjør det nødvendig med et stort batteri om bord, og fordi skipene anløper mange ulike havner der det ikke nødvendigvis er ladeinfrastruktur på plass. Mens flere og flere havner får bedre og bedre kapasitet for å levere strøm til skipet mens det ligger i havn (landstrøm), gir ikke dette per i dag nødvendigvis tilstrekkelig kapasitet for å muliggjøre lading av batterier samtidig (tilgang til ladestrøm). Det forventes imidlertid en utbygging av nettkapasitet til lading i norske havner framover, blant annet fordi store passasjerskip (som Kystruten Bergen-Kirkenes) vil seile delvis på batterier ladet med strøm fra land.

Framover mot 2030 kan det forventes en økning i energitetthet for batterier, men som Figur 5.4 viser vil energitettheten måtte mangedobles før batterier i energitetthet er på linje med de andre drivstoffalternativene. Derfor vurderes helelektrisk drift på godsskip innenfor denne perioden å være forbeholdt enkelte skip som går i faste ruter med kortere overfarter, og ikke den store flåten med godsskip med svært varierende operasjonsprofiler og med anløp i ulike havner. For disse er det mer aktuelt med delelektrisk drift. Det er over 370 skip med batterier i operasjon eller i ordre på verdensbasis.[20] Av disse er over halvparten ikke-ladbare hybrider, fulgt av ladbare (plug-in) hybrider og fullelektriske fartøyer. Ferger og offshore-fartøyer dominerer i dette bildet, men flere av godsskiptypene har startet å ta opp batterier (hybrid variant).

### 6.1.2. Biodiesel (HVO)

Biodiesel eksisterer i mange varianter, basert på ulike produksjonsmåter. Førstegenerasjons biodiesel – som FAME[21] er et eksempel på - framstilles med en enklere metode enn andregenerasjons biodrivstoff, som for eksempel HVO[22]. For andregenerasjons biodrivstoff er produksjonsprosessene dyrere og mer komplekse, sammenlignet med førstegenerasjons biodrivstoff. I denne analysen ser vi kun på *avansert HVO*, slik det er definert av Miljødirektoratet[23]. Innenfor skipsfarten benyttes HVO per i dag på enkelte ferjer, på grunn av utslippskravene i anbudet. HVO fungerer som et såkalt drop in-drivstoff, noe som innebærer at det kan benyttes

---

[18] *https://www.dnvgl.com/services/alternative-fuels-insight-128171 [30.09.19].*
[19] *https://afi.dnvgl.com gir en oppdatert oversikt over maritime batteriinstallasjoner globalt [30.09.19].*
[20] *DNV GL, https://www.dnvgl.com/services/alternative-fuels-insight-128171 [25.10.19].*
[21] *FAME: Fatty acid methyl esters.*
[22] *HVO: hydrotreated vegetable oil.*
[23] *http://tema.miljodirektoratet.no/no/Tema/Energi/Biodrivstoff/Fakta-om-biodrivstoff/ [30.09.19].*

på marine dieselmotorer med små eller ingen tekniske tilpasninger av maskineri og drivstoffsystem. Dermed kan de uten investeringskostnader benyttes på skipene slik de er i dag, og merkostnaden vil kun være bestemt av prisen på drivstoffet. Framover mot 2030 vil utbredelsen bestemmes av eventuelle utslippskrav, tilgjengelighet på store nok volumer til skipsfarten og konkurransedyktigheten til drivstoffet sammenlignet med alternativene.

### 6.1.3. Biogass

Tilsvarende HVO som kan benyttes på dieselmotorer, kan biogass benyttes på skip som i dag driftes med LNG (flytende naturgass). Slik kan innblanding av biogass i LNG være et godt alternativ for en gradvis avkarbonisering av skipsfarten. I den forbindelse kan det nevnes at Hurtigruten har inngått en langtidskontrakt med det Skogn-baserte selskapet Biokraft om leveranse av miljøvennlig biogass[24] som drivstoff. I likhet med HVO vil utbredelsen av biogass mot 2030 bestemmes av tilgjengelighet og pris sammenlignet med alternativene når det gjelder drivstoff.

### 6.1.4. Hydrogen

Bruk av hydrogen som drivstoff på skip er fortsatt på tidlig stadium, men kommersiell drift av hydrogenferger (med statlige støtteordninger) er planlagt i nær framtid[25]. Barrierer for å ta i bruk hydrogen som drivstoff på skip er sikkerhetsutfordringer relatert til lagring og håndtering av hydrogen, lav tilgjengelighet på drivstoffet, høye investeringskostnader og høye operasjonelle kostnader og drivstoffpriser. I dag pågår en mengde utviklingsløp særlig innen ferje- og passasjerskipssegmentet. Vi forutsetter i denne analysen at hydrogendrift for godsskip vil være teknologisk mulig før 2025. Hydrogen kan benyttes på skipet i forbrenningsmotor eller brenselcelle, og lagres om bord som komprimert gass eller i flytende form.

Vi forutsetter i denne analysen at hydrogen for å være karbonnøytral energibærer er produsert ved elektrolyse eller gassreformering med karbonfangst. Hydrogenprisen vi benytter i denne analysen er imidlertid beregnet for produksjon med elektrolyse – denne er noe høyere enn prisen ved gassreformering med karbonfangst og dermed en noe konservativ antagelse.

### 6.1.5. Ammoniakk

Blant annet på grunn av høye investeringskostnader for hydrogenteknologi og utfordringer knyttet til energitetthet og lagring av drivstoffet om bord, er ammoniakk løftet fram som en alternativ hydrogenbærer for marint bruk (f.eks. DNV GL 2019b; OECD 2018). Det foregår utviklingsarbeid som innen få år er ventet å gi motorer som kan brenne ammoniakk.[26] I tillegg eksisterer det infrastruktur for skipstransport av ammoniakk. Som for hydrogen har vi ved estimat av ammoniakkprisen tatt utgangspunkt i at produksjonen foregår ved elektrolyse. Både for hydrogen og ammoniakk vil utbredelsen innen 2030 være avhengig av tilstrekkelig produksjonskapasitet.

---

[24] *https://www.tu.no/artikler/hurtigruteskipene-skal-ga-pa-biogass/466016 [30.09.19].*
[25] *https://www.tu.no/artikler/norled-skal-bygge-hydrogenferge-nummer-to/465145 [30.09.19].*
[26] *https://nh3fuelassociation.org/wp-content/uploads/2018/12/0900-Ammonia_vision-Rene-Sejer-Laursen-MAN.pdf [30.09.19].*

# 7. Bedriftsøkonomiske kostnader i sjøtransport

Dette kapittelet presenterer beregnede bedriftsøkonomiske kostnader for de analyserte tiltakene for sjøtransport. Delkapittel 7.1 presenterer resultater for nullutslippsteknologiene, mens resultatene for delelektrifisering er presentert i delkapittel 7.2.

## 7.1. Nullutslippsteknologi

Tabell 7.1 viser vektet gjennomsnittlig bedriftsøkonomisk tiltakskostnad per i dag (2019), 2025 og 2030 for den analyserte flåten. Da antall skip er begrenset, har vi valgt å beregne gjennomsnittlig tiltakskostnad for hele godsskipsflåten, som vist i Tabell 7.1 (se ligning 5). Dette er en statistisk flåtetilnærming, hvor det vil være forskjeller i tiltakskostnader for godsskipene som inngår. De rapporterte tallene i tabellen gir derfor ikke grunnlag for skipsspesifikke sammenligninger.

De bedriftsøkonomiske resultatene viser at nullutslippsteknologiene gir en betydelig merkostnad sammenlignet med konvensjonell drift. Bortsett fra elektrisitet er alle energibærerne dyrere i drift enn MGO – i tillegg kommer investeringskostnaden.

Overordnet øker tiltakskostnaden noe over tid for biodiesel og -gass, grunnet økende drivstoffpris. Videre reduseres kostnadene over tid for ammoniakk og hydrogen noe på grunn av reduserte drivstoffkostnader over tid. Kostnaden for batteridrift reduseres også på grunn av lavere investeringskostnader utover i perioden. Biodiesel og biogass kommer jevnt over billigere ut enn de øvrige alternativene. Blant hydrogenteknologiene er gassmotor billigst, og flytende lagring er dyrere enn komprimert.

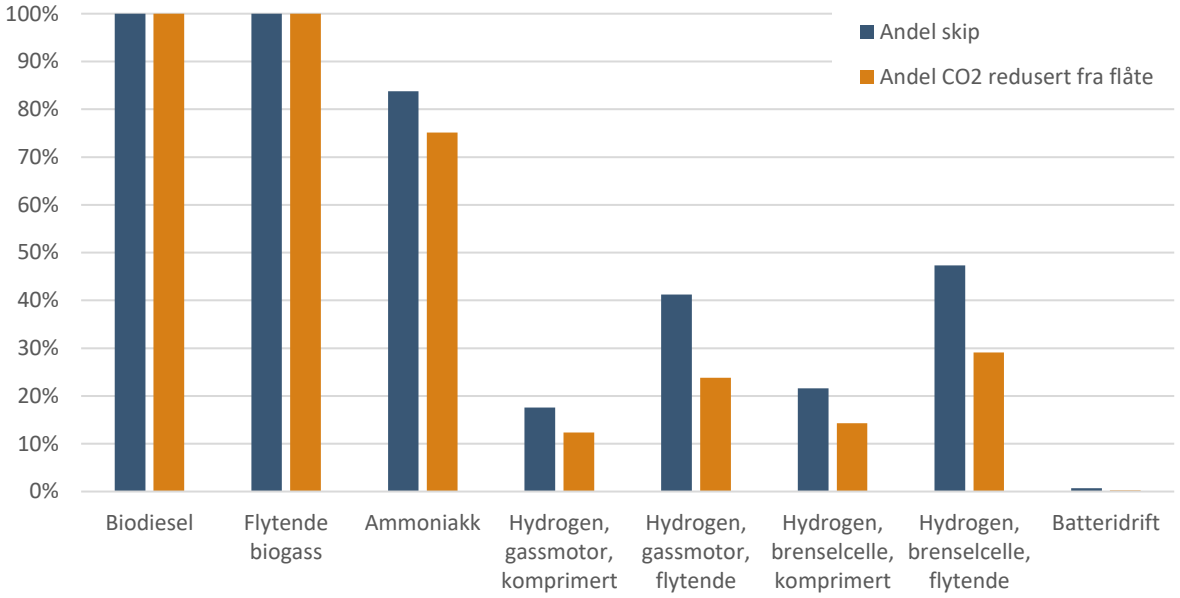
**Tabell 7.1 Bedriftsøkonomisk tiltakskostnad for nullutslippstiltak på godsskip i 2019, 2025 og 2030. Kostnad er gitt i kr per tonn $CO_2$ redusert over levetiden. Kun godsskip med mer enn 80 prosent av tiden i norske farvann er analysert. Ammoniakk- og hydrogendrift er antatt ikke teknisk tilgjengelig i 2019**

| År | Bio-diesel | Flytende biogass | Ammoniakk | Hydrogen, gassmotor, komprimert | Hydrogen, gassmotor, flytende | Hydrogen, brenselcelle, komprimert | Hydrogen, brenselcelle, flytende | Ren batteridrift (helelektrisk) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **2019** | 1010 | 1192 | - | - | - | - | - | 2433 |
| **2025** | 1137 | 1325 | 1754 | 1470 | 1994 | 2139 | 2746 | 1941 |
| **2030** | 1170 | 1374 | 1695 | 1415 | 1929 | 1837 | 2381 | 1931 |

Kostnadene må imidlertid også sees opp mot det tekniske reduksjonspotensialet, illustrert i Figur 7.1. Helelektrisk drift er funnet teknisk gjennomførbar kun på ett av skipene i utvalget. Hydrogendrift er mulig på 18-47 prosent av skipene, avhengig av teknologi (flytende har større anvendelsesområde enn komprimert, drift på brenselcelle noe større enn drift på gassmotor), mens ammoniakk er anvendelig på over 80 prosent av skipene i vårt utvalg.

Det bemerkes igjen at reduksjonspotensialet avhenger av at drivstoffene er tilgjengelige i tilstrekkelige mengder og med tilhørende infrastruktur. Det bemerkes også at anvendeligheten av drivstoffalternativene vil kunne økes betydelig dersom de inngår i hybrid-konfigurasjoner.

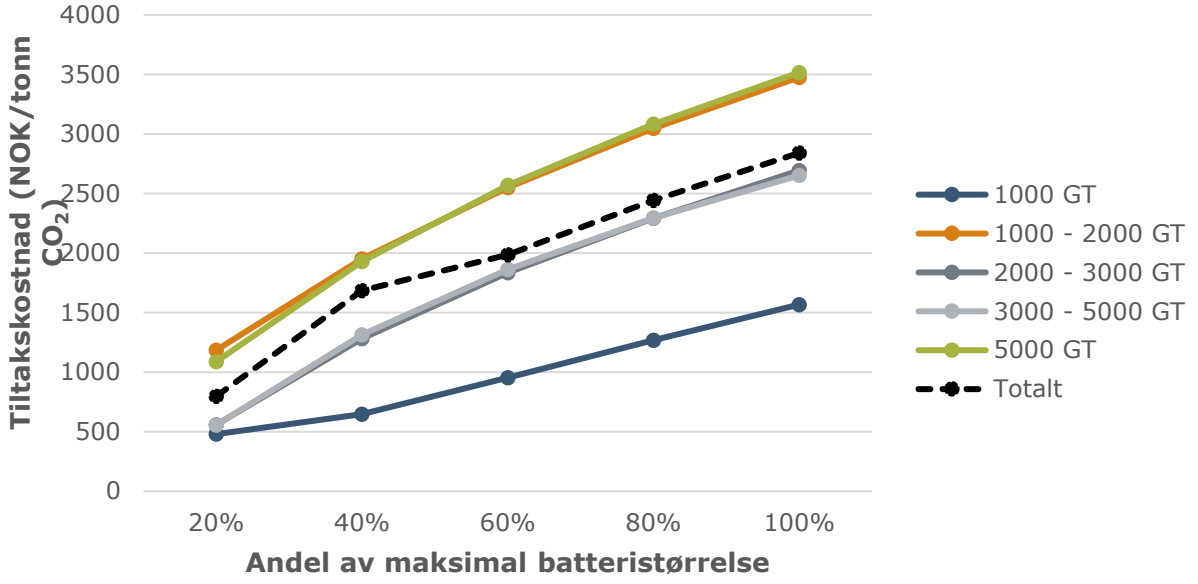
**Figur 7.1 Andel godsskip der teknologien er teknisk anvendbar, og tilhørende andel $CO_2$ redusert fra disse skipene (148 skip med over 80 prosent av tiden i norske farvann)**



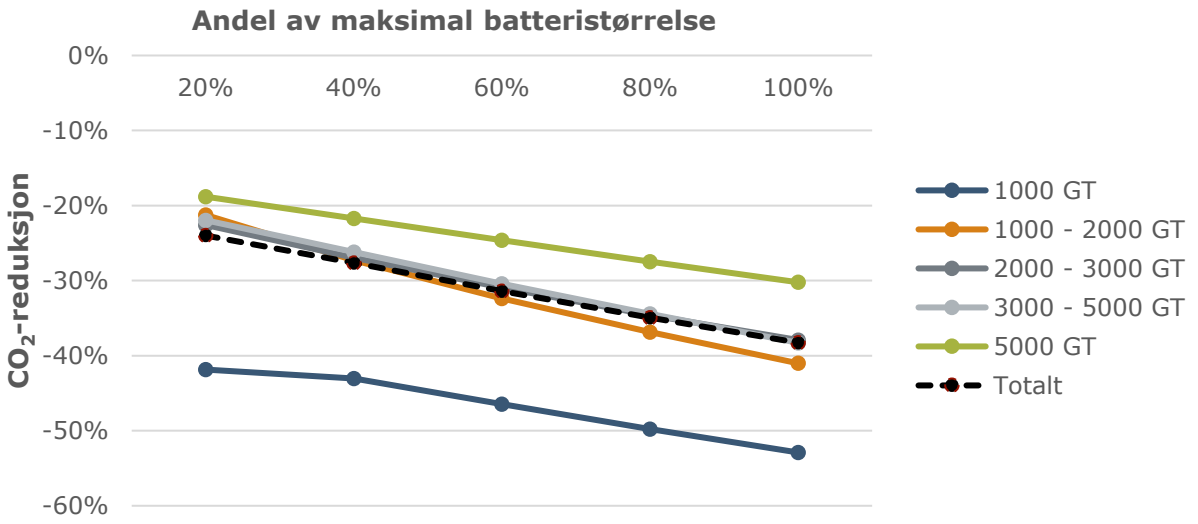

## 7.2. Delelektrifisering

Med tilnærmingen beskrevet i kapittel 5.3.2 finner vi maksimal elektrifiseringsgrad for hvert skip. Det er imidlertid ikke nødvendigvis slik at maksimal elektrifiseringsgrad gir den laveste kostnaden. For å analysere dette estimerer vi kostnader ved ulike andeler av maksimal elektrifiseringsgrad. Vi tenker oss at vi installerer batteri på henholdsvis 20 %, 40 %, 60 %, 80 % og 100 % av maksimal batteristørrelse, og estimerer kostnader for disse nivåene av elektrifisering. Figur 7.2 viser beregnede tiltakskostnader for disse ulike nivåene, og tilhørende $CO_2$-reduksjon i Figur 7.3. Tiltakskostnaden er et vektet gjennomsnitt for alle skipene i den aktuelle størrelseskategorien. Vi ser at tiltakskostnaden er relativt jevnt stigende med økt batteristørrelse. Dette har sammenheng med at en allerede ved et mindre batteri og landstrømstilkobling (energieffektivisert drift om bord og utslippsfri havneoperasjon) oppnår en signifikant utslippsreduksjon, mens en økning i batteristørrelse ikke gir proporsjonal økning i utslippsreduksjon. De største $CO_2$-utslippsreduksjonene finner vi videre for de minste skipene.

**Figur 7.2 Beregnede tiltakskostnader for ulike andeler av maksimal batteristørrelse (år 2019)**




**Figur 7.3 Beregnet $CO_2$-reduksjon for ulike andeler av maksimal batteristørrelse**




Vi viser i Tabell 7.2 tiltakskostnader sammenfattet for flåten for de tre årene, for to ulike nivå av elektrifisering. Elektrifiseringsgraden som gir lavest kostnad gir en $CO_2$-reduksjon på 25 %, mens maksimal elektrifiseringsgrad gir 38 % reduksjon.

**Tabell 7.2 Bedriftsøkonomisk tiltakskostnad for delelektrifisering av godsskip i 2019, 2025 og 2030, ved to ulike elektrifiseringsnivå. Kostnad er gitt i 2019-kr per tonn $CO_2$ redusert over levetiden. Kun godsskip med mer enn 80 prosent av tiden i norske farvann er analysert.**

| År | Elektrifiseringsgrad som gir lavest kostnad, 2019-kr | Maksimal elektrifiseringsgrad, 2019-kr |
|---|---|---|
| **2019** | 870 | 2841 |
| **2025** | 671 | 2292 |
| **2030** | 663 | 2284 |

# 8. Referansealternativet

Referansealternativet skal reflektere forventet implementering av nullutslippsløsninger for godsskipene analysert i denne rapporten, dvs. implementering som vi med rimelighet kan forvente uten ytterligere virkemiddelbruk. Hovedgrunnlaget for denne vurderingen er arbeidet gjort for Miljødirektoratet i DNV GL (2018b). Det foregår i dag flere relevante utviklingsprosjekter innen nullutslipp for godsskip:

- Pilot-E-prosjektene som har fått tilsagn fra Enova for 2018 inkluderer blant annet Samskip AS som skal utvikle og realisere containertransport på sjø med hydrogen og brenselceller.[27]
- Pilot-E-tildelingen for 2019 gikk blant annet til prosjekter innen leveransekjeder for hydrogen til maritim sektor.[28]
- Yara Birkeland er et helelektrisk containerskip som skal gå i fast rute mellom Herøya og Brevik/Larvik, og vil etter planen starte testseiling i 2020.
- Hydro har en pilot under Grønt Skipsfartsprogram der de undersøker mulighetene for å anvende hydrogen som drivstoff for skipstransport av aluminium mellom fabrikker på Vestlandet og markedet i Europa.
- ASKO har en pilot under Grønt Skipsfartsprogram for nullutslipps godstransport over Oslofjorden.

I tillegg er det pågående initiativer innen hydrogendrift av ferjer og hurtigbåter i regi av Vegdirektoratet og fylkeskommuner som vil kunne senke terskelen for bruk av hydrogen også for andre skipstyper. Til tross for dette er det høyst usikkert om det vil realiseres nullutslippsløsninger i dette segmentet, kanskje med unntak av Yara Birkeland, som er under bygging. De bedriftsøkonomiske resultatene i kapittel 7 viser at nullutslipps-teknologiene gir en betydelig merkostnad sammenlignet med konvensjonell drift, og denne merkostnaden vil måtte dekkes. Dette impliserer at nullutslippsteknologiene ikke vil være lønnsomme og en kan ikke forvente stort opptak av disse, selv med betydelig investeringsstøtte.

Referansealternativet for godsflåten vil følgelig være et fåtall (<5) nullutslippsskip realisert i 2030, med resterende skip på MGO eller LNG. Det vil imidlertid være et betydelig innslag av hybrid drift og landstrøm, noe som gir en mindre utslippsreduksjon. For at elektrifisering skal gi store utslippsreduksjoner for flåten som helhet vil det kreve svært store batterier, som innenfor tidshorisonten vil ha en høy kostnad.

