

BIOGASS SOM KLIMATILTAK FOR BUSS I NORGE

PROSJEKT FOR BIOGASS NORGE, OREEC, VEAS OG AIRLIQUIDE



RAPPORT

Valentin Vandenbussche
Co-founder, Endrava

Versjon: 1.1

Dato: 19.08.2019

Rapport #62696F	Versjon 1.1
Dato: 19.08.2019	
Forfatter: Valentin Vandenbussche	For mer informasjon, kontakt: Valentin Vandenbussche valentin@endrava.com +47 90715154
Endringer: Versjon 1.1: oppdatering i beregninger for klimagassutslipp fra bruk av HVO.	

VI ER KLIMAPOSITIVE!

Vi reduserer vårt eget karbonavtrykk gjennom tiltak som kollektivtransport, sykkel og gange samt videomøter når det er mulig.

Likevel er de fleste av utslippene i virksomheten vår utenfor vår direkte kontroll.

CHOOOSE hjelper oss med å kompensere for disse utslippene gjennom å støtte klimavennlige prosjekter rundt om i verden.

For å ta det et skritt videre kompenserer vi faktisk for mer enn det vi slipper ut.

Dette gjør Endrava klimapositiv ♥



FORKORTELSER	6
Sammendrag	7
1 Biogassbusser har lave klimagassutslipp gjennom hele livssyklusen	8
1.1 Et livssyklusperspektiv er riktig tilnærming for klimagassutslipp	8
1.1.1 Noen busser har høyere utslipp ved produksjon	8
1.1.2 Livssyklus utslipp fra drivstoff og energi er et kompleks tema	9
1.1.2.1 HVO	9
1.1.2.3 Biogass	10
1.1.2.4 Elektrisitet	10
1.1.2.5 Hydrogen	11
1.1.3 Lite utslipp fra vedlikehold og avhending av bussene	11
1.2 Biogassbusser har lave utslipp, og kan gi negative utslipp gjennom hele livssyklusen	12
1.2.1 Størst andel utslipp fra bruksfasen for de fleste teknologier	13
1.2.2 Variasjoner i råstoff og produksjonsprosesser endrer det totale bildet	13
2 Biogass har blant de laveste tiltakskostnader	15
2.1 De kostnadene med biogassbusser er høyere enn med diesel eller HVO	15
2.2 Biogassbusser har lavere tiltakskostnader enn el- eller hydrogenbusser	15
3 Biogassproduksjon og -bruk har i tillegg andre fordeler for miljø og bærekraft	17
A Vedlegg A - Modell for klimagassutslipp over livssyklus for busser	19
A.1 Bakgrunn	19
A.2 Metodikk	19
A.3 Buss karakteristikk og drivstofforbruk	19
A.3.1 Drivstoff forbruk	20
A.4 Klimagassutslipp fra produksjon av kjøretøyer	21
A.4.1 Diesel og HVO	21
A.4.2 Biogass	21
A.4.3 Elektrisitet	21
Endrava AS – Biogass som klimatiltak for buss i Norge	3

A.4.4	Hydrogen	22
A.5	Klimagassutslipp fra ulike energikilder/drivstoff	23
A.5.1	Diesel	23
A.5.2	HVO	23
A.5.2.1	HVO produksjon	23
A.5.2.2	Klimagassutslipp fra HVO produksjon og forbruk	24
A.5.3	Biogass	25
A.5.3.1	Biogassproduksjon	25
A.5.3.2	Klimagassutslipp fra biogassproduksjon og -forbruk	26
A.5.4	Elektrisitet	27
A.5.5	Hydrogen	28
A.5.5.1	Hydrogenproduksjon	28
A.5.5.2	Klimagassutslipp fra hydrogenproduksjon og forbruk	29
A.6	Klimagassutslipp fra vedlikehold	30
A.7	Klimagassutslipp fra avhending	30
A.8	Totale utslipp over livssyklus	31
A.8.1	Detaljer for HVO	32
A.8.2	Detaljer for biogass	34
A.8.3	Detaljer for elektrisitet	35
A.8.4	Detaljer for hydrogen	37
A.9	Sammenligning av variasjoner fra forskjellige råstoff og produksjonsprosesser	38
A.10	Forskjeller mellom 12 m og 18 m buss	39
A.11	Begrensninger og usikkerheter	40
A.12	Kilder	40
B	Vedlegg B - Kostnadsbilde	45
B.1	Bakgrunn	45
B.2	Metodikk	45
B.3	Buss karakteristikk	45
B.4	Kapitalkostnader	46

B.4.1	Diesel- og HVO busser	46
B.4.2	Biogassbusser	46
B.4.3	Elektriske busser	46
B.4.4	Hydrogenbusser	47
B.5	Drivstoffkostnad	47
B.6	Vedlikehold	47
B.6.1	Diesel og HVO busser	47
B.6.2	Biogass busser	47
B.6.3	Elektriske busser	48
B.6.4	Hydrogenbusser	48
B.7	Total kostnad for ulike bussteknologier	49
B.8	Tiltakskostnad for reduksjon av klimagassutslipp	49
B.8.1	Forskjeller mellom 12 m og 18 m buss	50
B.8.2	Tidsperspektiv for elbusser	50
B.9	Begrensninger og usikkerheter	52
B.10	Kilder	52
C	Vedlegg C - Biogass og bærekraftsmålene	54
C.1	Kilder	58

FORKORTELSER

CBG	Compressed Biogas (komprimert biogass)
CCS	Carbon Capture and Storage (karbonfangst og lagring)
CH₄	Metan
CNG	Compressed Natural Gas (komprimert naturgass)
CO₂	Karbondioksid
CO_{2e}	Karbondioksid-ekvivalent (f.eks. 1 kg CH₄ = 25 kg CO_{2e})
FN	De forente nasjoner
GHG	Greenhouse gas (klimagassutslipp)
H₂	Hydrogen
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
kg	Kilogram
km	Kilometer
kWh	Kilowatttime
LCA	Life-Cycle Assessment (livssyklusanalyse)
LHV	Lower Heating Value (nedre brennverdi)
MJ	Megajoule (1 MJ = 0,2778 kWh)
SDG	Sustainable Development Goals
Sm³	Standard kubikkmeter

SAMMENDRAG

Ett av de viktigste klimabidragene fra kollektivtransporten, er å bidra til å redusere biltrafikken. Den positive effekten kan forsterkes ved å implementere utslippsreduserende tiltak i kollektivtransporten, for eksempel ved å bruke fornybart drivstoff.

For busser, finnes det flere forskjellige teknologier og varianter av fornybart drivstoff. Med økt implementering av disse, blir det viktig å vurdere den faktiske klimanytten som oppnås. Det har blitt produsert flere studier om temaet, men ingen som sammenligner alle bussteknologiene og drivstoffene, med samme forutsetninger, og med bruk av livssyklusperspektiv. Dette perspektivet er viktig med fornybare energikilder, siden de kan ha store indirekte klima- og miljøeffekter.

Endrava ble spurt om å gjøre en analyse av biogass som klimatiltak for buss i Norge, og å sammenligne drivstoff med andre teknologier. Denne rapporten presenterer resultatene fra analysen, og prøver å besvare følgende spørsmål:

Er biogass et bra klimatiltak for buss i Norge?

Basert på følgende tre faktorer, viser analysen vår at svaret er ja:

1. Sett fra et livssyklusperspektiv, har biogassbusser lave klimagassutslipp, og kan i spesielle tilfeller gi reduksjoner på over 100 %.
2. Biogassbusser har blant de laveste kostnader per tonn CO_{2e}, lavere enn el- og hydrogenbusser.
3. Biogassproduksjon og bruken har i tillegg andre fordeler for miljø og bærekraft.

Rapportens struktur gjenspeiles i de tre punktene over, og vedleggene A til C viser detaljert metodikken, bakgrunnsdata og kilder.

Basert på resultatene fra analysen, anbefaler Endrava at:

- Kollektivselskaper bør bli mer transparente ved rapportering om faktisk klimanytte av biodrivstoffet de bruker, og opprinnelsen for biodrivstoffet (råstoff og land), f.eks. i årsrapportene.
- Kollektivselskaper, i samarbeid med DIFI, bør videreutvikle miljøkriteriene for anbudsprossesser, slik at det tydeligere fremkommer hvilke parametere som er evaluert, og hvordan de er vektlagt.
- Biogassprodusentene og myndighetene bør dele data offentlig om biogassproduksjon i Norge, råstoffer og klimanytte. Merk at den nye bransjenormen for biogass (Avfall Norge, 2019) er et viktig steg i denne retningen.
- Myndighetene bør ta initiativ til en standardfaktor for karbonintensitet for elektrisitetsbruk i Norge. Den bør baseres på oppdaterte tall på fysisk kraftutveksling, med LCA-tilnærming, og inkludere tap ved overføring av elektrisitet, når det er relevant.

1 BIOGASSBUSSE HAR LAVE KLIMAGASSUTSLIPP GJENNOM HELE LIVSSYKLUSEN

Dette kapittelet oppsummerer de viktigste resultatene fra en analyse av klimagassutslipp fra forskjellige bussteknologier. Metodikken, datakilder og antagelser, samt modellens resultater beskrives mer detaljert i vedlegg A.

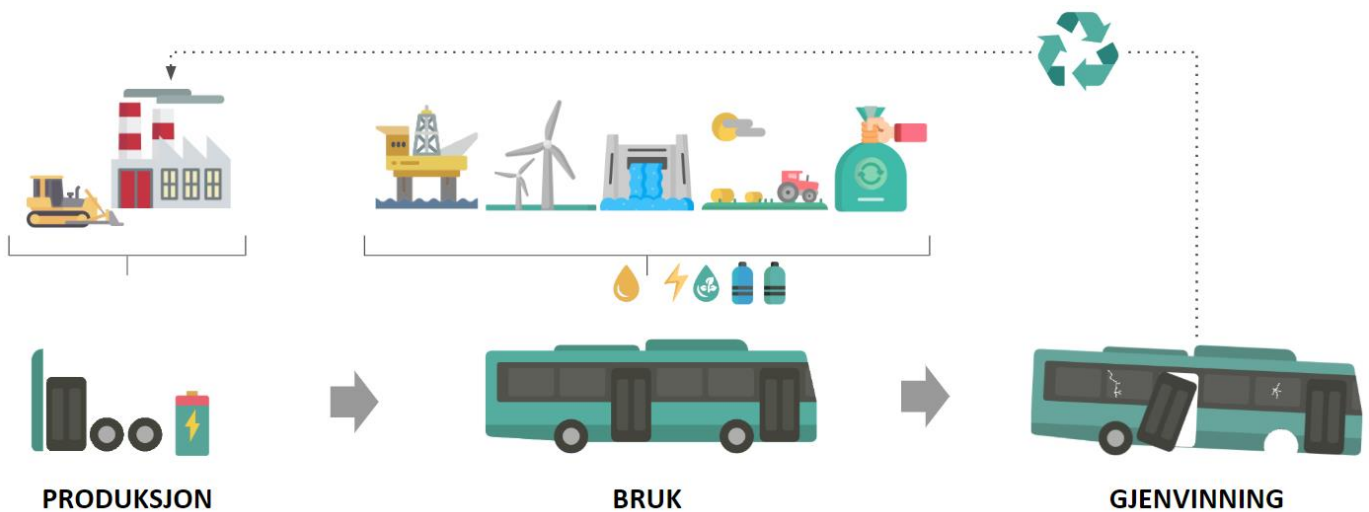
1.1 ET LIVSSYKLUSPERSPEKTIV ER RIKTIG TILNÆRMING FOR KLIMAGASSUTSLIPP

Selv om de lokale og nasjonale utslippene er viktige, er klimagassutslipp en global utfordring. Tiltak for reduksjon av lokale klimagassutslipp kan også påvirke utslipp i andre land, og i noen tilfeller, øke de totale, globale, utslippene. Dette er et kompleks tema, som krever en tilnærming gjennom hele livssyklusen av materialer og energikilder.

Et livssyklusperspektiv inkluderer derfor mer enn bare utslipp fra bruk av bussene:

- produksjon og transport av materialer (buss, vedlikeholdsdeler, osv.),
- drivstoffproduksjon og transport,
- produksjon av elektrisitet og tap i overføring,
- indirekte effekter relatert til bruk av råstoffer til biodrivstoffproduksjon.

Neste figur illustrerer de forskjellige faser i bussers livssyklus, og noen elementer som bidrar til indirekte utslipp.

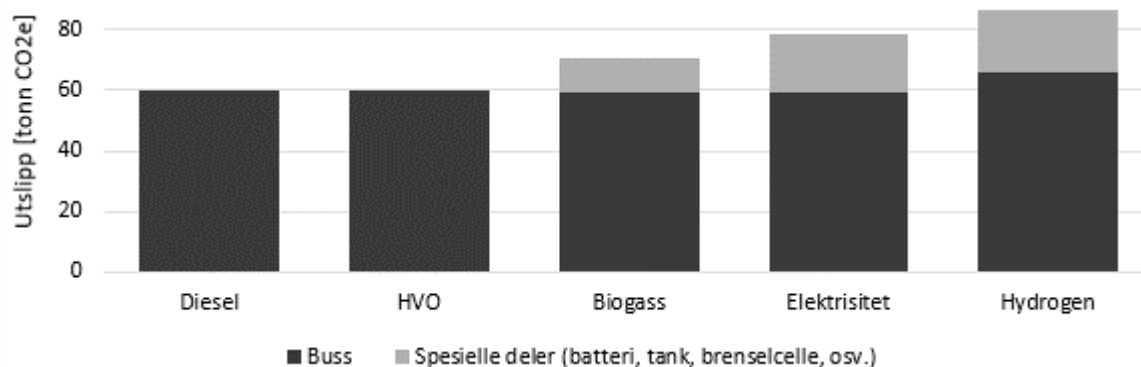


Figur 1 - Ulike deler av bussers livssyklus

1.1.1 NOEN BUSSE HAR HØYERE UTSLIPP VED PRODUKSJON

Analysen tar utgangspunkt i at det ikke er store forskjeller i klimagassutslippene under produksjonen av konvensjonelle deler for de forskjellige bussteknologiene. De største forskjellene kommer fra spesielle deler: batterier, gasstanker og brenselceller.

Neste figur viser forskjeller i klimagassutslipp, fra produksjonen av kjøretøyene av de bussteknologiene som er inkludert i omfanget. Forskjeller i klimagassutslipp for konvensjonelle deler (svart farge i figuren) skyldes bussenes ulike nettovekt.



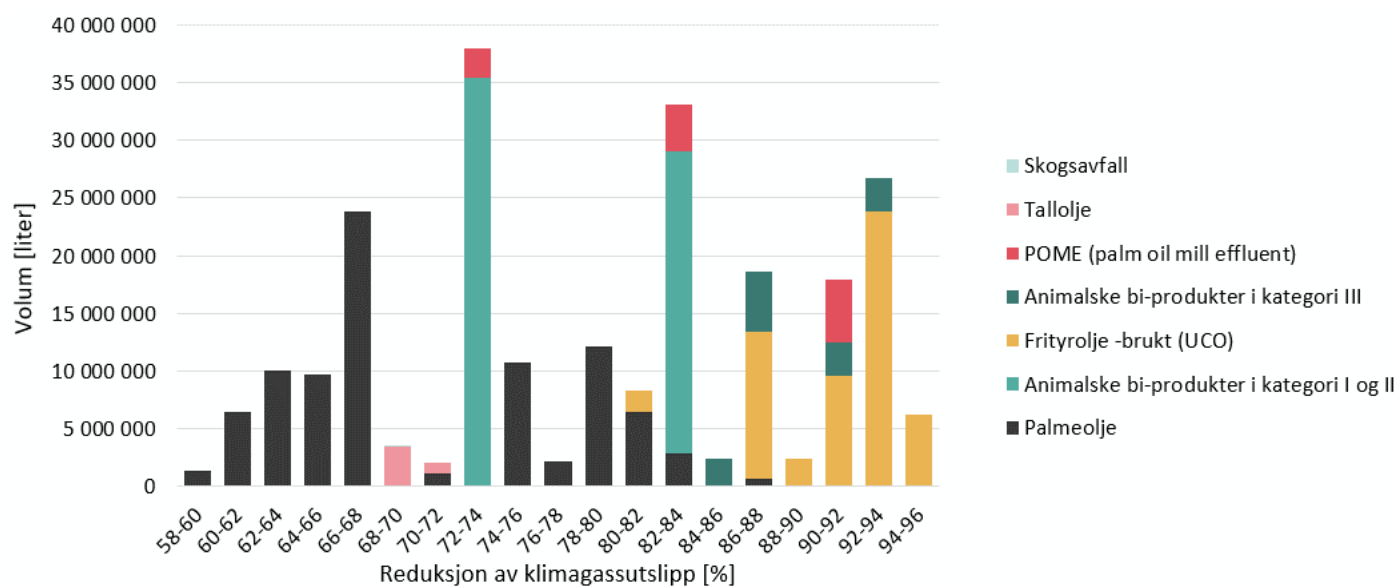
Figur 2 - Utslipp fra produksjon

Hydrogenbussene har høyeste utslipp under produksjon, fordi de inneholder gasstanker, brenselceller og batteri. I tillegg, er de hydrogenbussene som er inkludert i analysen, tyngre enn andre busser. Produksjonen av elbusser fører også til høyere utslipp enn andre teknologier, grunnet de store batteriene som brukes i disse bussene. For biogassbusser er det utslipp fra produksjonen av kompositt-gasstanker.

1.1.2 LIVSSYKLUS UTSLIPP FRA DRIVSTOFF OG ENERGI ER ET KOMPLEKS TEMA

1.1.2.1 HVO

For HVO, er data fra Miljødirektoratet (2019) for salg av biodrivstoff i Norge illustrert nedenfor.



Figur 3 - Reduksjon av klimagassutslipp fra forskjellige type HVO solgt i Norge i 2018

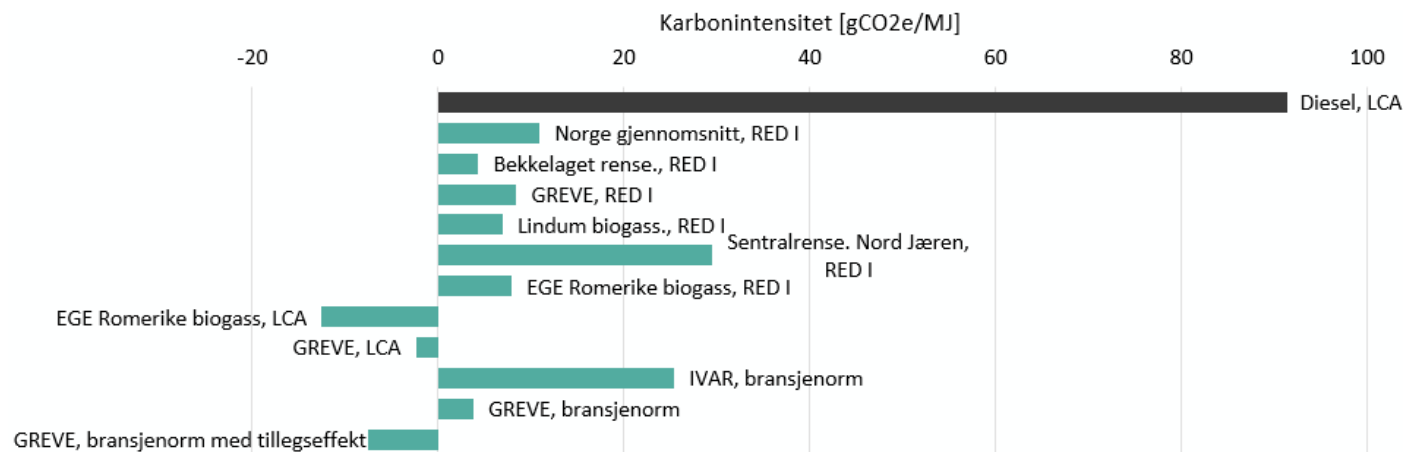
Figuren viser at reduksjonen av klimagassutslippene fra HVO solgt i Norge i 2018 varierer fra 58 % (palmeolje) til 96 % (UCO), med et gjennomsnitt på 78,5 %. Der er derfor store variasjoner, selv innen én råstoffkategori, f.eks. animalske biprodukter i figuren.

Data fra Miljødirektoratet viser også at mest HVO importeres fra Indonesia (41 % i volum, palmeolje og POME) og USA (26 % i volum, animalske bi-produkter kategori I og II). Det er uklart i hvilken grad utslipp fra transport av råstoffene og HVO er inkludert i regnskapet.

1.1.2.3 Biogass

For biogass, ble det i 2019 lansert en bransjenorm for klimarapportering, og informasjon om klimanytte for norsk biogass ikke er tilgjengelig for alle produksjonsanleggene ennå. Ulike metodikker og standarder for klimaregnskap gir ulike resultater. Modellen inkluderer karbonintensitet-faktorer for tre ulike typer beregningsmetodikk:

- Nåværende produktforskrift,
- LCA metodikken,
- Ny biogassbransjenorm basert på RED II.

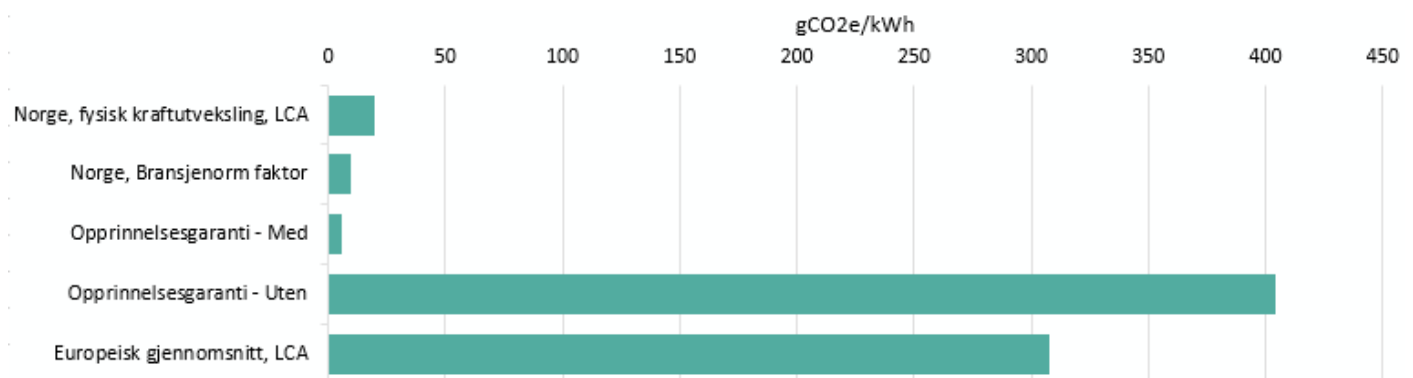


Figur 4 - Faktorer for utslipp fra produksjon og bruk av biogass

Bruk av LCA metodikken eller bransjenormen med tilleggseffekter (f.eks. biogjødsel,) kan gi negative utslipp ved produksjon og bruk av biogass. Dette betyr en positiv effekt på klima, at reduksjonen er over 100 %, f.eks. 115 % for biogass fra Romerike biogassanlegget ved LCA metodikken i 2016.

1.1.2.4 Elektrisitet

Det finnes ulike tilnærminger for karbonintensiteten av elektrisitet. Noen mener elektrisitet er nullutslipp i Norge, noe som ikke er riktig sett fra et livssyklusperspektiv. De fleste kilder med LCA-tilnærming er enige om en karbonintensitet mellom 10 og 20 g_{CO₂e}/kWh. Figuren nedenfor oppsummerer ulike tilnærminger.



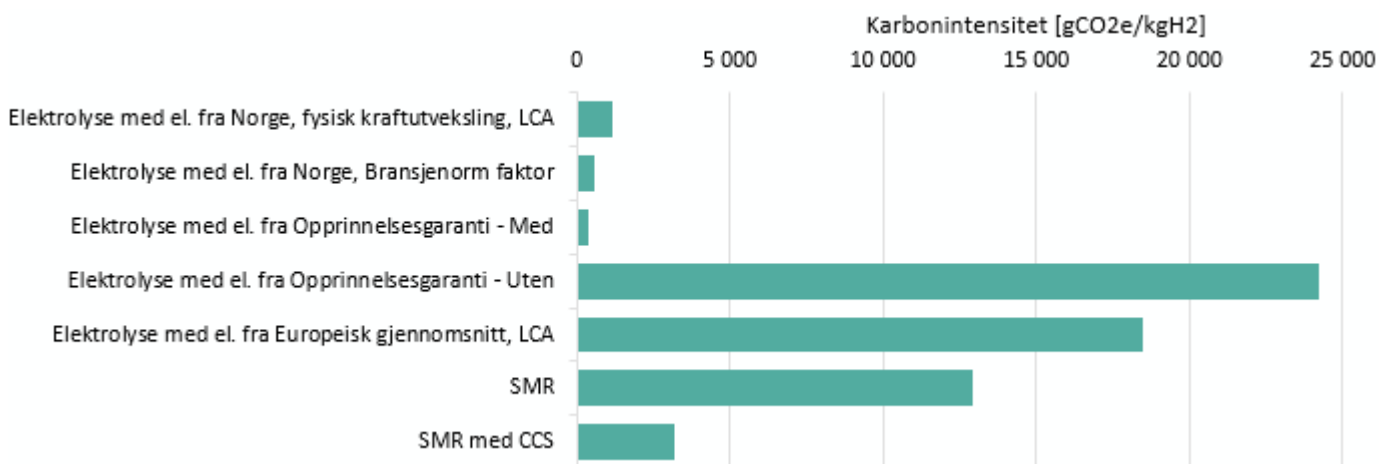
Figur 5 - Faktorer for karbonintensitet av elektrisitet

Der er også en debatt rundt effekten av salg av opprinnelsesgarantier, og to faktorer relatert til garantiene er inkludert i figuren og modellen for å illustrere effekten av tilnærmingene på de totale utslippene.

I tillegg, bruker noen av elbussene diesel til oppvarming. Dette er inkludert i beregningene og videre beskrevet i vedlegg A.

1.1.2.5 Hydrogen

Hydrogen er drivstoffet med størst variasjon i karbonintensiteten iht rapporten. Dette skyldes ulike produksjonsmetoder. Når elektrolyse brukes, har karbonintensiteten av elektrisitet største påvirkning på klimanytten av hydrogen. Når hydrogen produseres fra reformering av naturgass, er muligheten for karbonfangst og lagring (CCS) en viktig faktor. Figuren nedenfor viser karbonintensiteten av hydrogenproduksjonen, for ulike produksjonsmetoder og tilnærminger for elektrisitet.



Figur 6 - Faktorer for karbonintensitet av elektrisitet

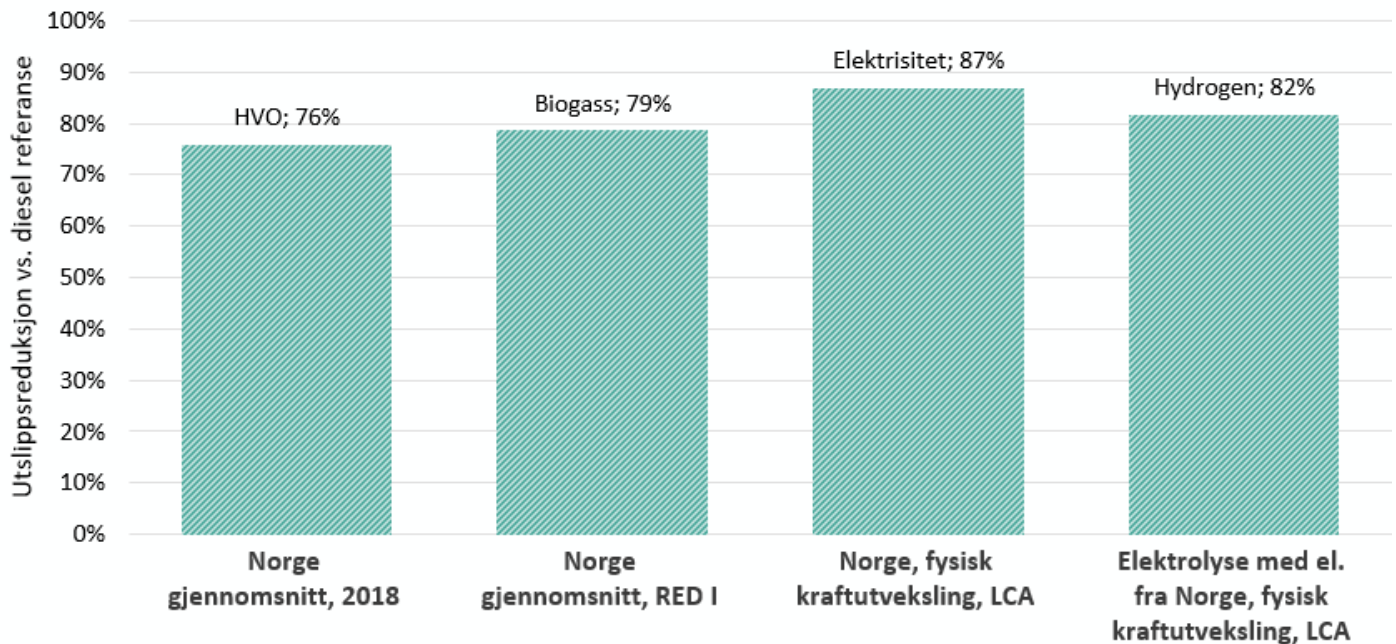
1.1.3 LITE UTSLIPP FRA VEDLIKEHOLD OG AVHENDING AV BUSSENE

Vedlikehold på konvensjonelle deler av busser, f.eks. dekk, anses som like for de ulike busstyper i modellen, og inkluderes ikke i beregningene. For elbusser, en batteribytte er inkludert i modellen. For hydrogenbusser, er både batteribytte og en utskifting av brenselcellen også inkludert.

Avhending også er inkludert i modellen, selv om den fasen utgjør en ubetydelig del av utslippene.

1.2 BIOGASSBUSSE HAR LAVE UTSLIPP, OG KAN GI NEGATIVE UTSLIPP GJENNOM HELE LIVSSYKLUSEN

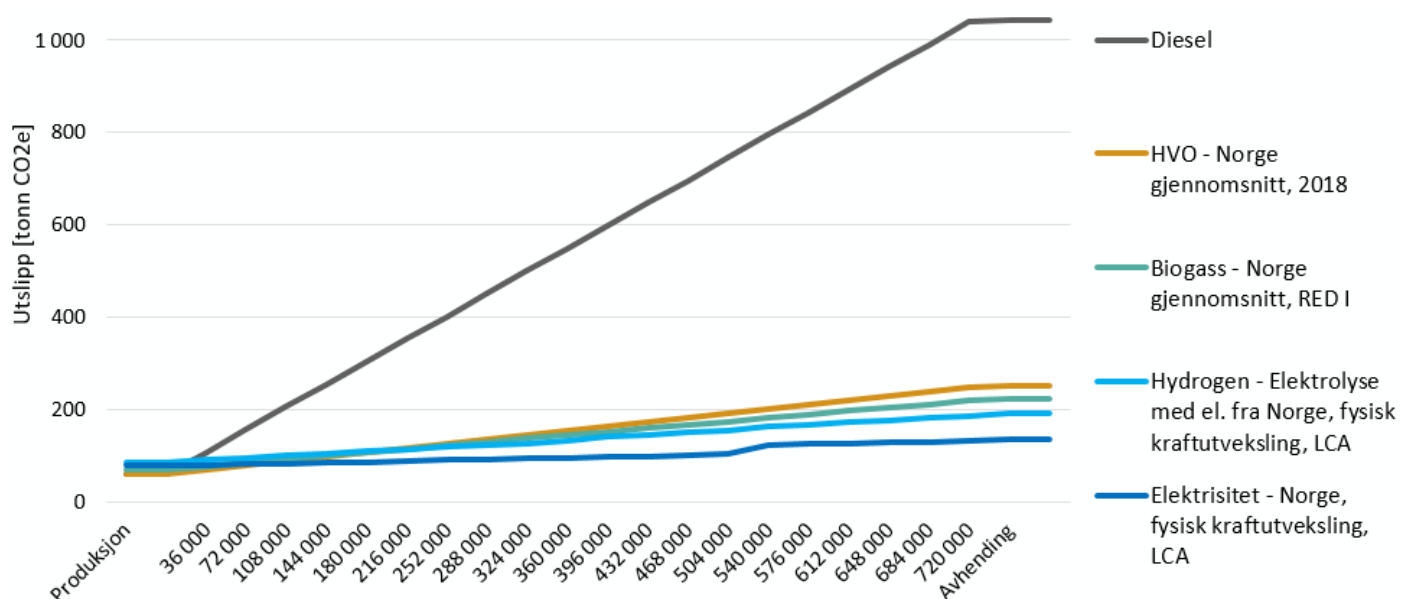
Biogassbusser reduserer de totale klimagassutslipp med 79 % sammenlignet med en konvensjonell dieselbuss, gjennom hele livssyklusen.



Figur 7 - Reduksjon i klimagassutslipp fra ulike bussteknologier i Norge, gjennom livssyklusen, sammenlignet med diesel som referanse for (høyere verdi er bedre). 12 m buss.

Andre teknologier bidrar også til lavere klimagassutslipp enn diesel: 76 % utslppsreduksjon med HVO, 87 % med elbusser, og 82 % med hydrogenbusser. Beregningene er basert på gjennomsnittsverdier for HVO solgt i Norge i 2018, biogass fra 5 anlegg i 2016-2017, og fysisk kraftutveksling av elektrisitet i Norge i 2017.

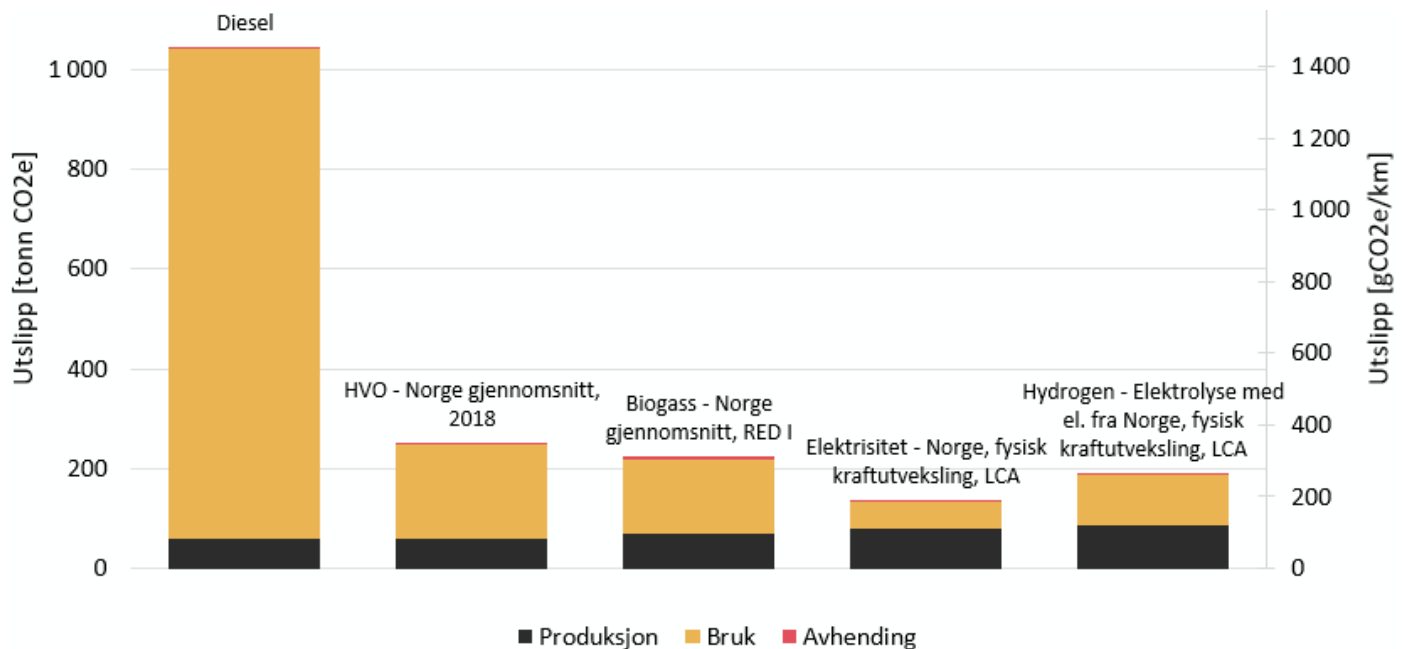
Etter seks måneder i drift, har allerede alle alternative teknologier lavere utslipp enn dieselbusser, inkludert utslipp fra produksjonen.



Figur 8 - Klimagassutslipp fra ulike bussteknologier i Norge, gjennom livssyklusen. 12 m buss.

1.2.1 STØRST ANDEL UTSLIPP FRA BRUKSFASEN FOR DE FLESTE TEKNOLOGIER

Bruksfasen har mest utslipp for diesel, mens produksjonsfasen er viktigst for elbusser, som illustrert nedenfor.



Figur 9 - Klimagassutslipp fra ulike bussteknologier i Norge, over livsyklusen. 12 m buss.

Bruksfasen for dieselbusser har største utslipp av alle fasene, på grunn av relativt høy kilometerstand og høyt drivstofforbruk. Denne fasen representerer 94 % av alle utslippene fra en konvensjonell dieselbuss (17 % for dieselproduksjon og 77 % ved forbrenning).

For andre type busser, har bruksfasen lavere utslipp, fra 74 % for HVO busser ned til 41 % for elbusser. Dette skyldes lavere utslippsintensitet av drivstoffene, og høyere utslipp fra produksjon av materialet til biogass-, el- og hydrogenbusser.

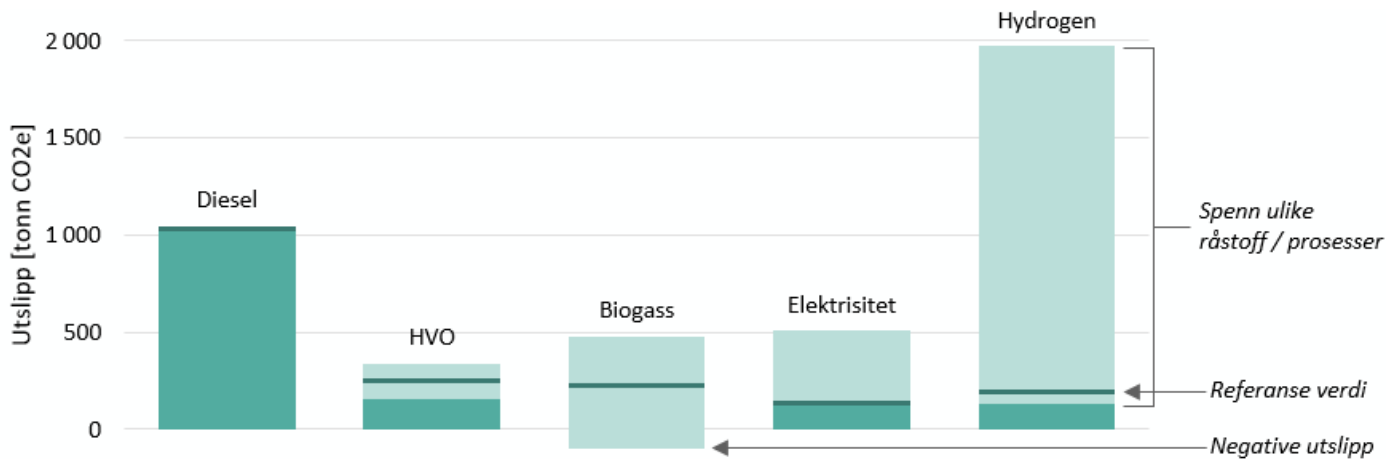
Vedlikehold er delvis inkludert i bruksfasen i modellen, med utslipp fra utskifting av batteri for elbusser, og utskifting av brenselcelle og batteri for hydrogenbusser.

Avhending representerer en veldig liten del av de totale utslippene og har ingen påvirkning på resultatene.

1.2.2 VARIASJONER I RÅSTOFF OG PRODUKSJONSPROSESSER ENDRER DET TOTALE BILDET

Der er store variasjoner i karbonintensiteten i drivstoff fra forskjellige råstoffer og produksjonsprosesser (se også 1.1.2). Dette har stor påvirkning på resultatene fra modellen, og kan endre konklusjonene når ulike bussteknologier sammenlignes.

Neste figur viser spennet i resultatene når ulike råstoffer og produksjonsprosesser inkluderes i beregningen.



Referanse verdier: gjennomsnittsverdi for HVO solgt i Norge i 2018, gjennomsnittsverdi for biogass produsert i Norge i 2015/2016, fysisk kraftutveksling av elektrisitet i Norge i 2017, hydrogen fra elektrolyse med fysisk kraftutveksling av elektrisitet i Norge i 2017.

Figur 10 - Klimagassutslipp fra forskjellige bussteknologier i Norge, gjennom livssyklusen, 12 m buss.

Hydrogen er teknologien med største spenn i resultatene. Dette skyldes, mulig høye utslipp ved produksjon av hydrogen fra naturgass, eller fra elektrolyse med elektrisitet med høy karbonintensitet.

Biogass er andre teknologien med største spenn i resultatene. Noen av produksjonsanleggene gir biogass med relativt lav utslippsreduksjon (høy karbonintensitet), mens andre har veldig høye utslippsreduksjoner, over 100% for noen av de. Med et livssyklusperspektiv, dette gir negative utslipp. Det betyr at bruk av biogass utløser muligheter for indirekte kutt av klimagassutslipp (typisk metanutslipp fra landbruket), hvilket positiv klimaeffekt overstiger utslippene fra produksjon og bruk av biogass bussen selv.

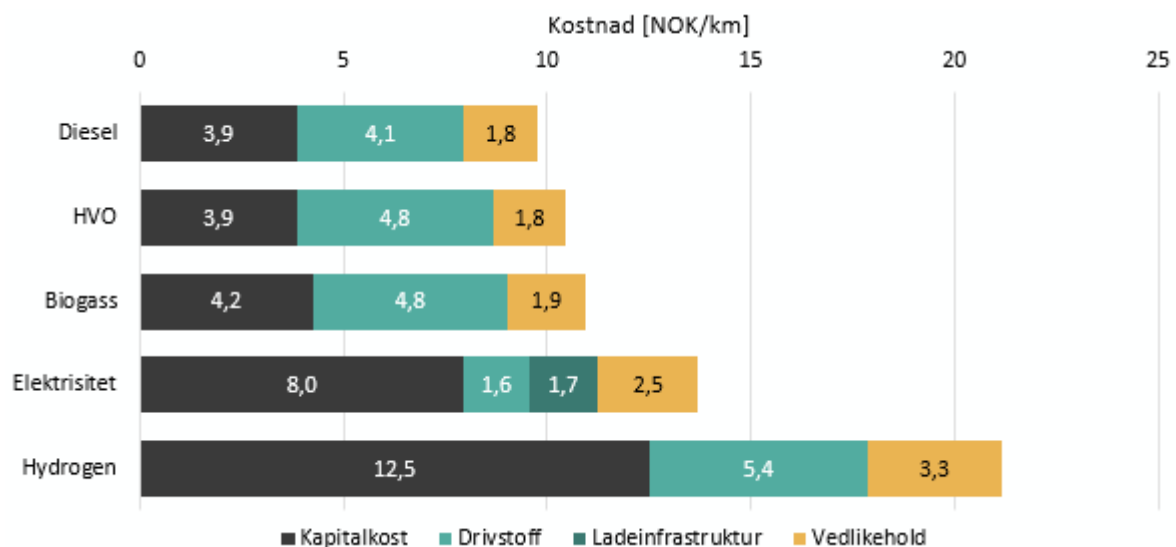
Den nye bransjenorm for klimarapportering av biogassproduksjon kommer til å gi mer presise faktorer for karbonintensitet av biogass, og bedre grunnlag for å dokumentere klimanytte av biogass som drivstoff i Norge.

2 BIOGASS HAR BLANT DE LAVESTE TILTAKSKOSTNADER

Endrava gjennomførte en analyse av kostnader for de forskjellige bussteknologiene, med samme utgangspunkt som for analysen av klimagassutslipp. Dette kapittelet oppsummerer de viktigste resultatene. Metodikken, datakildene og antagelsene, samt modellens resultater beskrives mer i detalj i vedlegg B.

2.1 DE KOSTNADENE MED BIOGASSBUSSE ER HØYERE ENN MED DIESEL ELLER HVO

Figuren nedenfor viser resultatene fra kostnadsanalysen i vedlegg B, for en 12 m buss. Antagelsene og faktorene brukt i modellen er basert på ulike økonomiske studier for busser i Norge. Modellen inkluderer ikke personalkostnader, og inkluderer kostnader for direkte infrastruktur for elektriske busser.



Figur 11 - Kostnader for ulike bussteknologier i Norge. 12 m buss.

Dieselbusser har laveste kostnader blant alle teknologier, med 9,8 NOK/km. HVO- og biogassbusser har kostnader på 10,5 og 10,9 NOK/km. Forskjellen for HVO busser, er dyrere drivstoff enn med diesel. Biogassbusser har høyere anskaffelseskostnad, dyrere drivstoff, og høyere vedlikeholdskostnader enn diesel.

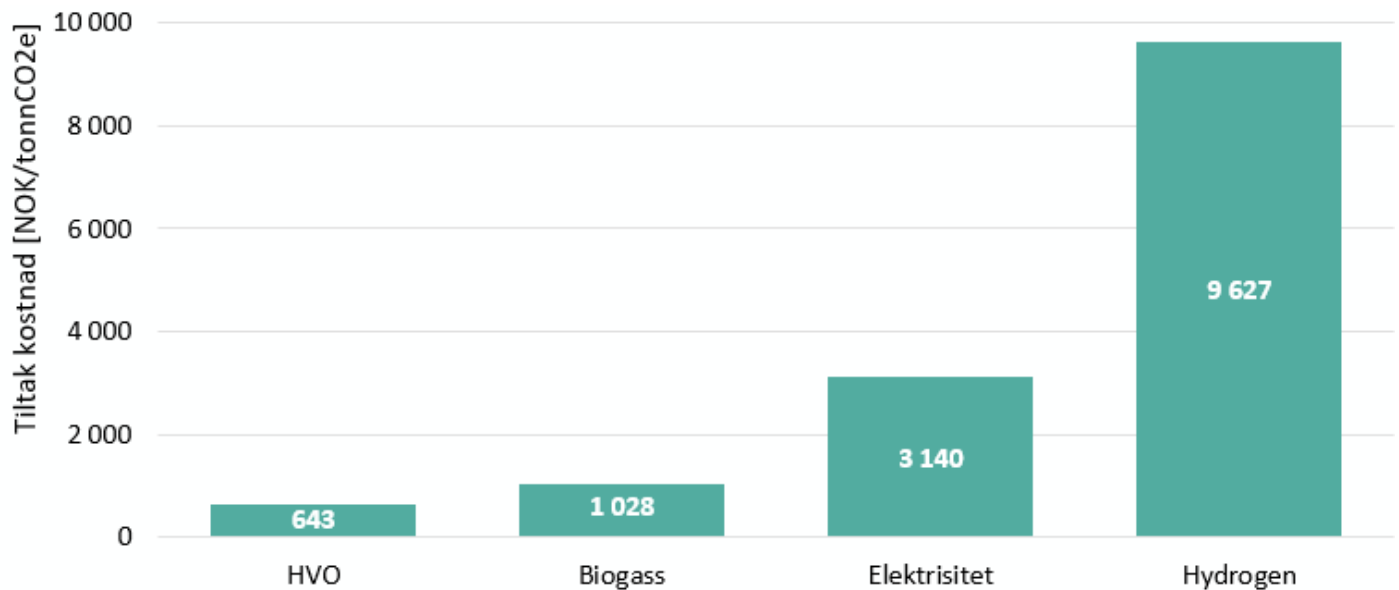
Elektriske busser har høyere totalkostnader på grunn av dyrere busser, ladeinfrastruktur og vedlikehold, med totalt på 13,7 NOK/km.

Hydrogenbusser har de høyeste kostnadene, med 21,2 NOK/km, på grunn av dyrere busser og vedlikehold.

2.2 BIOGASSBUSSE HAR LAVERE TILTAKSKOSTNADER ENN EL- ELLER HYDROGENBUSSE

Siden kostnadsmodellen er basert på de samme antagelser og faktorer som klimagassutslipps-modellen, er det mulig å kombinere de to, for å beregne en tiltakskostnad for reduksjon av klimagassutslipp.

Tiltakskostnaden beregnes ved å dele merkostnaden for hver alternativ teknologi med utslippsbesparelsen.



Figur 12 - Tiltakskostnader for forskjellige bussteknologier i Norge, med diesalbuss som referanse (lavere verdi er bedre). 12 m buss.

HVO busser har laveste tiltakskostnad, med 643 NOK/tonn_{CO_{2e}}, siden de har lavere merkostnad sammenlignet med diesel (+0,7 NOK/km), selv om de har laveste reduksjon i klimagassutslipp (76 %).

Biogassbusser, har nest laveste tiltakskostnad, med 1 028 NOK/tonn_{CO_{2e}}, på grunn av relativt lav merkostnad (+1,2 NOK/km vs. diesel), og samtidig høyere reduksjon i klimagassutslipp enn HVO (79 %, dvs. 5 prosentpoeng over HVO).

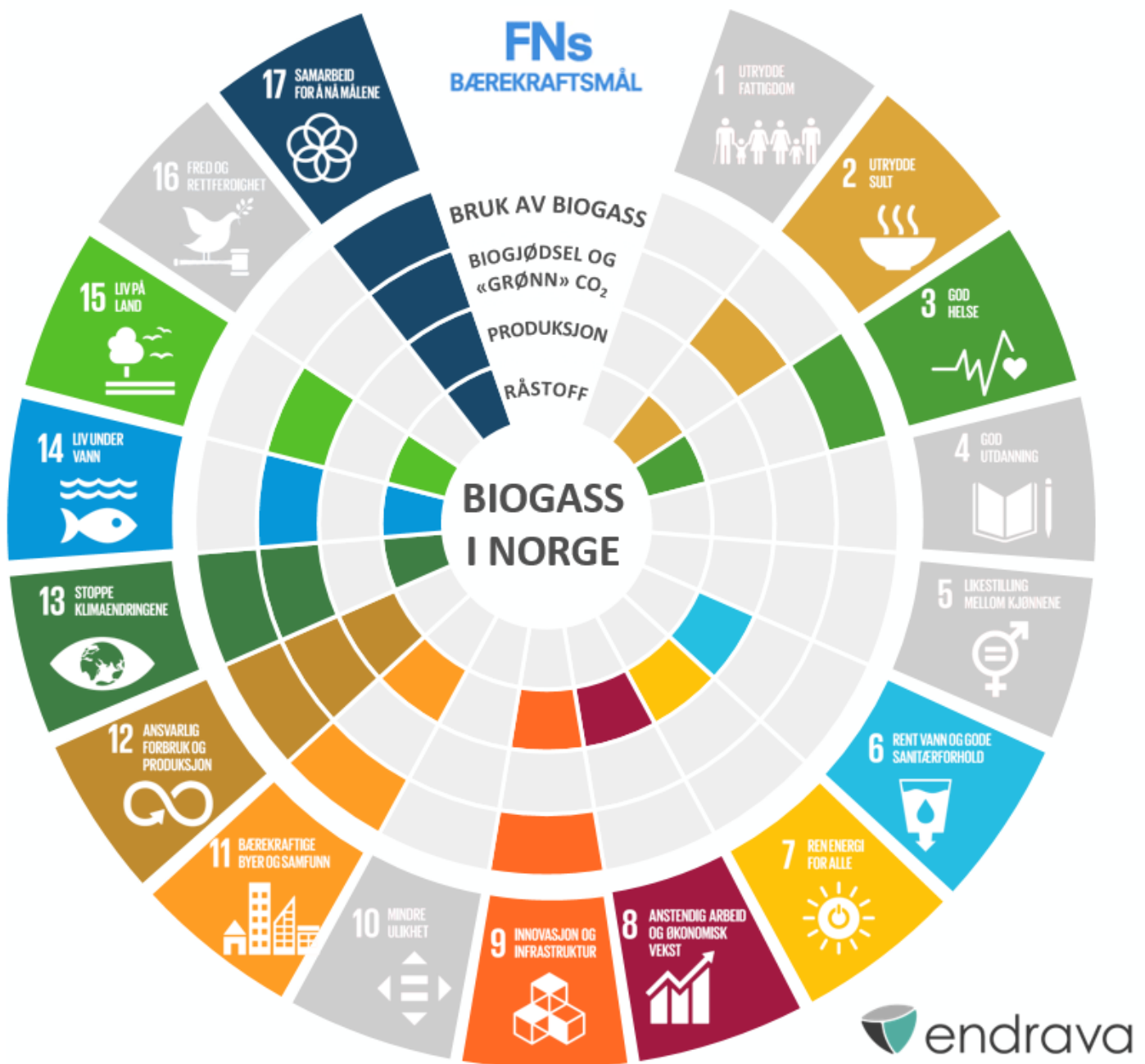
Elektriske busser har relativt høy tiltakskostnad, med 3 147 NOK/tonn_{CO_{2e}}, fordi merkostnaden per kilometer er høy (+ 4,0 NOK/km vs diesel), og selv om elbusser har best reduksjon i klimagassutslipp gjennom hele livssyklusen (87 %).