[27] *https://www.enova.no/pilot-e/tilsagn-gjennom-pilot-e-i-2018-er-klare/ [30.09.19].*
[28] *https://www.innovasjonnorge.no/no/om/nyheter/2019/pilot-e-tildeling/ [16.01.20].*

# 9. Drøfting av usikkerhet og sensitiviteter

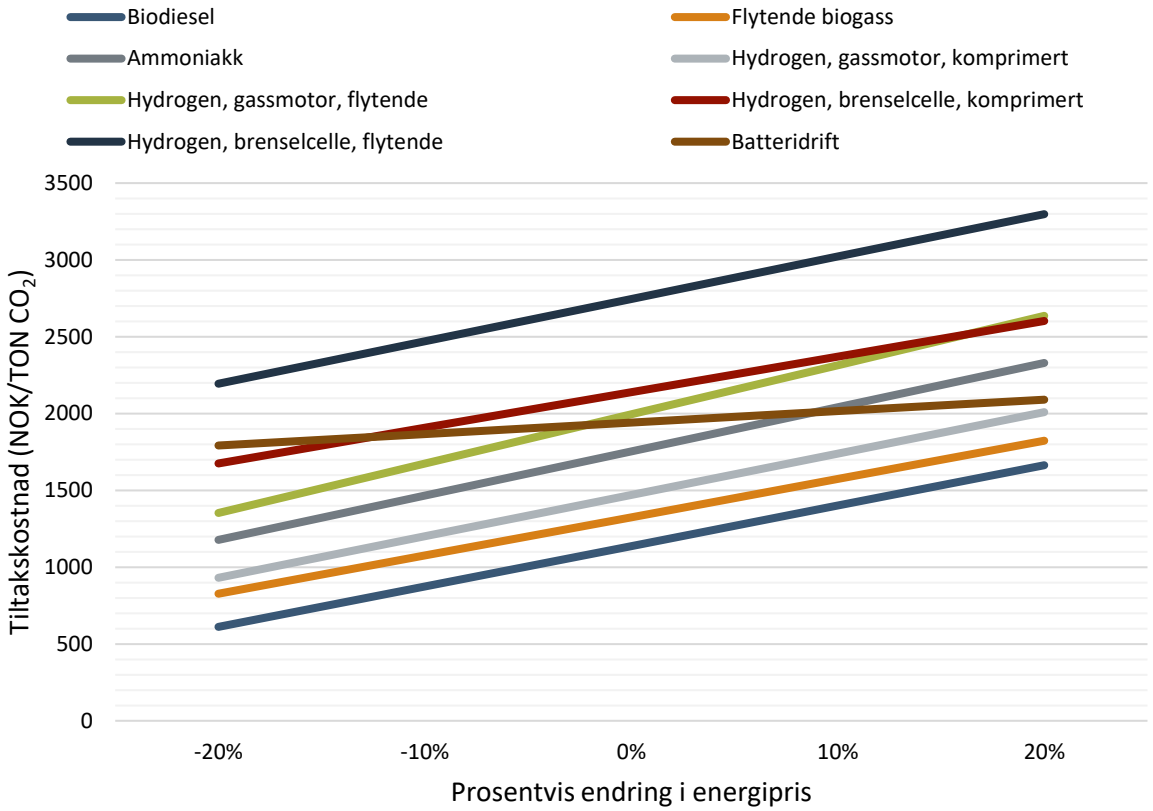
Den gjennomførte modelleringen av kostnader for nullutslippstiltak rettet mot godsskip inneholder en rekke antagelser og usikkerheter. Gjennom ulike usikkerhets- og sensitivitetsanalyser har vi undersøkt i hvilken grad endring av sentrale inngangsdata og antagelser påvirker tiltakskostnadene (Tabell 7.1) og det tekniske potensialet for opptak i flåten (Figur 7.1). Nedenfor omtaler vi kort de utførte usikkerhets- og sensitivitets-analysene, hvor vi har endret drivstoff- og teknologipriser, samt justert tekniske kriterier for opptak. Vi drøfter også usikkerhet i AIS-baserte beregninger.

## 9.1. Drivstoffpriser

Det vil være usikkerhet knyttet til faktisk pris på alternative drivstoffer levert til det maritime markedet ulike steder i landet. At det er stor usikkerhet tilknyttet drivstoffprisene, er noe vi også erfarer i vår dialog med aktører i maritim næring. Flere av alternativene, som ammoniakk og hydrogen er ikke i bruk i dag, og det vil derfor knytte seg spesielt mye usikkerhet til framtidig priser for disse.

For å kunne studere effekten av endring i drivstoffpriser, har vi perturbert en og en drivstoffpris med +/- 20 prosent mens vi holder MGO-prisen uendret. Fra Figur 9.1 kan man se påvirkningen energi/drivstoffpris har på tiltakskostnaden for hvert av tiltakene. For nullutslippsalternativene som involverer biodiesel, ammoniakk, flytende biogass og hydrogen med gassmotor (flytende eller komprimert hydrogen), så ser man at prisen på drivstoff har en stor påvirkning på tiltakskostnadene. For eksempel vil tiltakskostnaden til biodieselalternativet synke med 46 prosent dersom prisen på biodiesel reduseres med 20 prosent. Man kan også se at alternativene som inkluderer komprimert hydrogen med brenselcelle eller spesielt batterielektrisk drift er minst sensitive til endring i energiprisen (dvs. hydrogen- og strømpris). Dette skyldes blant annet at disse alternativene har høy energivirkningsgrad sammenlignet med forbrenningsmotorer, og dermed relativt lavt energiforbruk i forhold til de andre alternativene.

**Figur 9.1 Variasjon av tiltakskostnader ved endring av drivstoffpriser relativt til referansecase i 2025. For hvert tiltak er det prisen på det aktuelle drivstoffet som er endret, mens MGO-prisen holdes uendret.**




## 9.2. Framtidig utvikling av batterier og brenselceller

En viktig input til modellen for nullutslippstiltakene for hydrogen og batteri, er framtidig prisutvikling for batterier og brenselceller. En framtidig reduksjon i pris er tatt høyde for i modellen, men det er usikkerheter knyttet til hvor stor denne reduksjonen kommer til å være. Forutsetter man en mer optimistisk prisreduksjon på battericeller fram mot 2030 på 50 prosent relativt til 2019-nivå (i stedet for 17 prosent slik antatt i referansecase), vil tiltakskostnaden for batterielektriske skip reduseres med 54 prosent i 2030. Dette synliggjør at for batterielektriske skip er tiltakskostnaden som forventet sensitiv til antatt prisbane på battericeller. Til tross for dette vil det fremdeles være tekniske begrensninger for implementering av batteriteknologi, og batteridrift vil kun være aktuelt for et svært begrenset antall skip med lavt energilagringsbehov.

Opptak av brenselceller i ulike sektorer (ikke bare den maritime) vil trolig drive ned prisen på brenselceller i framtiden. Dette vil være viktig for tiltakskostnaden for skip som bruker brenselcelleteknologi. Dersom man antar en større reduksjon for brenselcellekostnaden fra 2019 til 2030 enn antatt i referansecase (60 prosent i stedet for 45 prosent), vil tiltakskostnaden for begge nullutslippstiltakene med brenselceller gå ned med ca. 15 prosent. I likhet med battericeller, er det også tekniske vekt- og volumbegrensninger som gjør at nullutslippstiltak med hydrogen og brenselceller kun er aktuelt for et begrenset antall skip. Dette er først og fremst på grunn av den lave energitettheten til hydrogendrivstoff (ref. til Figur 5.4), og ikke vekt- og plassbehov til selve brenselcellene.

## 9.3. Lagringskostnader

For noen av tiltakene, vil tiltakskostnadene påvirkes av prisen på tankarrangementer med tilhørende systemer for lagring av drivstoffene. Dette er spesielt tilfelle for tiltakene som innebærer lagring av hydrogen som drivstoff, som er generelt sett dyrere enn andre alternative energilagringsformer (sett bort ifra batterier). Gitt en

teknologiutvikling og høyere produksjonsvolum av hydrogenlagringsenheter (både for flytende og komprimert hydrogen) er det grunn til å tro at hydrogenlagringskostnader vil synke. Dersom man antar en prisnedgang på 25 prosent hvert 5. år mellom 2019 og 2030 i hydrogenlagringskostnader for komprimert og flytende, vil tiltakskostnaden reduseres med henholdsvis 2,4 prosent og 0,4 prosent i forhold referansecasen der lagringskostnad er konstant. Dette er en indikasjon på at lagringskostnader ikke er den mest vesentlige kostnaddsdriveren for hydrogen som nullutslippstiltak. En årsak til dette er at siden bruk av hydrogen som drivstoff kun tilfredsstiller tekniske krav (ref. til Tabell 5.1) for et begrenset antall skip med lavt energiforbruk pr. tur, så er tiltakskostnad basert på skip som ikke i utgangspunktet har så mye behov for energilagring.

## 9.4. Tekniske kriterier for teknisk anvendelighet

Slik beskrevet i delkapittel 5.3.2, ble tekniske kriterier satt for implementering av nullutslippsteknologier om bord i de utvalgte skipene. Disse kriteriene er knyttet til vekt og volum av framdriftsmaskineri og energilagring (inkludert selve drivstoffet). Dersom man tillater en dobling av vekt- og volumopptak (Tabell 5.1) slik at man har et tillatt volum tilsvarende 10 prosent av GT og vekt tilsvarende 10 prosent av DWT, får man et sterkt utslag på andelen skip hvor nullutslippstiltak tilfredsstiller tekniske kriterier. Dette er vist i Tabell 9.1. Spesielt for hydrogen (flytende), hydrogen (komprimert) og til en mindre grad ammoniakk, øker andelen skip som oppfyller tekniske krav betraktelig dersom man tillater et høyere vekt- og volumopptak. En liten forbedring merkes også for det batterielektriske alternative, men selv med et høyere tillat volum- og vektopptak, er det kun 3 prosent av skipene som kan ha batterielektrisk framdrift.

**Tabell 9.1 Andel skip som tilfredsstiller tekniske krav for anvendelse av hvert nullutslippstiltak**

| Nullutslippstiltak | Andel skip som tilfredsstiller tekniske krav | |
|---|---|---|
| | 5%, 5% (GT, DWT) | 10%, 10% (GT, DWT) |
| Komprimert hydrogen m/ brenselcelle | 29% | 76% |
| Komprimert hydrogen m/ forbrenningsmotor | 23% | 68% |
| Flytende hydrogen m/ brenselcelle | 48% | 86% |
| Flytende hydrogen m/ forbrenningsmotor | 40% | 80% |
| Ammoniakk m/ forbrenningsmotor | 78% | 96% |
| Batterielektrisk | 1% | 3% |

Det er viktig å merke seg at et økt vekt- og plassbehov pga. implementering av nullutslippsteknologi kan gå betydelig utover lastekapasiteten til hvert enkelt skip, og vil følgelig ha kommersielle konsekvenser for lasteier og reder som ikke hensyntas i vår beregning av tiltakskostnad.

## 9.5. Trafikkmønster og drivstofftilgang

Vi har i beregningen av tiltakskostnaden forutsatt at skipene opererer som i dag med tanke på trafikkmønster, havneanløp og seilingstider. En omlegging til drivstoff med lavere energitetthet kan måtte føre til at skipene må endre operasjonsmønster, som for eksempel å gå kortere turer og kun innenfor et begrenset geografisk område. Dette kan også gjøre at flere skip tilfredsstiller de tekniske kravene til teknologiene, med tanke på plass og vekt ombord. Det vil uansett kreve en omfattende utbygging av infrastruktur for å sikre drivstofftilgang og tilgang på tilstrekkelig effekt til landstrøm og lading om et stort antall skip skal kunne operere med nullutslippsteknologi langs hele norskekysten.

## 9.6. Usikkerhet i AIS-baserte modelleringer

AIS-basert modellering av drivstofforbruk og utslipp for framdriftsmaskineri, utnytter kjennskap til skipets designfart, observert hastighet fra AIS-systemet og motorinstallasjon. Dette gjør at beregning av belastning for hovedmotor og derav skipets drivstofforbruk kan gjøres med relativt god nøyaktighet. Utover drivstofforbruk til framdrift, inkluderer også modellen drivstofforbruk til kraftproduksjon (benyttes av ulike konsumenter om bord). En validering av AIS-modellert drivstofforbruk for utvalgte godsskip viser noe avvik mellom beregnet og rapportert drivstofforbruk for individuelle skip, mens det på flåtenivå er god overenstemmelse som følge av kanseleringseffekter (resultatene for enkelt skip ligger både over og under rapportert drivstofforbruk).

# Del III: Samfunnsøkonomiske vurderinger

# 10. Samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert $CO_2$

Del I og II drøftet teknologisk utvikling og bedriftsøkonomiske merkostnader ved hybrid- eller fossilfrie tiltak innen godstransport på hhv. vei og sjø. Den samfunnsøkonomiske nettokostnaden for et gitt tiltak tilsvarer summen av endringer i samlede offentlige og private kostnader og nyttevirkninger, og inkluderer blant annet eksterne virkninger, som aktørene ikke tar hensyn til i valg av teknologi. De følgende delkapitlene presenterer først grunnlaget for beregningene og deretter resultatene for godstransport på henholdsvis vei og sjø. Til slutt drøftes andre, ikke-prissatte, virkninger og mulige endringer i tiltakskostnadene etter 2030.

## 10.1. Samfunnsøkonomiske beregningsprinsipper

I de neste delkapitlene beregnes samfunnsøkonomiske kostnader per tonn reduksjon i $CO_2$-utslipp for tiltak med omlegging til fossilfrie eller hybrid-løsninger i 2019, 2025 og 2030. De samfunnsøkonomiske kostnadene inkluderer bedriftsøkonomiske kostnader, eksterne virkninger og skattefinansieringskostnaden. Eventuelle avgifter eller subsidier er ikke inkludert i beregningene.

Den samfunnsøkonomiske kostnaden ved hvert tiltak måles per tonn redusert $CO_2$. Den er definert som summen av de bedriftsøkonomiske kostnadene ($k_{bed}$), skattefinansieringskostnaden ved de tapte avgiftsinntektene ($0{,}2 * k_a$) og andre eksterne kostnader ($k_x$), fratrukket velferdsøkningen grunnet reduserte lokale utslipp ($n_{utslipp}$) og annen ekstern nytte ($n_x$):

$$\frac{k_{samf}}{t_{co_2}} = \frac{k_{bed} + 0{,}2 \cdot k_a + k_x - n_{utslipp} - n_x}{t_{co_2}}$$

De bedriftsøkonomiske kostnadene inkluderer alle kostnader som påløper innkjøp av en gitt kjøretøy-/fartøy-teknologi og bruk av tilhørende energibærer, ekskludert avgifter. Disse kostnadsanslagene er et resultat av metodene og de bedriftsøkonomiske beregningsprinsippene presentert i Del I og II for hhv. vei- og sjøtransport.

Omlegging til nye teknologier kan redusere statens avgiftsinntekter. For eksempel vil innblanding av biodiesel utover dagens omsettingskrav føre til lavere $CO_2$-avgift per liter diesel. I tråd med Finansdepartementets rundskriv R-109 (2014), legger vi til grunn at avgiftsinntektene må erstattes av andre skatte- eller avgiftsinntekter.[29] Generelt medfører dette et samfunnsøkonomisk effektivitetstap - *skattefinansieringskostnad*. Dette tapet er satt til 20 prosent av bortfallet av avgifter (Finansdepartementet 2014).[30]

Tiltak som reduserer utslipp av $CO_2$ påvirker potensielt også lokal forurensning og har andre eksterne virkninger. Vurderingene inkluderer endringer i verdien av det følgende:

1) Helse-effekter ved endringer i utslipp av NOx og avgasspartikler ($PM_{10}$)[31]
2) Uhellsutslipp fra bunkers
3) Estetiske effekter av luftutslipp
4) Støybelastning
5) Inngrep i natur for ny infrastruktur for forsyning av energibærer

---

*[29] Utenom effektivitetstapet, vil tapet i avgiftsinntekter for det offentlige være lik spart avgiftskostnad for avgiftsbetaler (produsent, omsetter, konsument, etc.), slik at disse kanselleres mot hverandre.*
*[30] Vi tar ikke hensyn til eventuelt økte avgiftsinntekter ved skifte av teknologi, slik som økte avgiftsinntekter fra elavgiften ved skifte til elektrisitet eller hydrogen.*
*[31] Finere støv ($PM_{2,5}$) har trolig større skadekostnader enn $PM_{10}$. Siden det er vanskelig å skille mellom $PM_{10}$ og $PM_{2,5}$, og $PM_{10}$ uansett inkluderer $PM_{2,5}$ (Ibenholt et al. 2015), behandler vi $PM_{10}$ for både kjøretøy og fartøy.*

Virkningene 1) og 2) prissettes og inkluderes i de samfunnsøkonomiske tiltakskostnadene. 1) inkluderes for godstransport på både vei og sjø, mens 2) kun inkluderes i tiltakskostnadene for godstransport på sjø. Virkningene 3) – 5) prissettes ikke og drøftes kun kvalitativt i delkapittel 10.4. Det følgende beskriver hvordan de virkningene 1) og 2) samt skattefinansieringskostnaden prissettes og inkluderes i tiltaksanalysene for godstransport på hhv. vei og sjø.

### 10.1.1. Andre prissatte virkninger – godstransport på vei

Metoden beskrevet over fordrer en riktig forståelse av klimagassutslippene, prissetting av eksternaliteter per tonn $CO_2$ og anslag på bortfall av avgifter. I det følgende presenteres først virkningene som er inkludert i analysene. Deretter presenteres anslagene av prissatte eksternaliteter og skattefinansieringskostnader.

I samsvar med klimagassregnskapet legger vi til grunn at utslipp av $CO_2$ fra kjøretøy driftet på biogass, hydrogen, og elektrisitet er lik null (se kapittel 13 for drøfting av utslipp ved *produksjon* av drivstoff og elektrisitet). Nullalternativet er bruk av diesel med innblanding av fornybar biodiesel. Produktforskriften (§ 3-3) krever 12 prosent innblanding av biodrivstoff i totalt omsatt mengde drivstoff. Innblandingen kan fordele seg ulikt på ulike drivstofftyper og er opp til den enkelte omsetter. I tillegg kreves det at 2,25 prosentpoeng av disse skal utgjøre avansert biodrivstoff, og dette teller dobbelt mot kravet på 12 prosent. Fra 1. januar 2020 øker kravene til 20 og 4 prosent for henholdsvis konvensjonelt og avansert biodrivstoff. Det skjerpede omsettingskravet inngår i beregningene for 2025 og 2030. Vi skiller ikke mellom konvensjonelt og avansert biodrivstoff og legger derfor til grunn at omsettingskravene fører til en reduksjon på 16 prosent i utslipp av $CO_2$ per liter diesel fra og med 2020.[32] Vi legger ikke til grunn videre skjerping av kravet, da det ikke finnes vedtak på dette.

Lokale luftutslipp med effekter på helse er i hovedsak $NO_X$ og avgasspartikler (PM). Motorstøy er lavere for lastebiler på elektrisitet og hydrogen ved lave hastigheter. Imidlertid er friksjon den dominerende støykilden ved hastigheter over 60 km/t for buss (Hagman et al. 2017), og vi legger til grunn at dette også gjelder for lastebiler. Kjøretøyene holder som regel hastigheter over dette, men lavere støy kan muliggjøre annen logistikk og særlig nattlige leveranser. Nytten av redusert støy ved bruk av elektrisitet og hydrogen drøftes kvalitativt i kapittel 10.4.1. Vi legger til grunn at friksjonsstøy, kvalitet på transport, ulykkesrisiko, tidsbruk og pålitelighet er likt på tvers av teknologiene.

Vi inkluderer de eksterne nyttevirkningene av reduksjoner i utslipp av $NO_X$ og PM i analysen samt skattefinansieringskostnad av tapte avgiftsinntekter fra veibruksavgiften og $CO_2$-avgiften.[33] For å inkludere disse er det nødvendig å anslå utslippskoeffisienter per tonn $CO_2$. Vi benytter Klimakur 2030[34] sine utslippsfaktorer for $NO_X$, $PM_{10}$, og $CO_2$ for ulike energibærere og kjøretøytyper for å uttrykke lokale luftutslipp relativt til $CO_2$-utslipp og for å beregne skattefinansieringskostnaden. Faktorene oppsummeres i Tabell 10.1. Utslippsfaktorene legger til grunn Euro VI-motor.

---

[32] $4 + (20 - 4 * 2) = 16\ prosent$. *Biodrivstoff og konvensjonelt drivstoff har ulik energitetthet, slik at én liter biodrivstoff tilsvarer ikke nødvendigvis én liter konvensjonelt drivstoff. I disse beregningene forenkler vi og legger til grunn at innblandingen biodrivstoff erstatter det konvensjonelle drivstoffet i forholdet én-til-én.*

[33] *$NO_x$-avgiften og engangsgiften er ikke relevant for lastebiler med lengde over seks meter. Forvaltningskostnader er også trolig en ekstern kostnad, men denne avhenger av virkemiddelet.*

[34] *Klimakur 2030 er beskrevet her: https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/klimakur2030/id2644951/ [21.10.19].*

**Tabell 10.1 Utslippsfaktorer for NOX, PM10 og CO2[35]**

| | g $NO_X$/ kg diesel | g $NO_X$/ liter diesel | g $PM_{10}$ / kg diesel | g $PM_{10}$/ liter diesel | kg $CO_2$/ kg diesel | kg $CO_2$/ liter diesel |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lette lastebiler** | 1,31 | 1,1 | 0,012 | 0,014 | 3,17 | 2,66 |
| **Tunge lastebiler** | 1,4 | 1,175 | 0,012 | 0,016 | 3,17 | 2,66 |
| **Semitrailere** | 1,13 | 0,95 | 0,011 | 0,013 | 3,17 | 2,66 |

Kilde: Klimakur 2030

For å beregne den samfunnsøkonomiske nytten av reduksjonen i utslipp av $NO_x$ og PM[36], som følger av redusert bruk av konvensjonelle drivstoff, tar vi utgangspunkt i anbefalte skadekostnader for utslipp av NOx og PM i Statens vegvesen håndbok for konsekvensanalyser (2018, s. 99-101). I tråd med håndboken beregnes ikke kostnader ved svovelutslipp. Skadekostnadene varierer på tvers av bebyggelse, som presentert i Tabell 10.2.

**Tabell 10.2 Skadekostnad, 2019-kroner per kg utslipp**

| | Oslo | Bergen | Trondheim | Andre større byer | Tettsteder (>15 000 innb.) | Spredt bebyggelse |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **$NO_X$** | 256 | 256 | 256 | 128 | 64 | 64 |
| **$PM_{10}$** | 4 921 | 3 662 | 4 921 | 2 071 | 555 | 0 |

Kilde: Statens vegvesen (2018, oppdatert til 2019-kr)

Norges befolkning er fordelt på tettstedsstørrelser som gjengitt i Tabell 10.3 .

**Tabell 10.3 Fordeling av Norges befolkning på tettstedsstørrelser**

| Størrelse på tettsted | Antall innbyggere | Andel av total befolkning |
|---|---|---|
| **Oslo** | 1 000 467 | 19 % |
| **Bergen** | 255 464 | 5 % |
| **Trondheim** | 183 378 | 3 % |
| **Andre større byer** | 452 671 | 9 % |
| **Tettsted 15 000 – 100 000** | 889 198 | 17 % |
| **Resten av landet** | 2 514 441 | 47 % |

Kilde: SSB, kildetabell 04859: Areal og befolkning i tettsteder, etter tettsted, statistikkvariabel og år. Bosatte i 2018.

Skadekostnadene i Tabell 10.2 vektes med utslippsfaktorene i Tabell 10.1 og gir anslåtte kostnader per tonn redusert $CO_2$ og per kjøretøysegment for ulike by- og tettstedskonsentrasjoner. Dette vektes med befolknings-andelene i Tabell 10.3 for å anslå differensierte kostnader per by, tettsted og spredt bebyggelse, samt et nasjonalt gjennomsnittstall. Vi legger til grunn at samme reduksjon i $CO_2$ gir samme reduksjon i skadekostnad på tvers av teknologier (Weber og Amundsen 2016).