Til sist, så har hydrogenbusser den høyeste tiltakskostnaden, med 9 627 NOK/tonn_{CO_{2e}}, siden de har høy merkostnad sammenlignet med diesel (+11,4 NOK/km), og er på andreplass når det gjelder reduksjon i klimagassutslipp gjennom hele livssyklusen (82 %).

I tillegg beregnet Endrava tiltakskostnaden for å kjøpe en ny elbuss i 2030 og holde den i drift i 12 år, til 1 788 NOK/tonn_{CO_{2e}}. Beregningen baserer seg på en stabil karbonintensitet for elektrisitet i Norge, stabile utslipp fra produksjon av batterier og kjøretøyer mot 2030, og prognoser fra Bloomberg New Energy Finance for pris av elbusser mot 2030.

3 BIOGASSPRODUKSJON OG -BRUK HAR I TILLEGG ANDRE FORDELER FOR MILJØ OG BÆREKRAFT

Selv om hovedfokus for produksjon og bruk av biogass er å redusere klimagassutslipp, er det flere fordeler for bærekraft generelt. Endrava sin analyse av Norsk biogass viser at den bidrar til 12 av de 17 FNs bærekraftsmål, som illustrert i figuren nedenfor.



Figur 13 - Norsk biogass - bidrag til FNs bærekraftsmål. Cellene med farger viser bærekraftsmål der lokalprodusert norsk biogass bidrar positivt til bærekraftsmålene.

Forskjellige deler av verdikjeden for biogass i Norge bidrar på forskjellige måter til bærekraftsmålene. Bruk av avfall som råstoff, bidrar blant annet til mer bærekraftig landbruk generelt, bedre luftkvalitet, og redusert klimagassutslipp.

Biogassproduksjon bidrar til bedre og billigere rensing av vann og avløp, ved å behandle avløpsslam og produsere energi, økning i produksjon av fornybar energi, mer effektiv bruk av ressurser, og til en mer sirkulær økonomi.

Bioest fra biogassproduksjon kan brukes som biogjødsel, noe som bidrar til å bevare viktige næringsstoffer som bl.a. nitrogen og fosfor. Den unngår klimagassutslipp fra kunstig gjødselproduksjon, reduserer havforurensning forårsaket av næringsstoffer, og bidrar til å bevare våtmarker, når den erstatter bruk av torv. Den "grønne" CO₂ fra oppgradering av rå biogass kan også gjenbrukes, f.eks. i veksthus, og bidrar til å redusere bruken av fossil CO₂.

Bruk av biogass i transport-, industri- og energisektorene bidrar til å redusere utslipp i luft, å redusere klimagassutslipp, og å gjøre næringslivet og transportsystemer mer bærekraftige.

En velfungerende biogass-verdikjede forutsetter nye forretningsmodeller for råstoff, og produkter fra biogass, og stimulerer samarbeidet mellom de ulike aktører og interessenter, på tvers av verdikjeden.

Vedlegg C presenterer en mer detaljert analyse av bidraget fra produksjon og bruk av norsk biogass, til hvert av de ulike FN bærekraftsmål. Referanse til spesifikke delmål gis når det er relevant, og Endrava begrunner analysen med referanse til rapporter og andre kilder.

A VEDLEGG A - MODELL FOR KLIMAGASSUTSLIPP OVER LIVSSYKLUS FOR BUSSE

A.1 BAKGRUNN

Vedlegg A presenterer modellen for klimagassutslipp fra busser i Norge. Hensikten er å sammenligne utslippene fra ulike bussteknologier: konvensjonell dieselbuss, buss på HVO, biogassbuss, elbuss og hydrogenbuss. Klimagassutslippene beregnes med et livssyklusperspektiv. Det vil si at ulike faser i livssyklusen av en buss er inkludert: produksjon av materialer og bussen, bruk av bussen, vedlikehold (delvis), avhending, produksjon og bruk av energikilder og drivstoff.

Omfanget for modellen er klasse 1 busser (bybuss), 12 m og 18 m lang, brukt i Norge.

Dokumentet presenterer metodikk, datakilder og antagelser, samt modellens resultater.

A.2 METODIKK

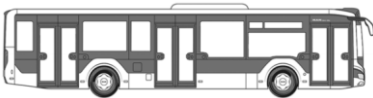
Modellen er basert på eksisterende studier og forskningsartikler om kjøretøy og ulike teknologier for drivstoff. Når mulig, forsøker Endrava å sammenligne ulike datakilder for å definere de beste faktorer for bruk i modellen. Dette beskrives videre i resten av dokumentet, når dette er relevant.

Beregningene er basert på de samme karakteristikene på tvers av busstyper (f.eks. kjørelengde, levetid). Dette gjør det enklere å sammenligne teknologier basert på samme utgangspunkter. Modellen tar hensyn til reelle karakteristikker fra busser tilgjengelig på markedet, men er ikke spesifikt for enkelte bussmodeller eller produsenter.

A.3 BUSS KARAKTERISTIKK OG DRIVSTOFFORBRUK

To typer busser er inkludert i modellen: 12 m og 18 m lengde, som illustrert nedenfor. De tekniske karakteristikene for bussene er basert på en analyse av 46 bussmodeller, fra 16 ulike datakilder.

Tabell 1 - Oppsummering av karakteristikker for de to bussmodellene*

	12 m buss	18 m buss
		
Vekt (<i>curb weight</i>), diesel versjon	12 tonn	16,9 tonn
Kapasitet (<i>seated</i>)	30 personer	50 personer
Kjørelengde	60 000 km/år	60 000 km/år
Livstid	12 år	12 år
Drivstoff forbruk - Diesel	41 l/100km	53,7 l/100km

	12 m buss	18 m buss
Drivstoff forbruk - HVO	40,1 l/100km	52,5 l/100km
Drivstoff forbruk - Biogass	0,53 Sm ³ /km	0,70 Sm ³ /km
Elektrisitetsforbruk	1,22 kWh/km 0,04 liter diesel/km for oppvarming	1,60 kWh/km 0,061 liter diesel/km for oppvarming
Drivstoff forbruk - Hydrogen	10,7 kg/100 km	14,0 kg/100 km
AdBlue forbruk (for Diesel og HVO)	4 % av drivstofforbruket	4 % av drivstofforbruket

* karakteristikkene er basert på en analyse av ulike bussmodeller, og refererer ikke til en spesifikk modell.

A.3.1 DRIVSTOFF FORBRUK

Dieselforbruket for konvensjonelle 12 m busser er 41 l/100km og er basert på Antonius (2017), for en buss med 18 km/time gjennomsnittsfart i byområde/tettsted. Verdien er lavere enn gjennomsnittsverdien fra 75 datapunkter i 5 ulike kilder (47,9 l/100km), men disse datapunktene representerer ulike kjøremønstre i ulike områder. Verdien fra Antonius (2017) er nær den gitt av CHIC (2016) og Lozanovski (2018) (40,9 l/100km for begge kilder). En analyse av drivstofforbruket for 18 m busser viser at de bruker gjennomsnitt 31 % mer drivstoff enn tilsvarende 12 m buss (basert på 55 datapunkter i Antonius, 2017). Dieselforbruket for en 18 m buss er derfor 53,7 l/100km.

I tillegg, TNO (2014) indikerer 4 % volum forbruk for AdBlue i diesel kjøretøyer.

HVO forbruket beregnes basert på energiinnholdet av drivstoffet (LHV). Neste (2016), og SAE International (2008) indikerer en LHV på 44,1 MJ/kg_{HVO}, med tetthet på 0,78 kg/l_{HVO}. En konversjon basert på LHV for diesel gir en tilsvarende HVO forbruk på 40,1 l/100km for 12 m bussen, og 52,5 l/100km for 18 m bussen.

Busser på HVO også trenger AdBlue, på ca. 4 % volum.

Biogassforbruket beregnes på en faktor basert på LHV av biogass og diesel. TØI (2017) indikerer et økt biogassforbruk på 25 % i forhold til diesel. Antonius (2017) gir data fra 13 forskjellige tester, med et gjennomsnitt på 32 %. GREET (2015) gir tre verdier med et gjennomsnitt på 15 %. Gjennomsnittet for alle verdiene er 29 % og det brukes som basis for å beregne biogassforbruket. Med en LHV på 35,8 MJ/Sm³ (Borkesson, 2016), er biogassforbruket 0,53 Sm³/km for 12 m buss, og 0,70 Sm³/km for 18 m buss.

For 12 m **elektriske busser**, der gjennomsnittsverdien fra 31 datapunkter (10 kilder) brukes, med 1,22 kWh/km. Forbruket for 18 m buss beregnes basert på 31 % høyere forbruk (se diesel ovenfor), med 1,60 kWh/km. I tillegg, bruker de fleste elektriske busser diesel for oppvarming på vinteren. Det finnes lite data om dieselforbruket for oppvarming. Sustainable-Bus (2019) nevner 7 l/100km i Polen på vinteren, mens Eliptic (2017) nevner 4 l/100km. Endrava beregnet et gjennomsnitt på 6,1 l/100km, basert på temperaturdata fra Enova (2019) i Norge over perioden 2010-2018, og varmebehov data fra Webasto (2017), for 18 m buss. Verdien nedskaleres til 3,7 l/100km for 12 m busser, basert på antall passasjerer.

For 12 m **hydrogenbusser**, er forbruket basert på gjennomsnittsverdien fra 8 datapunkter (4 kilder), med 10,72 kg_{H2}/100km. Forbruket for 18 m busser beregnes basert på 31% høyere forbruk (se diesel ovenfor), med 14,04 kg_{H2}/100km. En varmepumpe utnytter spillvarme fra brenselcellen til oppvarming av bussen.

A.4 KLIMAGASSUTSLIPP FRA PRODUKSJON AV KJØRETØYER

A.4.1 DIESEL OG HVO

Diesel og HVO busser er like fra et teknisk perspektiv, og materialene som brukes i bussproduksjonen er relativt lik de for biler og lastebiler. I modellen, er faktoren for klimagassutslipp fra bussproduksjon basert på et gjennomsnittsverdi av 9 ulike kilder (24 datapunkter) for bil- og lastebilproduksjon, med $5,0 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}_{\text{buss}}$.

Den faktoren brukes også for de konvensjonelle delene av biogass-, elektrisk- og hydrogenbusser.



Figur 14 - Illustrasjon av en konvensjonell diesel buss

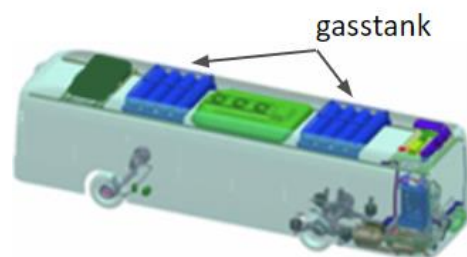
A.4.2 BIOGASS

Biogassbusser har gasstanker, vanligvis på taket. Disse tankene må inkluderes i klimaregnskapet for produksjon, i tillegg til vanlige deler.

Det finnes lite data om klimagassutslipp fra produksjon av gasstanker til biogass. Elgowainy (2012) gir $23,21 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}_{\text{tank}}$ for type 4 hydrogentanker i komposittmateriale. Data fra f.eks. Citaro NGT 12 m fra Mercedes viser at biogassbusser bruker tilsvarende gasstank (Gaseo, 2016). Das (2011) viser at karbonintensitet av produksjon av karbonfiber kompositt er $24,2 \text{ kgCO}_2\text{e/kg}_{\text{kompositt}}$, noe som er nær verdien fra Elgowainy for tankene.

Data om Citaro NGT 12 m modellen viser ca. $0,53 \text{ kg}_{\text{tank}}/\text{liter}_{\text{gass}}$. Med en kapasitet på 908 liter for 12 m modellen, og 1 158 liter for 18 m modellen, tilsvarer dette 0,48 tonn og 0,61 tonns tanker for de to modellene.

Andre deler i biogassbussen er ganske like de fra en konvensjonell dieselsbuss, og den samme klimagass faktoren brukes for produksjon av delene. Vekten på biogassbussene brukt i modellen er 12,3 tonn for 12 m bussen (gjennomsnitt av 6 ulike bussmodeller), og 17,2 tonn for 18 m buss (antagelse basert på vektforskjellen for 12 m buss).

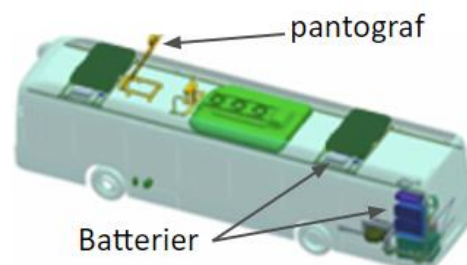


Figur 15 - Illustrasjon av en biogassbuss

A.4.3 ELEKTRISITET

Den største forskjellen mellom elbusser og konvensjonelle dieselsbusser er batteriet. Batterikapasiteten i modellen er 228 kWh for 12 m buss (basert på gjennomsnitt av 11 datapunkt), og 348 kWh for 18 m buss (basert på BYD K11 pantograph).

En analyse av batterienes energitetthet fra 37 ulike bil- og bussmodeller viser at energitettheten er delvis korrelert med størrelsen av batteriene. Faktoren $0,15 \text{ kWh/kg}$ brukes i modellen, noe som er ca. 1 standardavvik over gjennomsnittet ($0,11 \text{ kWh/kg}$), men likt verdien for bilen Tesla Model X (Grunditz, 2016) og bussen Solaris Urbino 18 Electric (Sustainable Bus, 2019). Dette gir et batteri vekt på 1,52 tonn for 12 m buss, og 2,32 tonn for 18 m buss.



Figur 16 - Illustrasjon av en elbuss

En sammenligning av 21 ulike faktorer for klimagassutslipp fra batteriproduksjon (fra 14 kilder) viser en gjennomsnittsverdi på $12,4 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{e}}/\text{kg}_{\text{batteri}}$, og denne faktoren brukes i modellen. Faktoren er veldig nær det beregnet av Ellingsen (2016).

Andre deler av elektriske busser er relativt like de fra en konvensjonell dieselbuss, ut fra materialene som brukes (dvs. stål og andre konvensjonelle materialer). Derfor, brukes den samme klimagassfaktoren for å beregne utslipp fra produksjonen av delene. Total vekt for elektriske busser er 13,5 tonn for 12 m modellen (gjennomsnitt av 4 ulike bussmodeller), og 20,6 tonn for 18 m modellen (gjennomsnitt av 2 ulike bussmodeller).

A.4.4 HYDROGEN

Fra et teknisk perspektiv, har hydrogenbusser tre hovedforskjeller, sammenlignet med konvensjonelle dieselbusser: hydrogentankene, brenselcelle, og batteri.

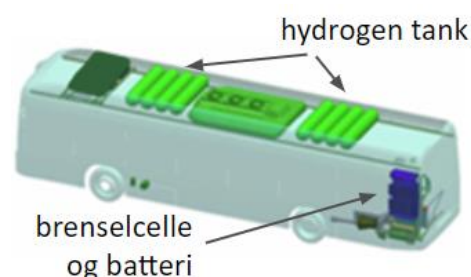
Hydrogentankene på busser er av type 4, i kompositt materiale. Typisk kapasitet for bussene er 40 kg hydrogen, med 7 tanker (gjennomsnitt fra 9 datapunkt). Dagdougui et al. (2018) indikerer et lagringstetthet på 5 % til 10 %, noe som tilsvarer ca. $13 \text{ kg}_{\text{tank}}/\text{kg}_{\text{H}_2}$. Dette er veldig nær verdier fra Hexagon (2017) ($13,4 \text{ kg}_{\text{tank}}/\text{kg}_{\text{H}_2}$), og gir en vekt på 0,52 tonn for tankene på modellen, uten hydrogen.

Elgowainy (2012) gir $23,21 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{e}}/\text{kg}_{\text{tank}}$ for produksjon av disse type tanker, og verdien er nær det fra Das (2011) for karbonintensitet av produksjon av karbonfiber-kompositt ($24,2 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{e}}/\text{kg}_{\text{kompositt}}$).

Brenselceller på busser i modellen har kapasitet på 124 kW for 12 m buss (gjennomsnitt 6 ulike datapunkt), og 150 kW for 18 m buss (basert på modell APTS). Med energitetthet på $0,65 \text{ kW/kg}_{\text{brenselcelle}}$ (Simons, 2015), tilsvarer dette 0,19 tonn og 0,23 tonn brenselceller. Simons (2015) indikerer en faktor på 23 $\text{kg}_{\text{CO}_2\text{e}}/\text{kg}_{\text{brenselcelle}}$ for produksjon av brenselceller.

Batteriene på hydrogenbusser er mindre enn på elektriske busser. I modellen brukes en kapasitet på 31,7 kWh (gjennomsnitt av 6 ulike datapunkt), som gir en batterivekt på 0,29 tonn. Faktoren for energitetthet er $0,11 \text{ kWh/kg}$, resultatet av gjennomsnitt av 37 ulike bil- og bussmodeller, siden batteriene er mindre enn på elektriske busser. For klimagassutslippene fra batteriproduksjon, brukes den samme faktoren som for elektriske busser.

Andre deler i hydrogenbussen anses ganske like de fra en konvensjonell dieselbuss, og den samme klimagassfaktoren brukes for produksjon av delene. Vekten brukt på bussene i modellen er 14,3 tonn for 12 m bussen (gjennomsnitt av 5 ulike buss modeller), og 20,6 tonn for 18 m bussen (modell APTS).



Figur 17 - Illustrasjon av en hydrogenbuss

A.5 KLIMAGASSUTSLIPP FRA ULIKE ENERGIKILDER/DRIVSTOFF

A.5.1 DIESEL

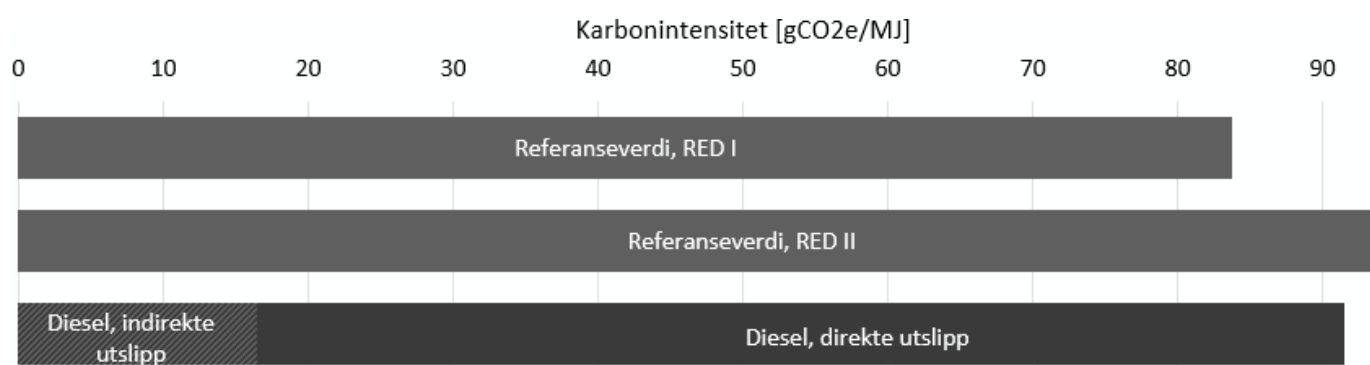
Diesel produseres fra råolje ved raffinering. Der er ulike kilder av klimagass fra dieselproduksjon (Eriksson et al., 2013):

- CO₂ og metan fra oljeproduksjon,
- CO₂ og metan fra transport av råoljen,
- CO₂ og metan fra raffinering,
- CO₂ og metan fra transport og lagring av diesel.

Endrava sammenlignet faktorer for klimagassutslipp, fra dieselproduksjon fra 14 ulike kilder, med verdier varierende fra 4,9 til 19 gCO_{2e}/MJ (well to tank). Gjennomsnittsverdien er 12,7 gCO_{2e}/MJ, og data fra Keesom et al. (2012) brukes i modellen (16,5 gCO_{2e}/MJ well to tank).

Der er også betydelige utslipp ved forbrenning av diesel i motorer, og Endrava sammenlignet faktorer fra 8 ulike studier. Verdier varierer mellom 73,2 og 76 gCO_{2e}/MJ (tank to wheel), med et gjennomsnitt på 74,8 gCO_{2e}/MJ. Data fra Keesom et al. (2012) brukes i modellen (75 gCO_{2e}/MJ tank to wheel).

Summen av de to faktorene er 91,5 gCO_{2e}/MJ (well to wheel), noe som er nær referanseverdien fra RED II (94 gCO_{2e}/MJ) (EUR-Lex, 2018), som illustrert nedenfor.



Figur 18 - Faktorer for utslipp fra dieselproduksjon og bruk

I tillegg til diesel, bruker også konvensjonelle dieselbusser AdBlue som NO_x reduksjonsmiddel. Det finnes lite data om klimagassutslipp fra produksjon og forbruk av AdBlue. TNO (2014) indikerer at forbrenning av AdBlue slipper ut tilsvarende 0,6 % av utslippene fra dieselforbruket. Med 4 %_{volum} forbruk av AdBlue, betyr dette ca. 405 gCO_{2e}/l_{AdBlue} for forbruk av produktet. Reduksjonsmiddelet inneholder 32,5 % urea (TNO, 2014), og klimagassutslippene fra ureaproduksjon er ca. 0,91 kgCO_{2e}/kg_{urea} (Fertilizers Europe, 2011). Dette tilsvarer 304 gCO_{2e}/l_{AdBlue} for utslipp fra produksjon, antatt at resten er vann.

A.5.2 HVO

A.5.2.1 HVO produksjon

HVO står for Hydrotreated Vegetable Oil, men betegnelsen HVO benyttes ofte uavhengig av hvilken råvare drivstoffet kommer fra, selv om den egentlig refererer til produkten av oljen fra planter (TØI, 2016). I denne rapporten, og i modellen, brukes betegnelsen HVO uavhengig av hvilken råvare drivstoffet kommer fra.

HVO produseres fra fornybare organiske råstoffer i konvensjonelle oljeraffinerier, ved hjelp av hydrogen i en katalytisk kontrollert prosess (TØI, 2016). Hydrogenet som trenges i hydrogeneringsprosessen blir

vanligvis fremstilt fra naturgass. I følge TØI, ved utgangen av 2015 var det finske oljeselskapet NesteOil verdens største produsent av HVO. Andre produsenter i Europa er oljeselskapene Preem i Sverige og ENI i Italia.

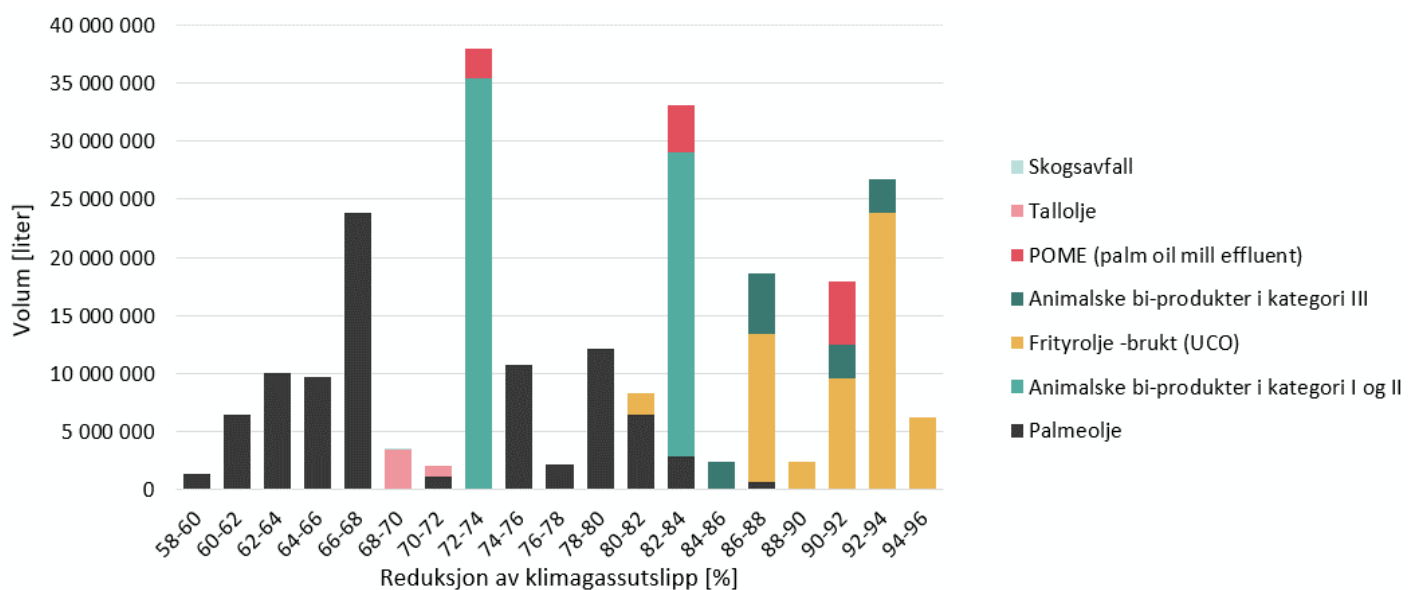
HVO kan blandes med konvensjonell diesel, og er kompatibel med de fleste motorene i tunge kjøretøyer og busser. HVO har lavere tetthet enn konvensjonell diesel, og høyere brennverdi per kg (LHV) (Neste, 2016).

A.5.2.2 Klimagassutslipp fra HVO produksjon og forbruk

Klimagassutslippene fra HVO produksjon kommer fra bruk av fossil energi i ulike deler av verdikjeden (TØI, 2016):

- produksjon av råvarer: dyrking og høsting av planter, inkludert gjødsel,
- transformasjonen i raffinerier, inkludert hydrogenproduksjon fra naturgass eller olje,
- transport og distribusjon.

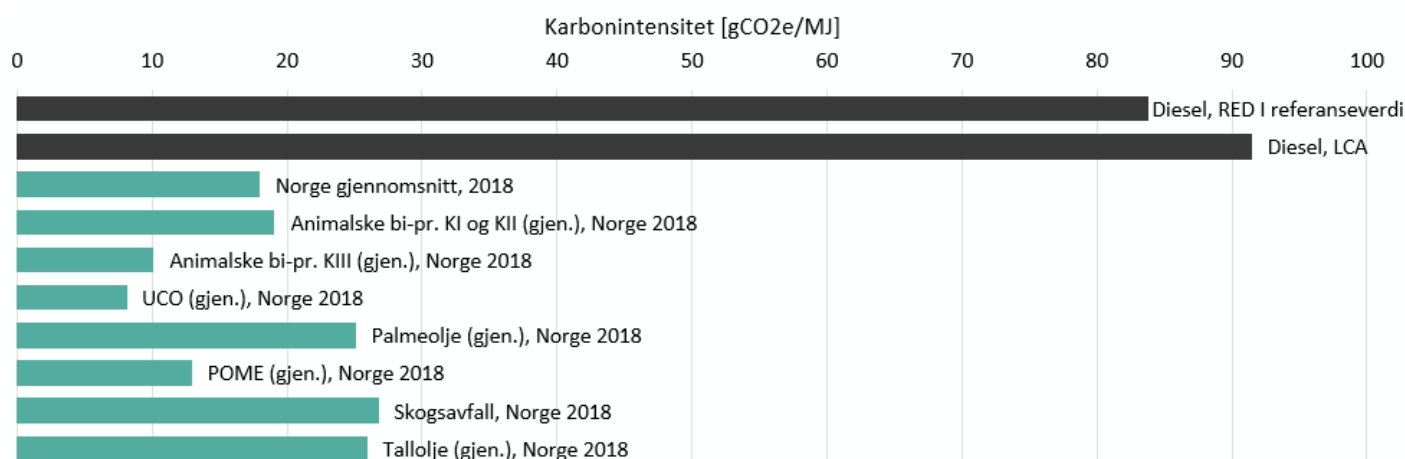
Derfor varierer klimagassutslippene fra HVO-produksjonen, avhengig av råstoffer, opprinnelsesland og produksjonsprosesser. Data fra Miljødirektoratet (2019) for salg av biodrivstoff i Norge, brukes som kilde til faktorer i modellen. Disse data er basert på rapportering til Miljødirektoratet for 2018, og er illustrert nedenfor.



Figur 19 - Reduksjon av klimagassutslipp fra forskjellige type HVO solgt i Norge i 2018

Figuren viser at reduksjon av klimagassutslipp fra HVO solgt i Norge i 2018 varierer fra 58 % (palmeolje) til 96 % (UCO), med et gjennomsnitt på 78,5 %. Data fra Miljødirektoratet viser at dokumentasjonen av reduksjon av klimagassutslipp baseres for det meste på ISCC-EU systemet (67 % i volum), fra Red Cert for 14 %, og via egen dokumentasjon for 19 % i volum. Data fra Miljødirektoratet også viser at mest HVO importeres fra Indonesia (41 % i volum) og USA (26 % i volum). Det er uklart i hvilken grad utslipp fra transport av råstoffene og HVO er inkludert i regnskapet.

Endrava beregnet utslippsfaktorer basert på vektet gjennomsnitt verdi, for hver enkelt type råstoff (vektet over volum solgt, uten dobbelttelling), og med referanseverdi fra RED I (83,8 gCO_{2e}/MJ).



Figur 20 - Faktorer for utslipp fra HVO produksjon og bruk

Om indirekte arealbruksendringer

I prinsipp, kan dyrking av planter for oljeproduksjon medføre at regnskog, eller andre type areal blir brukt til produksjonen, eller at oljeproduksjon for HVO erstatter produksjon av matolje. Dette kan føre til klimagassutslipp, relatert til endringer i arealbruk ("direct land-use change" eller "indirect land-use change", DLUC/ILUC). Beregning av indirekte endringer i arealbruk er komplisert og usikkert, og derfor ikke inkludert i faktorene brukt i modellen. For mer informasjon om ILUC, se <https://zero.no/hva-er-iluc/>.

Busser på HVO bruker også AdBlue som NO_x reduksjonsmiddel, og de samme verdier som for diesel brukes i modellen for HVO (dvs. 4%volum, 304 gCO₂e/l_{AdBlue} for produksjon og 405 gCO₂e/l_{AdBlue} for forbruk).

A.5.3 BIOGASS

A.5.3.1 Biogassproduksjon

Biogass produseres ved nedbrytning av organisk materiale, og rå biogass inneholder ca. 60 % metan (CH₄) og 40 % CO₂. Deretter oppgraderes den til biometan ved å fjerne CO₂en. Kjemisk sett er oppgradert biogass identisk med naturgass, og inneholder hovedsakelig metan (CH₄). Naturgass og LNG kan derfor relativt lett erstattes med biogass, i komprimert eller flytende form.

Biogassproduksjonen er, sammenlignet med andre europeiske land, relativt begrenset i Norge. I 2017 ble ca. 430 GWh biogass produsert, fra 14 store og flere mindre anlegg (SSB 2019, Avfall Norge 2017a). Til sammenligning, ble det samme år produsert 2 068 GWh rå biogass i Sverige, og 2 700 GWh i Danmark (Energimyndigheten 2018, Danmarks Statistik 2018).

Det finnes lite informasjon om hvilke råstoff (substrater) som blir brukt i Norge for å produsere biogass. De vanligste substrater er:

- avløpsslam (f.eks. ved VEAS, sør fra Oslo),
- matavfall (f.eks. ved Den Magiske Fabrikken),
- avfall fra nærings- og fiskeindustrien (f.eks. Biokraft Skogn),
- annet industriavfall (f.eks. på Borregaard),
- husdyrgjødsel (lite brukt per i dag, men stort potensial).

Biogassen brukes i dag hovedsakelig i transportsektoren (busser, renovasjonsbiler), og til varmeproduksjon.

A.5.3.2 Klimagassutslipp fra biogassproduksjon og -forbruk

Klimaregnskapet for biogassproduksjon er avhengig av flere parametre (Avfall Norge, 2017b), blant annet:

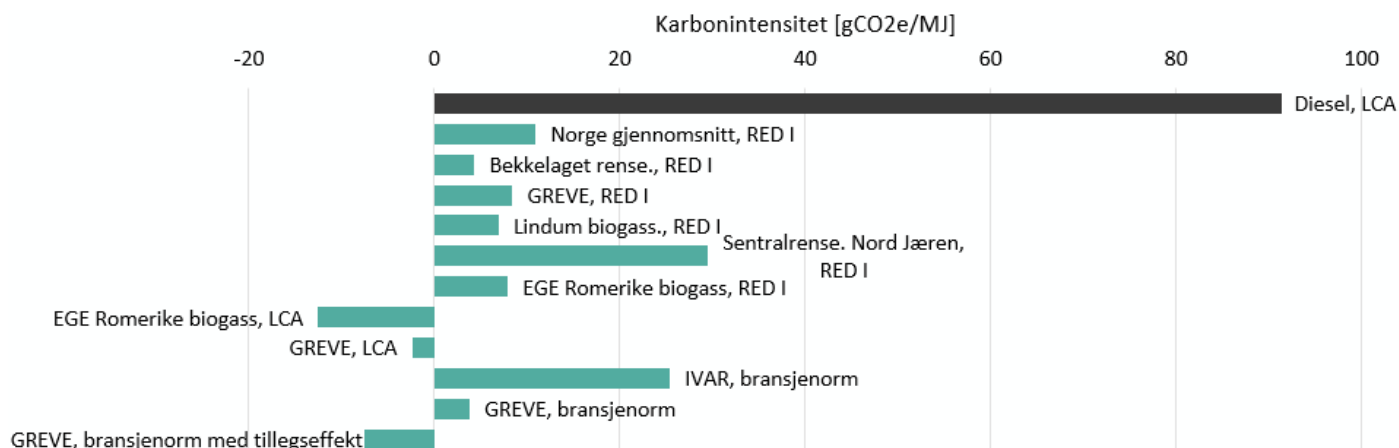
- utvinning eller dyrking av råstoff
- transport av råstoff,
- biogassproduksjon, og energi til intern varmeproduksjon,
- teknologi for oppgradering av råbiogassen til biometan,
- transport og distribusjon.

I tillegg, bruk av råstoffer til biogassproduksjon kan gi utslippsbesparelser i forhold til alternative avfallshåndterings metoder: for eksempel utslipp fra håndtering, lagring og spredning av husdyrgjødsel. Biogjødsel er et biprodukt fra biogassproduksjonen og kan brukes for å erstatte kunstgjødsel. Dette representerer også utslippsbesparelser, sett fra et livssyklusperspektiv.

Ulike metodikker og standarder for klimaregnskap gir ulike faktorer for reduksjon av klimagassutslipp med biogass. Avfall Norge (2017b, 2019) og CarbonLimits (2019) gir karbonintensitetsfaktorer for tre ulike typer beregningsmetodikk:

- Nåværende produktforskrift,
- LCA metodikken,
- Ny bransjenorm basert på RED II.

Faktorene er illustrert nedenfor og beregnet basert på referanseverdi fra produktforskriften (83,8 gCO_{2e}/MJ) for faktorene merket med "RED I" og "LCA", og fra RED II (94 gCO_{2e}/MJ) for faktorene merket med "bransjenorm".



Figur 21 - Faktorer for utslipp fra produksjon og bruk av biogass

Bruk av LCA metodikken eller bransjenormen med tilleggseffekter (f.eks. biogjødsel,) kan gi negative utslipp ved produksjon og bruk av biogass. Dette betyr at effekten er over 100 % reduksjon, f.eks. 115 % for biogass fra Romerike biogassanlegget ved LCA metodikken i 2016.

A.5.4 ELEKTRISITET

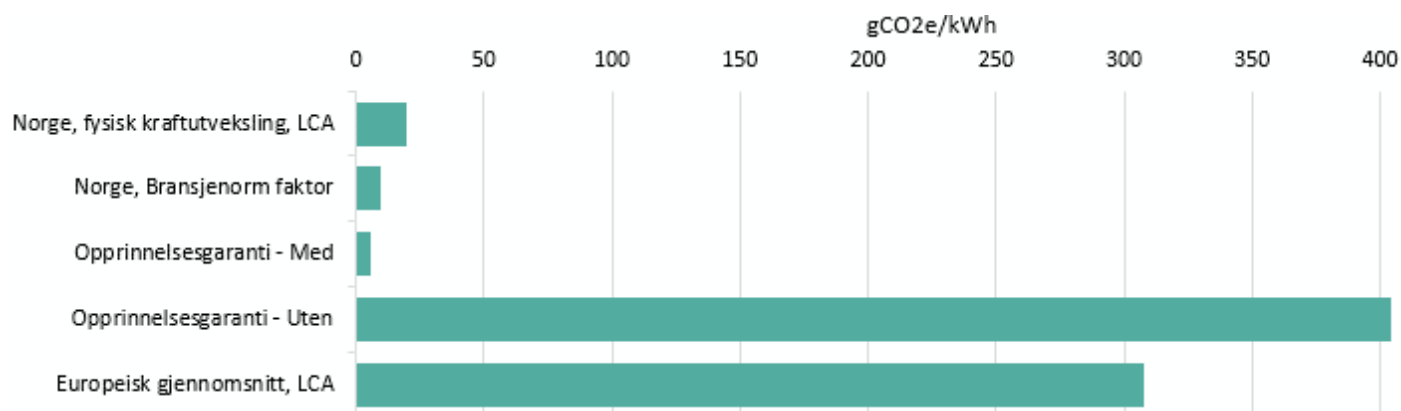
Utslipp fra produksjonen av elektrisitet kommer fra bruk av fossile drivstoff (kull, olje, gass), og bygging av kraftanlegg (f.eks. kullkraft, vindkraft, vannkraft).

Tabellen nedenfor oppsummerer faktorene brukt i modellen.

Tabell 2 - Faktorer for karbonintensitet av elektrisitet

Type elektrisitet	Faktor [g _{CO2e} /kWh]	Kilde og kommentar
Norge, fysisk kraftutveksling, LCA	19,9	Tomorrow, 2017. Basert på produksjon og overføring av elektrisitet mellom ulike regioner og land. LCA faktorer for ulike type kraftproduksjon. 8 % tap i overføring (basert på IEA data)
Norge, Bransjenorm faktor	9,2	BIOGRACE, 2015. Faktor brukt i bransjenormen for biogass. Det finnes lite informasjon om kilden for faktoren, og BIOGRACE nevner beregninger basert på IEA 2012 data for kraftanlegg.
Opprinnelsesgaranti - Med*	6,0	NVE, 2019. Faktor for vannkraft. Antatt at det kjøpes opprinnelsesgarantier for all elektrisitet, og at den kommer fra vannkraft.
Opprinnelsesgaranti - Uten*	404,0	Association of issuing bodies, 2018. Antatt at det ikke kjøpes opprinnelsesgarantier. Faktor for elektrisitet i Norge som ikke kompenseres for garantier.
Europeisk gjennomsnitt, LCA	307,7	Tomorrow, 2017. Basert på produksjon og overføring av elektrisitet mellom ulike regioner og land. LCA faktorer for ulike type kraftproduksjon. 8 % tap i overføring (basert på IEA data)

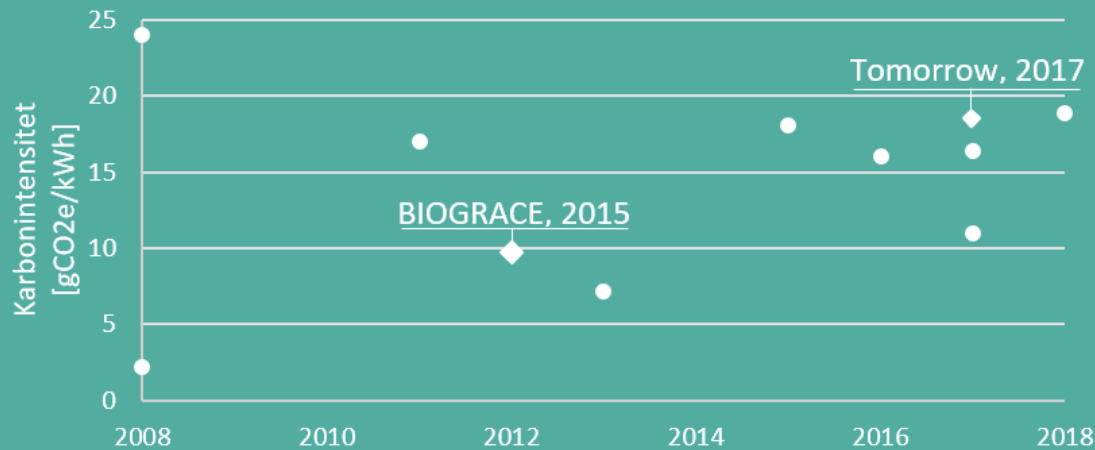
* Merk at opprinnelsesgarantier ikke sier noe om de faktiske klimagassutslippene fra strømforbruket. Les mer om opprinnelsesgarantier i seksjon "Totale utslipp over livssyklus - Detaljer for elektrisitet".



Figur 22 - Faktorer for karbonintensitet av elektrisitet

Klimagassutslipp fra elektrisitet i Norge

Ulike studier gir ulike verdier for klimagassutslipp fra produksjon av elektrisitet i Norge. Figuren nedenfor illustrerer data fra 9 ulike kilder. Gjennomsnittsverdi mellom de 11 datapunkter er 14,45 g_{CO2e}/kWh.



Verdien fra BIOGRACE (2015) (9,2 g_{CO2e}/kWh), som også brukes i bransjenormen for biogass, er lavere enn de fleste studier med data siden 2008.

Endrava anbefaler å bruke data fra Tomorrow (2017) (19,9 g_{CO2e}/kWh), siden den er mer oppdatert, og siden den er basert på faktisk produksjon og overføring mellom ulike regioner i Norge og nabolandene, med LCA tilnærming. For mer informasjon om data fra Tomorrow, se <https://www.electricitymap.org>

Faktoren brukt i modellen for elektrisitet brukes også for produksjon av hydrogen fra elektrolyse, se seksjon nedenfor.

A.5.5 HYDROGEN

A.5.5.1 Hydrogenproduksjon

Hydrogen kan produseres fra flere forskjellige energikilder, med ulike prosesser. På verdensbasis produseres ca. 96 % av hydrogen fra fossile kilder (49 % fra naturgass ved reformering, 29 % fra olje, 18 % fra kull), og 4 % fra elektrisitet ved elektrolyse (IHS Markit, 2018).

I Norge brukes nesten alt hydrogen til produksjon av metanol på Tjeldbergodden (Equinor, 112 000 tonn_{H2}/år) og ammoniakk ved Herøya (Yara, 70 000 tonn_{H2}/år) (DNV GL, 2019). Det meste av hydrogenet på disse to anleggene produseres ved bruk av Steam Methane Reforming (SMR).

En mindre del av hydrogenet i Norge produseres av elektrolyse, for eksempel på Rosenholm bussanlegget (Norsk Hydrogenforum, 2019) og på Sandvika fyllestasjon (Energiteknikk, 2016). Eksplosjonen på anlegget i Sandvika i juni 2019 førte at produksjon på begge anleggene ble stanset (Aftenposten, 2019).

Der har vært vurdert å produsere hydrogen gjennom elektrolyse fra småkraftverk (f.eks. Prosjekt Hellesylt Hydrogen Hub, 2017), og fra overskudd av vindkraft på Smøla (Endrava, 2019). Ifølge (DNV GL, 2019) vil ca. ¾ av hydrogenproduksjonen i Norge i 2030 fremdeles være basert på SMR ved Tjeldbergodden og Herøya. Resten vil trolig bli produsert gjennom elektrolyse og brukt i transportsektoren, og innen noen industrisegmenter.

A.5.5.2 Klimagassutslipp fra hydrogenproduksjon og forbruk

Klimagassutslippene fra hydrogenproduksjon kommer fra ulike kilder, avhengig av produksjonsprosessen:

- karbonintensiteten av elektrisitet ved elektrolyse (se også kapittel A.5.4 om elektrisitet).
- reformeringsprosessen ved SMR.

Det er også teknisk mulig å fange CO₂ fra SMR-prosessen, og å lagre den, noe som reduserer de totale utslippene under produksjonen.

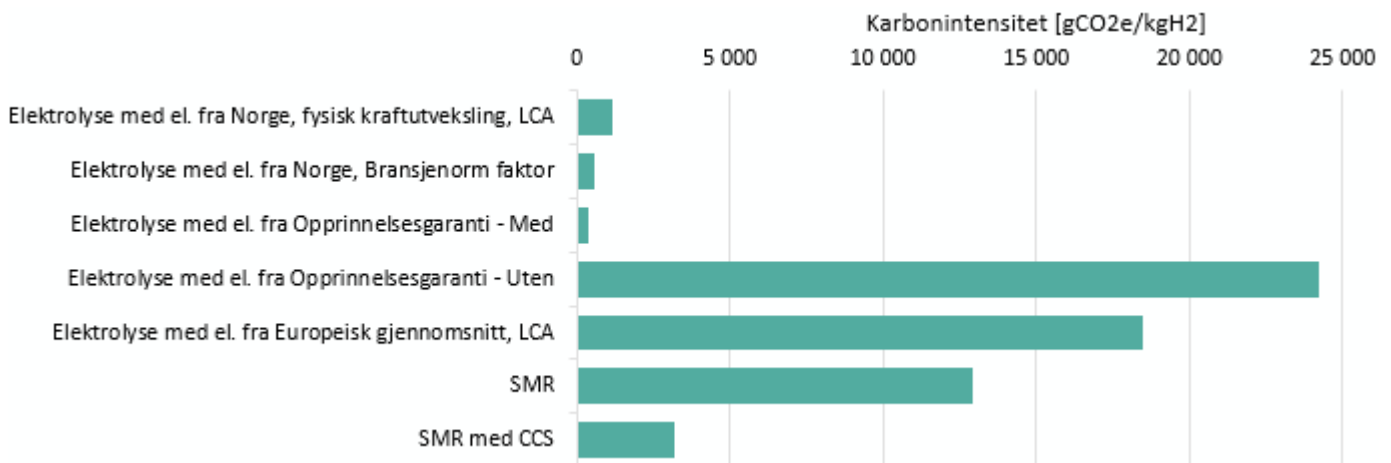
Når elektrolyse brukes, har karbonintensitet av elektrisitet største påvirkning på klimanytten av hydrogen (Bhandari et al., 2013). En faktor for energiforbruk på 60 kWh/kg_{H2} brukes i beregningene. Faktoren er basert på informasjon fra NEL (pers. komm. i mai 2019), og inkluderer 52 kWh/kg_{H2} for elektrolyse og 8 kWh/kg_{H2} for komprimering til 350 bar. Faktoren er lik verdier fra ulike studier, f.eks. NEEDS (2008) (53 kWh/kg_{H2} for elektrolyse og 8 kWh/kg_{H2} for komprimering) og Dufour et al. (2012) (54,3 kWh/kg_{H2} for elektrolyse og 2 kWh/kg_{H2} for komprimering til lavere trykk).

Faktorene for utslipp fra hydrogenproduksjon er beskrevet nedenfor.

Tabell 3 - Faktorer for utslipp fra hydrogenproduksjon

Type produksjon	Faktor [g _{CO2e} /kg _{H2}]	Kilde
Elektrolyse med el. fra Norge, fysisk kraftutveksling, LCA	1 197	beregnet, basert på 60 kWh/kg _{H2}
Elektrolyse med el. fra Norge, Bransjenorm faktor	583	beregnet, basert på 60 kWh/kg _{H2}
Elektrolyse med el. fra Opprinnelsesgaranti - Med	360	beregnet, basert på 60 kWh/kg _{H2}
Elektrolyse med el. fra Opprinnelsesgaranti - Uten	24 240	beregnet, basert på 60 kWh/kg _{H2}
Elektrolyse med el. fra Europeisk gjennomsnitt, LCA	18 462	beregnet, basert på 60 kWh/kg _{H2}
SMR	12 953	Valente et al. 2017, med tillegg for komprimering til 350 bar.
SMR med CCS	3 176	Gjennomsnitt av 2 studier (Dufour et al. 2009 og Mehmeti et al. 2018)

Klimagassutslippene fra transport av hydrogen anses som ubetydelige, gitt at transportavstandene ikke er for lange. Der er ingen klimagassutslipp fra bruk av hydrogen. Faktorene brukt i beregningene for modellen er illustrert i neste figur.



Figur 23 - Faktorer for utslipp fra hydrogenproduksjon og bruk

A.6 KLIMAGASSUTSLIPP FRA VEDLIKEHOLD

Vedlikehold på konvensjonelle deler av busser, f.eks. dekk, anses som like mellom de ulike busstyper i modellen. På grunn av mangel av data om vedlikehold, er klimagassutslipp fra produksjon, bruk, og avhending av vedlikeholdsdeler ikke inkludert i modellen, unntatt batterier og brenselceller.

Batterier har en gitt levetid, ofte i form av antall ladesykluser, kilometer eller år. Movia (2015) gir en levetid på 8 år for batterier i elbusser, som tilsvarer ca. 492 000 km (beregninger fra Endrava). DTI (2016) nevner informasjon fra bussprodusenten BYD med garanti på 8 år, eller 500 000 km. DTI gjennomførte tester og nevner et mulig reduksjon til 80 % av opprinnelig kapasitet innen 7 år i danske temperaturforhold.

Sustainable Bus (2019) indikerer 3 300 ladesykluser, som tilsvarer ca. 575 000 km med elforbruket fra en vanlig elbuss (beregninger fra Endrava). Modellen inkluderer derfor bytte av batteri ved 522 000 km (ca. 8 år) for elbusser og hydrogenbusser (gjennomsnittsverdi fra 3 kilder). Dette er lengre enn garantier indikert av BNEF (2018) i en oversikt av 12 bussmodeller fra 9 ulike produsenter (gjennomsnitt 6,2 år). BNEF nevner at lengden på garantier kommer til å endre seg i fremtiden, når produsentene får mer erfaring om levetiden av bussbatterier. Erfaringen fra bilmarkedet er at batteriene holder bedre kapasitet over tid enn produsentene hadde forventet.

Brenselceller også har en gitt levetid, og både Lozanovski (2018) og Thinkstep (2018) indikerer en realistisk forventning på en brenselcelle bytte innen bussens levetiden. Dette stemmer med erfaringsdata fra NREL (2018), og krav fra Ruter (2018).