Veibruksavgiften er 3,87 kroner per liter for lavsvovlet diesel i 2019.[37] Avgiften er ment å internalisere (deler) av veitrafikk-kostnadene ulykker, kø, støy, veislitasje og helse- og miljøskadelige utslipp.[38] Vi legger til grunn at

---

*[35] For $PM_{10}$ og $NO_X$ benytter vi gjennomsnittet av Klimakurs utslippsfaktorer for «mellomstor lastebil» og «stor lastebil/trekkvogn».*

*[36] Overgang fra fossilt drivstoff reduserer avgassutslipp av partikler. Vi legger til grunn at partikkelutslipp fra dekkslitasje og bremsestøv ikke reduseres ved overgang til fossilfrie teknologier. De inngår derfor ikke i beregningene.*

*[37] Stortingsvedtak om særavgifter til statskassen for budsjettåret 2019: https://lovdata.no/dokument/STV/forskrift/2017-12-12-2190 [18.10.19]. Vi antar at dieselen brukt er lavsvovlet (10-50 ppm svovel).*

*[38] www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/veibruksavgift-pa-drivstoff/id2603482/ [31.08.19].*

svovelinnholdet i autodiesel er lavt nok til at svovelavgiften ikke er relevant. Til sammen utgjør $CO_2$-avgift og veibruksavgift 5,22 kroner per liter. Biogass, hydrogen, og elektrisitet er unntatt disse avgiftene, og omlegging til disse vil dermed medføre et bortfall av inntekter for staten.

Avgifter på 5,22 kroner per liter, 16 prosent innblanding av biodrivstoff og en utslippsfaktor på 2,66 kg $CO_2$ per liter autodiesel (Tabell 10.1) impliserer at avgiftene utgjør 2 336 kroner per tonn $CO_2$ i 2025 og 2030. Fordi omsetningskravet er lavere i 2019, utgjør avgiftene da 2 174 kroner per tonn redusert $CO_2$. Bytte av teknologi fra diesel til teknologier som ikke betaler disse drivstoffavgiftene fører til et tilsvarende inntektstap for det offentlige, som vil måtte kompenseres med andre skatter, med effektivitetstap på 20 prosent (Finansdepartementet 2014). Dermed blir skattefinansieringskostnaden 467 kroner per redusert tonn $CO_2$ i 2025 og 2030, og 435 i 2019.

De totale samfunnsøkonomiske tiltakskostnadene per tonn redusert $CO_2$ i veisektoren er da lik de bedriftsøkonomiske kostnadene og skattefinansieringskostnaden, minus velferdsøkningen grunnet reduserte utslipp av $NO_X$ og $PM_{10}$:

$$\frac{k_{samf}}{t_{co_2}} = \frac{k_{bed} + 0{,}2(k_{a_{vei}} + k_{a_{CO_2}}) - n_{NOx,PM}}{t_{co_2}}$$

### 10.1.2. Andre prissatte virkninger – godstransport på sjø

Anslagene av klimagassutslipp som ligger til grunn for kostnadsberegningene for godstransport på sjø er presentert i Del II. Utslippene angis som $CO_2e$ i henhold til norsk klimaregnskap. Fem alternative teknologier vurderes opp mot konvensjonell MGO: biodiesel, biogass, ammoniakk, hydrogen og elektrisitet (batteridrift), i tillegg til delelektrisk framdrift. For hydrogen vurderes fire alternative løsninger, med kombinasjoner av brenselscelle eller gassmotor, og flytende eller komprimert hydrogen.

De eksterne nyttevirkningene som vurderes er reduksjoner i helse- og materielle skader som følge av reduserte utslipp av $SO_2$, $NO_X$ og $PM_{10}$ og reduserte uhellsutslipp fra bunkers (Ibenholt et al. 2015; Magnussen et al. 2015; Miljødirektoratet 2018b). Skaden av lokale utslipp til luft avhenger av bebyggelsen rundt utslippspunktet. Statens vegvesen (2018) angir skadekostnader for områder med forskjellig befolkningstetthet. For å beregne hvor stor andel av utslippene som finner sted i de forskjellige skadekostkategoriene bruker vi statistikk på havnenes innenriks godsmengde og befolkningsstatistikk fra SSB.[39] Vi benytter altså et vektet gjennomsnitt, hvor skadekostnaden i havnas område vektes med godsmengden. Gitt at 7 prosent av skipsdrivstoff brukes i havn (DNV GL 2015), legger vi til grunn at 7 prosent av de lokale utslippene finner sted i havn, mens de resterende 93 prosent slippes ut i spredt bebyggelse.

Vi legger til grunn at bruk av elektrisitet og hydrogen fører til full reduksjon i utslipp av $NO_X$ og $PM_{10}$ og at biogass fører til 90 prosent reduksjon av utslippene, sammenlignet med konvensjonelt drivstoff (DNV GL 2018b, s. 15). Biodiesel reduserer ikke utslipp av $NO_X$ og $PM_{10}$ (DNV GL 2018b, s. 15). For utslipp av $SO_X$ (inkludert $SO_2$) legges det til grunn full reduksjon, sammenlignet med konvensjonelt drivstoff for alle teknologiene (DNV GL 2015, s. 24, 27). Ammoniakk har ingen utslipp av $SO_X$ og $PM_{10}$ og trolige lave utslipp av $NO_X$, med den teknologiutviklingen som er ventet (pers. med., DNV GL). Vi legger derfor også til grunn ingen luftutslipp ved bruk av ammoniakk. For

[39] *Kildetabeller 04859 og 10916.*

eksterne kostnader av tiltak med hybriddrift, legger vi til grunn at skipene driftes 100 prosent elektrisk i havn og at luftutslippene reduseres til null her, mens resterende delelektrisk på sjøen.[40]

DNV GL (2014, s. 28) beregner utslippene fra innenriks godstrafikk i norske farvann, som gjengitt i første rad av Tabell 10.4.[41] Ved å angi kg lokale utslipp som andel av tonn $CO_2$ får vi utslippsfaktorene i rad to av tabellen. Disse faktorene samsvarer med Magnussen et al. (2015, s. 43) sine utslippsfaktorer for ulike drivstofftyper. Faktortallene i Tabell 10.4 er trolig mer presise for vårt formål enn tallene til Magnussen et al., fordi disse er spesifikke for drivstoffordelingen blant innenriks godskip.

**Tabell 10.4 Utslipp og beregnende utslippsfaktorer fra innenriks godstransport i norske farvann**

| | $CO_2$ | $NO_X$ | $SO_2$ | PM |
|---|---|---|---|---|
| **Tonn utslipp** | 610 453 | 9 018 | 989 | 367 |
| **Utslippsfaktor (kg per tonn $CO_2$)** | - | 14,77 | 1,62 | 0,60 |

Kilde: DNV GL (2014, s. 28)

For å finne skadekostnadene per tonn $CO_2$ for lokale utslipp fra godsskip i havn ganges utslippsfaktorene med et anslag på vektet kostnad for alle havner. Det vektede gjennomsnittet for $NO_X$ og PM er basert på skadekostnadene fra Tabell 10.2, og data på innenriks godsmengde håndtert i de forskjellige havnene. For $SO_2$[42] brukes den samme godsstatistikken, og estimater på skadekostnadene for $SO_2$ fra Ibenholt et al. (2015). For utslipp som ikke finner sted i havn benyttes skadekostnadene for spredtbygde strøk fra Tabell 10.2. Delkapittel 10.3.3 inkluderer en kort diskusjon av antagelsen og en illustrasjon av hvilken betydning den har for resultatene.

**Tabell 10.5 Skadekostnad i havn (vektet for godsmengde håndtert) og utenfor havn, 2019-kr per kg**

| Utslippsområde | NOx | PM | $SO_2$ |
|---|---|---|---|
| **I havn** | 113 | 1 333 | 24 |
| **Utenfor havn** | 64 | 0 | 8 |

Ved å sette skadekostnadene sammen med utslippsfaktorene fra Tabell 10.4, finner vi de eksterne virkningene av en reduksjon i lokale utslipp, per tonn $CO_2$, i og utenfor havn. Tabell 10.6 viser sparte skadekostnader for ulike teknologier, gitt antagelsen om at 7 prosent av drivstoff forbrukes i havn (DNV GL 2015).

**Tabell 10.6 Sparte skadekostnader fra innenriks godstransport per teknologi, 2019-kr per tonn redusert CO2**

| Teknologi | $NO_X$ | PM | $SO_2$ |
|---|---|---|---|
| **Biodiesel** | 0 | 0 | 10 |
| **Biogass** | 898 | 50 | 10 |
| **Ammoniakk, el. og hydrogen** | 997 | 56 | 10 |

Den siste eksterne nytten vi prissetter er sparte skadekostnader ved utslipp av bunkers. Magnussen et al. (2015, s. 82-83) oppgir DNV GL (2014, s. 17) sin oversikt over andelen totalt utseilt distanse av godskip (40 prosent) til å anslå den årlige frekvensen for uhell til å være $0{,}5 \cdot 0{,}4 = 0{,}2$ per år. Dette gir en forventet skadekostnad for uhellsutslipp fra godsskip i Norge per år på rundt 59 mill. kroner. Som vi beskriver under, fordeler vi dette på tonn redusert $CO_2$ gjennom totale utslippstall for innenriks godstransport på skip i Norge.

---

*[40] Det fører til det kontraintuitive resultatet at hybriddrift fører til noe sterkere reduksjon i lokale luftutslipp per tonn $CO_2$-reduksjon enn nullutslippsløsninger. Forklaringen er at en større andel av utslippsreduksjonen utløses i eller nær havn og da altså i mer tettbygde strøk enn under gjennomsnittlig seilingstid.*

*[41] Det er skipstype 1-8 i kildetabellen som defineres som godsskip. Utslippene i tabellen er summen av disse kategoriene.*

*[42] Vi legger til grunn at $SO_2$ er den dominerende SOx-gassen. Magnussen et al. (2015) fokuserer utelukkende på $SO_2$.*

Vi legger til grunn at utslipp av energibærerne biogass, ammoniakk, hydrogen eller batteri ikke medfører skadekostnadene beregnet for MGO. For disse teknologiene anslår vi den totale skadekostnaden for utslipp per tonn $CO_2$ ved å dele på totale $CO_2$-utslipp (se Tabell 10.4). Dette gir en spart skadekostnad per tonn redusert $CO_2$ på 106,5 kroner for bunkersutslipp. Det er usikkert om skadevirkningene er lavere ved utslipp av biodiesel, og vi har ikke informasjon til å regne med eventuelle sparte skadekostnader ved utslipp av bunkers for denne teknologien.

I tillegg til overnevnte eksternaliteter kan omlegging fra konvensjonelt til fossilfritt drivstoff i skipstrafikken medføre et inntektstap for det offentlige. Vi legger til grunn at avgiftstapet er lik svovel- og $CO_2$-avgiftene på det reduserte mineraloljeforbruket og smøreolje-avgiften på det reduserte smøreoljeforbruket for samtlige fossilfrie teknologier.[43] Dette innebærer altså at vi legger til grunn minimal bunkring i utlandet. Siden skipsutvalget er de skip som trafikkerer norske farvann minst 80 prosent av tiden anser vi dette som en rimelig forenkling (se delkapittel 5.1). Avgiftssatsene er gjengitt i første kolonne av Tabell 10.7. Vi legger til grunn at konvensjonell MGO brukt i referansealternativet er lavsvovlet (0,5 prosent).

**Tabell 10.7 Særavgifter relevante for skattefinansieringskostnaden, 2019-kroner**

| Avgift | Avgiftssats og benevning | Forbruk per tonn $CO_2$ | Avgift per tonn $CO_2$ |
|---|---|---|---|
| **$CO_2$-avgift** | 1,35 kr/liter mineralolje | 376 liter mineralolje | 508 kr |
| **Svovelavgift** | 0,67 kr/ liter mineralolje | 376 liter mineralolje | 250 kr |
| **Smøreolje** | 2,23 kr/liter smøreolje | 1,1 liter smøreolje | 2,5 kr |

Kilder avgiftssatser: https://lovdata.no/dokument/STV/forskrift/2017-12-12-2190 [10.10.19].

Klimakur 2030 angir at marin gassolje har en utslippsfaktor på 2,66 kg $CO_2$ per liter MGO. Dette tilsvarer et forbruk på 376 liter per tonn $CO_2$. Dermed kan vi beregne avgift per tonn $CO_2$, og videre skattefinansierings-kostnaden ved tiltakene. Vi legger til grunn at forbruket av smøreolje er 3 milligram per gram drivstoff. DNV GL (2014, s. 28) anslår $CO_2$-utslipp for godsskip. Ved hjelp av utslippsfaktoren over kan vi da estimere forbruket av mineralolje for de samme skipene. Forbruket av smøreolje kan deretter anslås ved å konvertere liter til tonn. Videre konverteres tonn smøreolje til liter og forbruket deles på tonn utslipp av $CO_2$, noe som gir et forbruk på 1,1 liter smøreolje per tonn $CO_2$.[44] Dette gir avgifter per tonn som angitt i høyre kolonne i Tabell 10.7.

Hydrogen og batteri er fritatt overnevnte avgifter, slik at skattefinansieringskostnaden per tonn redusert $CO_2$ er 20 prosent av summen av avgiftene. Biodiesel, ammoniakk og biogass er fritatt $CO_2$- og svovelavgift, slik at skattefinansieringskostnaden per tonn redusert $CO_2$ her er 20 prosent av inntektene fra disse avgiftene.

Noen eksterne virkninger utelukkes fra beregningene, enten fordi det ikke finnes nok informasjon til å prissette dem, eller fordi de antas å være neglisjerbare. Overgang til hydrogen, ammoniakk eller elektrisitet medfører bygging av infrastruktur for å levere energi til fartøy. Denne infrastrukturen kan føre til inngrep i natur, og dermed samfunnsøkonomiske kostnader som er eksterne for rederiene. Det er stor usikkerhet og variasjon knyttet til hvordan infrastrukturen kan påvirke natur ved hver enkelt utbygging. Derfor gjør vi ikke et forsøk på å verdsette kostnader for naturinngrep ved omlegging til annen teknologi. Vi legger videre til grunn at det er neglisjerbare forskjeller i andre eksterne virkninger på tvers av teknologiene, som støy, utslipp av svartvann og gråvann, omfang av ulykker med personskader og estetiske effekter av luftutslipp med konsekvenser for eksempelvis

---

*[43] Vi ser altså bort fra inntekter fra $NO_X$-avgiften. Dette grunner i at det er nær full oppslutning av $NO_X$-avgiftspliktige virksomheter i $NO_X$-fondet ($NO_X$-fondet 2017), og deltakelse i fondet gir fritak fra $NO_X$-avgiften. Innbetalinger til fondet er ikke en inntektskilde for staten slik at vi ikke regner skattefinansieringskostnad ved bortfall av disse.*
*[44] Med konverteringsfaktor 1 153 liter per tonn: www.eurocbc.org/Standard%20Conversion%20Factors%20dti_converfactors.pdf [07.09.19].*

fjordutsikten til turister. Disse potensielle eksterne virkningene er ikke inkludert i beregningene, men vurderes kvalitativt (se kapittel 10.4).

De totale samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn redusert $CO_2$ er lik de bedriftsøkonomiske kostnadene og skattefinansieringskostnaden, minus velferdsøkningen grunnet reduserte lokale utslipp til luft ($NO_X$, PM og $SO_2$) og redusert risiko for bunkersutslipp til sjø. De eksterne virkningene varierer mellom teknologiene som beskrevet over.

$$\frac{k_{samf}}{t_{co_2}} = \frac{k_{bed} + 0{,}2(k_{a_{CO_2}} + k_{a_{svov}} + k_{a_{smør}}) - n_{NOx,PM,SO_2} - n_{bunk}}{t_{co_2}}$$

### 10.1.3. Avgrensninger

I praksis vil det være nødvendig for det offentlige å påvirke private aktører til å velge de aktuelle teknologiene, enten ved subsidier, avgifter eller reguleringer, som vil kunne medføre forvaltningskostnader. Vi har ikke hensyntatt forvaltnings-/administrasjonskostnader eller skattefinansieringskostnader knyttet til eventuelle støtteordninger og virkemidler for å utløse de ulike alternativene.

Vi har heller ikke tatt hensyn til eventuelle adferdsendringer. For eksempel vil virkemidler som øker kostnadene ved godstransport kunne slå ut i økte varepriser og endringer i forbruksmønster. Slike virkninger er ikke vurdert.

Beregningene er begrenset til klimagassutslipp som inngår i det norske klimagassregnskapet. Endringer i utslipp i andre land – økning eller reduksjon – er derfor ikke inkludert. Kostnadene beregnes som kroner per tonn reduserte $CO_2$-utslipp. Utslipp av klimagasser, som metan og lystgass, er ikke inkludert for godstransport på vei, da disse utslippene ikke er inkludert i utslippsfaktorene vi legger til grunn og trolig utgjør en liten andel. Disse gassene er inkludert i utslippstallene for godstransport på sjø.

De neste to delkapitlene presenterer de samfunnsøkonomiske kostnadene for godstransport på hhv. vei og sjø. Delkapittel 10.4 diskuterer andre eksterne virkninger enn de som er kvantifisert og inkludert i beregningene. Til slutt drøftes mulige utviklingstrekk etter 2030 i delkapittel 10.5.

## 10.2. Kostnader per tonn redusert $CO_2$ – godstransport på vei

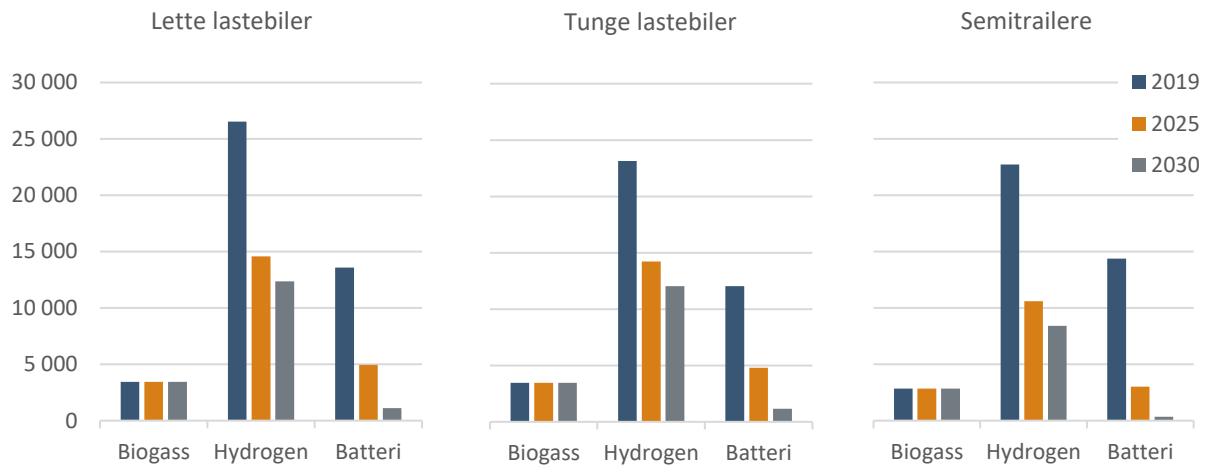
I dette delkapitlet presenterer vi de samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn reduserte $CO_2$-utslipp ved innfasing av de ulike fossilfrie teknologiene for godstransport på vei, sammenlignet med konvensjonelle teknologier. Vi oppsummerer først resultatene av Del I i form av bedriftsøkonomiske kostnader per tonn $CO_2$ for årene 2019, 2025 og 2030, før vi i sammenstiller disse med øvrige prissatte virkningene og beregner de samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn $CO_2$.

### 10.2.1. Bedriftsøkonomiske kostnader per tonn redusert $CO_2$

De bedriftsøkonomiske tiltakskostnadene for å legge om til hhv. biogass, hydrogen eller elektrisitet som energibærer framfor diesel, som anslått i kapittel 4 i Del I, gjengis i Figur 10.1. Til forskjell fra beregningene av bedriftsøkonomiske kostnader per tonn $CO_2$ redusert i kapittel 4 inkluderer disse kostnadene Enovas antatte tilskudd. Dermed reflekterer disse tallene de totale direkte kostnadene relatert til teknologiene, uavhengig av om det er bedriften eller Enova som bærer kostnaden. Det vil si at Figur 10.1 viser de totale kostnadene før det tas hensyn til eksterne virkninger og skattefinansieringskostnad.

Som beskrevet i kapittel 4, legges det til grunn småskala serieproduksjon av kjøretøy med hydrogendrift og batteridrift innen 2025, og masseproduksjon av kjøretøy med batteridrift innen 2030. Modenhet av nullutslippsteknologier diskuteres nærmere i Jordbakke et al. (2018).

**Figur 10.1 Bedriftsøkonomiske tiltakskostnader per tonn redusert $CO_2$ for bruk av alternative energibærere for ulike kjøretøysegment, 2019-kr.**

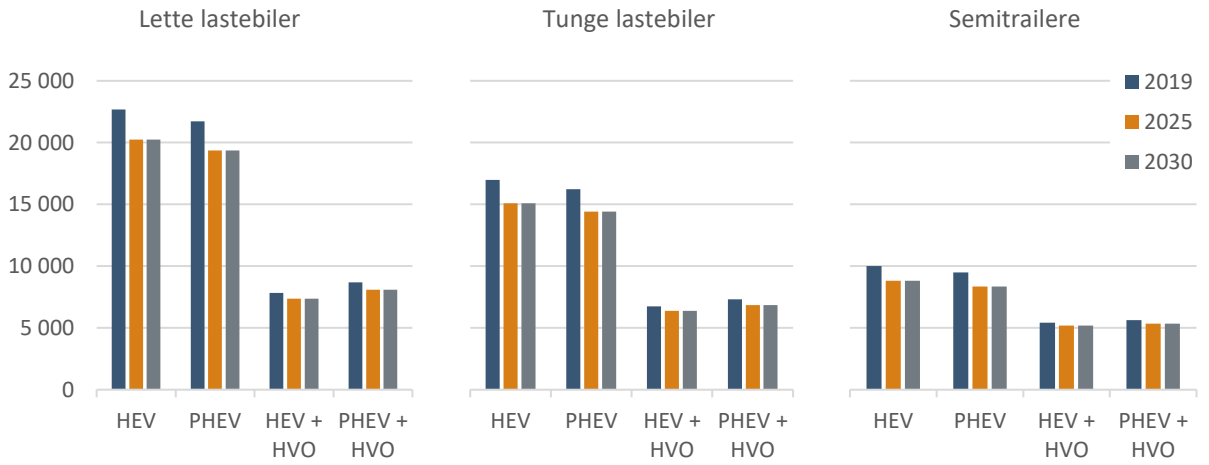



Kilde: TØI (Del I)

De bedriftsøkonomiske kostnadene er i dag lavest for biogass, men her forventes det ingen kostnadsreduksjon fram mot 2030. Batteridrift er vesentlig mer kostbart enn biogass i dag, men her forventes det at de bedrifts-økonomiske kostnadene faller raskt. For semitrailere forventes batteridrift å være rimeligere enn biogass i 2025 og bedriftsøkonomisk lønnsomt i 2030. For lette og tunge lastebiler anslås batteridrift å være rimeligere enn biogass i 2030. Hydrogen er den dyreste teknologien både i dag, i 2025 og i 2030 for samtlige kjøretøysegment.