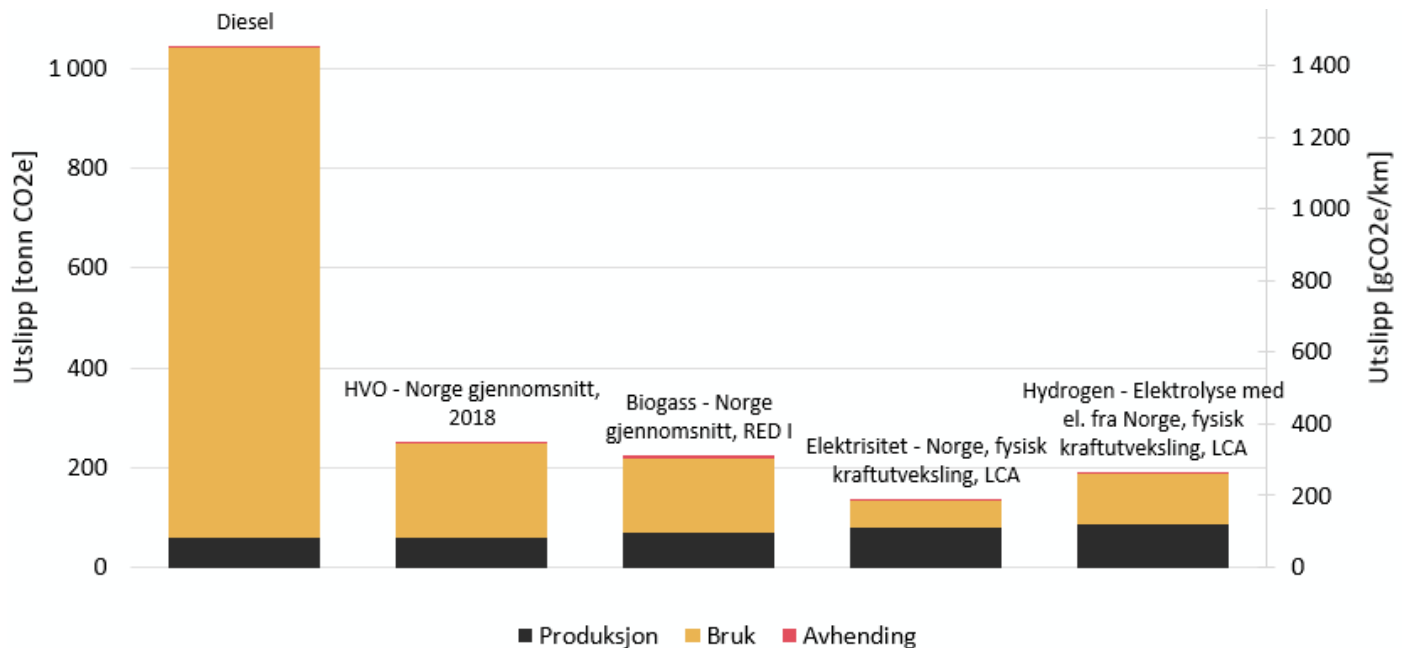
A.7 KLIMAGASSUTSLIPP FRA AVHENDING

De følgende faktorer brukes i modellen for avhending av ulike type deler av busser:

- 0,36 kg_{CO2e}/kg_{buss} for de konvensjonelle delene, basert på Ellingsen (2016) for biler,
- 0,36 kg_{CO2e}/kg_{tank} for gasstankene, på grunn av manglende data,
- 0,072 kg_{CO2e}/kg_{batteri} for batteriene, basert på Ellingsen (2016) for batterier i elbiler,
- 2,2 kg_{CO2e}/kg_{brenselcelle} for brenselceller, basert på Simons (2015) for brenselceller i hydrogenbiler.

A.8 TOTALE UTSLIPP OVER LIVSSYKLUS

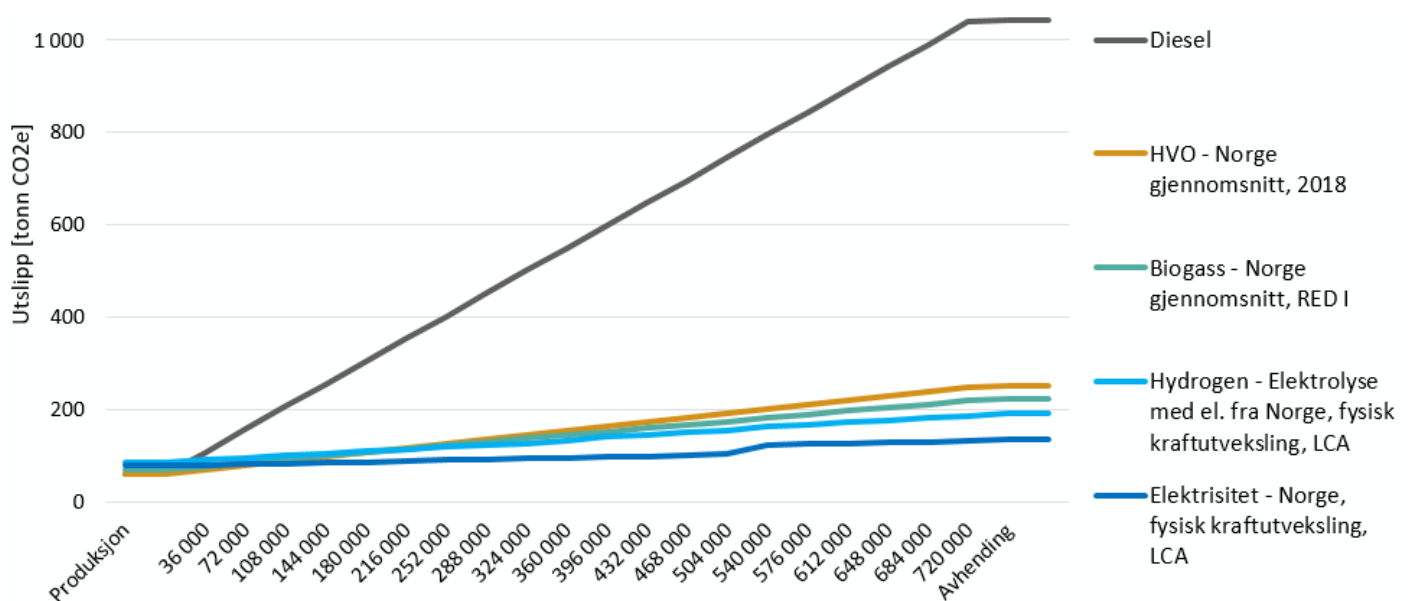
Hovedresultatet fra modellen presenteres i figuren nedenfor, for 12 m bussen. Spesifikke kategorier for hver type teknologi er presenterte i figuren, basert på gjennomsnitt norske verdier.



Figur 24 - Klimagassutslipp fra ulike bussteknologier i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

Bruksfasen for dieselbusser har største utslipp av alle fasene, fordi av relativt lang kilometerstand og høyt bruk av drivstoff. Denne fasen representerer 94 % av alle utslippene til en konvensjonell dieselbuss (17 % for dieselproduksjon og 77 % ved forbrenning). For andre type busser, har bruksfasen lavere utslipp, fra 74 % for HVO busser ned til 41 % for elbusser. Dette skyldes lavere utslippsintensitet av drivstoffene, og høyere utslipp fra produksjon av biogas-, el- og hydrogenbusser. Avhending representerer en veldig liten del av de totale utslippene.

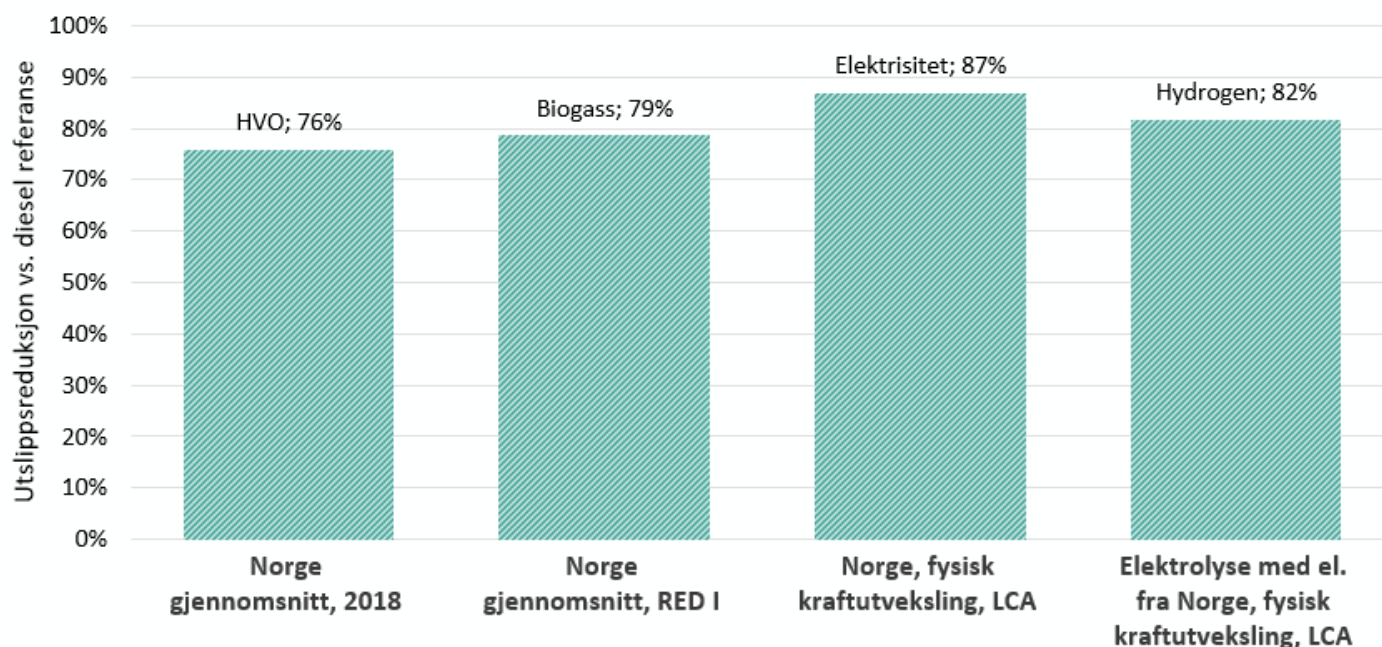
Figuren nedenfor presenterer de samme resultatene, med utviklingen over de ulike fasene og med kjørelengde.



Figur 25 - Klimagassutslipp fra ulike bussteknologier i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

Utslippene ved venstre siden av figuren viser de ulike nivåer av utslipp fra produksjon av de ulike bussteknologier. Økningene i utslipp ved 522 000 km for elbusser, og ved 396 000 km og 522 000 km for hydrogenbusser, er relatert klimagassutslipp fra bytte av batterier og brenselceller.

Neste figur presenterer redusert utslipp i % for hver teknologi, sammenlignet med diesel som referanse. Referanseverdien for diesel er beregnet i modellen, basert på faktorer og antagelser beskrevet i seksjonene over.

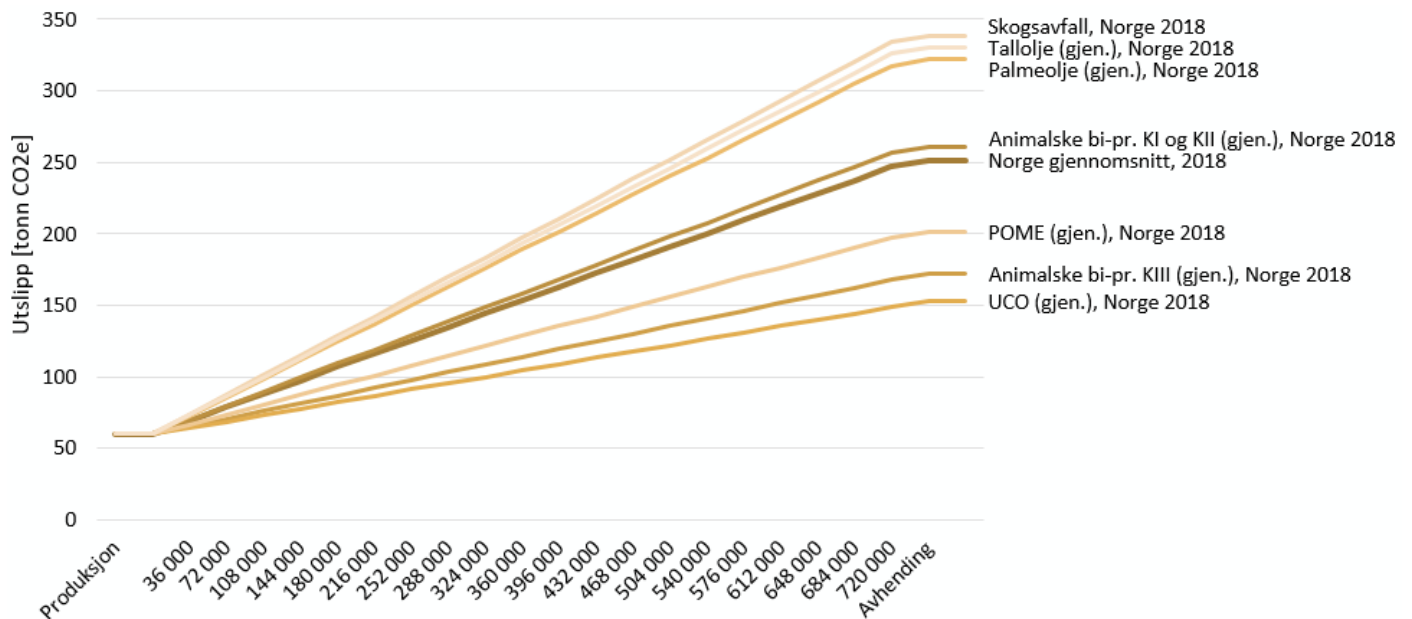


Figur 26 - Reduksjon i klimagassutslipp fra ulike bussteknologier i Norge, over livsyklusen, sammenlignet med diesel som referanse (høyere verdi er bedre). 12 m buss.

Modellen viser at elbusser har best utslppsreduksjon av alle teknologier, med 87 % over livssyklusen. Verdien er basert på fysisk kraftutveksling av elektrisitet i Norge i 2017, og tar hensyn til overføringer til og fra utlandet, med LCA perspektiv. Hydrogen fra elektrolyse er på andre plass, med 82 % reduksjon (med fysisk kraftutveksling av elektrisitet i Norge i 2017). Biogass har 79 % utslppsreduksjon, basert på gjennomsnittsverdi for biogass produsert i Norge (RED I / Produktforskriften metodikk). HVO har laveste utslppsreduksjon, med 76 %, basert på gjennomsnittsverdi for HVO solgt i Norge i 2018.

A.8.1 DETALJER FOR HVO

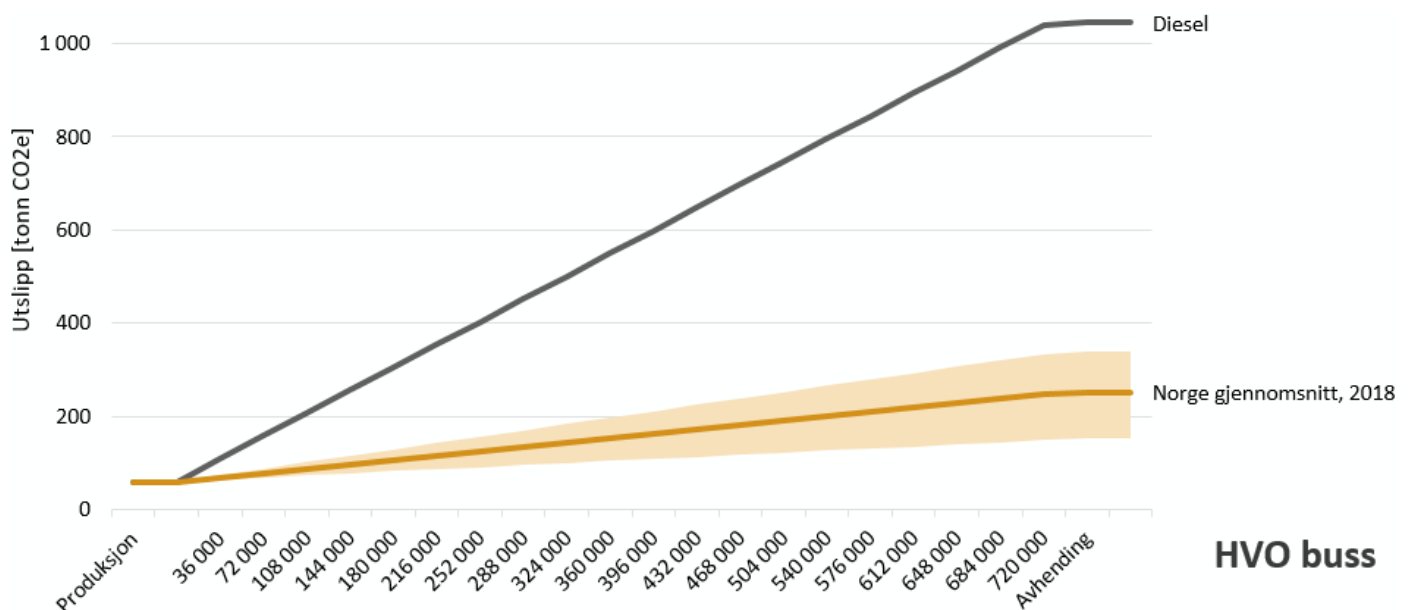
Klimagassutslipp fra bruk av HVO i konvensjonelle busser presenteres nedenfor, per type råstoff. Verdiene er basert på årlig rapportering fra Miljødirektoratet (2019), for HVO solgt i Norge i 2018. Se seksjon om "Klimagassutslipp fra ulike energikilder/drivstoff" for mer informasjon.



Figur 27 - Klimagassutslipp fra bruk av HVO for busser i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

Råstoffet med laveste klimagassutslipp over livssyklusen for bruk i buss er UCO (brukt fritryolje), med 85 % reduksjon sammenlignet med diesel (inkludert produksjon av bussen, og AdBlue forbruk). Basert på beregningene og data fra Miljødirektoratet, har HVO laget av skogsavfall høyeste klimagassutslipp av alle råstoffene, med 68 % reduksjon sammenlignet med diesel (inkludert produksjon av bussen, og AdBlue forbruk).

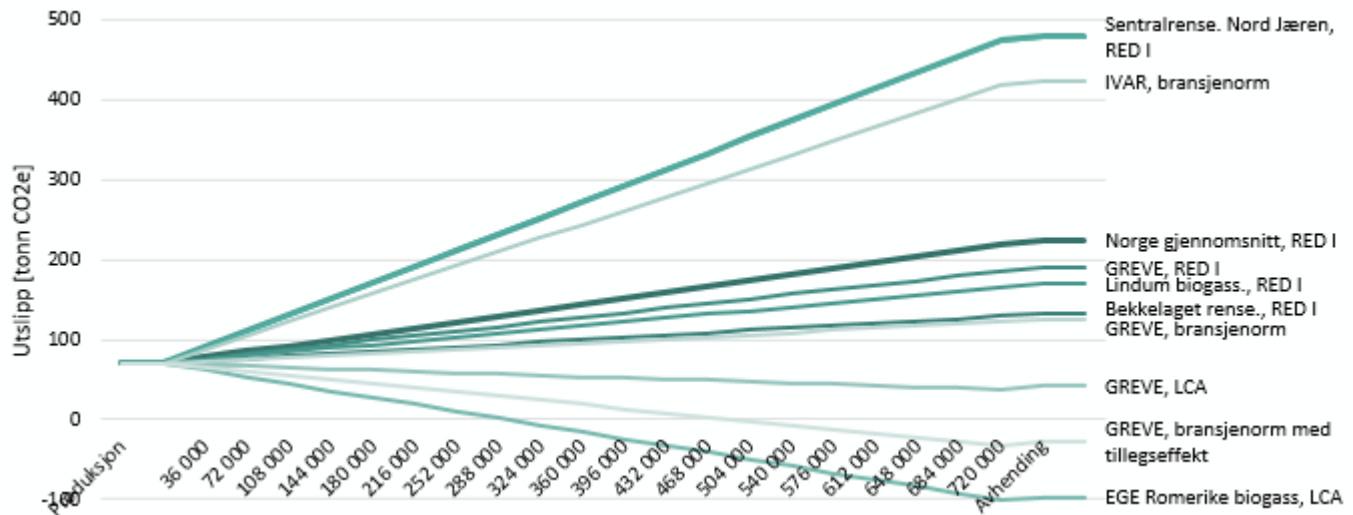
Neste figur sammenligner mulighetsrommet for ulike råstoff for HVO, med livssyklus av utslippene fra bruk av diesel i buss.



Figur 28 - Klimagassutslipp fra bruk av ulike typer HVO og diesel for busser i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

A.8.2 DETALJER FOR BIOGASS

Klimagassutslipp fra biogassbusser presenteres nedenfor, per anlegg og metodikk. Verdiene er basert på data oppgitt av Avfall Norge (2017 og 2019), ved bruk av ulike beregningsmetodikk. Se seksjon om “Klimagassutslipp fra ulike energikilder / drivstoff” for mer informasjon.

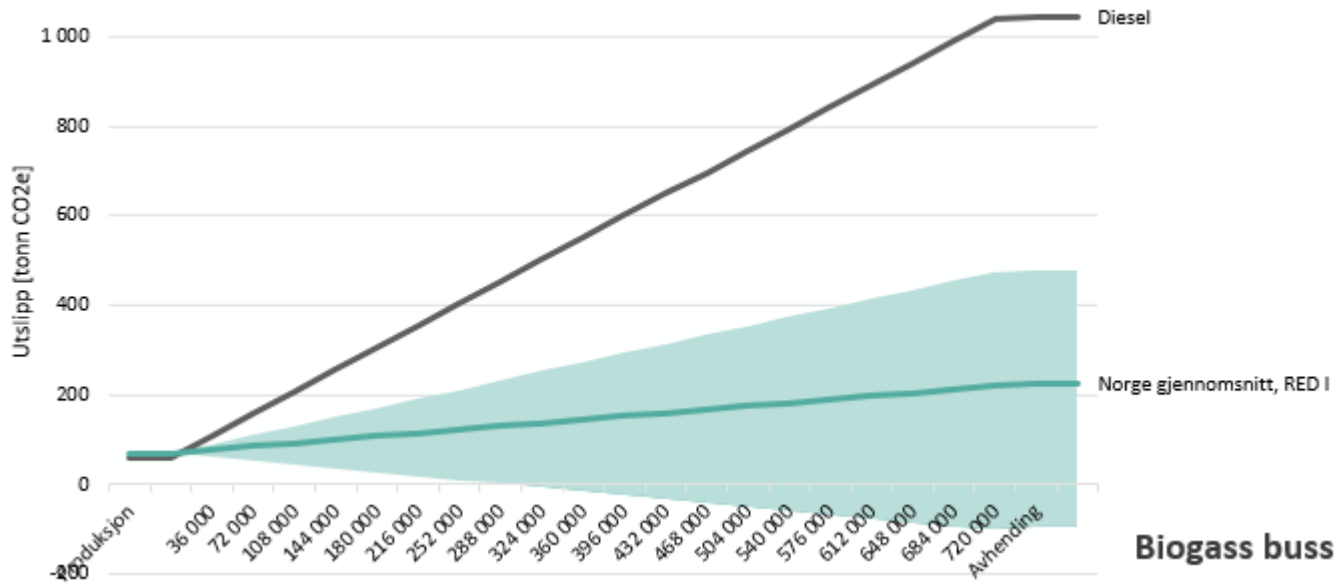


Figur 29 - Klimagassutslipp fra biogassbusser i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

Resultatene viser at LCA tilnærmingen og metodikken fra bransjenormen, med tilleggseffekt kan gi negative utslipp, for eksempel på GREVE og EGE Romerike biogassanleggene. Det betyr at bruk av biogass kan kutte mer CO₂ enn det som slippes ut ved produksjon og avhending av bussene. Dette er fordi biogassproduksjon og bruk kan gi lavere utslipp enn alternative anvendelser for råstoffene.

Anlegget med laveste klimagassutslipp over livssyklusen for bruk i buss er EGE Romerike biogass, ved bruk av LCA metodikken (Avfall Norge, 2017), med 106 % reduksjon sammenlignet med diesel. Basert på tilgjengelig data fra Avfall Norge (2017) har Sentralrenseanlegget Nord Jæren det høyeste klimagassutslipp av alle anleggene, med 63 % reduksjon sammenlignet med diesel.

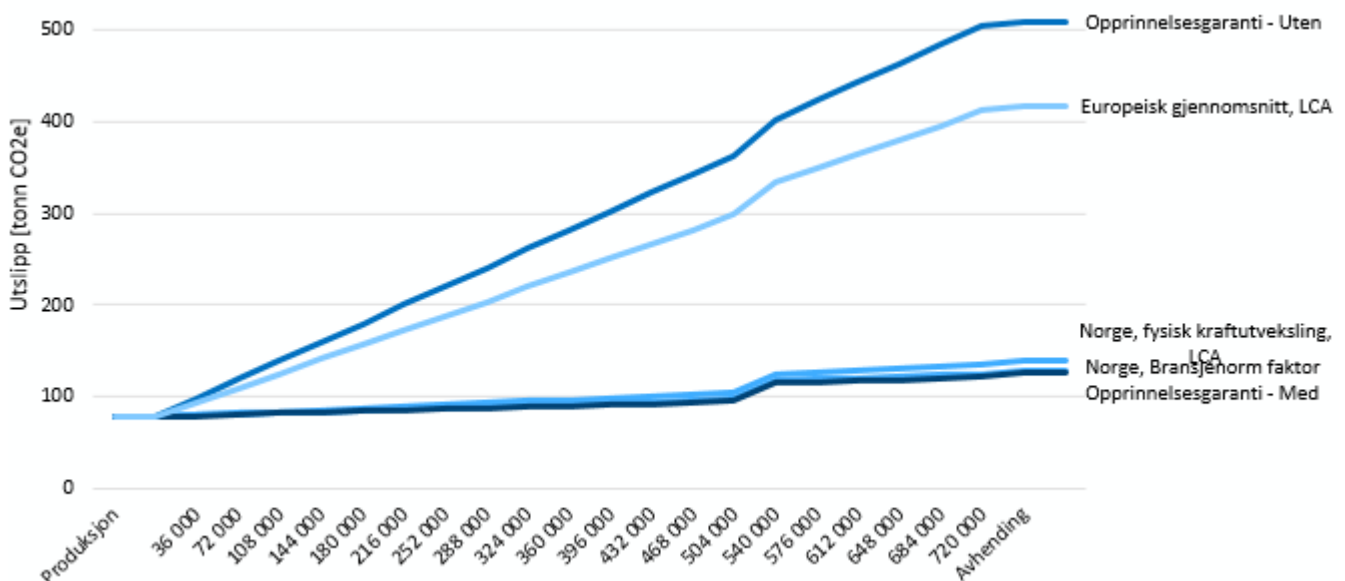
Neste figur sammenligner mulighetsrommet for ulike biogass produksjonsanlegg med livssyklus utslippene fra bruk av diesel i buss.