De bedriftsøkonomiske tiltakskostnadene for 2019, 2025 og 2030 ved å legge om til hybrid drift av henholdsvis lette lastebiler, tunge lastebiler og semitrailere oppsummeres i Figur 10.2. Som redegjort for i delkapittel 4.2, vurderes 2x2 alternative hybridløsninger: vanlig hybrid (HEV) og ladbar hybrid (PHEV) og bruk av konvensjonell eller fornybar diesel (HVO).

**Figur 10.2 Bedriftsøkonomiske tiltakskostnader per tonn redusert $CO_2$ for hybriddrift av ulike kjøretøysegment, 2019-kr.**

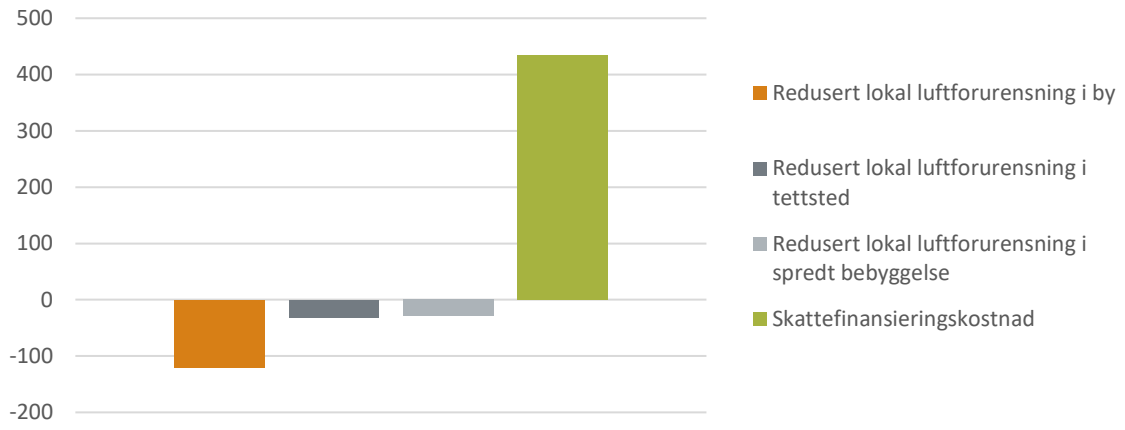



Kilde: TØI (Del I)

### 10.2.2. Samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert $CO_2$

Figur 10.3 illustrerer de andre prissatte virkningene ved å skifte fra konvensjonell diesel til biogass, hydrogen eller batteri for lette lastebiler i 2019. De eksterne virkningene, målt per tonn $CO_2$, er like for de tre alternativene. Skattefinansieringskostnaden (i grønt) er langt høyere enn de positive eksterne virkningene (negative kostnader i figuren), også dersom en legger til grunn reduserte luftutslipp i byområder (i oransje). Figuren viser prissatte eksterne virkninger for lette lastebiler; nyttevirkningene er opptil sju prosent lavere for tunge lastebiler og opptil 14 prosent høyere for semitrailere.

**Figur 10.3 Eksterne kostnader ved skifte til de alternative teknologiene for godstransport på vei i 2019, sammenlignet med referansealternativet, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**




Sammenlignet med de bedriftsøkonomiske kostnadene er de eksterne kostnads- og nyttekomponentene relativt små. De ikke-bedriftsøkonomiske kostnadene er også tilsvarende på tvers av teknologiene, slik at rangeringen av kostnadene for teknologiene forblir som i Figur 10.1. De samfunnsøkonomiske kostnadene er oppsummert i Tabell 10.8 for bykjøring, i Tabell 10.9 for tettsteder og i Tabell 10.10 for spredt bebyggelse. De samfunns-økonomiske kostnadene er lavere for by enn for de andre to bebyggelseskategoriene, fordi de eksterne nyttevirkningene er større her i form av reduserte helsekonsekvenser som følge av reduserte lokale luftutslipp.

**Tabell 10.8 Samfunnsøkonomiske kostnader, byer, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**

| Teknologi | 2019 | 2025 | 2030 |
|---|---|---|---|
| **Biogass** | 3 767 | 3 791 | 3 791 |
| **Hydrogen** | 27 311 | 15 370 | 13 175 |
| **Batteridrift** | 13 973 | 5 366 | 1 524 |

**Tabell 10.9 Samfunnsøkonomiske kostnader, tettsteder, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**

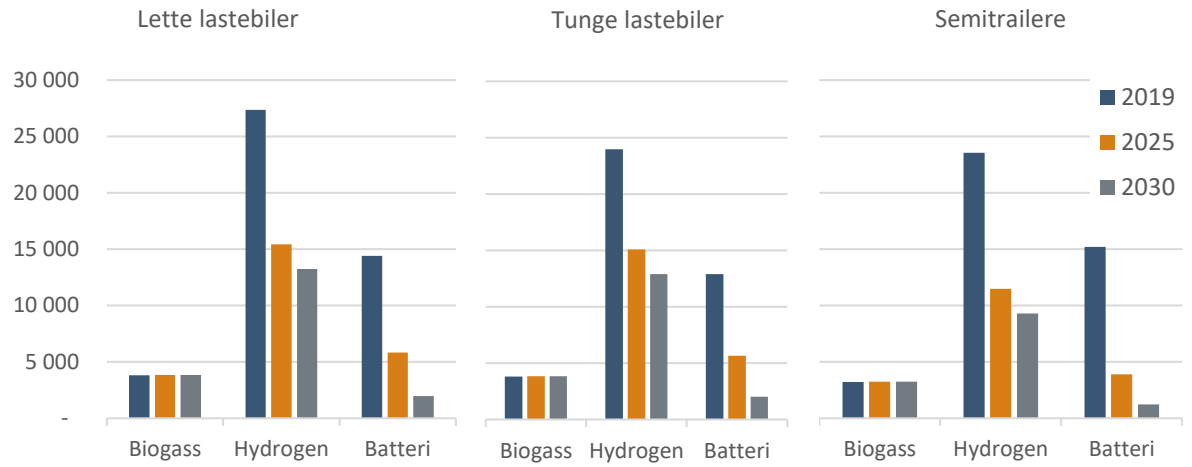
| Teknologi | 2019 | 2025 | 2030 |
|---|---|---|---|
| **Biogass** | 3 856 | 3 886 | 3 886 |
| **Hydrogen** | 27 400 | 15 465 | 13 271 |
| **Batteridrift** | 14 062 | 5 462 | 1 620 |

**Tabell 10.10 Samfunnsøkonomiske kostnader, spredt bebyggelse, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**

| Teknologi | 2019 | 2025 | 2030 |
|---|---|---|---|
| **Biogass** | 3 858 | 3 888 | 3 888 |
| **Hydrogen** | 27 402 | 15 468 | 13 273 |
| **Batteridrift** | 14 064 | 5 464 | 1 622 |

Figur 10.4 viser gjennomsnittet for alle de tre bebyggelseskategoriene, vektet etter befolkning. Disse oppgis i 2019-kr per tonn $CO_2$ redusert, sammenlignet med referansealternativet.[45] Biogass anslås til å være teknologien med lavest kostnader i 2019, men det forventes ikke nevneverdig reduksjon i kostnadene. Kostnaden er snarere ventet å øke, som følge av økte energipriser (anslått av Klimakur 2030). Den samfunnsøkonomiske kostnaden ved å ta i bruk hydrogen anslås å falle sterkt, men er fortsatt det dyreste alternativet, selv i 2030. Kostnadsnedgangen kan forklares med at potensialet for teknologisk utvikling er størst for denne teknologien. Den samfunnsøkonomiske kostnaden ved å ta i bruk elektriske lastebiler istedenfor dagens dieselbiler går også ned i perioden. Batteridrift egner seg bedre i byer og større tettsteder enn i mer spredt bebyggelse, både på grunn av batterikapasitet og tilgang til ladeinfrastruktur, og siden gevinstene ved reduserte eksterne skadekostnadene ved utslipp til luft og støy er størst i tett befolkede områder. Tiltakskostnaden ved å legge om til batteridrift er lavest av teknologiene i 2030, selv om teknologien ikke er like relevant for all typer godskjøretøy.

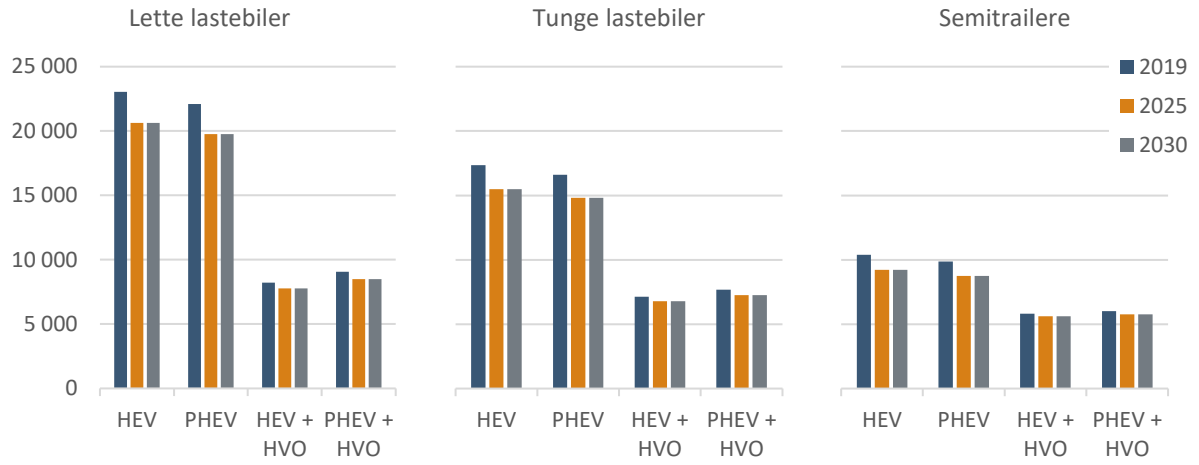
**Figur 10.4 Anslåtte samfunnsøkonomiske kostnader ved omlegging til alternative teknologier innen godstransport på vei, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**




Figur 10.5 viser de anslåtte samfunnsøkonomiske kostnadene for omlegging til ulike hybridløsninger for de tre vurderte kjøretøysegmentene. Blant hybridløsningene har det å erstatte konvensjonell diesel med HVO lavest samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert $CO_2$ for samtlige segmenter (selv om drivstoffkostnadene ved HVO er høyere enn for konvensjonell diesel). Tiltakskostnadene går ned med kjøretøystørrelse, hvor en viktig driver er at innkjøpskostnadene er en viktig kostnadskomponent og merkostnaden utgjør en mindre andel av eksisterende innkjøpskostnad for større kjøretøy.

[45] *Referansealternativet inkluderer altså ikke at enkelte mindre varebiler allerede benytter alternative teknologier.*

**Figur 10.5 Anslåtte samfunnsøkonomiske kostnader ved omlegging til hybridløsninger innen godstransport på vei, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**




Sammenlignet med fossilfrie løsninger, er hybridtiltakene relativt kostbare. Diesel-elektriske hybrider har lavere kostnader enn hydrogen for alle lastebilsegmentene i 2019, mens kostnadene er lavere for hydrogen for lette lastebiler og semitrailere i 2025 og 2030 og omtrent like for tunge lastebiler i 2025 og 2030. Biogass har lavere tiltakskostnad enn samtlige hybridløsninger i alle årene vurdert. Fullelektrisk drift er også et rimeligere klimatiltak enn diesel-elektrisk hybrid i 2025 og 2030 og rimeligere enn samtlige hybridløsninger i 2030.

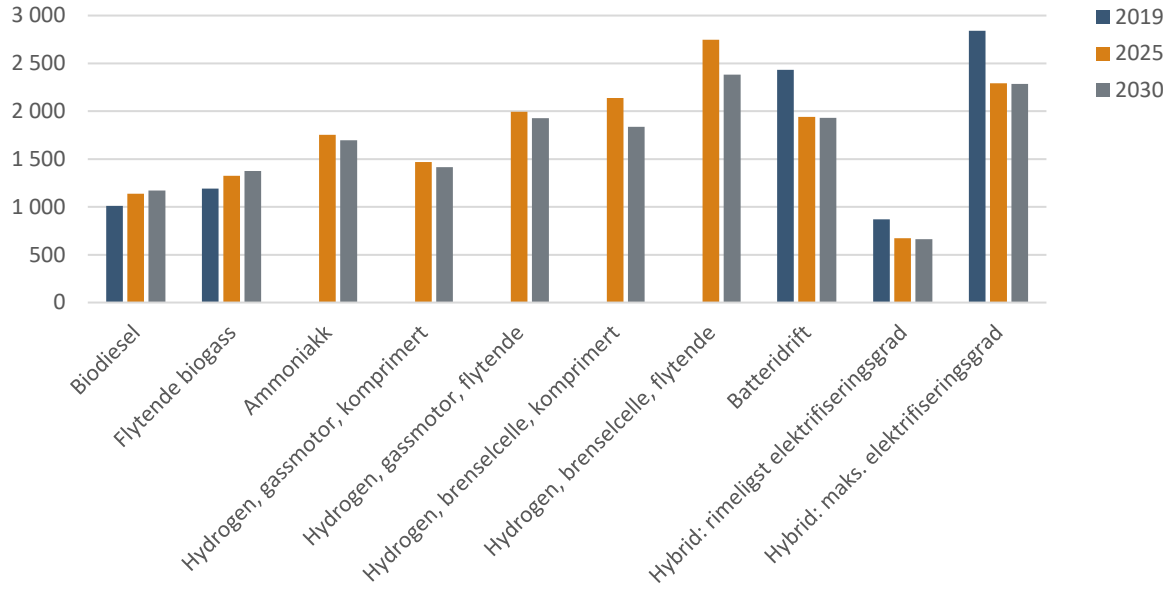
## 10.3. Kostnader per tonn redusert $CO_2$ – godstransport på sjø

I dette delkapitlet presenterer vi de samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn reduserte $CO_2$-utslipp ved innfasing av de ulike fossilfrie teknologiene for godstransport på sjø, sammenlignet med konvensjonelle teknologier. Vi oppsummerer først resultatene av Del II i form av bedriftsøkonomiske kostnader per tonn $CO_2$ for årene 2019, 2025 og 2030, før vi i sammenstiller dette med de eksterne virkningene og beregner de samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn $CO_2$.

### 10.3.1. Bedriftsøkonomiske kostnader per tonn redusert $CO_2$

Del II beskriver beregningene av de bedriftsøkonomiske kostnadene i kroner per tonn reduserte $CO_2$ for utskiftning av godsskipflåten i Norge til hver av de alternative teknologiene: biodiesel, biogass, ammoniakk, hydrogen, batteri samt de to ulike nivåene med delelektrifisering. Figur 10.6 gjengir disse kostnadene. Tallene angir kroner per tonn $CO_2$ redusert over tiltakets levetid, dersom det iverksettes i 2019, 2025, eller 2030. For 2019 antas det at kun biodiesel, biogass, og batteridrift er teknisk mulig å implementere.

**Figur 10.6 Bedriftsøkonomiske tiltakskostnader for skifte av teknologi i godsflåten, 2019-kr per tonn redusert $CO_2$**

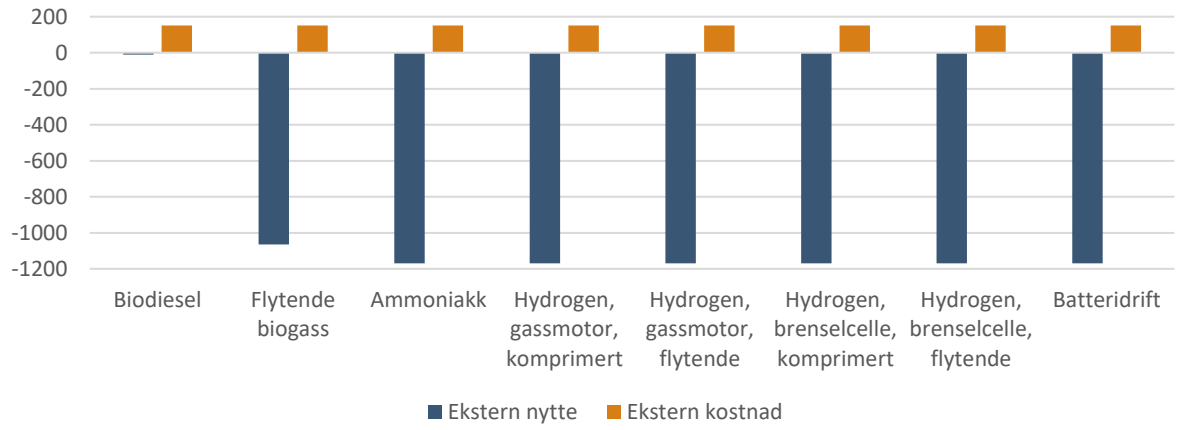



Kilde: DNV GL, Tabell 7.1 og Tabell 7.2 (Del II)

### 10.3.2. Samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert $CO_2$

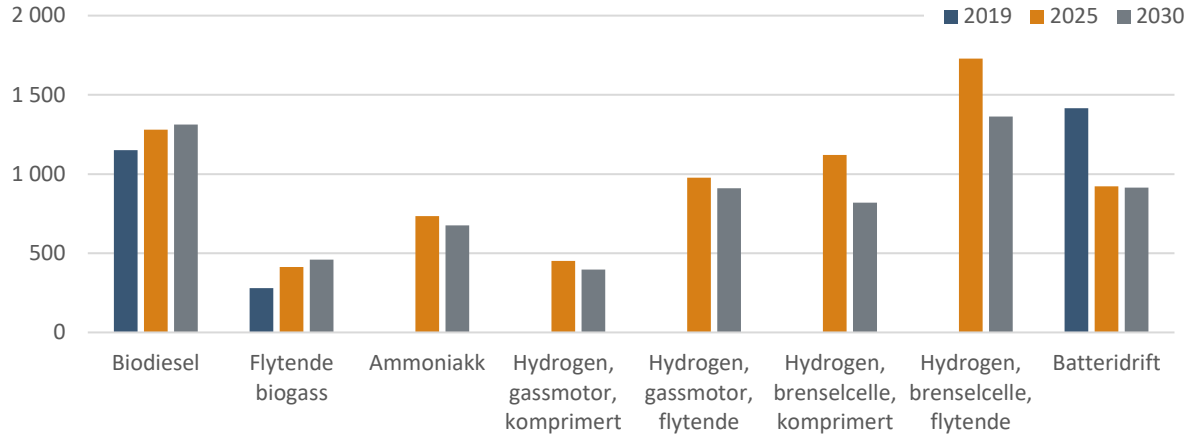
Basert på grunnlaget redegjort for i delkapittel 10.1.2, viser Figur 10.7 anslått skattefinansieringskostnad (oransje søyler) og de eksterne nyttevirkningene (negative eksterne kostnader, blå søyler), angitt per tonn $CO_2$ redusert. Vi ser at de eksterne nyttevirkningene er langt større enn kostnadene ved alle teknologier utenom biodiesel. Skattefinansieringskostnaden er noe lavere her enn for veitransport, fordi det eksisterende avgiftsnivået er noe lavere.

**Figur 10.7 Eksterne kostnader og nyttevirkninger (negative kostnader) for alternative teknologier, sammenlignet med referansealternativet, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**




Anslagene på de samfunnsøkonomiske tiltakskostnadene for 2019, 2025, og 2030 ved de fossilfrie alternativene presenteres i Figur 10.8. Forskjellene mellom kostnadene drives i hovedsak av forskjellene i bedriftsøkonomiske kostnader og verdsatte $NO_x$-utslipp.

**Figur 10.8 Anslåtte samfunnsøkonomiske tiltakskostnader for omlegging av godstransport på sjø, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2e$**

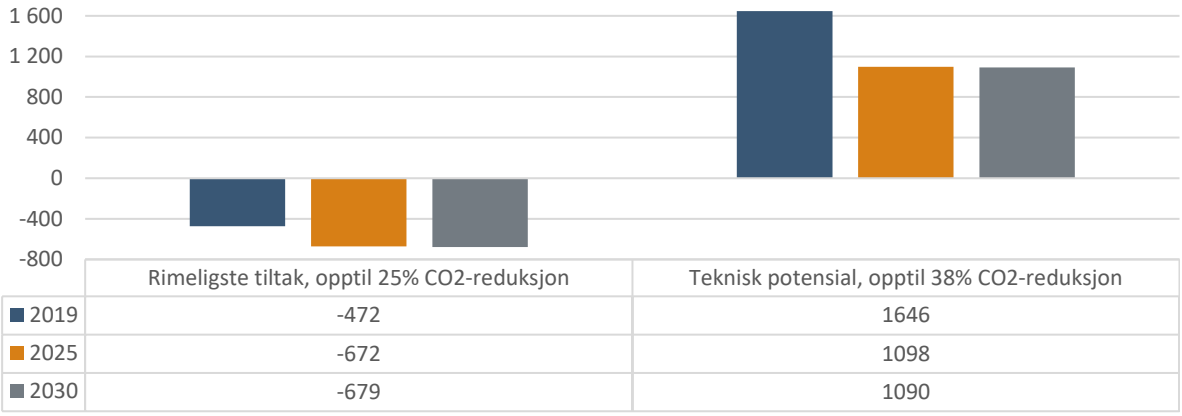



Biodiesel anslås til å ha en høy samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert $CO_2$, særlig i 2025 og 2030. En viktig forklaring er at teknologien ikke reduserer anslåtte skadekostnader ved lokale luftutslipp, slik de andre teknologiene gjør. Også i kontrast til de andre teknologiene, reduseres ikke de anslåtte bedriftsøkonomiske kostnadene over tid; energiprisene anslås heller til å øke fram mot 2030, basert på framskrivningene til Klimakur 2030. Hydrogenteknologiene som benytter brenselsceller har også høye samfunnsøkonomiske kostnader, drevet av at teknologiene fortsatt er relativt umodne. Biogass har lave samfunnsøkonomiske kostnader, men som for biodiesel anslås prisen for biogass til å øke (Klimakur 2030). I 2030 er gassmotor drevet av komprimert hydrogen den teknologien som har lavest samfunnsøkonomisk kostnad med en tiltakskostnad på under 400 kroner per tonn $CO_2$ redusert. Denne teknologien er imidlertid kun teknisk anvendbar for omtrent 18 prosent av godsskipene i utvalget vårt (se Figur 7.1). Biogass (460 kr/t$CO_2$ i 2030) og ammoniakk (680 kr/t$CO_2$ i 2030) er anvendbare på hhv. 100 og 84 prosent av godsskipene.