Figur 30 - Klimagassutslipp fra biogassbusser og bruk av diesel i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

A.8.3 DETALJER FOR ELEKTRISITET

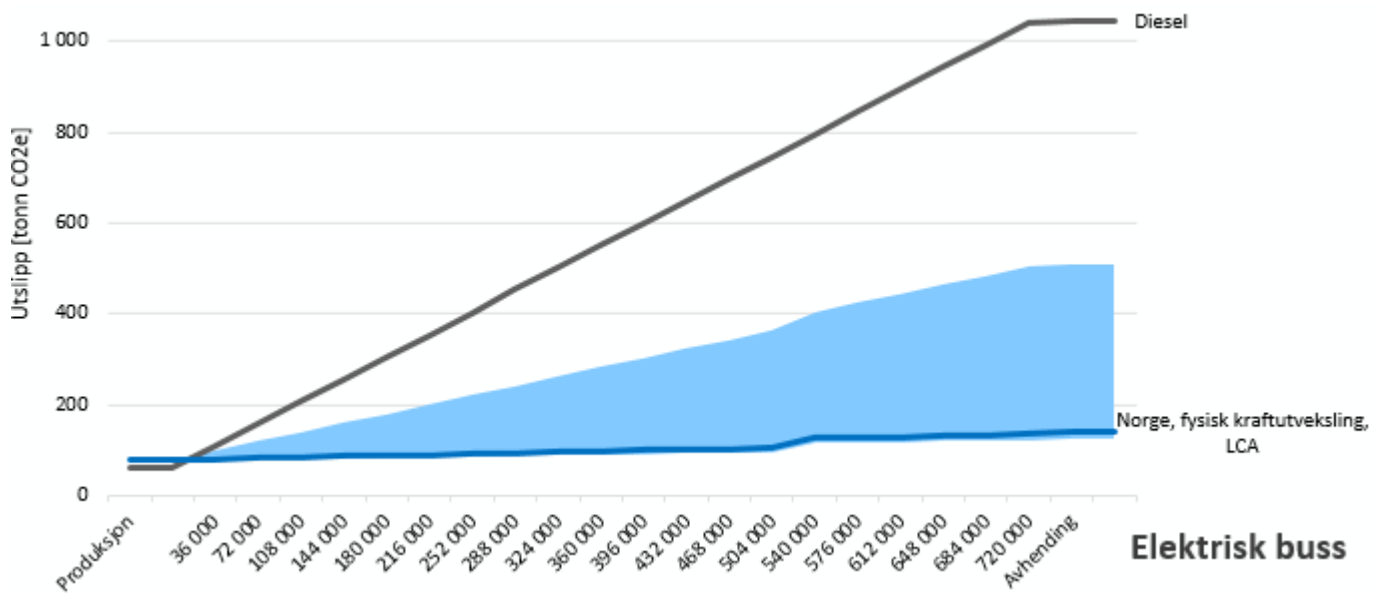
Klimagassutslipp fra elbusser presenteres nedenfor, per beregningsmetodikk. Se seksjon om “Klimagassutslipp fra ulike energikilder/drivstoff” for mer informasjon.



Figur 31 - Klimagassutslipp fra elbusser i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

Beregningene basert på kjøp av opprinnelsesgarantier og på faktoren i bransjenorm for biogass gir laveste utslipp. Faktoren fra bransjenormen er mye lavere enn andre faktorer for elektrisitet i Norge (se også boks i seksjonen om elektrisitet), og Endrava anbefaler å bruke data fra Tomorrow (2017) i stedet (se “Norge, fysisk kraftutveksling, LCA” i figuren ovenfor). Beregninger basert på “europeisk gjennomsnitt miks”, og basert på opprinnelsesgarantier (men uten kjøp av garantier) gir høyeste utslipp.

Neste figur sammenligner mulighetsrommet for ulike elektrisiteter med livssyklus utslippene fra bruk av diesel i buss.



Figur 32 - Klimagassutslipp fra elbusser og bruk av diesel til buss i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

Om opprinnelsesgarantier

Opprinnelsesgarantiene er et bevis på, at det et sted er produsert like mye fornybar energi som sluttbrukeren forbruker. Kjøp av opprinnelsesgarantier gjøres i tillegg til kjøp av fysisk kraft og påvirker ikke energikildene til den fysiske kraftleveransen (Oslo Economics, 2018).

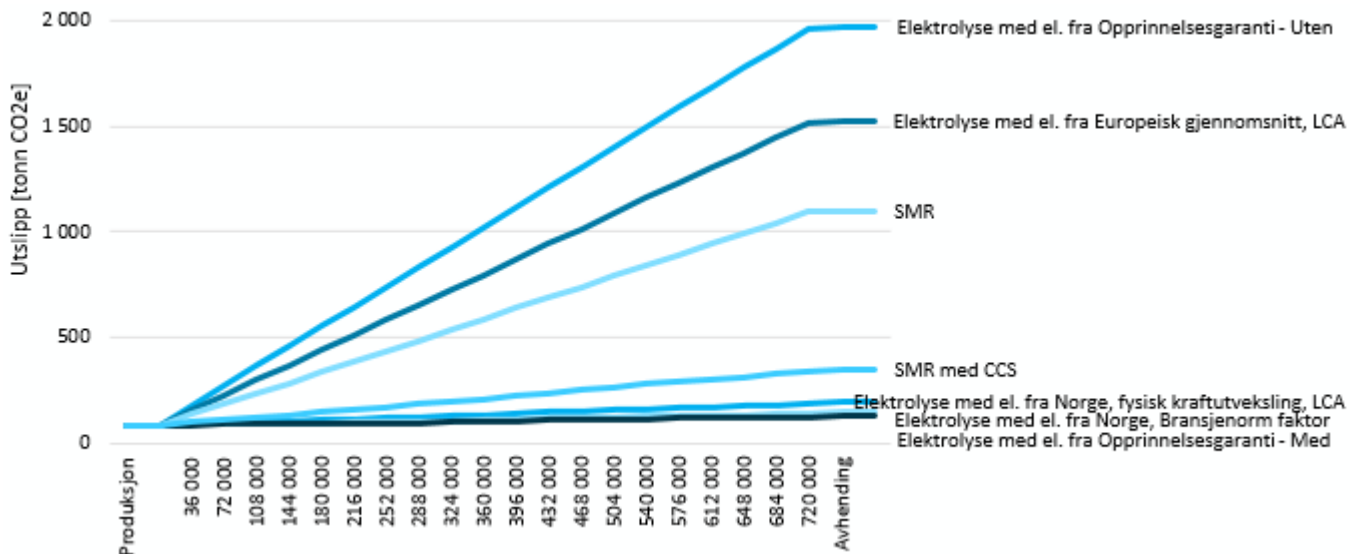
Det meste av fornybar kraft som produseres i Norge selges via opprinnelsesgarantier til utlandet. Det betyr at selv om 98 % av kraftproduksjonen i Norge var fornybar i 2018, ble 86 % av kraftkjøp i Norge gjort uten opprinnelsesgarantier, og kan derfor ikke garanteres å være fra fornybare kilder (NVE, 2019). For å unngå dobbelttelling, beregner den *Association of Issuing Bodies* den Europeisk restmiks, som representerer energimiksen for de som ikke kjøper opprinnelsesgarantier. Restmiksen varierer avhengig av kjøp og salg av opprinnelsesgarantier, og avhengig av kraftproduksjon i resten av Europa. Ifølge NVE, restmiksen for kraftkjøp uten opprinnelsesgarantier i 2018 i Norge er 58 % fra fossil varmekraft, 33 % fra kjernekraft og 9 % fra fornybar kraft.

EnergiNorge (2016) skriver imidlertid at opprinnelsesgarantien ikke sier noe om klimagassutslippene fra strømforbruket. Oslo Economics (2018) skriver også at den direkte klimavirkningen av strømforbruk med og uten opprinnelsesgarantier er den samme.

Endrava har inkludert opprinnelsesgarantier i modellen, for å illustrere effekten fra ulike faktorer på de totale utslippene. I klimaberegninger anbefaler Endrava å bruke data basert på fysisk kraftutveksling av elektrisitet i Norge: med hensyn til det som produseres, og det som fysisk overføres til og fra utlandet. Derfor foretrekker Endrava å bruke data fra selskapet Tomorrow (kalt "Norge, fysisk kraftutveksling, LCA" i rapporten). For mer informasjon om den datakilden, se <https://www.electricitymap.org>

A.8.4 DETALJER FOR HYDROGEN

Klimagassutslipp fra hydrogenbusser presenteres nedenfor, per produksjonstype. Se seksjon om “Klimagassutslipp fra ulike energikilder/drivstoff” for mer informasjon.

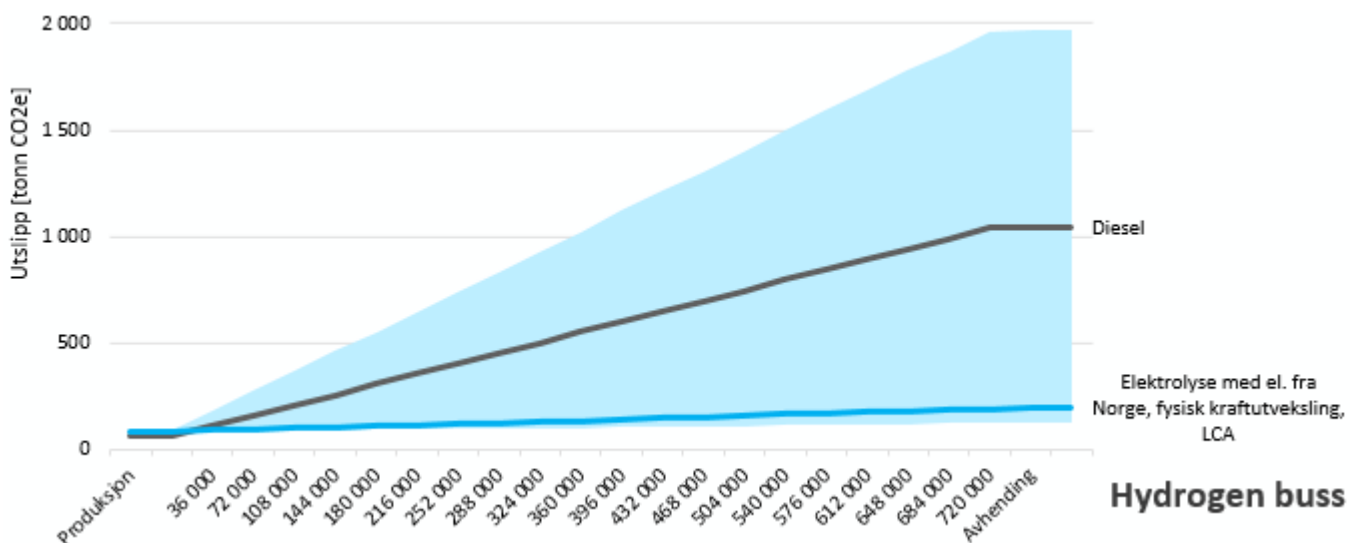


Figur 33 - Klimagassutslipp fra hydrogenbusser i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

Beregningene basert på kjøp av opprinnelsesgarantier og på faktoren i bransjenormen for biogass, gir laveste utslipp ved bruk av elektrolyse. Elektrolyse med fysisk kraftutveksling av elektrisitet i Norge i 2017 (Tomorrow, 2017), og SMR med karbonfangst og lagring gir også lave utslipp.

Hydrogen produsert fra SMR (naturgass) uten CCS faktisk øker utslippene med 6 % sammenlignet med utslipp fra dieselbuss, over livssyklusen. Beregningene er basert på europeisk gjennomsnitt miks, og opprinnelsesgarantier, men uten kjøp av garantiene som gir høyeste utslipp.

Neste figur sammenligner mulighetsrommet for ulike produksjonsprosesser av hydrogen, med livssyklus for utslippene fra bruk av diesel i buss.



Figur 34 - Klimagassutslipp fra hydrogenbusser i Norge, over livssyklusen. 12 m buss.

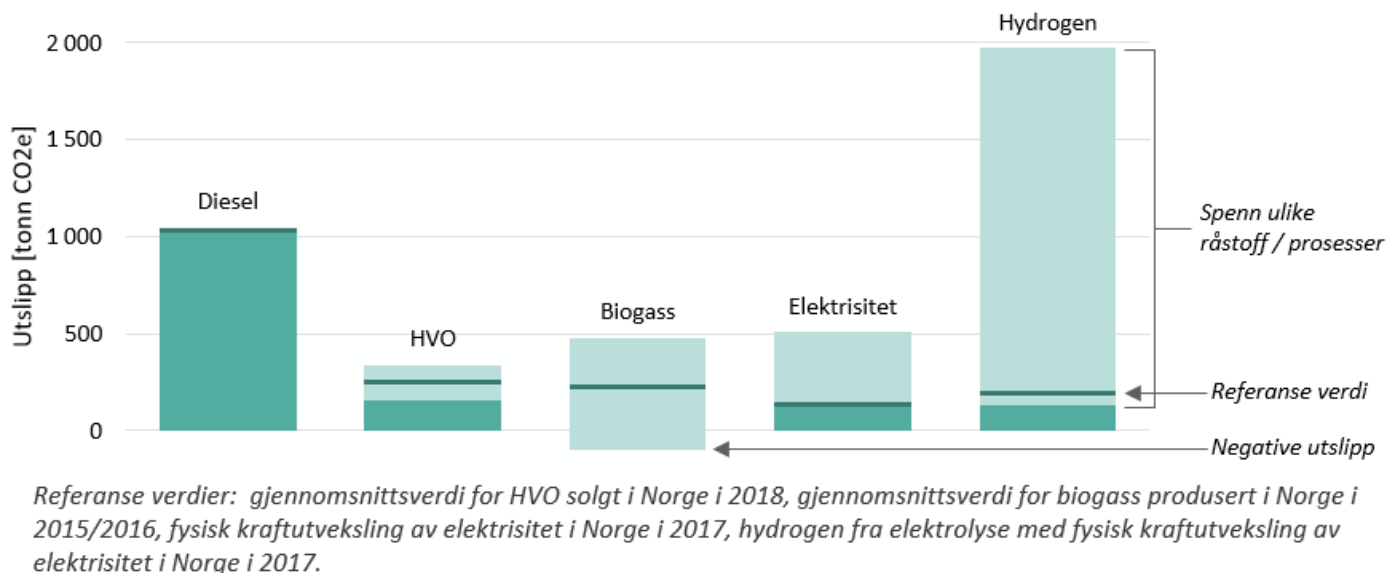
Figuren ovenfor understreker viktigheten ved å ta et livssyklusperspektiv for å sammenligne hydrogen med andre teknologier. Selv om hydrogen har null lokale utslipp, øker faktisk noen av teknologiene for hydrogenproduksjon klimagassutslippene, sammenlignet med diesel over et livssyklusperspektiv.

Derfor er hydrogenteknologien den med største variasjon i de totale klimagassutslipp mellom ulike teknologier.

A.9 SAMMENLIGNING AV VARIASJONER FRA FORSKJELLIGE RÅSTOFF OG PRODUKSJONSPROSESSER

Der er store variasjoner i karbonintensiteten i drivstoff fra forskjellige råstoffer og produksjonsprosesser (se også A.5). Dette har stor påvirkning på resultatene fra modellen, og kan endre konklusjonene når ulike bussteknologier sammenlignes.

Neste figur viser spennet i resultatene når ulike råstoffer og produksjonsprosesser inkluderes i beregningen.



Figur 35 - Klimagassutslipp fra forskjellige bussteknologier i Norge, gjennom livssyklusen, 12 m buss.

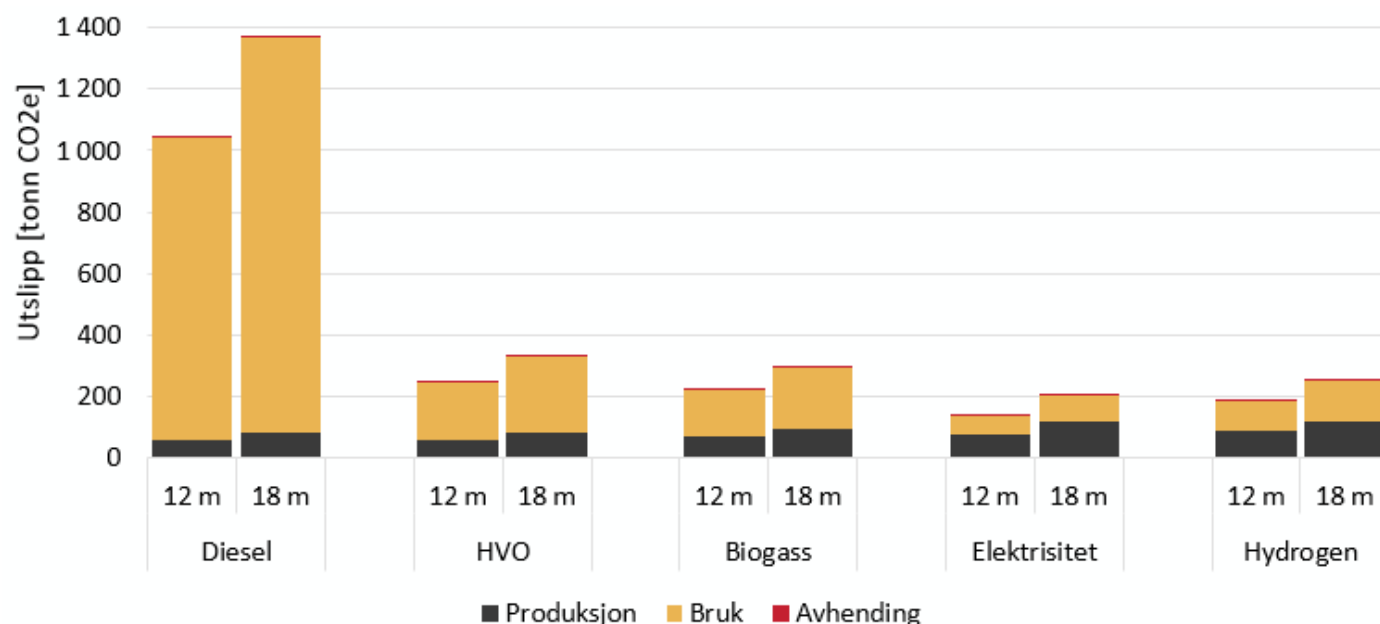
Hydrogen er teknologien med største spenn i resultatene. Dette skyldes, mulig høye utslipp ved produksjon av hydrogen fra naturgass, eller fra elektrolyse med elektrisitet med høy karbonintensitet.

Biogass er andre teknologien med største spenn i resultatene. Noen av produksjonsanleggene gir biogass med relativt lav utslippsreduksjon (høy karbonintensitet), mens andre har veldig høye utslippsreduksjoner, over 100% for noen av de. Med et livssyklusperspektiv, dette gir negative utslipp. Det betyr at bruk av biogass utløser muligheter for indirekte kutt av klimagassutslipp (typisk metanutslipp fra landbruket), hvilket positiv klimaeffekt overstiger utslippene fra produksjon og bruk av biogass bussen selv.

Den nye bransjenorm for klimarapportering av biogassproduksjon kommer til å gi mer presise faktorer for karbonintensitet av biogass, og bedre grunnlag for å dokumentere klimanytte av biogass som drivstoff i Norge.

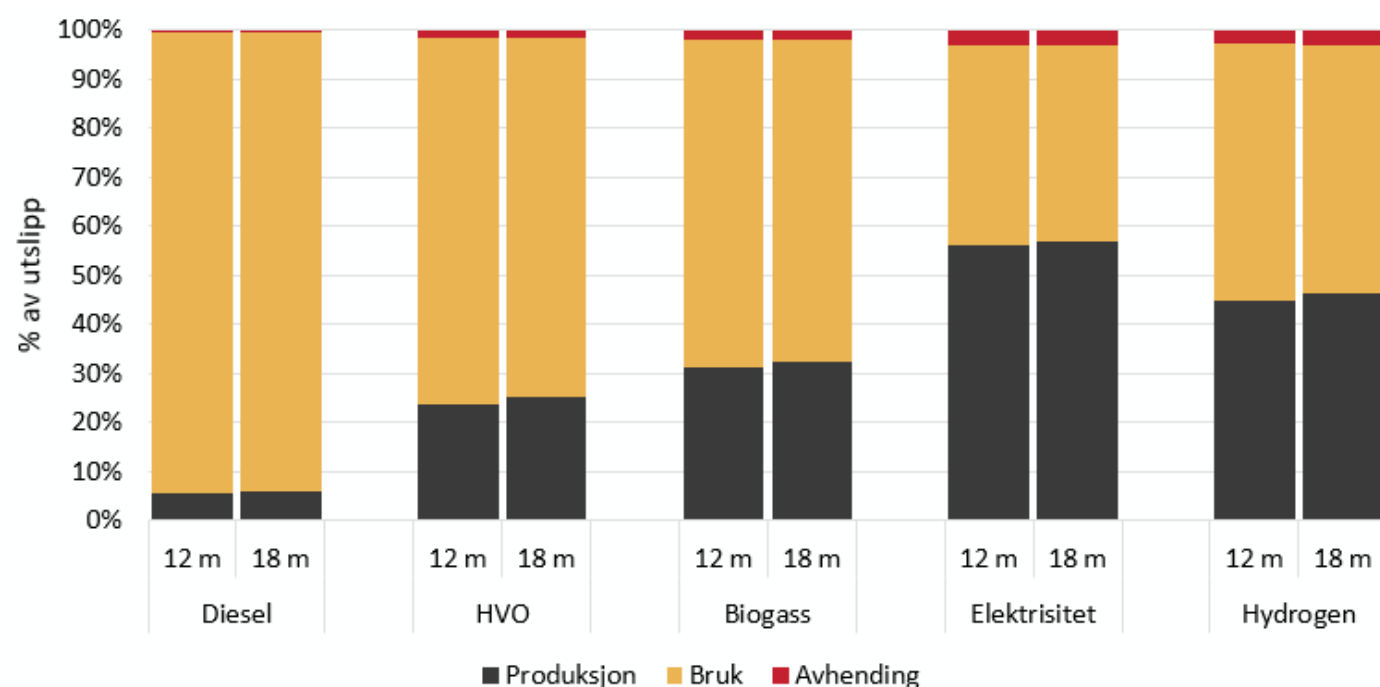
A.10 FORSKJELLER MELLOM 12 M OG 18 M BUSS

Figuren nedenfor viser en sammenligning av resultatene for 12 m og 18 m busser i modellen. Resultatene viser at utslippene for alle fasene og alle teknologier er høyere for 18 m, noe som er logisk siden 18 m bussene er tyngre og bruker mer energi.



Figur 36 - Klimagassutslipp fra ulike bussteknologier i Norge, over livsyklusen.

Figuren nedenfor viser hvordan de ulike fasene bidrar til utslippene, for 12 m og 18 m buss. Andel utslipp fra de ulike fasene er relativt lik mellom de to busstypene, og enkle forskjeller skyldes av mindre variasjoner i spesifikasjonene for bussene.



Figur 37 – Andel av utslipp fra ulike faser i livsyklusen for bussteknologier i Norge.

Basert på disse resultatene, kan vi konkludere med at bussens størrelsen ikke endrer konklusjonene fra de ulike sammenligningene fra modellen for 12 m bussen. 18 m bussene har høyere passasjerkapasitet og utslipp per km-passasjer ikke er beregnet i modellen.

A.11 BEGRENSNINGER OG USIKKERHETER

Modellen er basert på eksisterende studier og forskningsartikler om kjøretøy og ulike teknologier for drivstoff. Modellen og resultatene har følgende begrensninger og usikkerheter:

- Modellen representerer en generisk buss i Norge, og er ikke spesifikt i forhold til faktorer som:
 - bussmodeller
 - byer eller eier
 - kjørelengde og levetid
 - råstoff for biodrivstoff utenom det som presenteres i rapporten
- For elektriske busser, baserer modellen seg på busser med pantograf. Det er store variasjoner i batterikapasitet mellom ulike bussmodeller, noe som påvirker utslippene ved produksjon, vedlikehold og avhending av bussene.
- Selv om Endrava forsøker å sammenligne ulike datakilder for å definere beste faktorer for bruk i modellen, er det usikkerheter relaterte til faktorene som brukes. Dette kan føre til usikkerhet i resultatene fra modellen.
- Noen data er basert på internasjonale faktorer (f.eks. energiforbruk for elbusser), og dette kan føre til usikkerhet relatert til påvirkning av norske forhold (f.eks. temperatur) på faktorene.
- Bytte av batteri og brenselceller er inkludert i modellen, selv om det er usikkerheter på levetid for disse komponentene.
- Annen type vedlikehold (f.eks. utskifting av deler) ikke er inkludert i modellen. Dette kan føre til økte utslipp, sett fra et livssyklusperspektiv, for alle bussteknologiene i modellen. Mulig påvirkning på konklusjonene ansees som veldig begrenset.
- Referansen for modellen er en buss, og forskjeller mellom ulike busser kan føre til forskjeller på flåte nivå:
 - Modellen inkluderer ikke bussenes pålitelighet og tilgjengelighet. Hydrogenbussene har typisk lavere tilgjengelighet enn andre teknologier, pga. økt behov for vedlikehold (NREL, 2018). Dette kan påvirke antall hydrogenbusser som trengs på flåtenivå, for å oppnå samme kapasitet som med dieselbusser.
 - Batterier i elektriske busser tar stor plass, noe som kan redusere antall sitteplass på disse bussene. Det kan derfor være behov for flere elektriske busser enn diesel ekvivalenter for å oppnå samme kapasitet. Effekten av bussens ladetid på tilgjengeligheten er heller ikke inkludert i modellen.