Igjen er en viktig presisering at disse resultatene bare omfatter utslipp innenfor det norske klimagassregnskapet. Bruk av biodrivstoff kan innebære betydelige klimagassutslipp i andre land og i realiteten høyere kostnader per tonn redusert $CO_2$ enn beregningene viser.

De samfunnsøkonomiske tiltakskostnadene for hybridløsninger, avhengig av elektrifiseringsgrad og årstall for iverksettelse, presenteres i Figur 10.9. Negativ tiltakskostnad betyr at det i dag er samfunnsøkonomisk lønnsomt å delelektrifisere deler av godskipsflåten, også uten å vurdere klimagevinsten. Tiltakene er imidlertid ikke bedriftsøkonomisk lønnsomt i gjennomsnitt, slik at de ikke nødvendigvis vil bli iverksatt uten fordelsordninger. Disse delelektrifiseringstiltakene medfører en utslippsreduksjon på 25 prosent. Det maksimale potensialet for utslippsreduksjon ved delelektrifisering anslås til 38 prosent, hvorpå den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden anslås til å være i gjennomsnitt over 1 600 kr per tonn $CO_2$ i 2019 og omtrent 1 100 kr per tonn $CO_2$ i 2025 og 2030.

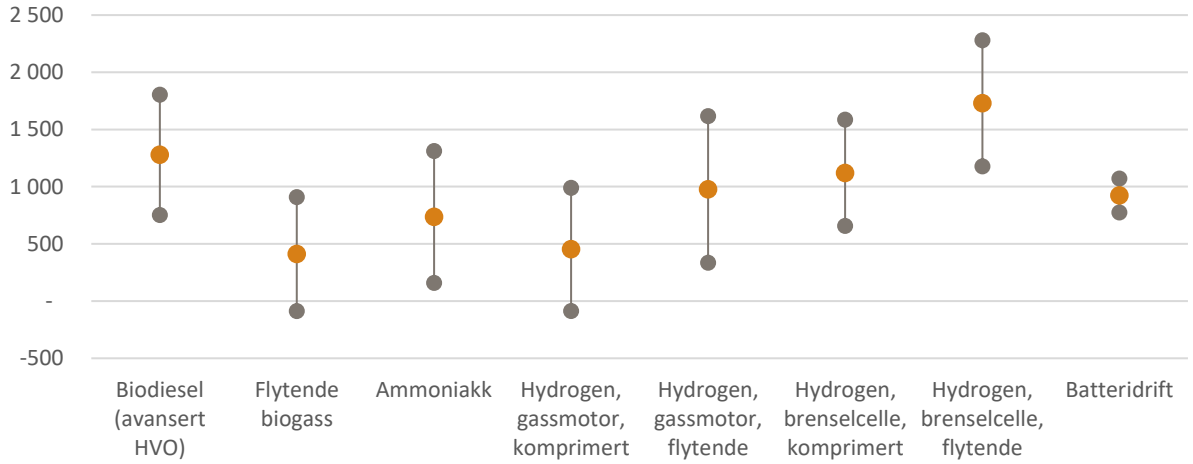
**Figur 10.9 Anslåtte samfunnsøkonomiske tiltakskostnader for hybridløsninger innen godstransport på sjø, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2e$**




## 10.3.3. Usikkerhet

Kapittel 9 i del II diskuterer usikkerhet i framtidige drivstoffpriser for de forskjellige teknologiene, og vurderer hvordan dette kan gi utslag i bedriftsøkonomisk kostnad. Spesielt for ammoniakk og hydrogen er det stor usikkerhet fordi disse teknologiene ikke er modne nok til at de er i bruk. Fordi bedriftsøkonomisk kostnad er en stor del av de totale samfunnsøkonomiske kostnadene, vil drivstoffprisene også ha stor betydning her. Figur 10.10 gjengir de samfunnsøkonomiske kostnadene per tonn $CO_2$ redusert i 2030 fra Figur 10.8, og viser hvordan 20 prosents økning eller reduksjon i drivstoffprisene vil påvirke disse. Drivstoffpriser fører til ganske stor usikkerhet i kostnadene for de fleste teknologiene. Batteridrift er derimot et unntak. Her er mesteparten av de bedriftsøkonomiske kostnadene knyttet til investeringer, og elektrisitetsprisen har relativt liten betydning for de totale kostnadene. Flytende biogass, og komprimert hydrogen med gassmotor vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt med en 20 prosent nedgang i drivstoffprisene.

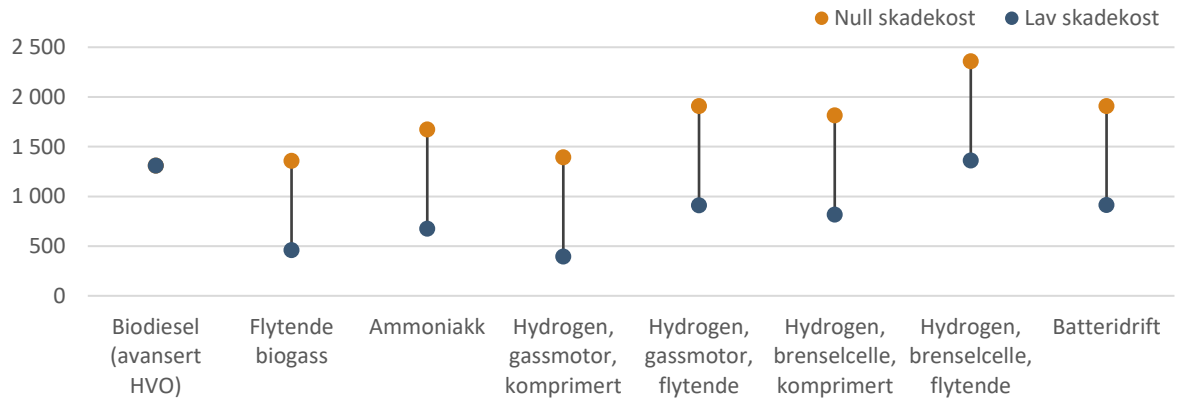
**Figur 10.10 Gjennomsnittlige samfunnsøkonomiske kostnader for alternativteknologiene med anslått usikkerhet i drivstoffpriser for de ulike teknologiene, 2019-kr per tonn redusert $CO_2e$**




En annen faktor med stor påvirkning på resultatene er verdsettingen av $NO_X$-utslipp. I forrige delkapittel benyttet vi skadekostnadene fra Statens vegvesen (2018), som vist i Tabell 10.2. Disse verdsettingsfaktorene er bredt anvendt, og Miljødirektoratets veileder for tiltaksanalyser anbefaler bruk av disse faktorene framfor avgiftssatsene (Miljødirektoratet 2018a). Faktorene er utviklet med hensyn på landbasert transport, slik at det er noe usikkerhet rundt hvor egnet disse er for beregning av kostnader av utslipp fra skip i trafikk langs kysten. I

de foregående beregningene har vi antatt at skadekostnaden langs kysten tilsvarer kostnaden for spredtbygde strøk på land. Ettersom vi legger til grunn at 93 prosent av utslippene fra godsskip finner sted utenfor havn, påvirker denne antagelsen de endelige samfunnsøkonomiske kostnadene i stor grad. Figur 10.11 viser hvordan anslagene på samfunnsøkonomisk kostnad ved de forskjellige tiltakene endrer seg dersom vi legger til grunn at skadekosten for $NO_X$-utslipp utenfor havn verdsettes til null, istedenfor til satsen for spredtbygde områder (lav skadekost). Vi illustrerer dette med kostnadsanslagene for 2030. En del av utslippene vil finne sted i skipsleier nær bebyggelse og i forbindelse med anløp. Derfor er null i skadekost et absolutt gulv på de eksterne virkningene.

**Figur 10.11 Samfunnsøkonomiske kostnader i 2030 per tonn $CO_2$ redusert ved lav og null skadekostnad for utslipp av $NO_X$ utenfor havn, 2019-kroner.**




Antagelsen om null skadekostnad ved utslipp utenfor havn øker den samfunnsøkonomiske kostnaden per tonn redusert $CO_2$ betraktelig for alle teknologier, unntatt for biodiesel. Dette er fordi vi ikke regner med at biodiesel reduserer utslipp av $NO_X$. Biodiesel er også den teknologien med de laveste samfunnsøkonomiske kostnadene. Flytende biogass og komprimert hydrogen med gassmotor ligger også under 1500 kroner per tonn $CO_2$, mens de andre teknologiene har noe høyere kostnader.

## 10.4. Ikke-prissatte virkninger

### 10.4.1. Støy

Støy fra motor er generelt lavere for kjøretøy og fartøy driftet på elektrisitet eller hydrogen enn for kjøretøy på konvensjonelle drivstoff. For godstransport på vei er denne forskjellen størst ved lavere hastigheter, fordi friksjonsstøy dominerer ved høyere hastigheter. Transportarbeidet på vei foregår i mindre grad i tettbygde strøk ved lave hastigheter, sammenlignet med for eksempel passasjertransport. Dette gjør at endringen i støy med overgang til nullutslippsløsningen har mindre betydning som ekstern virkning her enn ved for eksempel omlegging av busstransporten. Unntaket er dersom den reduserte motorstøyen muliggjør mer varelevering kveld og natt. Dersom godleveransen i større grad kan gjennomføres på flere tidspunkt kan det redusere kostnader for transportører og fordele belastningen på infrastruktur (og dermed utsette investeringer) (Andersen 2012). En slik virkning vil omfatte leveranser i områder som har lavere støygrenser for kveld og natt enn dag. Videre er det annen støy ved lasting og lossing av varer som ikke vil bli påvirket av omlegging av energibærer. Virkningen vurderes derfor til å kunne utløse lokale effektiviseringer, men det er vanskelig å vurdere hvor store de aggregerte virkningene er. Vi vurderer heller ikke andre endringer i logistikk- eller transportmønster, men drøfter disse i delkapittel 10.5.

Det er også forskjell på støy ved de ulike teknologiene for godstransport på sjø. Støypåvirkningen vil være relevant når fartøyene er nær bebyggelse, eksempelvis i bynære godsterminaler. Studier fra Oslo Havn viser at støypåvirkningen også er lav i havn (Ibenholt et al. 2015, s. 59). I tråd med Ibenholt et al. (2015) har vi derfor sett bort fra de samfunnsøkonomiske kostnadene ved støy fra godsskip og vurderer virkningen som begrenset.

### 10.4.2. Naturinngrep

Skipstrafikk på elektrisitet eller hydrogen fordrer investeringer i infrastruktur. De bedriftsøkonomiske kostnadene ved dette er inkludert i beregningene, men ikke eventuelle eksterne kostnader ved økt arealbruk.

De eksterne virkningene ved arealbruken kan særlig være sterke ved inngrep i uberørt natur, men det kan også eksempelvis medføre kostbare landskapsvirkninger i bebygde områder, kulturlandskap, m.m. (Zimmer et al. 2018). Dette er særlig relevant for tiltak som medfører økt elektrisitetsbruk. Økt effektbehov kan kreve økt utbygging av strømnettet. Andre tiltak som krever utbygging av ny infrastruktur for å produsere eller levere energibæreren er også potensielt relevante.

Det er vanskelig å vurdere omfanget av disse virkningene, da de er svært stedsspesifikke. Virkningene kan også internaliseres gjennom konsekvensutredninger av utbyggingsplanene.

### 10.4.3. Estetiske effekter ved endring i lokale luftutslipp

Reduserte utslipp til luft kan også gi bedre utsikt og dermed positive estetiske effekter, som er særlig relevant for områder som besøkes av turister (Menon 2018b). Denne nyttevirkningen er mer relevant for cruiseskip i fjorder og i mindre grad relevant for godstransport. Vi legger dermed til grunn at denne virkningen er neglisjerbar for våre analyser.

## 10.5. Betraktninger om 2030-2050

Analysene og drøftingene i denne rapporten er avgrenset til tidsperioden 2019-2030. Etter 2030 er særlig usikkerheten i teknologisk og økonomisk modning for bruk av alternative energibærere langt større. Etterspørselen etter godstransport og formene på transporten kan også gjennomgå større endringer. Det følgende drøfter kort mulige utviklingstrekk etter 2030. Teknologiutvalget (Størdal et al. 2018) gir en grundig gjennomgang og vurdering om den teknologiske utviklingen framover.

Attraktiviteten til elektrisitet og ulike former for hydrogen som alternative energibærere til konvensjonelle drivstoff vil trolig fortsette å øke etter 2030, også for ulike former for godstransport. Særlig er det stort potensiale for at hydrogen eller ammoniakk kan bli konkurransedyktig og endre maritim transport fram mot 2050 (DNV GL 2019a). For at batteriløsninger skal kunne gi store utslippsreduksjoner for de mest energikrevende transportformene (som godsskip) vil en mangedobling i energitetthet kreves, og det er usikkert om og i så fall når dette vil komme på plass. Også for godstransport på vei har hydrogen potensial til å substituere konvensjonelle drivstoff. Batterielektrisk framdrift begrenses i større grad av rekkevidde og plassbehov om bord enn løsninger med hydrogen eller ammoniakk, både på sjø og på vei. Kostnadene for hydrogen i veitransporten må reduseres betraktelig fra nivåene anslått for 2030 og det er behov for å utvikle infrastruktur ved omlegging av vei- og sjøtransporten. Det er også spørsmål knyttet til sikkerhet ved hydrogen og giftutslipp ved ammoniakk som må løses og kommuniseres for å kunne vurderes som et fullverdig substitutt til dieseldrivstoff.

For biodrivstoff er det en utfordring å øke produksjonsvolumene av bærekraftig (avansert) dieseldrivstoff til konkurransedyktige priser. I Klimakur 2030 anslås det at dieselprisen og konvensjonelle biodrivstoff vil være langt lavere enn for avansert HVO i 2030. Prisnivået er mer usikkert for perioden 2030-2050, men trenden og ulikhetene anslått i Klimakur-arbeidet indikerer at avansert HVO ikke vil bli konkurransedyktig, heller ikke de første årene etter 2030, uten større endringer i teknologi eller insentivordninger.

I tillegg til teknologiske utviklinger av alternative energibærere, vil andre teknologiske endringer kunne påvirke godstransporten etter 2030. Menon (2016) oppsummerer at informasjonsteknologisk utvikling, slik som å utnytte store datamengder, sensorteknologi, robotikk, autonomi og fjernstyring, vil bidra til å effektivisere ressursbruken i maritim næring og kan endre transportmønstre. Eksempelvis kan autonome skip bidra til å fordele seilingstidspunktene utover døgnet og redusere farten («slow steaming»), som er særlig relevant for lengre seilingsdistanser og vil kunne senke energibehovet betraktelig (Cariou 2011).[46] Også i veitransporten kan autonome kjøretøy redusere energibehovet, eksempelvis gjennom optimalisering av kjøremønster eller bruk av sammenkoblede kjøretøy («platooning») som reduserer luftmotstanden for kjøretøyene bak i konvoien og dermed energiforbruket.[47] I denne tidsperioden kan det også tenkes at (autonome) luftdroner blir en del av transportbildet (Størdal et al. 2018).

Endringer som reduserer energibehov vil redusere utslipp av fossile energibærere, og endringer i logistikk- og transportmønsteret vil kunne påvirke tiltakskostnadene, eksempelvis ved at mindre fartøy/kjøretøy benyttes, som kan være bedre tilrettelagt for alternative energibærere. Eksempelvis kan en mulig trend være oppsplitting i distribusjonskjeden hvor større fartøy/kjøretøy leverer til knutepunkt/huber for videredistribusjon av mindre, autonome sjøfartøy/kjøretøy/ luftfartøy. Det betyr at ulike fossilfrie løsninger i større grad kan tas opp på ulike deler av kjeden og at dermed de samlede tiltakskostnadene kan bli lavere enn om større deler av kjeden skal erstattes med samme teknologi.

Andre teknologiutviklinger og samfunnstrender, som økt netthandel, urbanisering og bruk av 3D-printing, kan også påvirke etterspørselen etter godstransport og dermed utslipp og tiltakskostnader.

Utover teknologisk utvikling vil endret politikkutforming kunne påvirke tiltakskostnadene. Særlig relevant er endret virkemiddelbruk i klimapolitikken. Å nå nasjonale og globale klimamål kan nødvendiggjøre betraktelige endringer i virkemiddelbruken fram mot 2050. Det er vanskelig å anslå hvordan virkemiddelbruken vil endre seg og dermed hvordan tiltakskostnadene vil endre seg. Klimarisikoutvalget (NOU 2018: 17) peker på at det kreves fundamentale omlegginger for å nå Parismålene, men det er betydelig usikkerhet om og eventuelt hvordan denne omleggingen vil foregå og hva konsekvensene er. Generelt vil virkemidler som øker kostnadene for bruk av fossile energibærere eller reduserer kostnadene for fossilfrie løsninger redusere de bedriftsøkonomiske kostnadene. Økt opptak av alternative teknologier kan skape stordriftsfordeler og på sikt også redusere de samfunnsøkonomiske tiltakskostnadene. Reguleringer vil også kunne ha store konsekvenser for tiltaks-kostnadene, eksempelvis ved forbud mot bruk av fossile energibærere i byområder.

I tillegg til endringer i kostnader sammenlignet med referansealternativet (konvensjonelle drivstoff), vil endringer i teknologi og politikk også kunne endre konkurranseforholdene mellom ulike former for transport og mellom de alternative energibærerne.

---

[46] *For eksempel, det autonome og batterielektriske containerskipet Yara Birkeland planlegges å settes i drift i 2020 og vil trafikkere Herøya, Brevik og Larvik (https://www.tu.no/artikler/yara-birkeland-skal-bygges-i-norge/442400, 16.01.19). I tillegg til å være en nullutslippsløsning kan tiltaket forstås som godsoverføring fra vei til sjø.*

[47] *https://www.tu.no/artikler/her-styrer-forste-lastebil-gass-og-brems-for-nummer-to-og-tre/436866 [16.01.19].*

Nevnte utviklinger kan ha relevans for hvordan en utformer politikk i dag. Kostnadene ved investeringer for å legge om godstransporten bæres i stor grad i dag, mens avkastning og eksterne nyttevirkninger påløper i framtiden. Endringer i forventede virkninger påvirker lønnsomheten. Hva som er optimal virkemiddelbruk, vil derfor kunne endre seg med oppdatert informasjon om teknologisk modning og andre utviklinger. En vil måtte basere virkemiddelutformingen på dagens kunnskapsgrunnlag og heller arbeide kontinuerlig med å oppdatere dette kunnskapsgrunnlaget.

# 11. Godsoverføring fra vei til sjø og bane

## 11.1. Bakgrunn

I EU så vel som i Norge har det i mange tiår vært argumentert for å overføre gods fra vei til sjø/kanaler og jernbane, og noen tiltak har vært satt i verk, som f.eks. EUs Marco Polo-ordning[48] og Kystverkets tilskuddsordning for godsoverføring.[49] Lignende tilskuddsordning for jernbanetransport finnes i Sverige[50] og er også nylig innført i Norge. Tanken er at ved en godsoverføring fra vei til sjø eller bane kan energibruk og utslipp reduseres, men godsoverføring vil også bidra til økt trafikksikkerhet og framkommelighet.

Potensialet for denne strategien avhenger av konkurranseforholdene i godstransportmarkedet. De empiriske analyser som er gjort på dette området, gir gjennomgående nokså nedslående resultat. Den omfattende godsanalysen gjennomført av Marskar et al. (2015) konkluderer med at bare rundt 2 prosent av godstransporten på vei potensielt kan overføres til sjø, og da er det behov for sterke tiltak.

Konkurranseflatene mellom transportformene er små. Over 90 prosent av veitransportens godsmengder er korte transporter knyttet til bygge- og anleggsarbeider og lokale varetransporter. Utenriks bulktransport svarer for tett opp til 80 prosent av volumene på kjøl, og malm og andre bulkvarer for over 80 prosent av jernbanens transporter. Skip utfører majoriteten av transportarbeidet, selv utenom petroleumsproduktene. Årlig fraktes om lag 270 mill. tonn på veinettet, og for noe over 20 mill. tonn kan andre transportformer være mulig. Analysen viser at 5-7 mill. tonn kan overføres fra veitransport til tog eller skip, dersom sterke tiltak settes i verk. Med utgangspunkt i samfunnsøkonomisk lønnsomhet synes overføringspotensialet mer beskjedent.

De tre transportgrenene har langt på vei hver sitt marked, og det er små konkurranseflater i det store bildet. Det kan derfor være relativt lite å hente i form av miljø- og klimagevinster ved å overføre transport fra vei til sjø og bane på aggregert nivå. Derimot kan det være betydelige konkurranseflater i spesifikke korridorer. Også av sikkerhetsgrunner kan det være grunn til å forhindre at en økt andel av trafikken overføres fra sjø og jernbane til veitransport. Dette vil særlig kunne ha store konsekvenser i form av økt lastebiltransport på grenseoverganger og i transportkorridorene mellom de større byene i Norge.

## 11.2. Grunnlag for beregningene

I forbindelse med at transportvirksomhetene reviderte den tverretatlige godsstrategien våren 2019, gjennomførte TØI en analyse av nordiske virkemidler for godsoverføring mellom transportformene (Mjøsund et al. 2019). Den sentrale problemstillingen var hvilke tiltak som kan gjøres på nordisk nivå for at mer av godset skal komme med jernbane eller skip til Norge. Analysen tok utgangspunkt i et norsk perspektiv, og godsoverføringspotensialet i de øvrige nordiske landene ble ikke studert.

I dette arbeidet ble det utviklet et sett med framtidsscenarioer, der noen går på økt virkemiddelbruk, som insentivordninger for godsoverføring til sjø og bane og økte veiavgifter, mens andre går på nordiske infrastrukturendringer som kan ha effekt på transportmiddelfordelingen inn til og ut av Norge. Overføringseffektene i disse scenarioene ble deretter simulert ved hjelp av Nasjonal godsmodell, mens

[48] *https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility/motorways-sea-one-stop-help-desk/mos-financial-support/marco-polo [16.01.20].*
[49] *https://www.kystverket.no/Maritim-infrastruktur/sjotransport/insentivordning-for-overforing-av-gods-fra-veg-til-sjo/beregningsverktoy/ [16.01.20].*
[50] *http://shortseashipping.azurewebsites.net/News/4166/50-millioner-kroner-til-%C3%B8kobonus-i-Sverige [16.01.20].*

samfunnsnytten av godsoverføringen ble beregnet ved hjelp av modellen Godsnytte (Caspersen et al. 2015). I dette kapitlet har vi bygget videre på disse beregningene. Hensikten er å få et anslag på den samfunnsøkonomiske kostnaden av godsoverføringstiltak, slik at dette kan sammenstilles med samfunnsøkonomisk nytte og kostnader av innfasing av ny teknologi.

Scenariene som benyttes i denne analysen, er relatert til økobonusordningen for sjøtransport, samt en tilsvarende ordning for jernbanetransport. Dette er altså tiltak som utnytter eksisterende infrastruktur og derfor ikke tar hensyn til eventuelle infrastrukturbehov for økt kapasitet. I Mjøsund et al. (2019) er det også analysert en rekke andre tiltak, men disse krever investeringer i infrastruktur, eller de er grensekryssende tiltak på tvers av de nordiske landene. For disse tiltakene foreligger ikke anslag på tiltakskostnaden, slik at vi ikke har tilstrekkelig informasjon til å beregne både nytten og kostnaden av godsoverføringstiltaket.

Vi har, som et supplement til analysene av økobonusordningene med Nasjonal godsmodell, benyttet Kystverkets kalkulator for nytteverdien av godsoverføring[51] til å beregne nytten på norsk område for seks prosjekter som har fått innvilget tilskudd for godsoverføring[52]. Kystverkets kalkulator benytter enhetsverdier for de eksterne kostnadene basert på anslag fra Thune-Larsen et al. (2014) og Magnussen et al. (2015). Dette er de samme enhetsverdiene som ble benyttet i Godsnytte i analysen til Nordisk godsanalyse, men Kystverkets kalkulator differensierer kostnadene etter befolkningstetthet i områdene transporten går gjennom. Denne muligheten fantes ikke i Godsnytte da Nordisk godsanalyse ble gjennomført og ville kreve reviderte modellberegninger.

## 11.3. Samfunnsøkonomiske kostnader ved godsoverføring

**Godsoverføring med støtte fra Kystverket**

De seks rederiene som har fått tilskudd av Kystverket i godsoverføringsordningen presenteres i Tabell 11.1.

**Tabell 11.1 Oversikt over rederier, relasjoner, estimert godsoverføring i 1000 tonn, innvilget tilskudd i mill. kroner og støttebeløp i kroner per tonn overført.**

| Rederi | Strekning | Estimert godsoverføring i 1000 tonn | Innvilget tilskudd i mill kr | Tilskudd i kr/tonn |
|---|---|---|---|---|
| **Wallenius Lines AB** | Rostock – Oslo – Bergen | 1 386 | 35,7 | 26 |
| **Base Marine AS** | Stavanger – Kristiansund | 422 | 27,5 | 65 |
| **NorLines AS** | Kristiansund – Hammerfest | 67 | 12,5 | 186 |
| **Cryo Shipping AS** | Hammerfest – Bodø | 58 | 9,3 | 160 |
| **DFDS Logistics AS** | Immingham – Oslo | 253 | 4,3 | 17 |
| **Samskip AS** | Nordvestlandet | 483 | 3,6 | 7 |
| **SUM** | | **2 669** | **92,9** | **35** |

Kilde: Kystverket

Det framkommer at de seks rederiene har fått innvilget tilskudd for godsoverføring på nær 2,7 millioner tonn. To av linjene er utenriksforbindelser, og disse utgjør til sammen en godsoverføring på 1,6 millioner tonn, altså brorparten av godsoverføringen. Informasjonen i tabellen er brukt som grunnlag for beregning av ekstern nytte og kostnader av godsoverføringen. Nytten er beregnet vha. av Kystverkets kalkulator for godsoverføring, og

[51] *https://www.kystverket.no/Maritim-infrastruktur/sjotransport/insentivordning-for-overforing-av-gods-fra-veg-til-sjo/beregningsverktoy/ [16.01.20].*
[52] *https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/seks-prosjekter-har-fatt-tilskudd-til-godsoverforing--kan-fjerne-27-millioner-tonn-gods-fra-norske-veier/id2572581/ [16.01.20].*

nytten er relatert til norsk område. Tabell 11.2 oppsummerer anslag på besparelser i $CO_2$, samt støttebeløp per tonn redusert $CO_2$ for hver av relasjonene i Tabell 11.1.

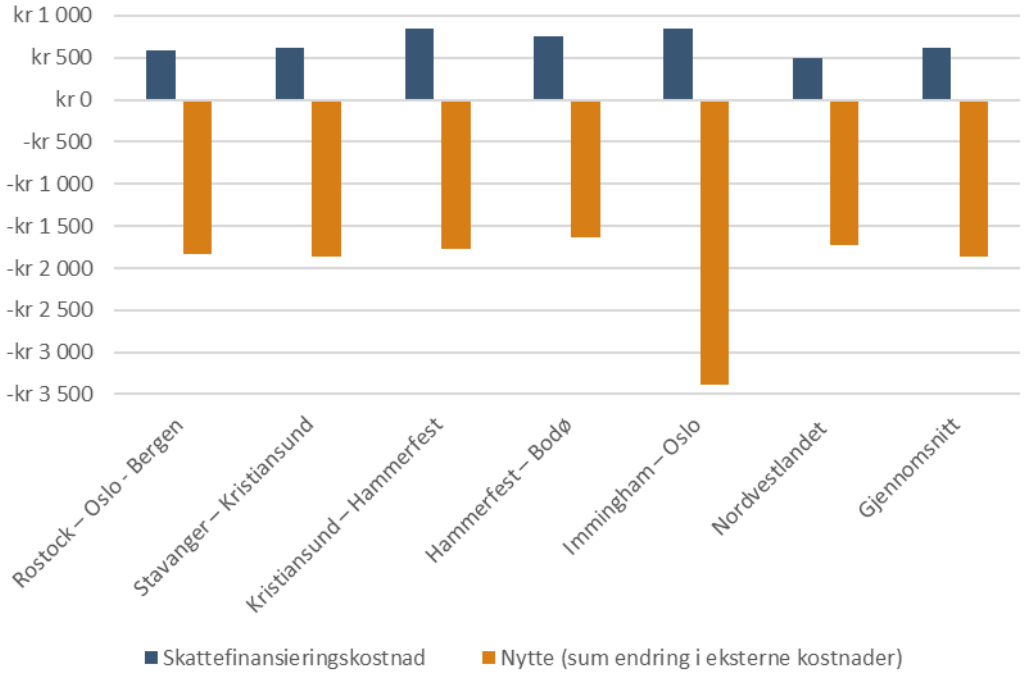
**Tabell 11.2 Oversikt over rederier, besparelser i $CO_2$ og innvilget tilskudd i mill. kroner.**

| Rederi | Strekning | Estimert reduksjon i $CO_2$ (tonn) | Tilskudd i kr/tonn redusert $CO_2$ |
|---|---|---|---|
| **Wallenius Lines AB** | Rostock – Oslo – Bergen | 68 947 | 518 |
| **Base Marine AS** | Stavanger – Kristiansund | 33 966 | 808 |
| **NorLines AS** | Kristiansund – Hammerfest | 6 653 | 1 879 |
| **Cryo Shipping AS** | Hammerfest – Bodø | 6 140 | 1 514 |
| **DFDS Logistics AS** | Immingham – Oslo | 3 528 | 1 228 |
| **Samskip AS** | Nordvestlandet | 16 047 | 224 |
| **SUM** | | **135 281** | **687** |

Kilde: Kystverket

Anslag på de eksterne kostnadene som følge av godsoverføringen presenteres i Figur 11.1. Skattefinansierings-kostnaden er basert på samme satser for bortfall av drivstoffavgifter for lastebiltransport og sjøtransport som i kapittel 10: hhv. 435 kr for veitransport i 2019 og 152 kr for sjøtransport. Det er tatt hensyn til at internasjonal sjøtransport har avgiftsfritak. Vi har i tillegg medregnet skattefinansieringskostnad av tilskuddet i kr/tonn redusert $CO_2$.

**Figur 11.1 Eksterne kostnader og skattefinansieringskostnader ved godsoverføringstiltak for sjøtransport, sammenlignet med referansealternativet (som her er veitransport), 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$. Basert beregninger med godsmodellen.**




Det framkommer at besparelsen i de eksterne kostnadene er betydelig større enn skattefinansieringskostnaden av godsoverføringen. Beregnet skattefinansieringskostnad er 137 kr per redusert tonn $CO_2$ i gjennomsnitt og varierer fra 45 kr per tonn redusert $CO_2$ på Nord-Vestlandet til 376 kr per tonn redusert $CO_2$ på relasjonen Kristiansund-Hammerfest. Gjennomsnittlig besparelse i eksterne kostnader er beregnet til å utgjøre 1860 kr per tonn $CO_2$, der strekningen Immingham-Oslo har størst besparelse (på norsk område) i kr per tonn $CO_2$. Tilskudd

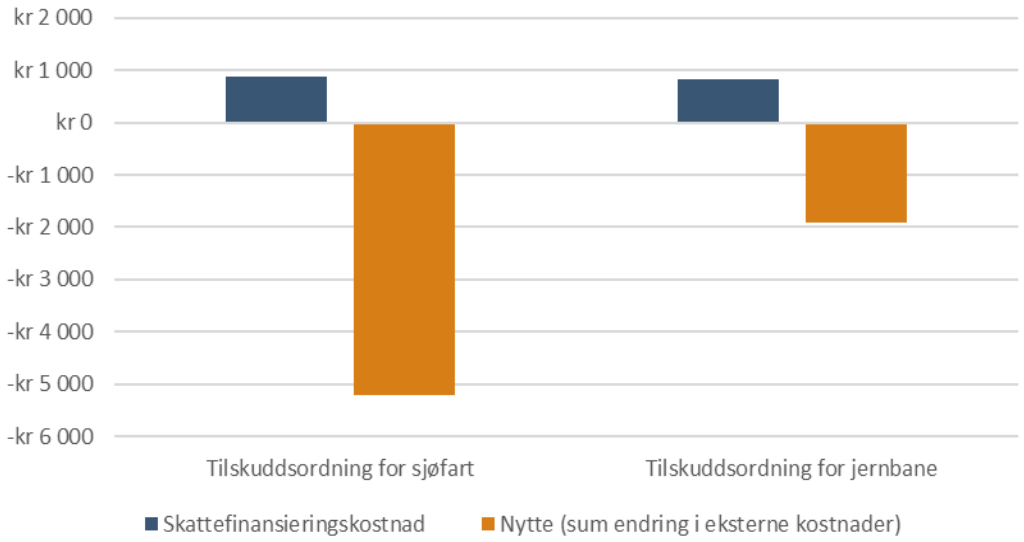
til godsoverføring slik det er beregnet her, uten kapasitetsøkende tiltak i infrastruktur, er altså beregnet å være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

**Godsoverføring beregnet ved nasjonal godsmodell**

I Nordisk godsanalyse er Nasjonal godsmodell benyttet til å beregne effekter på transportmiddelfordeling av en økobonusordning for skip og jernbane. Det må bemerkes at dose og respons er en annen i beregningene med godsmodellen enn i tiltakene til Kystverket. I Nordisk godsanalyse ble det for økobonusordningene tatt utgangspunkt i ett tilskudd på 14 kr per tonn som overføres til skip og på 30 kr per tonn som overføres til jernbanetransport. Tabell 11.1 viste at innvilgede tilskudd fra Kystverket er 35 kr i gjennomsnitt for godsoverføring til sjøtransport, men at det er stor variasjon mellom de ulike prosjektene.

Figur 11.2 viser eksterne kostnader ved godsoverføring til sjø- og jernbanetransport med utgangspunkt i beregninger med godsmodellen. Skattefinansieringskostnaden inkluderer 20 prosent av samlet utgift knyttet til hhv. støttesatsen til økobonusordningen, reduksjonen i avgiftsinntekter og bom og fergekostnader.

**Figur 11.2 Eksterne kostnader ved godsoverføring til hhv sjø- og jernbanetransport, sammenlignet med referansealternativet, 2019-kroner per tonn redusert $CO_2$**




Det framkommer at skattefinansieringskostnaden pr redusert tonn $CO_2$ er nær sammenfallende for sjø- og jernbanetransport (873 kr per tonn $CO_2$ for sjøtransport, 840 kr per tonn $CO_2$ for jernbanetransport), mens nytten målt som endring i de eksterne kostnadene er adskillig større for sjøtransport sammenliknet med jernbanetransport. Årsaken til dette er at jernbanetransport har støy- og slitasjekostnader for infrastrukturen, som langt overgår utslippskostnadene fra sjøtransport.

## 11.4. Diskusjon

Beregningene som presenteres her viser at samfunnsnytten av godsoverføring klart overgår skattefinansierings-kostnadene. Det må understrekes at beregningene gjelder for godsoverføringsprosjekter som kan gjennomføres uten kapasitetsøkende tiltak i infrastruktur.

Regjeringens teknologiutvalg (Størdal et al. 2018) bemerker at gevinsten ved en slik overføring vil reduseres i tiden framover, ettersom utslipp og ulykker fra landtransport ventes å reduseres som følge av teknologiske endringer.

Elektrifisering, selvkjørende biler (eventuelt «platooning»), samhandlende og intelligente transporttjenester og nye forretningsmodeller, som «transport as a service», vil medføre redusert miljøbelastning (utslipp og støy) når disse innfases, mens automatisering i kombinasjon med samhandlende intelligente transportsystemer vil redusere ulykker. I dag er det f.eks. samfunnsøkonomisk lønnsomhet knyttet til disse faktorene for veitransport gjennom f.eks. veiprosjekter som reduserer ulykker (og en marginal effekt knyttet til utslipp der veien blir kortere), mens det for sjøtransport og jernbanetransport er samfunnsøkonomisk lønnsomhet knyttet til å flytte transport fra vei og over til sjø eller bane og dermed redusere utslipp, ulykker, støy og slitasje på infrastruktur. Når noen av disse eksternalitetene reduseres som effekt av teknologi, synker nytten knyttet til investeringer i veitransport som er rettet inn mot å redusere risiko for ulykker. Nytten av å overføre transport fra vei til sjø og bane reduseres.

# 12. Drøfting av virkemidler

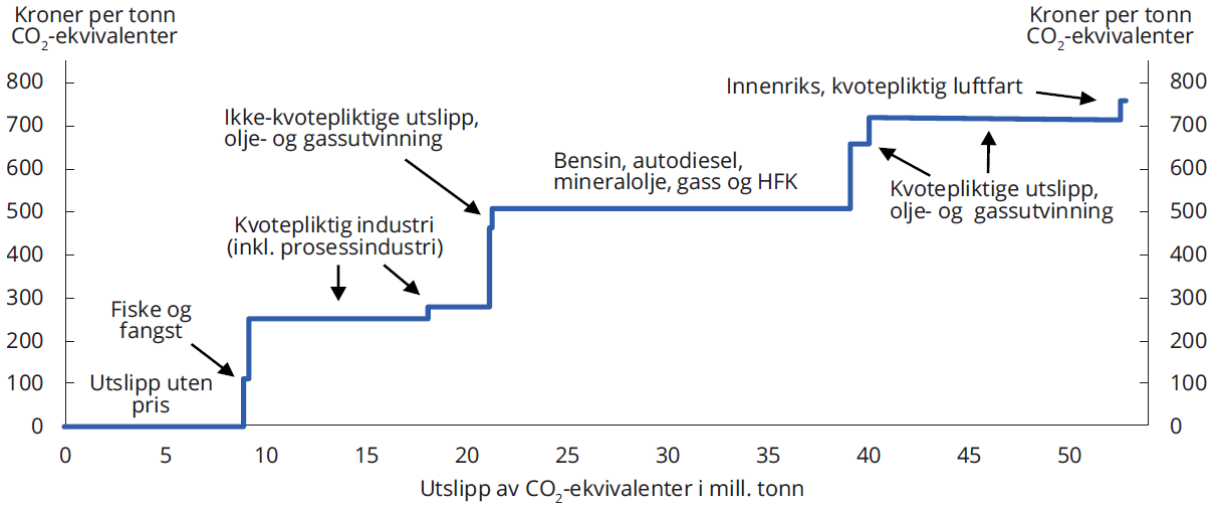
For at tiltak som ikke er bedriftsøkonomiske lønnsomme skal iverksettes, er det nødvendig med virkemidler. Det følgende beskriver og drøfter relevante virkemidler for å utløse tiltak for fossilfri og hybrid godstransport. Her drøfter vi aktuelle virkemidler fordelt etter avgifter med utslippsreduserende effekter, direkte og indirekte subsidier, og reguleringer.

## 12.1. Avgifter med utslippsreduserende insentiver

### 12.1.1. $CO_2$-avgiften

For negative eksterne virkninger, som utslipp av klimagasser, vil korrekt satte avgifter gi utslippsreduksjoner til lavest mulig samfunnsøkonomiske kostnader. $CO_2$-avgiften på drivstoff er et sentralt virkemiddel i klimapolitikken. Avgiften endrer prisforholdene i favør av lav- eller nullutslippsdrivstoff og gir umiddelbare insentiver til mindre bruk av dagens fossile drivstoff (konvensjonell diesel, bensin, MGO og LNG). På lengre sikt gir avgiften insentiver til investeringer i kjøretøy og fartøy basert på eksisterende lavutslippsteknologier og til utvikling i retning av klimavennlig transportteknologier.

**Figur 12.1 Pris på utslipp av klimagasser i ulike sektorer. Avgiftsnivå i kroner per tonn $CO_2$e i 2019 og kvotepris på 250 kroner per tonn $CO_2$. Utslippstallene er fra 2017.**




Kilde: Prop 1LS (2019-2020, s. 56)

Avgiftsnivået for tunge kjøretøy og innenriks sjøfart på 508 kroner per tonn $CO_2$ omtales som det generelle avgiftsnivået på ikke-kvotepliktige utslipp av klimagasser, se Figur 12.1. I 2019 tilsvarte dette 1,18 kroner per liter bensin og 1,35 kroner per liter diesel.

### 12.1.2. Allmenn veiprising

For transport på land vil et system for allmenn veiprising etter marginalkostnadsprisnippet korrigere mange eksterne virkninger, og kan i prinsippet utformes for å gi samfunnsøkonomisk korrekte prissignaler til alle typer kjøretøy (Fridstrøm 2019a, 2019c). En veiprisingsordning bør fange opp og avgiftsbelegge flest mulig eksterne kostnader og helst omfatte hele det offentlige veinettet og alle typer motorkjøretøy. I motsatt fall vil ordningen gi sterke insitamenter for å velge nettopp de veiene og de typene kjøretøy som er unntatt.

Av hensyn til effektive insentiver (og konkurransehensyn) bør avgiftene være de samme for norske og utenlandske kjøretøy. Norske og utenlandske kjøretøy bør også betale samme kilometeravgift. Dette er også strengt regulert i EU/EØS. På motorveinettet i Tyskland er det innført en betalingsordning for tunge kjøretøy, og et prinsippvedtak er fattet om innføring av tilsvarende system for personbiler.[53] Etter en nylig klage fra Østerrike gjorde Europadomstolen det klart at systemet for personbiler, slik det var planlagt, ville være i strid med EU-retten, da det ville innebære forskjellsbehandling mellom tyske og utenlandskregistrerte kjøretøy.[54]

Avstandsbaserte avgifter på tunge godsbiler finnes i et økende antall land og regioner, deriblant New Zealand, Sveits, Østerrike, Tyskland, Tsjekkia, Slovakia, Polen, Ungarn, Hviterussland, Russland, Belgia og Oregon i USA. Sverige har nylig utredet et veiprisingssystem for tunge kjøretøy (SOU 2017:11). Det svenske forslaget tar imidlertid ikke sikte på å internalisere mer enn én, forholdsvis uanselig, ekstern kostnad – veislitasjen, og ordningen skal enten se bort fra flesteparten av kjøretøyene og/eller omfatte bare en del av det offentlige veinettet. Allmenn veiprising vil kunne medføre betydelige kostnader og utfordringer knyttet til teknologiske løsninger, juridiske hjemler, datasikkerhet og personvern og kompatibilitet mellom land.

### 12.1.3. Bompenger

Per 15.3.2019 var det 55 bompengeordninger i virksomhet i Norge, der hver av bypakkene er regnet som én ordning. I noen av bompengeordningene varierer taksten med typen drivstoff (bensin eller diesel). I de fleste tilfeller kjører nullutslippsbiler i 2019 gratis. Dette insentivet til nullutslippsbiler er i ferd med å endre seg, ettersom disse også i større grad ilegges bompenger. Stortinget har vedtatt at bompengesatsen for elbiler ikke skal være høyere enn halvparten av laveste takst for bensin- og dieselbiler. I områder med mange bompengeordninger og høye satser for tunge biler kan dette innebære et ikke ubetydelig insitament til å velge nullutslipps godskjøretøy, så sant disse har reduserte takster eller fritak. Lavere satser vil være et virkemiddel til å stimulere elektrifisering av tunge kjøretøy i den tidlige fasen.

I og rundt Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Kristiansand og Grenland gjelder det høyere takst i rushtiden enn ellers. Bompengetakstene for personbiler varierer fra 5 kroner per passering (E18 ved Gulli i Vestfold) til 143 kroner (Hardangerbrua) og 150 kroner (Finnøytunnelen fram til 31.7.2019). Tunge kjøretøy (over 3,5 tonn) har vanligvis om lag dobbel takst, og noen steder opptil femdobbel takst. Bompenger brukes også som køprising, til finansiering av vegprosjekter og til finansiering av investeringer i kollektivtransport.

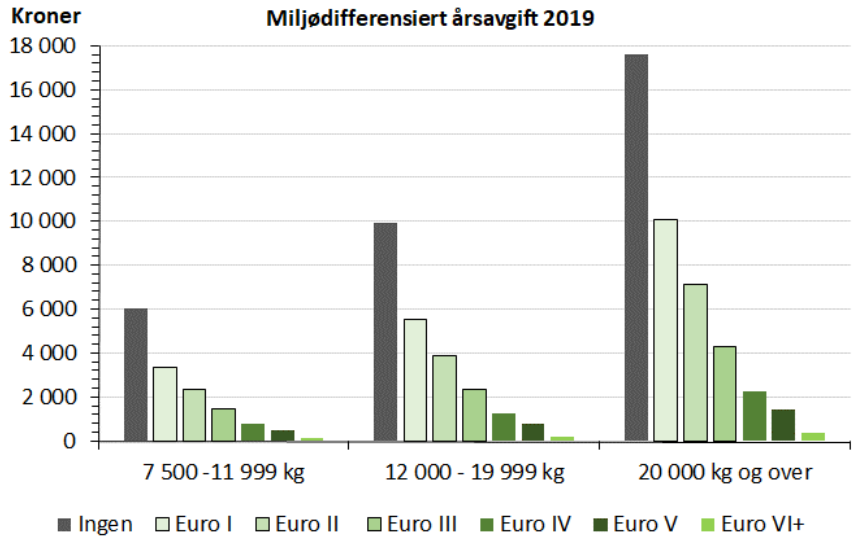
### 12.1.4. Miljødifferensiert årsavgift

Den miljødifferensierte årsavgiften gir fritak for nullutslippskjøretøy og lavere sats for mer effektive motorer. Motorer med høyere europeisk typegodkjenning (Euro-klasse) har lavere utslipp og pålegges lavere årsavgift. Forskjellen i miljødifferensiert årsavgift mellom Euro-klasse V og VI er maksimalt 1058 kroner, se Figur 12.2. Euro V-bilene er stort sett fra årene 2009 til 2012. En lastebileier sparer altså avgifter for en drøy tusenlapp i året ved å bruke en minst syv år gammel bil, noe som er et svakt insentiv i lys av de årlige driftsutgiftene for et stort vogntog, som lett løper opp i én mill. kroner.