A.12 KILDER

Aftenposten, 2019. Ruter parkerer hydrogenbusser og stenger fylleanlegg etter eksplosjonen i Sandvika. Tilgjengelig: <https://www.aftenposten.no/norge/i/BR6oRv/Ruter-parkerer-hydrogenbusser-og-stenger-fylleanlegg-etter-eksplosjonen-i-Sandvika>

Ang et al., 2016. Carbon emission intensity in electricity production: A global analysis. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.038>

Antonius, 2017. A contribution to the analysis of fuel efficiency measures for heavy-duty vehicles (på Engelsk). Tilgjengelig: <http://diglib.tugraz.at/download.php?id=5aa2481a0be19&location=browse>

Association of issuing bodies, 2018. European Residual Mix 2017 (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.aib-net.org/facts/european-residual-mix/2017>

Avfall Norge, 2017a. Biogass - verdifullt, effektivt og klimanøytralt. Tilgjengelig: <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/biogass-verdifullt-effektivt-og-kliman%C3%B8ytralt>

Avfall Norge, 2017b. Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskprodusert biogass - Kunnskapsgrunnlag og anbefalinger til innkjøpere. Tilgjengelig: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/avfall-norge-no/dokumenter/Baerekraft-og-klimanytte-for-norskprodusert-biogass-2017.pdf>

Avfall Norge, 2019. Ny bransjenorm for klimarapportering av biogass. Tilgjengelig: <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/ny-bransjenorm-for-klimarapportering-av-biogass>

Bhandari et al., 2013. Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis - A review (på Engelsk). Tilgjengelig: https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/IEK/IEK-STE/DE/Publikationen/preprints/2013/preprint_03_2013.pdf?__blob=publicationFile

BIOGRACE, 2015. BIOGRACE V4 - BioGrace additional standard values - version 4d. Tilgjengelig: <https://www.biograce.net/home>

BNEF, 2018. Electric Buses in Cities (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>

CarbonLimits, 2019. Presentasjon av den nye bransjenorm. Lenk til videoopptakk tilgjengelig på: <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/ny-bransjenorm-for-klimarapportering-av-biogass>

CHIC, 2016. Fuel Cell electric buses: a proven zero-emission solution (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.fuelcellbuses.eu/public-transport-hydrogen/fuel-cell-electric-buses-proven-zero-emission-solution>

Dagdougui et al., 2018. Hydrogen Infrastructure for Energy Applications, Chapter 4 Hydrogen Storage and Distribution: Implementation Scenarios (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1100918259>

Danmarks Statistik, 2018. Energiregnskab i fælles enheder (oversigt) efter energitype, tid og tilgang og anvendelse. Tilgjengelig: <https://www.statistikbanken.dk/ENE2HO>

Das, 2011. Life cycle assessment of carbon fiber-reinforced polymer composites. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0264-z>

DNV GL, 2019. Produksjon og bruk av hydrogen i Norge. Rapport 2019-39. Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/contentassets/0762c0682ad04e6abd66a9555e7468df/hydrogen-i-norge---synteserapport.pdf>

DTI, 2016. Battery degradation in electric buses (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.trafikstyrelsen.dk/~media/Dokumenter/06%20Kollektiv%20trafik/Forsogsordningen/2013/Elbusser/Battery%20degradation%20in%20electric%20buses%20-%20final.pdf>

Dufour et al., 2009. Life cycle assessment of processes for hydrogen production. Environmental feasibility and reduction of greenhouse gases emissions. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.11.053>

- Dufour et al., 2012. Life cycle assessment of alternatives for hydrogen production from renewable and fossil sources. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.09.135>
- Ecometrica, 2011. Technical Paper | Electricity-specific emission factors for grid electricity. Tilgjengelig: <https://ecometrica.com/white-papers/electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity>
- Elgowainy, 2012. Life-Cycle Analysis of Hydrogen On-Board Storage Options (på Engelsk). Tilgjengelig: https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review13/an034_elgowainy_2013_o.pdf
- Elptic, 2017. Are buses with a diesel-powered heater true zero-emission buses? (på Engelsk). Tilgjengelig: <http://www.eliptic-project.eu/news/are-buses-diesel-powered-heater-true-zero-emission-buses>
- Ellingsen, 2016. The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054010>
- Endrava, 2019. Smøla hydrogen value chain - Project for Møre and Romsdal county council (Norway), with support by Interreg North Sea Region (på Engelsk).
- Energimyndigheten 2018. Produktion och användning av biogas och rötresten år 2017. Tilgjengelig: <http://www.svensktvatten.se/globalassets/organisation-och-juridik/vass/biogas/biogasstatistik-2017-ars-data---slutrapport.pdf>
- EnergiNorge, 2016. Opprinnelsesgarantier – forbrukerens mulighet til å påvirke produsentene. Tilgjengelig: <https://www.energinorge.no/politiskesaker/opprinnelsesgarantier--forbrukerens-mulighet-til-a-pavirke-produsentene/>
- Energiteknikk, 2016. Kobler kontorbygg med produksjon av hydrogen. Tilgjengelig: <https://energiteknikk.net/2016/04/kobler-kontorbygg-med-produksjon-av-hydrogen>
- Enova, 2019. Graddagstall. Tilgjengelig: <https://www.enova.no/om-enova/drift/graddagstall/>
- Eriksson et al., 2013. LCAs of petrol and diesel a literature review. Available: https://pub.epsilon.slu.se/10424/17/ahlgren_s_and_eriksson_m_130529.pdf
- EUR-Lex, 2018. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (Text with EEA relevance.) Tilgjengelig: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC
- Fertilizers Europe, 2011. Energy efficiency and greenhouse gas emissions in European nitrogen fertilizer production and use (på Engelsk). Tilgjengelig: http://www.fertilizerseurope.com/fileadmin/user_upload/publications/agriculture_publications/Energy_Efficiency_V9.pdf
- Gaseo, 2016. Mercedes Citaro NGT - another IAA debut (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://gaseo.com/automotive/vehicles/Mercedes-Citaro-NGT-another-IAA-debut,article,9526.html>
- Grunditz, 2016. Performance Analysis of Current BEVs - Based on a Comprehensive Review of Specifications (på Engelsk). <https://doi.org/10.1109/TTE.2016.2571783>
- Hexagon, 2017. Hydrogen storage and transportation systems (på Engelsk). Tilgjengelig: https://www.hexagonlincoln.com/download.aspx?OBJECT_ID=/upload_images/15CB52F4536F410DA18A76112E8781B5.pdf

- IHS Markit, 2018. Chemical Economics Handbook - Hydrogen (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://ihsmarkit.com/products/hydrogen-chemical-economics-handbook.html>
- Itten, 2012. Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid. Tilgjengelig: <http://esu-services.ch/fileadmin/download/publicLCI/itten-2012-electricity-mix.pdf>
- Lozanovski, 2018. Sustainability Assessment of Fuel Cell Buses in Public Transport (på Engelsk). Tilgjengelig: <http://dx.doi.org/10.18419/opus-9892>
- Mehmeti et al., 2018. Life Cycle Assessment and Water Footprint of Hydrogen Production Methods: From Conventional to Emerging Technologies. <https://doi.org/10.3390/environments5020024>
- Miljødirektoratet, 2019. Salget av avansert biodrivstoff økte i fjor. Tilgjengelig: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2019/mai-2019/salget-av-avansert-biodrivstoff-okte-i-fjor/>
- Movia, 2015. Copenhagen trial with 12 m B.Y.D K9 electric buses (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2018/02/3.-Test-of-large-charged-electric-buses-in-Copenhagen-Victor-Hug.pdf>
- NEEDS, 2008. Generation, of the energy carrier hydrogen in context with electricity buffering generation through fuel cells. Tilgjengelig: <http://www.needs-project.org/RS1a/RS1a%20D8.2%20Final%20report%20on%20hydrogen.pdf>
- Neste, 2016. Neste Renewable Diesel Handbook (på Engelsk). Tilgjengelig: https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf
- Neste, 2016. Neste Renewable Diesel Handbook (på Engelsk). Tilgjengelig: https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf
- Norsk Hydrogenforum, 2019. Ruter har kjørt hydrogenbusser siden 2012. Tilgjengelig: <https://www.hydrogen.no/en/vehicles/hydrogenbusser/>
- NREL, 2018. Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2018 (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72208.pdf>
- NVE, 2017. Electricity disclosure 2016 (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energy-market-and-regulation/retail-market/electricity-disclosure-2016/>
- NVE, 2018. Electricity disclosure 2017 (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energy-market-and-regulation/retail-market/electricity-disclosure-2017/>
- NVE, 2019. Nasjonal varedeklarasjon 2018 (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energiforsyning/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2018/?ref=mainmenu>
- Oslo Economics, 2018. Utredning om opprinnelsesgarantier og varedeklarasjon er for strøm. Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/contentassets/0e77f451e93c40e8a4dadef1cda08d86/oslo-economics---utredning-om-opprinnelsesgarantier-og-varedeklarasjoner-for-strom-l974299.pdf>
- Prosjekt Hellesylt Hydrogen Hub, 2017. Sluttrapport. Prosjekt Hellesylt Hydrogen Hub. Tilgjengelig: <https://www.hellesylt.info/2017/10/sluttrapport-fra-hellesylt-hydrogen-hub/>
- Reinertsen, 2018. Screening study – Technical note “Tjeldbergodden Hydrogen”. Tilgjengelig: <https://mrfylke.no/content/download/297271/2475773/version/1/file/Tjeldbergodden+hydrogen.pdf>

Ruter, 2018. Om hydrogenbussprosjektet i Ruters vestregion. Tilgjengelig:

<https://ruter.no/globalassets/kollektivanbud/moter/2018-09-24-dialogkonferanse-nr.2-vestregionanbudet/informasjon-om-jive-2.pdf?id=13316>

SAE International, 2008. Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOX, Particulate Emissions, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine (på Engelsk).

Tilgjengelig:

http://www.etipbioenergy.eu/images/SAE_Study_Hydrotreated_Vegetable_Oil_HVO_as_a_Renewable_Diesel_Fuel.pdf

Simons, 2015. A life-cycle perspective on automotive fuel cells (på Engelsk).

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.049>

SSB, 2019. Statistikk kildetabell 11557: Energiregnskap, overordnet, etter energiregnskapspost, energiproduktregnskap, statistikkvariabel og år.

Sustainable Bus, 2019. Ebus test 2018 #3. Solaris Urbino 18 Electric, when the driver deserves the best (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.sustainable-bus.com/news/ebus-test-3-solaris-urbino-18-electric/>

SWT, 2017. Fuel Sources for Electricity in the Individual Countries of the World and the Consequent Emissions from Driving Electric Vehicles (på Engelsk). Tilgjengelig: <http://umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2017-18.pdf>

Thinkstep, 2018. Life cycle analysis of electric heavy duty vehicles (FCEV/ BEV) LCA (and LCC) work carried out in the JIVE projects and beyond (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.altenergy.info/wp-content/uploads/2018/10/10-Michael-Faltenbacher-thinkstep.pdf>

TNO, 2014. CO₂ emissions from urea consumption in SCR after-treatment systems in heavy-duty vehicles (på Engelsk). Tilgjengelig:

[http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Lucht%20\(Air\)/Verkeer%20en%20Vervoer%20\(Transport\)/Wegverkeer/TNO%20\(2014\)%20CO2%20emission%20from%20urea%20consumption%20in%20SCR%20after-treatment%20systems%20in%20HD%20vehicles.pdf](http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Lucht%20(Air)/Verkeer%20en%20Vervoer%20(Transport)/Wegverkeer/TNO%20(2014)%20CO2%20emission%20from%20urea%20consumption%20in%20SCR%20after-treatment%20systems%20in%20HD%20vehicles.pdf)

Tomorrow, 2017. Data om karbonintensitet av kraftproduksjon i Norge og i Europa. Les mer om den data på: <https://www.electricitymap.org>

TØI, 2016. Fornybare drivstoffer – Fornybar diesel: HVO. Tilgjengelig:

<https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43045>

TØI, 2017. Klima- og miljøvennlig transport frem mot 2025. Tilgjengelig:

<https://www.toi.no/publikasjoner/klima-og-miljoennlig-transport-frem-mot-2025-vurderinger-av-mulige-teknologiske-losninger-for-buss-article34407-8.html>

Valente et al., 2017. Harmonised life-cycle global warming impact of renewable hydrogen.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.163>

Webasto, 2017. Thermomanagement von Webasto (på Tysk). Tilgjengelig: http://www.eliptic-project.eu/sites/default/files/08_20171205_ELIPTIC_Bremen_Thermomanagement%20von%20Webasto-.pdf

B VEDLEGG B - KOSTNADSBILDE

B.1 BAKGRUNN

Vedlegg B presenterer en kostnadsanalyse av ulike bussteknologier i Norge. Hensikten er å sammenligne kostnadene fra ulike bussteknologier. De samme kategorier som i vedlegg A brukes i vedlegg B: konvensjonell dieselbuss, buss på HVO, biogassbusser, elbuss og hydrogenbuss.

Omfanget for modellen likt det for klimagassutslipp i vedlegg A: klasse 1 busser (bybuss), 12 m og 18 m lange, brukt i Norge.

Dokumentet presenterer metodikk, datakilder og antagelser, samt resultatene fra modellen.

B.2 METODIKK

Modellen er basert på eksisterende studier om kjøretøyer og ulike teknologier for drivstoff. Når mulig, Endrava forsøker å sammenligne ulike datakilder for å definere beste faktorer for bruk i modellen. Dette beskrives videre i resten av dokumentet, når relevant.

Beregningene er basert på de samme buss karakteristikk på tvers av busstyper (f.eks. kjørelengde og levetid). Dette gjør det enklere å sammenligne teknologier basert på samme utgangspunkter. Modellen tar hensyn til reelle karakteristikk fra busser tilgjengelig på markedet, men er ikke spesifikt for enkelte bussmodeller eller produsenter.

Rente på investert kapital i analysen er 6 prosent. Nedskrivningstid er lik levetiden av bussene (12 år), med en restverdi på 0,- etter denne tidsperioden.

B.3 BUSS KARAKTERISTIKK

To typer buss er inkludert i modellen: 12 m og 18 m lange, som i vedlegg A.

Tabell 4 - Oppsummering av karakteristikk for de to bussmodellene - Se vedlegg A for ytterligere detaljer

	12 m buss	18 m buss
		
Vekt (<i>curb weight</i>), diesel versjon	12 tonn	16,9 tonn
Kapasitet (<i>seated</i>)	30 personer	50 personer
Kjørelengde	60 000 km/år	60 000 km/år
Levetid	12 år	12 år

B.4 KAPITALKOSTNADER

Investeringskostnadene for bussene oppsummeres i tabellen nedenfor, inndelt etter kjøretøytype og driftsteknologi.

Tabell 5 - Investeringskostnadene for ulike bussteknologier (i NOK)

	Diesel	HVO	Biogass	Elektrisitet	Hydrogen
12 m	2 000 000	2 000 000	2 200 000	4 125 000	6 480 500
18 m	3 000 000	3 000 000	3 300 000	6 187 500	9 970 000

B.4.1 DIESEL- OG HVO BUSSER

For diesel- og HVO-busser, er kostnaden på 2,0 millioner kroner for modellen 12 m buss. Dette er for en konvensjonell buss med Euro VI-dieselmotor. Verdien er basert på data fra Menon (2018), og er nær det gitt av Skyss (2017) (2,1 MNOK for en standardbuss) og VTT (2016) (2,2 MNOK).

For en 18 m buss, er merkostnaden 50 %, og investeringskostnaden er 3,0 million kroner. Den verdien er nær det fra Skyss (2017) (2,9 MNOK for en leddbuss).

B.4.2 BIOGASSBUSSE

For biogassbusser, er kostnaden brukt i modellen 2,2 millioner kroner, for 12 m buss med en Euro VI-gassmotor (Menon, 2018). Verdien er noe lavere enn den som er brukt i Skyss (2017) (2,6 MNOK for en standardbuss). Multiconsult (2014) indikerer en merkostnad på ca. 30 % for en gassbuss sammenlignet med konvensjonell dieselbuss, men rapporten er ikke oppdatert ift. prisutvikling i de siste årene. Verdien fra Menon derfor brukes i modellen.

Med en merkostnad på 50 %, antas en 18 m buss å koste 3,3 millioner kroner, dette er nær verdien brukt i Skyss (2017) (3,4 MNOK for en leddbuss på gass).

B.4.3 ELEKTRISKE BUSSE

Kostnaden for elektriske busser utvikler seg fort, fordi av stadig lavere kostnader for batterier (BNEF, 2018). Verdien brukt i modellen for 12 m bussen er 4,1 millioner kroner, basert på verdiene fra Menon (2018) i 2016 og 2020 for en elbuss med 100-300 kWh batterikapasitet. Batterikapasiteten brukt i modellen er lik den beskrevet i vedlegg A, med 228 kWh for 12 m buss. Investeringskostnaden er lavere enn verdier i VTT (2016) (4,6 eller 4,9 MNOK avhengig av modell), Sporveien (2016) (5 verdier med gjennomsnitt på 4,6 MNOK), og Skyss (2017) (4,8 MNOK for en standardbuss).

En merkostnad på 50 % brukes for 18 m buss, og investeringskostnaden er 6,2 million kroner. Verdien er nær den fra Skyss (2017) (6,0 MNOK for en leddbuss), og lavere enn i Sporveien (2016) (8,0 MNOK).

B.4.4 HYDROGENBUSSE

For hydrogenbusser, brukes en investeringskostnad på 6,48 millioner kroner for 12 m buss, basert på Ballard (2017). Verdien er lavere enn i Menon (2018) (8 MNOK), men nær den gitt av Ruter (2018) for forventninger i JIVE2 prosjektet (ca. 6,2 MNOK).

For 18 m buss, er verdien som brukes fra Ruter (2018), på 9,97 millioner kroner. Dette tilsvarer en merkostnad på 54 % sammenlignet med 12 m buss.

B.5 DRIVSTOFFKOSTNAD

De følgende drivstoffkostnadene brukes i modellen:

- **diesel:** 10 NOK/liter (Menon, 2018). Verdien er lik det i Skyss (2017) og VTT (2016).
- **HVO:** 12 NOK/liter for HVO som oppfyller EU og Miljødirektoratets bærekraftskriterier (Menon, 2018). Verdien er lik det i Skyss (2017). Kostnaden for HVO kan variere avhengig av leverandør og type råstoff, med typisk høyere kostnader for HVO med høyere utslippsreduksjon. Slike variasjoner er ikke inkludert i modellen.
- **biogass:** 9 NOK/Sm³ for komprimert biogass levert fra fyllestasjon i depot (Menon, 2018). Verdien er lavere enn det i Skyss (2017) (11 NOK/Sm³).
- **elektrisitet:** 1 NOK/kWh levert fra ladestasjon (Menon, 2018). Verdien er lik det i VTT (2016) (1 NOK/kWh), og høyere enn det i Skyss (2017) (0,8 NOK/kWh), men inkluderer energitap i ladestasjonen. Modellen inkluderer også bruk av diesel til oppvarming for elbusser.
- **hydrogen:** 50 NOK/kg levert fra fyllestasjon i depot (Menon, 2018). Menon påpeker at NEL opererer med en kunstig pris på hydrogen, for å tilsvare prisen på norsk autodiesel, og at selskapet mener, at de ved økt volum vil kunne fortsette å levere til denne prisen, men at dette vil bli en markedsstyrt pris uten subsidiering. Energikostnadene utgjør det største bidraget til hydrogenproduksjonskostnader (Endrava, 2019), og prisnivået brukt i Menon (2018) kan nås ved medium-stor skala produksjon og lavere pris for elektrisitet.

Infrastrukturkostnader ansees som inkludert i drivstoffkostnadene for biogass og hydrogen. For elektrisitet, en kostnad for ladeinfrastruktur, på 1,7 NOK/km, inkluderes i modellen, basert på Menon (2018).

B.6 VEDLIKEHOLD

B.6.1 DIESEL OG HVO BUSSE

Vedlikeholdskostnader for diesel- og HVO-busser er 1,8 NOK/km (Menon, 2018). Dette er høyere enn i Skyss (2017) (0,45 NOK/km), men lik det i VTT (2016) (ca. 1,8 NOK/km), og lavere enn det i Multiconsult (2014) (ca. 2,2 NOK/km) og Ruter (2018b) (2,1 NOK/km).

B.6.2 BIOGASS BUSSE

Fra et teknisk perspektiv, er det ikke så store forskjeller mellom biogass- og konvensjonelle busser. Verdien for vedlikeholdskostnader for biogassbusser er 1,9 NOK/km (Menon, 2018). Dette er høyere enn i Skyss (2017) (0,50 NOK/km), men lavere enn det i Multiconsult (2014) (2,8 NOK/km, basert på 30 % merkostnad sammenlignet med diesel).

B.6.3 ELEKTRISKE BUSSE

Elektriske busser er fremdeles ganske nye i Norge, og vedlikeholdskostnadene er usikre. Verdien brukt i modellen er 2,0 NOK/km, basert på Menon (2018). Dette er høyere enn i Skyss (2017) (0,35 NOK/km), i VTT (2016) (ca. 0,40 NOK/km) og i Ruter (2018b) (1,6 NOK/km). VTT sier selv at verdien er veldig lav, og spør om dette er realistisk på kort sikt. Menon begrunner antagelsen sin på bruk av ny teknologi. Movia (2015) nevner en rekke tekniske utfordringer relaterte til bruk av elbusser i København: skade på batteri, utfordringer for lading, ødelagt dieseldrifter, lekkasje av kjølemedium, osv. Med økende erfaring med elbusser, og når teknologien utvikles, kan man forvente stadig færre utfordringer.

Utskifting av batteri kommer i tillegg til vanlige vedlikeholdskostnader. Vedlegg A beskriver levetiden for batterier i elektriske busser, og antagelsen i modellen er at batteribytte trengs ved ca. 522 000 km. Batterikostnader utvikler seg fort, og BNEF (2018) indikerer en batterikostnad på ca. 5 364 NOK/kWh_{kapasitet} i 2016. DNV GL (2017) bruker 8 000 NOK/kWh for batterier på skip, men BNEF er spesifikk på buss og har mest oppdaterte tall. Med en kjørelengde på 60 000 km/år, vil utskifting av batteriet skje etter ca. 8 års drift, og batterikostnadene kan forventes å fortsette å reduseres frem til det. Prisprognosen fra BNEF brukes for å beregne batterikostnadene, og en verdi på 1 484 NOK/kWh brukes i modellen for utskifting av batteri.

Summen av vanlig vedlikehold og utskifting av batteri for elbusser er 2,5 NOK/km.

B.6.4 HYDROGENBUSSE

Der er enda mindre erfaring med hydrogenbusser i Norge enn med elbusser. Vedlikeholdskostnadene i modellen er 3,0 NOK/km, basert på Menon (2018). Dette er lavere enn i NREL (2018) basert på erfaring med flere hydrogenbusser (ca. 4,4 NOK/km), i Ballard (2017) (3,5 NOK/km) og i Ruter (2018b) (5,0 NOK/km).

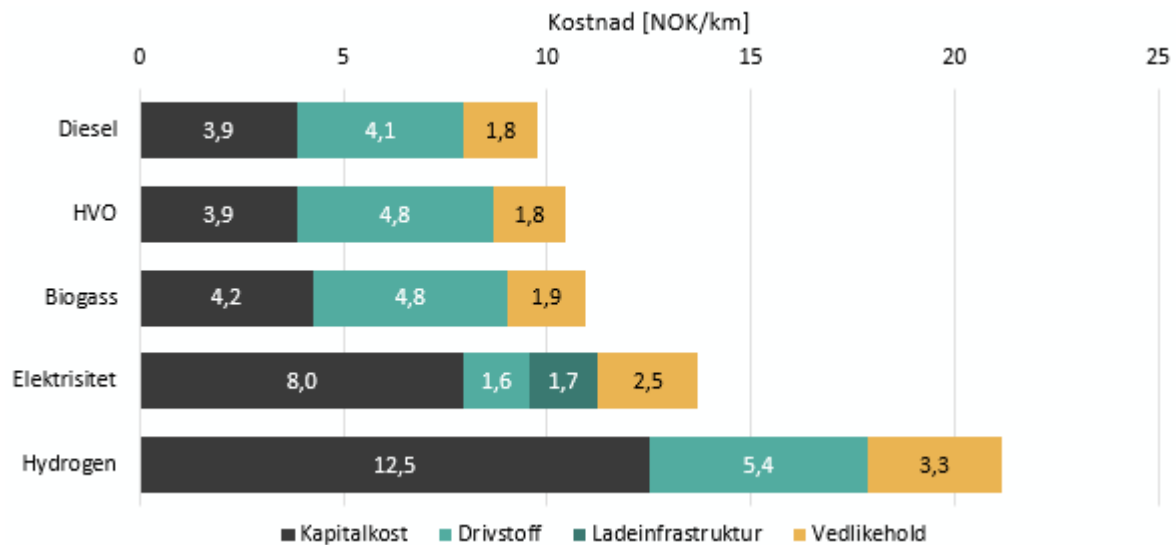
Utskifting av batteri på hydrogenbusser er også relevant etter 522 000 km, og i modellen brukes samme faktor som for elbusser, på 1 484 NOK/kWh. I tillegg, er utskifting av brenselcellen i hydrogenbusser også forventet, som beskrevet i vedlegg A, med én utskifting i bussenes levetiden (antatt ved ca. 396 000 km).