---

[53] *https://de.wikipedia.org/wiki/Pkw-Maut_in_Deutschland [27.09.19]*
[54] *http://curia.europa.eu/juris/liste.jsf?language=de&num=C-591/17; https://www.derstandard.at/story/2000105039955/europaeischer-gerichtshof-faellt-urteil-zu-deutscher-pkw-maut [27.09.19]*

**Figur 12.2 Miljødifferensiert årsavgift for diesedeldrevne tunge lastebiler, etter Euro-klasse og tillatt totalvekt, 2019**




Kilde: Fridstrøm (2019a)

## 12.2. Direkte subsidier

### 12.2.1. Kjøpstilskudd

For godsbiler er det i de siste par år innført ordninger for direkte kjøpstilskudd som gir insentiver til overgang til nullutslippsteknologier. Tilskuddet til vraking av varebiler med forbrenningsmotor, betinget av at bilen erstattes av en nullutslippsvarebil, kan bidra til å øke kjøp av utslippsfrie varebiler. Vrakpremien på 13 000 kroner utbetales etter elektronisk søknad til Miljødirektoratet. Søkere må dokumentere kjøp eller leasing av nullutslippsvarebil, der registreringsnummeret framgår. Vrakmeldingsskjema fra biloppsamler må vedlegges. Ordningen bidrar altså til å redusere investeringskostnaden for nullutslippskjøretøy, men krever noe administrasjon av søker og forvalter.

### 12.2.2. Støtteordninger

Det eksisterer en rekke støtteordninger som er innrettet mot energieffektivisering og overgang fra fossile løsninger til nullutslippsteknologier. Noen av ordningene støtter modne teknologier, mens andre støtter teknologiutvikling, og er mindre relevante som virkemidler for å gjennomføre utslippsreduksjoner på kort sikt.

Enova gir tilskudd etter søknad fra nullutslippsfondet ved kjøp av helelektrisk varebil.[55] Tilskuddet avhenger av bilstørrelse (motorkraft) og er på 15 000 kroner for mindre varebiler og 25 000 kroner og 50 000 kroner for hhv mellomstore og større biler. Støtte utbetales til den som eier bilen og gjelder ved første gangs registrering av ny varebil. Allerede åtte dager etter at ordningen trådte i kraft i august 2019, var det gitt tilsagn til 2246 elektriske varebiler, altså flere enn det som ble solgt i hele 2018. I forlengelsen av denne ordningen er det mulig å tenke seg en tilsvarende ordning for tunge lastebiler. Tilskuddet per bil i dette segmentet må åpenbart være større for å monne, men antallet søkere vil ventelig være langt mindre.

[55] *https://www.enova.no/bedrift/landtransport/nullutslippsfondet/ [27.09.19].*

Gjennom Enova kan aktører som ønsker å redusere klimagassutslipp fra transport få støtte til innkjøp av nullutslippskjøretøy og tyngre biogassdrevne kjøretøy, slik som lastebiler, gravemaskiner, hjullastere og dumpere samt til investeringer i batteri i fartøy.[56] Ordningene setter krav til at tiltakene skal redusere klimagassutslipp. Enova har også et eget program rettet mot landstrøm i norske havner. Andre eksempler på insentiver til bruk av ny null/lavutslipp teknologi er *fullskala innovativ energi- og klimateknologi i transport*. Denne ordningen er innrettet mot å øke og framskynde kommersiell bruk av ny og spesielt innovativ teknologi som gir vesentlig reduksjon av klimagassutslipp, effektuttak eller spesifikk energibruk, eller økt produksjon av energi fra fornybare kilder.

For 2019 har overføringene til Enova gjennom Klima- og energifondet blitt styrket. Deler av midlene skal rettes mot reduserte utslipp fra næringstransport.

Enova, Innovasjon Norge og Norges Forskningsråd støtter teknologiutvikling og utbygging av nødvendig infrastruktur innen sjøfart. Siden 2015 har Enova tildelt over 1,6 mrd. kroner til skipsprosjekter hvorav 1,5 mrd. kroner har omfattet fartøy med batteri og ladeanlegg for lav- eller nullutslippsfartøy som benytter batteriteknologi. Enova har støttet fartøy og prosjekter i de fleste segmenter av maritim transport. I tillegg har Enova bidratt til en konkurransebasert utbygging av landstrøm i norske havner med om lag 500 mill. kroner innenfor den samme perioden. Regjeringen vil i samarbeid med kommuner og havnemyndigheter ha som mål å ha utslippsfrie havner der det ligger til rette for det innen 2030.

Gjennom Miljøteknologiordningen gir Innovasjon Norge støtte til risikoavlastning til prosjekter som tester og utvikler ny teknologi, der maritim næring er nest største mottaker. Innovasjon Norge har også en tilskuddordning til pilot- og demonstrasjonsprosjekter i marin og maritim sektor.

## 12.3. Indirekte subsidier

De norske insentivene til kjøp og eierskap av nullutslippskjøretøy består i hovedsak ikke av direkte subsidier, men av fritak fra avgifter, som gjør elbilene mer konkurransedyktige i det norske markedet. Dette er i prinsippet *indirekte subsidier*, som er rettet mot alternative energiteknologier og kollektivtransport.

### 12.3.1. Redusert elektrisitetsavgift

Redusert elektrisitetsavgift i skip i næring gir insentiver til økt bruk av landstrøm og til elektrisk framdrift for skip i næringsvirksomhet. I 2019 er redusert sats for skip i næring 0,5 øre per kWh, mens ordinær sats er 15,58 øre per kWh. Redusert sats er bestemt av minstesatsen i EUs energiskattedirektiv.

### 12.3.2. Redusert engangsavgift

Batteridrevne varebiler er unntatt fra engangsavgift. Varebiler i klasse 2 er belagt med engangsavgift etter samme kriterier som personbiler, men med betydelig lavere satser. Vektkomponenten i engangsavgiften utgjør 20 prosent av gjeldende satser for personbiler, mens $NO_X$-komponenten utgjør 75 prosent. $CO_2$-komponenten utgjør 30 prosent av satsen for personbiler opp til 125 $gCO_2$/km og 25 prosent i intervallet 126-195 $gCO_2$/km. Avgiften er lineær over 125 $gCO_2$/km, ikke progressiv som for personbiler. Innslagspunktet for positiv $CO_2$-komponent er 70 $gCO_2$/km, som for personbiler, men den lavere satsen per $gCO_2$/km innebærer at maksimalt fradrag (ved 0 $gCO_2$/km) bare er 30 prosent av tilsvarende for personbiler. Lette lastebiler er godsbiler registrert for 3501-7500

[56] *https://www.enova.no/bedrift/landtransport/energi--og-klimatiltak-i-landtransport/; https://www.enova.no/bedrift/maritim-transport/elektrifisering-av-sjotransport/ [27.09.19].*

kg totalvekt. For disse er det fritak fra engangsavgift når godsbilen har en viss størrelse på volum på godsrom/lasteplan (300 cm langt *og* minst 190 cm bredt).

Samlet sett er kjøpsavgiftene på godsbiler beskjedne. I motsetning til for personbiler er det begrenset potensiale for å skape insentiver gjennom avgiftsfritak. Avgiftsnivået gjenspeiler en erkjennelse av at høye avgifter på næringskjøretøy kan innebære store konkurranseulemper for norskregistrerte kjøretøy sammenliknet med utenlandske. Mest uttalt er dette for de tunge lastebilene, hvorav mange konkurrerer på et internasjonalt marked.

### 12.3.3. Unntak fra veibruksavgiften

Veibruksavgiften skal dekke de øvrige eksterne kostnader ved miljøskadelige utslipp, helseskader, ulykker og kø, støy i tillegg til veislitasje. Biogass, hydrogen, hytan (hydrogenanriket naturgass) og elektrisitet som benyttes i el- og hybridbiler er unntatt veibruksavgift. Det innebærer en indirekte subsidie, da helseskader, veislitasje, ulykker og kø er uavhengig av energitype.

Veibruksavgiften er satt til 5,25 kroner per liter bensin og 3,81 kroner per liter autodiesel. Sammen med CO2-avgiften (avsnitt 12.1.1) utgjør dette 6,43 kroner per liter (svovelfri) bensin og 5,16 kroner per liter (svovelfri) autodiesel.

### 12.3.4. Avskrivningsregler

Avskrivningsreglene innebærer insentiv til å velge elektrisk varebil. Ordinær avskrivningssats for vogntog, lastebiler, busser, varebiler mv., var 24 prosent i 2019, med forhøyet sats på 30 prosent for varebiler som bare bruker elektrisk kraft til framdrift. Så sant foretaket er i skatteposisjon, vil avskrivningsreglene påvirke hvor mye skatt foretaket må betale det enkelte år, med andre ord påvirke tidsprofilen i skattebetalingen. Men marginene i transportbransjen er gjennomgående små. Dette kan sette grenser for hvor effektivt virkemidlet vil være, i alle fall overfor kjøretøy i leietransport. Insentivet kan forsterkes ved å øke avskrivingssatsen for elektriske kjøretøy, slik at investeringen i beste fall kan utgiftsføres i sin helhet samme år som kjøretøyet anskaffes, eller å utvide ordningen til å gjelde alle godsbiler.

### 12.3.5. Offentlige anskaffelser

Staten, fylkeskommunene og kommunene kan stille krav om null- eller lavutslippsteknologi ved innkjøp av visse tjenester. Ved å vektlegge klimautslipp utover det som er innbakt i produktprisen kan offentlige anbud bidra til å forsere innfasingen av nullutslippskjøretøy- og fartøy, for eksempel batteri- eller hydrogenelektriske løsninger.

Vilkåret for at dette kan fungere i praksis er at passende teknologi er tilgjengelig i markedet. På vei er post, avfallshåndtering og bydistribusjon områder der batterielektriske løsninger har fått et visst innpass. I stor grad har det i disse tilfellene vært snakk om ombygde biler. Så å si alle pilotprosjektene har vært resultat av offentlige anbud eller initiativ for å posisjonere seg for framtidige anbud.

## 12.4. Reguleringer

Miljøreguleringer og offentlige krav kan bidra til å skape nye markeder for grønne løsninger og produkter. De viktigste lovene som regulerer utslipp til luft og sjø fra skipsfart er skipssikkerhetsloven, forurensningsloven og havne- og farvannsloven.

### 12.4.1. Krav

Lokalt avgrensede bestemmelser om maksimalt tillatt avgassutslipp av f. eks. $NO_X$, $SO_2$ og partikler,[57] gjerne kalt «lavutslippssoner», vil kunne ha betydning for transportørenes valg av klimarelevant teknologi og gi insitament til å bruke utslippsfrie kjøretøy. Slike krav kan også settes lokalt. Tilsvarende kan det settes utslippskrav i havner eller utvalgte områder (slik som Verdensarvfjordene). Cruiseskiptrafikken har vært viktigste motivasjon for slike krav, men kan også utvides til å gjelde andre skip og klimagassutslipp direkte.

Emission Control Areas (ECAs) er internasjonalt definerte hvor lokale luftutslipp skal reduseres, i henhold til Marpol-konvensjonen, anneks VI. Dette har hovedsakelig konsekvenser for fartøy driftet på fossile drivstoff: kostnadene for å rense utslippene gjør alternative energibærere relativt rimeligere.

Regjeringen vurderer videre å innføre krav om null- og lavutslippsløsninger for nye driftsfartøy i forbindelse med petroleumsproduksjon for å øke innfasingen, utover det som utløses av $CO_2$-avgiften og eksisterende støtteordninger, samt tilsvarende krav for servicefartøy i havbruksnæringen (Departementene 2019).

### 12.4.2. Utslippsregulering på EU-nivå

EU er i ferd med å innføre utslippskrav for tunge lastebiler etter liknende mal som for personbiler. Målet er 15 prosents reduksjon i nye lastebilers gjennomsnittlige $CO_2$-utslipp fra 2019 til 2025 og nye 15 prosent innen 2030.

### 12.4.3. Økt tillatt totalvekt for batterielektriske godsbiler

Det er fremmet forslag om at tillatt totalvekt for batterielektriske varebiler økes fra 3500 til 4250 kg, slik at slike varebiler kan kjøres med samme type sertifikat som for varebiler generelt.[58] Forslaget er begrunnet i batteriets høye vekt. Forutsetningen er at nyttelasten ikke skal være høyere enn i en tilsvarende dieselbil. Forslaget vil ventelig fjerne en av barrierene mot å anskaffe stor elektrisk varebil.

## 12.5. Vurderinger

I dette prosjektet er fokus hvordan en kan redusere klimagassutslipp fra godstransport ved å legge om til fossilfrie løsninger eller hybridløsninger. Da ser en bort fra hensynet til kostnadseffektivitet på tvers av sektorer i oppnåelse av de nasjonale utslippsmålene, mens utslippsreduksjoner innen godstransport er målet. Da er spørsmålet hvordan målet kan nås med lavest mulig samfunnsøkonomiske kostnader. Svaret er at en bør rette insentivene mot de tiltakene som til enhver tid gir størst utslippskutt per krone innenfor godstransport.

For å innfase de nye teknologiene, må virkemidlene tilpasses med avgifter slik at konkurrerende transport-teknologier blir dyrere, de aktuelle teknologiene må bli billigere gjennom subsidieordninger, eller det må innføres reguleringer som fremmer de nye teknologiene.

### 12.5.1. Godstransport på vei

Anslagene våre på samfunnsøkonomiske tiltakskostnader innen veitransporten peker på at omlegging til biogass er det rimeligste klimatiltaket for samtlige kjøretøysegment i 2019 og 2025. I 2030 har batteridrift de laveste

---

*[57] Jf. kjennelse i EFTA-domstolen av 2. oktober 2015, der Norge ble funnet skyldig i brudd på bestemmelsene om maksimalt innhold av svoveldioksid ($SO_2$), svevestøv ($PM_{10}$) og nitrogendioksid ($NO_2$) i luften, gitt i Artikkel 13 av EU-direktiv 2008/50, og for ikke å ha oppfylt kravene til tiltaksplan mot luftforurensing, gitt i Artikkel 28 av samme direktiv (EFTA Court 2015).*
*[58] https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-side10/id2620405/ [27.09.19].*

tiltakskostnadene. Tiltak for å legge om til drift på hydrogen eller ulike hybridløsninger har høyere tiltakskostnader. Godsoverføring til sjø eller bane er et samfunnsøkonomisk lønnsomt tiltak, også før klimagevinsten vurderes, men er kun relevant for en begrenset mengde av godstransporten. Dersom en ikke skal iverksette eller forsterke sektorovergripende virkemidler, som $CO_2$-avgift, peker kostnadsanslagene på at det vil være mest effektivt med subsidiering av biogass eller forbud av fossile drivstoff, som da vil stimulere til bruk av biogass (eller andre alternative energibærere). Dersom en vil stimulere til teknologiutvikling med mulig lavere kostnader for alternative energibærere i framtiden, peker kostnadsanslagene på at kjøretøy på batteri-elektrisk drift vil kunne være lønnsomt.

For lengre transportdistanser vil helelektrisk drift kunne være utfordrende, slik at hybridløsninger kan være et reelt alternativ, i tillegg til biogass. Tiltakskostnadene for omlegging til hybriddrift er imidlertid høyere per tonn $CO_2$, særlig for diesel-elektrisk drift, og virkemiddelbruken rettet mot hybridløsninger er i dag langt mer begrenset enn for nullutslippsløsninger. Økt virkemiddelbruk rettet mot hybridløsninger, slik som Enova-tilskudd, vil derfor være nødvendig dersom en ønsker økt bruk av hybride godskjøretøy.

Anslagene på samfunnsøkonomiske tiltakskostnader er beheftet med usikkerhet, noe som muligens er mest relevant for tiltakskostnadene for omlegging til hydrogen. Teknologien er fortsatt relativt umoden, slik at prisutviklingene fram mot 2030 er utfordrende å anslå. Videre er det koordineringsutfordringer, hvor utbygging av infrastruktur er avhengig av etterspørsel etter hydrogen, og attraktiviteten til hydrogenkjøretøy øker med tilgjengeligheten av hydrogen.

### 12.5.2. Godstransport på sjø

Innen sjøtransport peker anslagene våre mot at omlegging til hybridløsninger er samfunnsøkonomisk lønnsomt blant enkelte skip, også før klimagevinsten vurderes, mens biogass og etter hvert komprimert hydrogen med gassmotor er de rimeligste fossilfrie alternativene. Sistnevnte anses imidlertid som teknisk mulig kun på en mindre del av flåten. Tiltakene er ikke bedriftsøkonomisk lønnsomme, slik at det er behov for virkemidler for å utløse disse.

Som beskrevet i kapittel 8 foregår det i dag utviklingsprosjekter for å redusere utslipp fra godsskip, med støtte fra virkemiddelapparatet. I tillegg er det pågående initiativer innen hydrogendrift av ferjer og hurtigbåter i regi av Vegdirektoratet og fylkeskommuner som vil kunne senke terskelen for bruk av hydrogen også for andre skipstyper. Til tross for dette er det høyst usikkert om det vil realiseres nullutslippsløsninger i godsskipsegmentet, kanskje med unntak av Yara Birkeland, som er under bygging. De bedriftsøkonomiske resultatene i kapittel 7 viser at nullutslipps-teknologiene gir en betydelig merkostnad sammenlignet med konvensjonell drift, og denne merkostnaden vil måtte dekkes for at tiltak skal utløses.

Utover lønnsomhet, vil opptak av disse løsningen også avhenge av hvordan man løser nøkkelbarrierer som teknologisk modenhet, plassbehov for ombordlagring, regler for sikker og effektiv håndtering og ombordbruk, tilgang på infrastruktur og tilstrekkelige produksjonsvolumer (DNV GL 2019b). En nylig kartlegging av dagens situasjon for skipsfartens nullsutslippsløsninger (utvalgte), synliggjør en lav score på flere av disse nøkkelbarrierene (DNV GL 2019b). Slike forhold vil ta tid å løse, og må på plass før skipsrederne vil vurdere å ta i bruk nye løsninger.

Utviklingen er også helt avhengig av at nye løsninger og drivstoff etterspørres i markedet, enten på frivillig basis med framoverlente lasteiere, eller som resultat av myndighetskrav. Tidsaspektet vil være viktig hvis rederen skal oppnå en viss trygghet for en nybyggsbeslutning med nye løsninger og drivstoff, med tanke på at et nybyggprosjekt består av prosjektering, anskaffelse, design og konstruksjon. Det tar anslagsvis 3-5 år fra et

prosjekt starter til et skip leveres, slik at å investere i en alternativ teknologi er en relativt stor beslutning, sammenlignet med kjøretøy.

I DNV GL-rapporten *Barometer for grønn omstilling av skipsfarten* ble det presentert teknologiopptak og virkemiddelbruk for ulike skipstyper (DNV GL 2019a). Blant godsskip (herunder våt- og tørrbulkskip) er det relativt få prosjekter med støtte fra virkemiddelapparatet. I disse segmentene finner vi noen av de eldste skipene. Markedsmessige tiltak for å styrke etterspørselssiden for miljøvennlige skip er i liten grad anvendt, med unntak av fergesektoren. Nylig utkom regjeringens Handlingsplan for grønn skipsfart, hvor politikk og satsninger for å kutte nasjonale klimagassutslipp per skipsegment ble presentert (Departementene 2019). For godskips trekkes det fram bl.a. insentivordninger for nærskipsfarten, miljøvennlig flåtefornyelse og krav om nullutslippstransport i leveranser til det offentlige, der det ligger til rette for det. Godsskip er et segment der løsningene er avhengig av samarbeid mellom mange ulike aktører (Departementene 2019). Rederier, vareeiere og offentlige aktører må samarbeide for å øke etterspørselen etter grønne transportløsninger. Nylig vedtok regjeringen en satsning som skal realisere grønn flåtefornying av lasteskip.[59]

For å få HVO inn i markedet, må prisen være konkurransedyktig med diesel (MGO). Aktuelle virkemidler kan være reguleringer / krav om innblanding på samme måten som for biodrivstoff, eller direkte prissubsidier til HVO. Aktuelle virkemidler for biogass vil være reguleringer / krav om innblanding eller prisstøtte (subsidier), på samme måte som for biodrivstoff. Ammoniakk som drivstoff er umodent. Markedet er helt i oppstarten som maritimt drivstoff, og det vil være aktuelt med subsidier til både pilotering og produksjon. Bruk av hydrogen som drivstoff på skip er også på utviklingsstadiet. Barrierer er sikkerhetsutfordringer relatert til lagring og håndtering, lav tilgjengelighet, høye investeringskostnader og usikkerhet rundt operasjonelle kostnader. Aktuelle virkemidler kan være kombinasjoner av subsidier til hydrogenprosjekter for bruk av hydrogen, subsidier til produsenter, og reguleringer/påbud i form av kontraktsfestet teknologi. Elektrifisering støttes gjennom NOx-fondet, som dekker inntil 80 prosent av merkostnadene om bord på fartøyene, det vil si investeringer i batterisystem, el-system og maskiner ombord på båtene, og det er redusert sats for levering av elektrisk kraft til bruk om bord i skip i næring. Videre økning i innslaget av elektrifisering vil fortsatt være avhengig av subsidier, enten som direkte støtte til investeringer i infrastruktur og ombygging av båtene, eller gjennom direkte støtte til el-forbruk.

[59] *https://maritimecleantech.no/2019/10/07/statsbudsjettet-tiltak-for-gron-skipsfart/ [16.01.20]*

# 13. Målkonflikter

Dette kapitlet vurderer målkonflikter ved virkemidler for innføring av nullutslippsteknologier i godstransporten. Først diskuterer vi overordnet virkemiddelbruk og manglende effektivitet ved dobbel virkemiddelbruk, deretter diskuterer vi fordelingseffekter knyttet til hvem som betaler kostnadene og til slutt i hvilken grad tiltak med betydning for nasjonalt klimaregnskap samsvarer med global klimapåvirkning.

## 13.1. Dobbel virkemiddelbruk

Virkemidler som innebærer at marginalkostnaden ved utslipp fanges opp i markedsprisene bidrar til at den nasjonale målsettingen oppnås til lavest mulig kostnader. Prising av utslipp favoriserer heller ikke enkeltteknologier, men gir insentiver til generell utvikling av mindre utslippsintensive løsninger, også nye, ukjente teknologier. Marginalkostnaden for reduksjoner i utslipp av $CO_2$ ligger på 508 kroner per tonn (Prop 1LS 2018-2019) som følge av $CO_2$-avgiften, før særskilte virkemidler rettet mot nullutslipp i godstransporten regnes med.

De samfunnsøkonomiske kostnadene som er anslått i kapittel 10 kommer i tillegg til tiltakskostnadene som allerede er rettet mot utslipp fra transport i form av for eksempel $CO_2$-avgifter, påbudt innblanding av biodiesel og direkte og indirekte subsidier. Flere virkemidler på toppen av hverandre øker de samfunnsøkonomiske kostnadene ved reduksjoner i utslippene og kompliserer anslagene for samlede kostnader av virkemidlene sett under ett. Det er imidlertid ikke opplagt at $CO_2$-avgiften på utslipp fra godstransport er satt på et riktig nivå i forhold til globale skadekostnader. Det begrunner imidlertid justeringer av avgiften, ikke flere virkemidler. Dette forutsetter blant annet politisk gjennomførbarhet – dersom slike («first-best») virkemiddel ikke er gjennomførbare kan andre («second-best») virkemidler være nødvendige for å nå satte klimamål.

Det kan også være andre typer markedssvikt som begrunner andre virkemidler, som nettverkseffekter, teknologiutvikling, manglende informasjon, i de ulike fasene av innovasjonskjeden. For eksempel er nettverkseffekter en relevant grunn til å støtte etablering av ladestasjoner. Støtte rettet mot teknologiutvikling på ulike nivå kan bidra til å løse ulike typer markedssvikt knyttet til teknologiutvikling. Innenfor både land- og sjøtransport gis det støtte til både demonstrasjon av teknologier, til pilotering og testing under reelle driftsbetingelser, og støtte til å ta teknologiene i bruk.

Gjennomgangen av virkemidler i kapittel 12 viser at vi har svært mange virkemidler som er rettet mot ett og samme problem. Slik bruk av multiple virkemidler tilslører sammenhengen mellom virkemidler og mål, og totaleffekten av den samlede politikken blir uklar. Virkemidlene kan delvis motvirke hverandre eller innebære at ett eller flere av virkemidlene svekkes. Bruken av flere virkemidler bør derfor unngås med mindre det foreligger særskilte grunner, for eksempel vanskelig gjennomførbarhet. I stedet bør en styrke virkemidlene mot markedssvikt i teknologiutvikling og nettverkseffekter som ikke allerede er dekket av valgte virkemiddel.

## 13.2. Fordelingseffekter ved finansiering

Virkemidlene som velges vil ha betydning for hvem som dekker de samfunnsøkonomiske merkostnadene ved innføring av nullutslipps- teknologiene. Valg av virkemiddel er både et spørsmål om effektivitet, som drøftet ovenfor, og et spørsmål om fordeling.

Generelt vil subsidier og offentlig støtte dekkes av fellesskapet (høyere skatter eller omdisponering av offentlige budsjetter), mens manglende prising er en indirekte subsidie til forurenser. Støtteordninger medfører også

forvaltningskostnader som i mange tilfeller er vesentlige i forhold til støttebeløpet (anslått til 3,3 prosent av norske støtteordninger i klimapolitikken, Menon 2018a).

Kostnadene ved reguleringer og avgifter belastes de som forårsaker utslippene mer direkte (forurenser betaler-prinsippet). $CO_2$-avgiften treffer alle brukere av fossile drivstoff.

## 13.3. Norsk klimaregnskap versus global påvirkning

I dette oppdraget tar vi utgangspunkt i klimagassutslipp som regnes med i Norges klimagassregnskap. I samsvar med klimagassregnskapet ser vi bort fra alle eventuelle utslipp ved produksjon av elektriske-, biodrivstoff-, ammoniakk- og hydrogenbaserte kjøretøy og fartøy utenfor Norge. Vi legger videre til grunn at utslipp fra eventuell produksjonen i Norge er neglisjerbart. Det betyr at vi ser bort fra positive og negative effekter på utslipp av klimagasser knyttet til produksjon av energi og kapitalutstyr, og drift av disse teknologiene, både i Norge og i andre land. Teknologiene kan imidlertid føre til endrede klimagassutslipp gjennom (i) utslipp ved produksjon av biodrivstoff, (ii) produksjon av kjøretøy og fartøy og (iii) økning i fossilt basert elektrisitetsproduksjon. Det følgende diskuterer kort disse tre potensielle påvirkningene.

### 13.3.1. Biodrivstoff

Utslipp av klimagasser knyttet til bruk av biodrivstoff føres ikke i norsk klimaklimaregnskap. Implisitt legges det til grunn at utslippene fra (norsk) forbrenning motsvares av klimagassopptak ved tilvekst av ny biomasse, og at utslippene fra produksjon reguleres i de landene som produserer biodrivstoff.

De senere årene er det dokumentert at hogst av skog for å lage bioenergi innebærer netto tilførsel av $CO_2$ til atmosfæren i lang tid framover (Searchinger et al. 2018). Dette er uavhengig av kilden til bioenergien, og omfatter dermed også hogst av skog i Norge. Det er spesielt kontroversielt at importert biodrivstoff er produsert av biologisk materiale dyrket på arealer som tidligere var skog. Palmeolje utgjør nesten halvparten råstoffene som brukes til biodrivstoff i Norge.[60] Produksjon av palmeolje er arealkrevende, og har bidratt til avskoging av regnskog og ødeleggelse av naturområder. Det er derfor et åpent spørsmål om satsingen på biodrivstoff heller bidrar til økte globale utslipp, som påpekt i Holtsmark (2017), framfor å bidra til reduksjoner.

De potensielt store klimagassutslippene som følge av produksjon av biodrivstoff fanges ikke opp i det norske klimaregnskapet og dermed ikke i beregningene i denne rapporten. Dette betyr at det er betydelig usikkerhet rundt den globale klimapåvirkningen av teknologiene som benytter biodiesel. Disse beregningene må derfor spesielt tolkes med forsiktighet.

### 13.3.2. Produksjon av kjøretøy og fartøy

Beregningene i denne rapporten inkluderer virkninger ved *drift* av alternative teknologier, og omfatter ikke klimagassutslipp og andre eksterne virkninger ved *produksjon* av kjøretøyene og fartøyene. De samfunns-økonomiske kostnadene er undervurdert dersom de alternative teknologiene har større utslipp og annen påvirkning ved produksjon enn referansealternativet. Dette er spesielt relevant for produksjon av batteri, men kan også være relevant for annet materiell. Dersom produksjonen foregår i Norge, vil kostnadene fanges opp i andre deler av klimaregnskapet.

---

[60] *http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2018/Mai-2018/Bruk-av-biodrivstoff-fortsetter-a-oke/ [16.09.18].*

### 13.3.3. Elektrisitet

I klimaregnskapet legges til grunn at bruk av elektrisitet ikke fører til utslipp av klimagasser. Nær 100 prosent av elektrisitetsproduksjonen i Norge grunner i fornybare kilder. Samtidig er Norge en del av et internasjonalt kraftmarked, som også inkluderer substansielle andeler ikke-fornybar energi. NVEs varedeklarasjon for 2017 viser at den *teoretiske* energimiksen i Norge består av 16 prosent fornybar energi, 27 prosent kjernekraft og 57 prosent fossil energi.

Elektrisitetsproduksjonen både i Norge og andre land i Europa inngår imidlertid i kvotemarkedet EU-ETS, slik at elektrifisering ved hjelp av batteri, kjøreledning eller hydrogen framstilt gjennom elektrolyse innebærer en flytting av (eventuelle) utslipp fra ikke-kvotepliktig sektor til kvotepliktig sektor. Vi har i våre vurderinger lagt til grunn at økt etterspørsel etter elektrisitet ikke vil påvirke kvotetaket og derfor heller ikke føre til økte utslipp globalt. En kan imidlertid tenke seg at dette ikke er tilfelle. Etter at en nå har innført en markedsstabilitetsreserve av utslippstillatelser kan det tenkes at det samlede klimagassutslippet i EØS-området ikke nødvendigvis synker i samme omfang som forbruket av fossilt drivstoff går ned. Likevel vil klimagevinsten trolig være betydelig (Fridstrøm 2020).

# Referanseliste


Andersen, J. (2012). Varelevering kveld og natt. *Tiltakskatalog for transport og miljø.* https://www.tiltak.no/b-endre-transportmiddelfordeling/b-6-gods-og-varetransport-i-by/b-6-2.

Anleggsmaskinen (2016). *Mercedes-Benz lastebiler godkjent for HVO-diesel*. https://anleggsmaskinen.no/2016/02/4082/.

Bartels, J.R. (2008). *A feasibility study of implementing an Ammonia Economy*. Masteroppgave, Ames: Iowa State University.

Battelle (2017). *Manufacturing Cost Analysis of 100 and 250 kW Fuel Cell Systems for Primary Power and Combined Heat and Power Applications*. Columbus: Battelle Memorial Institute.

Biofuel-express a (u.å., a). *Scania anbefaler å bytte fra fossil diesel til fossilfri B100 Biodiesel RME*. https://www.biofuel-express.com/scania-anbefaler-a-bytte-fra-fossil-diesel-til-fossilfri-b100-biodiesel-rme/.

Biofuel-express (u.å., b). *Scania introducerar två 13-liters biodieselmotorer för Euro 6*. https://www.biofuel-express.com/no/scania-introducerar-tva-13-liters-biodieselmotorer-for-euro-6

Bloomberg (2018). *Electric Buses in Cities. Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2*. https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1726_BNEF_C40_Electric_buses_in_cities_FINAL_APPROVED_%282%29.original.pdf?1523363881.

Cariou, P. (2011). Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16:3.

Caspersen, E., Wangsness, P.B, Østli, V., & Madslien, A. (2015). Dokumentasjon: GodsNyttemodellen. *TØI-rapport* nr. 1446.

CEN (2012). *NEN-EN 16258. Methodology for calculation and declaration of energy consumption and GHG emissions of transport services (freight and passengers)*. Brussel: Comité Europeen de Normalisation.

Dagsavisen (2013). *Posten satser på biogass*. https://www.dagsavisen.no/rogalandsavis/posten-satser-pa-biogass-1.645075.

Departementene (2019). *Regjeringens handlingsplan for grønn skipsfart*. Oslo: Klima- og miljødepartementet, Finansdepartementet, Kommunal- og moderniseringsdepartementet, Nærings- og fiskeri-departementet, Olje- og energidepartementet, Samferdselsdepartementet og Utenriksdepartementet.

DNV GL (2014). Sammenstilling av grunnlagsdata om dagen skipstrafikk og drivstofforbruk. *DNV GL-Rapport* nr. 1667.

DNV GL (2016). Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip. *DNV GL-rapport* nr. 0511, Rev. A.

DNV GL (2018a). ASEAN ship emission inventory, *DNV GL-rapport* nr. 2018–0260, Rev. 0.

DNV GL (2018b). Analyse av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk, for Miljødirektoratet, *DNV GL-rapport* nr. 2018-0181.

DNV GL (2019a). Underlag til handlingsplan for grønn skipsfart. Barometer for grønn omstilling av skipsfarten. *DNV GL-rapport* nr. 2019-0080, Rev. 0.

DNV GL (2019b). *Maritime Forecast to 2050. Energy Transition Outlook 2019*.

DNV GL (2019c). Comparison of alternative marine fuels, *DNV GL-rapport* nr. 2019–0567.

EFTA Court (2015). *Failure by an EFTA State to fulfil its obligations – Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe – Limit values for certain pollutants in ambient air – Air quality plan*. Judgment of the Court in Case E-7/15, 2 October 2015.

Europaparlamentet (2019). *$CO_2$ emission performance standards for new heavy duty vehicles*. European Parliament legislative resolution of 18 April 2019.

Fridstrøm, L. (2019a). Dagens og morgendagens bilavgifter. *TØI-rapport* nr. 1708.

Fridstrøm, L. (2019b). Snart forurenser veitrafikken mye mindre. *Samferdsel* 9.4.2019.

Fridstrøm, L. (2019c). Allmenn veiprising – en nødvendig revolusjon. *Samferdsel* 29.9.2019.

Fridstrøm, L. (2019d). Framskrivinger av kjøretøyparken i samsvar med nasjonalbudsjettet 2019. *TØI-rapport* nr. 1689.

Fridstrøm, L. (2020). Belling the right cat: On the challenges and opportunities of electromobility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* (forthcoming).

Fridstrøm, L. & Østli, V. (2016). Kjøretøyparkens utvikling og klimagassutslipp. Framskrivinger med modellen BIG. *TØI-rapport* nr. 1518.

Fridstrøm L., Østli V. & Johansen K.W. (2016). A stock-flow cohort model of the national car fleet. *European Transport Research Review*, 8: 22.

Hagman, R., Amundsen, A.H., Ranta, M. & Nylund, N.-O. (2017). Klima- og miljøvennlig transport frem mot 2025 Vurderinger av mulige teknologiske løsninger. *TØI-rapport* nr. 1571

Holtsmark, B. 2017. Utslipp av CO2 som følge av budsjettavtalen for 2017. En sammenligning med Miljødirektoratets beregninger, *SSB-notat* 2017/2018.

Hooftman N., Messagie M., Van Mierlo J., Coosemans T. (2018). A review of the European passenger car regulations – real driving emissions vs local air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 86.

Hovi, I.B., Hansen, W., Johansen, B.G., Jordbakke, G.N. & Madslien, A. (2017). Framskrivinger for godstransport i Norge 2016-2050. *TØI-rapport* nr. 1555.

Hovi, I.B., Pinchasik, D.R., Thorne, R.J. & Figenbaum, E. (2019). User experiences from the early adopters of heavy-duty zero-emission vehicles in Norway. Barriers and opportunities. *TØI-rapport* nr. 1734.

Ibenholt, K., Magnussen, K., Navrud, S. & Skjelvik, J.M. (2015). Marginale eksterne kostnader ved enkelte miljøpåvirkninger. *Vista-rapport* nr. 19.

Inside EVs (2018). *DAF Reveals Three Plug-In Electric Trucks At IAA*. https://insideevs.com/news/339995/daf-reveals-three-plug-in-electric-trucks-at-iaa/.

IPCC (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. Kap. 2 i 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. New York: United Nations' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Jordbakke, G., Amundsen, A.H., Sundvor, I., Figenbaum, E. & Hovi I.B. (2018). Technological maturity level and market introduction timeline of zero-emission heavy-duty vehicles. *TØI-rapport* nr. 1655.

Kluschke, P., Gnann, T., Plötz, P. & Wietschel, M. (2019). Market diffusion of alternative fuels and powertrains in heavy-duty vehicles: A literature review. *Energy Reports* 5: 1010-1024.

Klæboe R. & Ludvigsen J. (2014). Jernbaneportaler og -korridorer mot Norge, i L. Fridstrøm & K.H. Alfsen (red.) Vegen mot klimavennlig transport. *TØI-rapport* nr. 1321.

Linkker (2017). *Technology*. http://www.linkkerbus.com/technology.

Magnussen, K., Ibenholt, K. Skjelvik, J.M., Lindhjem, H., Pedersen, S., et al. (2015). Marginale eksterne kostnader ved transport av gods på sjø og bane. *Vista-rapport* nr. 54.

MariGreen (2018). *Perspectives for the Use of Hydrogen as Fuel in Inland Shipping – A Feasibility Study*. Aachen: MariGreen.

Marskar, E.-M., Askildsen, T.C., Presttun, T. & Markussen, G. (2015). *NTP Godsanalyse. Hovedrapport*. Oslo: Statens vegvesen/Kystverket/Jernbaneverket.

McDaniel, J., Pettersson, P., Nordli, E., Tann, J. & Sewring, G. (2013). *Infrastruktur och trafikering för Intercity-tåg och höghastighetståg*. Stockholm: Ramböll.

Meld. St. 1 (2018-2019). *Nasjonalbudsjettet for 2019*. Oslo: Finansdepartementet.

Meld. St. 33 (2016-2017). *Nasjonal transportplan 2018-2029*. Oslo: Samferdselsdepartementet.

Menon (2016). Maritim næring i det 21.århundret - Prognoser, trender og drivkrefter. *Menon-publikasjon* nr. 11, forfattere: C.S Mellbye, A. Rialland, E.A Holthe, E. Jakobsen & A. Minsaas.

Menon (2018a). Områdegjennomgang av støtteordninger i klimapolitikken, *Menon-publikasjon* nr. 1, forfattere: A. Bruvoll, K. Midttømme, B. Tennbakk, S. Fjose, K. Høiseth-Gilje, A. Myklebust, K. E. Rosendahl, S. Skjeflo, R. S. Syrstad & O. M. Stokke.

Menon (2018b). Samfunnsøkonomisk analyse av miljø- krav til fartøy i Verdensarvfjordene. *Menon-publikasjon* nr. 3, forfattere: S. Pedersen, I. Kjelsaas & P. Aalen.

Miljødirektoratet. (2018a). Metodikk for tiltaksanalyser. *M-rapport* nr. 1084.

Miljødirektoratet (2018b). Miljøavtale med CO2-fond: Modellering av kostnader og potensial for utslippsreduksjoner, *M-rapport* nr. 1047.

Miljødirektoratet (2019). Energipriser brukt i Klimakur 2030. Vedlegg III til veileder for tiltaksanalyser, *M-rapport* nr. 1084.

Mjelde, A., Martinsen, K., Eide, M. & Endresen, Ø. (2014), Environmental accounting for Arctic shipping – A framework building on ship tracking data from satellites, *Marine Pollution Bulletin* vol.87.

Mjøsund, C.S., Pinchasik, D.R., Hovi, I.B. & Grønland, S.E. (2019). Nordiske virkemidler for overføring av godstransport fra vei til sjø og bane. *TØI-rapport* nr. 1706.

NAF (2019). Alt du må vite om drivstoff. https://www.naf.no/tips-og-rad/bilhold/teknisk-om-bilen/alt-du-ma-vite-om-drivstoff/.

$NO_X$-fondet (2017). *Årsrapport 2017: Rapport om oppfyllelse av reduksjonsforpliktelsen for 2017 i henhold til Miljøavtalen om $NO_X$ 2011-2017*. Oslo: Næringslivets $NO_X$-fond.

Motor. (2019). *Regjeringen må utsette avgift på biodrivstoff.* https://www.motor.no/artikler/2019/desember/stortinget-sier-stopp-for-regjeringens-biodrivstoff-avgift/.

OECD (2018). *Decarbonising maritime transport by 2035*. Paris: OECD.

OECD (2019). *ITF Transport Outlook 2019*. Paris: OECD.

Prop 1LS (2019-2020). *Skatter, avgifter og toll 2020*. Oslo: Finansdepartementet.

Paaveien (2016). *ASKO kjører allerede på bioetanol*. http://paaveien.no/2016/10/17/asko-kjorer-allerede-pa-bioetanol/.

Paaveien (2019). *Hvordan er det å kjøre med RED95?* http://paaveien.no/2019/01/31/hvordan-er-det-a-kjore-med-red95/.

Raucci, C. (2017). *The potential of hydrogen to fuel international shipping*. Doktorgradsavhandling, London: UCL Energy Institute, University College London.

Rødseth K.L., Wangsness P.B., Veisten K., Elvik R., Klæboe R., Thune-Larsen H., Fridstrøm L., Lindstad E., Rialland A., Odolinski K. & Nilsson J.-E. (2019). Eksterne kostnader fra transport i Norge. Estimater av marginale skadekostnader fra person- og godstransporSkadekostnader ved transport. *TØI-rapport* nr. 1704.

Saito, N. (2018). *The economic analysis of commercial ships with hydrogen fuel cell through case studies*. Masteroppgave, Malmö: World Maritime University.

Scania (2015). *Scania launches hybrid truck for city use*. https://www.scania.com/group/en/wp-content/uploads/sites/2/2016/01/pdf-151024EN-Scania-launches-hybrid-truck-for-city-use.pdf.

Searchinger, T.D, Beringer, T., Holtsmark, B., Kammen, D.M., Lambin, E.F., et al. (2018). Europe's renewable energy directive poised to harm global forests. *Nature Communications*, 9: 3741.

SOU (2017:11). *Vägskatt. Betänkande av Vägslitageskattekommittén*. Stockholm: Statens offentliga utredningar.

SSB (2019). Stadig mer alternativt drivstoff i transport. https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/stadig-mer-alternativt-drivstoff-i-transport.

Statens vegvesen (2018). *Håndbok V712 - Konsekvensanalyser*. Oslo: Statens vegvesen

Størdal, J.-M., Gjørv, B.G., Jenssen, B.R., Kaynia, M., Kristensen, N.B., Nag, T., & Volden, G.H. (2018). *Teknologi for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet*. Ekspertutvalget – teknologi og fremtidens transportinfrastruktur.

Sun Shengyang, S. (2018). *Trends and challenges in electric-bus development in China*. http://www.sustainabletransport.org/archives/5770.

Thune-Larsen, H., Veisten, K., Rødseth, K.L., Klæboe, R. (2014, revidert 2016). Marginale eksterne kostnader ved vegtrafikk med korrigerte ulykkeskostnader. *TØI-rapport* nr. 1307.

Transport & Environment (2019). EU target to cut truck CO2 and boost zero-emission truck sales must only be the start. https://www.transportenvironment.org/press/eu-target-cut-truck-co2-and-boost-zero-emission-truck-sales-must-only-be-start.

Yrkesbil (2012). Posten forsøker seg på gass. http://www.yrkesbil.no/artikkel.php?aid=39176.

Zimmer, M.L.D., Lindhjem, H. & Handberg, Ø.N. (2018). Hvordan påvirker vindkraft landskapet, og hvordan vurderes virkningene av folk som berøres? En litteraturstudie. *Menon-publikasjon* nr. 56.

Menon Economics analyserer økonomiske problemstillinger og gir råd til bedrifter, organisasjoner og myndigheter. Vi er et medarbeidereiet konsulentselskap som opererer i grenseflatene mellom økonomi, politikk og marked. Menon kombinerer samfunns- og bedriftsøkonomisk kompetanse innenfor fagfelt som samfunnsøkonomisk lønnsomhet, verdsetting, nærings- og konkurranseøkonomi, strategi, finans og organisasjonsdesign. Vi benytter forskningsbaserte metoder i våre analyser og jobber tett med ledende akademiske miljøer innenfor de fleste fagfelt. Alle offentlige rapporter fra Menon er tilgjengelige på vår hjemmeside www.menon.no.

+47 909 90 102 | post@menon.no | Sørkedalsveien 10 B, 0369 Oslo | menon.no