USDOE (2017) indikerer kostnader for brenselcelle på mellom 471 og 2 046 USD/kW_{kapasitet}, med høyere kostnader for lavvolum produksjon. Wang (2018) indikerer at produsenter av brenselceller unngår å gi informasjon om kostnadene for brenselceller, og beregnet selv 525 NOK/kW_{kapasitet} for systemet. DNV GL (2017) bruker 7 115 NOK/kW_{kapasitet} for brenselceller på skip med 5 års levetid, og 3 557 NOK/kW_{kapasitet} for utskifting, uten å nevne kilder for faktorene. Siden USDOE antas å ha best oversikt, brukes gjennomsnittsverdien på 1 265 NOK/kW_{kapasitet} i modellen, for utskifting av brenselcellen etter 6 års drift.

Summen av vanlig vedlikehold og utskifting av batteri og brenselcelle for hydrogenbusser er 3,3 NOK/km.

B.7 TOTAL KOSTNAD FOR ULIKE BUSSTEKNOLOGIER

Hovedresultatet fra modellen presenteres i figuren nedenfor, for 12 m buss.



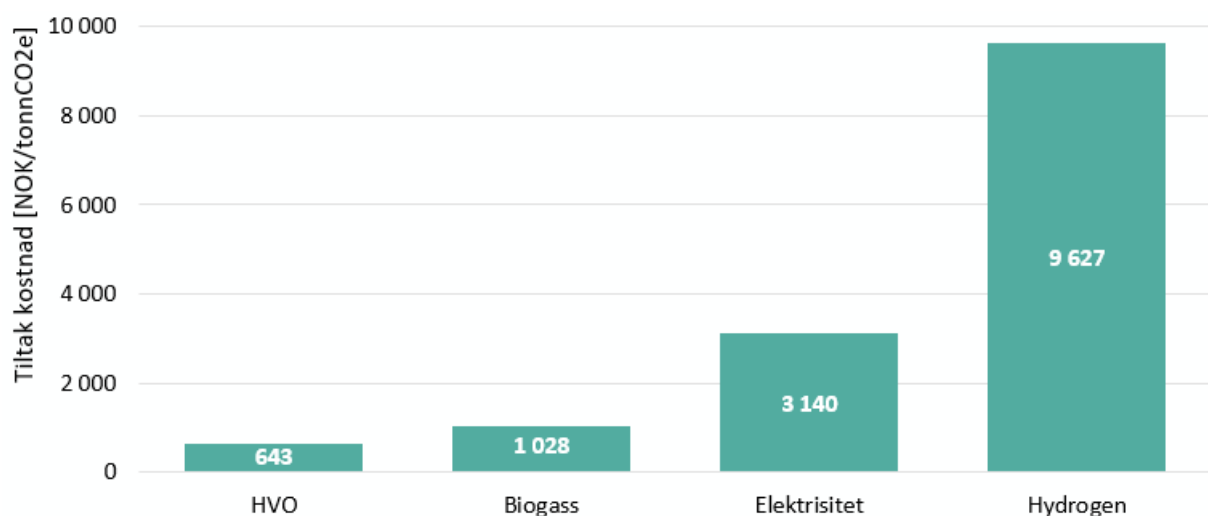
Figur 38 - Kostnad av ulike bussteknologier i Norge. 12 m buss.

Dieselbusser har laveste kostnader, med 9,8 NOK/km. HVO- og biogassbusser har kostnader på 10,5 og 10,9 NOK/km. Elektriske busser har høyere kostnader på grunn av dyrere busser, ladeinfrastruktur og vedlikehold, med totalt på 13,7 NOK/km. Hydrogenbusser har de høyeste kostnadene, med 21,2 NOK/km, på grunn av dyrere busser og vedlikehold.

B.8 TILTAKSKOSTNAD FOR REDUKSJON AV KLIMAGASSUTSLIPP

Siden kostnadsmodellen er basert på de samme antagelser og faktorer som klimagassutslipps-modellen, er det mulig å kombinere de to, for å beregne en tiltakskostnad for reduksjon av klimagassutslipp.

Tiltakskostnaden beregnes ved å dele merkostnaden for hver alternativ teknologi med utslippsbesparelsen. Figuren nedenfor viser resultatene for 12 m busser, basert på gjennomsnittsverdier for HVO- og biogassbusser i Norge, og på elektrisitet brukt i Norge i 2017 for elektriske busser og hydrogenbusser (med elektrolyse).



Figur 39 - Tiltakskostnad for forskjellige buss teknologier i Norge, med dieselbuss som referanse (lavere verdi er bedre). 12 m buss.

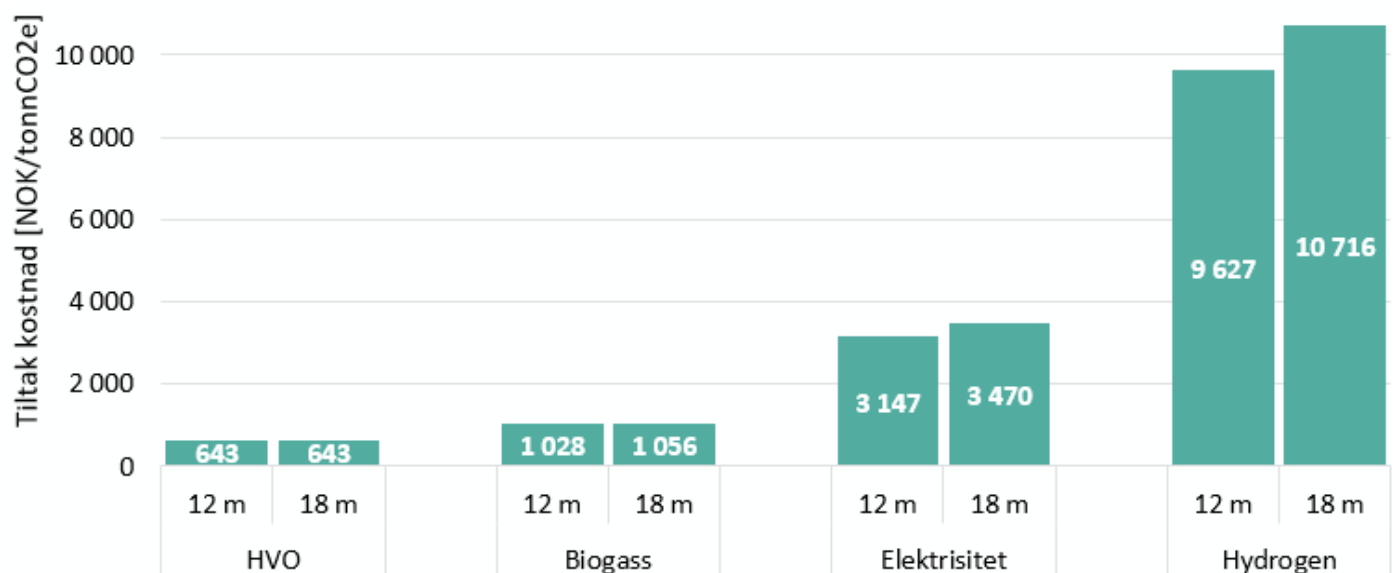
HVO busser har laveste tiltakskostnad, med 643 NOK/tonn_{CO2e}, siden de har lave merkostnad sammenlignet med diesel (+0,7 NOK/km), og selv om de har laveste reduksjon i klimagassutslipp (76 %).

Biogassbusser, har nest laveste tiltakskostnad, med 1 028 NOK/tonn_{CO2e}, på grunn av relativt lav merkostnad (+1,2 NOK/km vs. diesel), og samtidig høyere reduksjon i klimagassutslipp enn HVO (79 %, dvs. 5 prosentpoeng over HVO).

Elektriske busser har relativt høy tiltakskostnad, med 3 147 NOK/tonn_{CO2e}, fordi merkostnaden per kilometer er høy (+ 4,0 NOK/km vs diesel), og selv om elbusser har best reduksjon i klimagassutslipp over hele livssyklusen (87 %).

Til sist, så har hydrogenbusser den høyeste tiltakskostnaden, med 9 627 NOK/tonn_{CO2e}, siden de har høy merkostnad sammenlignet med diesel (+11,4 NOK/km), og er på andreplass når det gjelder reduksjon i klimagassutslipp over hele livssyklusen (82 %).

B.8.1 FORSKJELLER MELLOM 12 M OG 18 M BUSS

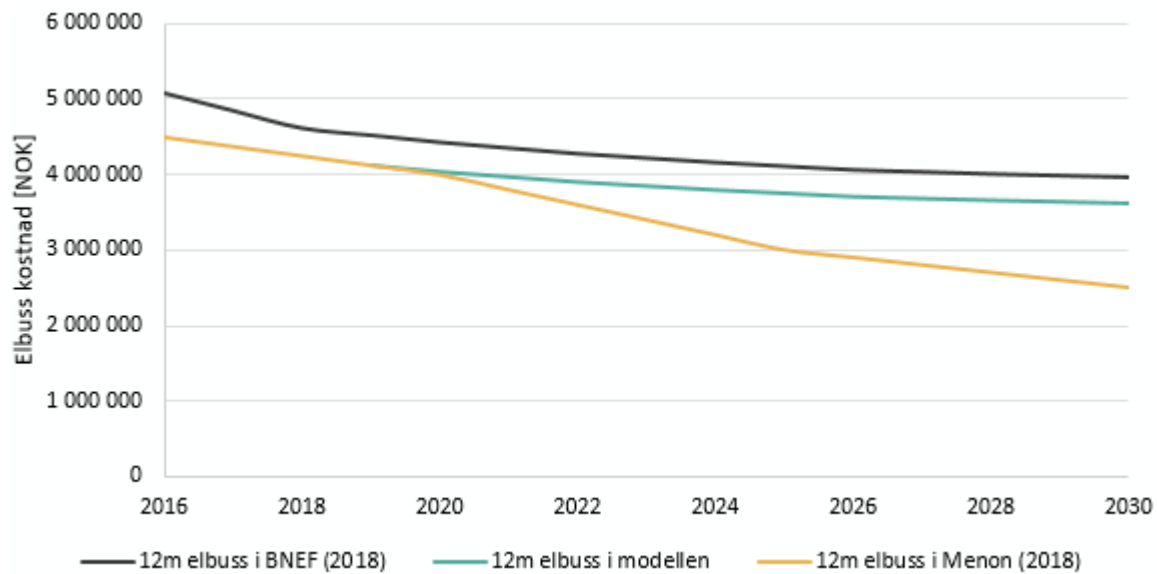


Figur 40 - Tiltakskostnad for alternative teknologier for busser, med klimagassutslipp over hele livssyklus. 12 m og 18 m busser.

Tiltakskostnadene for 12 m og 18 m busser er like for HVO og biogass. For elektriske busser og hydrogenbusser, er tiltakskostnadene høyere for 18 m modellen, på grunn av høyere kapitalkostnader på bussene.

B.8.2 TIDSPERSPEKTIV FOR ELBUSSE

Tidsperspektivet er viktig for kostnaden for ulike teknologier, særlig for elektriske busser. Oppskalering av batteriproduksjonen for elbusser fører til en rask reduksjon i kostnader for bussene. Figuren nedenfor sammenligner data fra BNEF (2018) for europeiske elbusser og antagelsene fra Menon (2018) for 2020, 2025 og 2030. Endrava brukte utviklingen fra BNEF for å beregne kostnaden for 12 m elbuss brukt i modellen (se begrunnelse etter figuren).

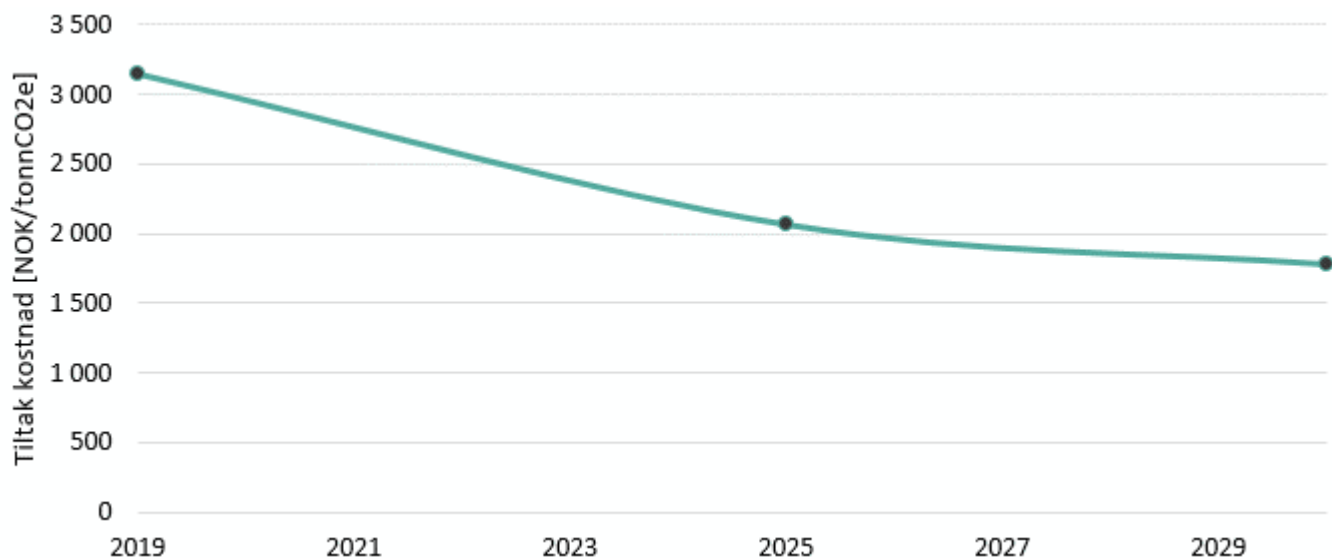


Figur 41 - Prognoser for utvikling i kostnader av elbusser frem mot 2030 (BNEF prognosen er for elbusser i europa)

Menon (2018) begrunner den kraftige reduksjonen i pris for elbusser frem mot 2030, med en antatt reduksjon i kostnader for batterier med 75 %. Med en kostnad for elbuss på 4,5 millioner kroner i 2016, og 2,5 millioner kroner i 2030, betyr det at Menon forventer en batterikostnad på ca. 2,65 millioner kroner i 2016. Med Menons antagelse, utgjør batterier 59 % av kostnaden for elbusser i 2016, mens BNEF (2018) indikerer at batterier utgjør 26 % av kostnadene. Menon sin antagelse vurderes som mindre realistisk enn det gitt av BNEF, og sistnevnte brukes av Endrava som referanse for prisutviklingen av 12 m busser mot 2025 og 2030.

Figuren nedenfor presenterer utviklingen i tiltakskostnader for elbusser i 2025 og 2030, basert på:

- batteri- og elbusskostnader beskrevet ovenfor,
- et redusert energiforbruk på 1 kWh/km i 2025 og 0,9 kWh/km i 2030,
- en stabil pris på elektrisitet på 1 NOK/kWh,
- en reduksjon i vedlikeholdskostnader til 1,8 NOK/km fra 2025,
- en stabil kostnad for ladeinfrastruktur, på 1,7 NOK/km.



Figur 42 - Tiltakskostnad for elbusser i 2019, 2025 og 2030.

Reduksjonen i tiltakskostnadene for elbusser er raskere mot 2025 enn i perioden 2025-2030, lik prognosen for kostnader for elbusser.

I 2030 er tiltakskostnaden for å kjøpe en ny elbuss og holde den i drift i 12 år, 1 788 NOK/tonn_{CO2e}. Beregningen baserer seg på en stabil karbonintensitet for elektrisitet i Norge, og stabile utslipp fra produksjon av batterier og kjøretøyer mot 2030.

Fremtidig prisutvikling av hydrogen busser ikke er inkludert i omfanget for denne studien. Bruk av hydrogenbusser er ikke like moden som elbusser, og der er derfor mindre erfaring og mer usikkerheter om prisutvikling av disse bussene.

B.9 BEGRENSNINGER OG USIKKERHETER

Modellen er basert på eksisterende studier om kjøretøyer, og ulike drivstoff-teknologier. Modellen og resultatene har følgende begrensninger og usikkerheter:

- Det er store variasjoner i vedlikeholdskostnader mellom ulike kilder, og dermed usikkerhet i verdiene brukt i modellen.
- Tiltakskostnadene er beregnet for gjennomsnittlig bruk av drivstoff for hver teknologi, og representerer ikke variasjoner i drivstoffkostnadene og utslippsreduksjon for ulike råstoff, eller leverandør.
- Modellen tar ikke hensyn til mulig redusert sittende/stående passasjerkapasitet. I praksis, kan begrenset kapasitet for enkelte bussteknologier bety at flere busser må settes i drift for å få den samme transportkapasiteten. Dette kan føre til økt klimagassutslipp og kostnader, hvis de beregnes per person-km eller person-kroner.
- Mulig redusert pålitelighet av nye bussteknologier er heller ikke tatt hensyn til. Det kan føre til økte investeringskostnader (pga. flere busser), og økt utslipp fra produksjon og bruk av bussene.
- Kostnader relatert til sjåførene for bussene ikke er inkludert i modellen.
- Restverdien etter 12 år antas som null, for alle bussteknologier.
- Mulige kostnader relaterte til prosjektstyring, opplæring av nye teknologier, osv. ikke er inkludert.
- Vedlikeholdskostnadene er antatt som like for 12 m og 18 m busser (unntatt for utskifting av batteri og brenselceller).
- Infrastrukturkostnader anses som inkludert i drivstoffkostnader for biogass og hydrogen.

B.10 KILDER

Ballard, 2017. Fuel Cell Buses An attractive Value Proposition for Zero-Emission Buses in Scandinavia (på Engelsk). Tilgjengelig:

<https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2007428/Premium%20Content/Attractive%20Value%20Proposition%20Zero%20Emission%20Buses%20Scandinavia/WP-Ballard-Fuel-Cell-Buses-for-Scandinavia.pdf>

BNEF, 2018. Electric Buses in Cities Driving Towards Cleaner Air and Lower CO₂ (på Engelsk).

Tilgjengelig: <https://about.bnef.com/blog/electric-buses-cities-driving-towards-cleaner-air-lower-co2/>

DNV GL, 2017. Muligheter og kostnader ved bruk av fornybar energi på Ruters båtsamband. Tilgjengelig:

<https://ruter.no/globalassets/dokumenter/fossilfri-2020/muligheter-og-kostnader-ved-bruk-av-fornybar-energi-pa-ruters-batsamband-korr.pdf>

Endrava, 2019. Smøla hydrogen value chain - Project for Møre and Romsdal county council (Norway), with support by Interreg North Sea Region (på Engelsk).

Menon, 2018. Klimatiltak innenfor kollektivtransport. Tilgjengelig: <https://www.menon.no/klimatiltak-innenfor-kollektivtransport/>

Multiconsult, 2014. Alternative drivstoffer til bussene i Adger. Tilgjengelig: <https://akt.no/media/548807/akt-alternative-drivstoffer-til-bussene-i-adger-rapport-15122014as.pdf>

NREL, 2018. Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2018 (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72208.pdf>

Ruter, 2018. Om hydrogenbuss prosjektet i Ruters vesteregion. Tilgjengelig: <https://ruter.no/link/7ace380de163471086c66fe77ff86954.aspx?id=13316>

Skyss, 2017. Innfasing av lav- og nullutslippsteknologi Mulighetsstudie for busser i bergensområdet. Tilgjengelig: <https://www.skyss.no/globalassets/strategiar-og-fagstoff/fagrapportar-og-utgreiingar/2017/innfasing-av-lav--og-nullutslippsteknologi.pdf>

Sporveien, 2016. Etablering av løsning for utslippsfri og fossilfri buss i Oslo - Mulighetsstudie av helelektriske busskonsepter.

USDOE, 2017. Hydrogen and Fuel Cells Overview. DLA Worldwide Energy Conference National Harbor, MD (på Engelsk). Tilgjengelig: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/06/f34/fcto-h2-fc-overview-dla-worldwide-energy-conf-2017-satyapal.pdf>

VTT, 2016. Feasibility of fully electric bus systems - case Tromsø (på Engelsk). Tilgjengelig: <http://tromsfylke.no/media/2676/vtt-pihlatie.pdf>

Wang, 2018. Techno-Economic Challenges of Fuel Cell Commercialization (på Engelsk). <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.007>

Kilder for andre tekniske faktorer og for klimagassutslipp presenteres i Vedlegg A.

C VEDLEGG C - BIOGASS OG BÆREKRAFTSMÅLENE

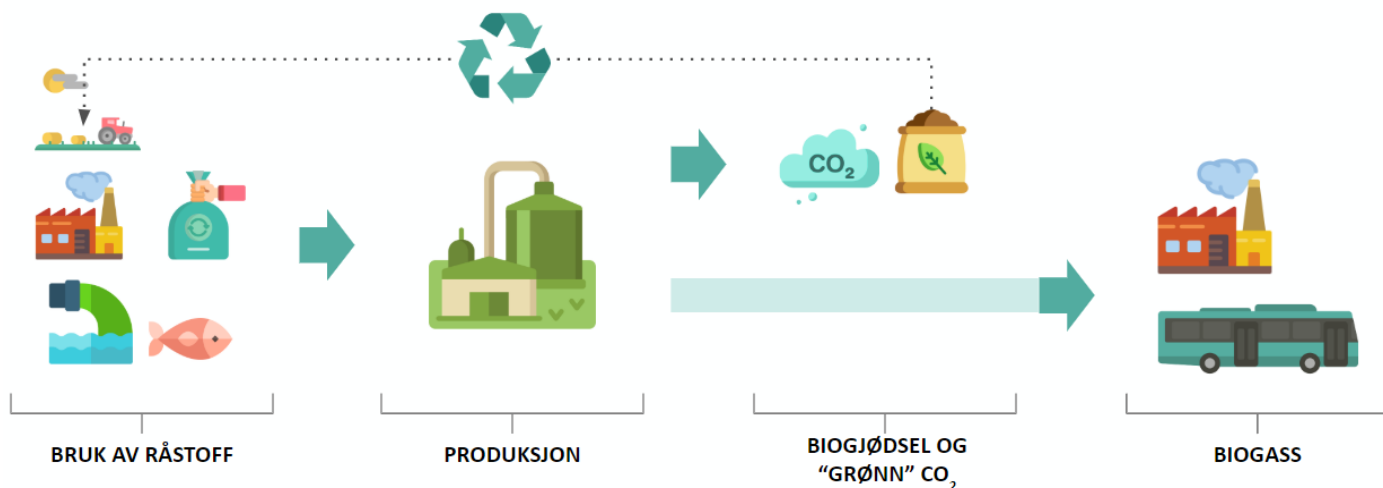
FNs bærekraftsmål består av 17 mål og 169 delmål. Målene skal fungere som en felles global retning for land, næringsliv og sivilsamfunn (FN, 2019). Ifølge FN, ble målene laget på en demokratisk måte gjennom innspill fra land over hele verden, og nesten ti millioner mennesker fikk sagt sin mening gjennom en spørreundersøkelse.

Bærekraftsmålene gjelder for alle land i verden - også de rike. Det betyr at bærekraftsmålene vil ha innvirkning på norsk politikk (FN, 2019).



Figur 43 - FNs 17 bærekraftsmål

Endrava har kartlagt bidraget fra produksjon og bruk av norsk biogass til FN bærekraftsmål, for hver fase av biogass verdikjeden: råstoff, produksjon, biogjødsel og "grønn" CO₂, og bruk av biogass. Neste figuren illustrerer disse fasene.



Figur 44 - Fasene i biogass verdikjeden

Bidraget er videre beskrevet nedenfor, med fokus på norsk kontekst. Referanse til spesifikke delmål gis når det er relevant, og Endrava begrunner analysen med referanse til rapporter og andre kilder.



Utrydde sult, oppnå matsikkerhet og bedre ernæring, og fremme bærekraftig landbruk

Biogassproduksjon bidrar til mer bærekraftig landbruk ved å redusere utslipp til luften fra håndtering av husdyrgjødsel (også mål #13), ved å øke karbonlagring i jord når biogjødsel spres, og ved å produsere erstatningsprodukt for torv (også mål #15). Den gjenværende biomassen etter utråkning, bevarer viktige næringsstoffer som bl.a. nitrogen og fosfor og bidrar til at mikrolivet i jorda bevarer og styrkes (Carbon Limits, 2018) (delmål #2.4).

Sikre god helse og fremme livskvalitet for alle, uansett alder

Når husdyrgjødsel og andre type avfall behandles i et biogassanlegg, lukter den produserte bioest mye mindre, noe som bidrar til bedre luftkvalitet (NMBU, 2017).

I tillegg, bruk av biogass til drivstoff i transportsektoren kan redusere partikkelutslipp (svevestøv, NO_x) og støy lokalt (Biogass Østfold, 2015). Milojević et al. (2016) utførte målinger som viser at gassmotorer støyer mindre enn dieselmotorer. Dette kan variere avhengig av kjøretøyer og modell for motorene. (mål #3)



Sikre bærekraftig vannforvaltning og tilgang til vann og gode sanitærforhold for alle

Biogassproduksjon på vannrenseanlegg gjør det mulig å produsere energi og varme til egen produksjon, eller å oppgradere biogass til biometan for salg til transportsektoren eller industri (f.eks. VEAS, 2019). Dette kan representere en kostnadsbesparelse, eller inntektskilde for vannrenseanlegg, noe som kan bidra til reduserte kostnader for vannrensing (KlimaOslo, 2019).

Biogassproduksjon kan også brukes for rensing av avløp fra industrielle anlegg, f.eks. papirproduksjon eller slakterier (ENOVA, 2015) (delmål #6.3)

Sikre tilgang til pålitelig, bærekraftig og moderne energi til en overkommelig pris



Biogass er fornybar energi, og økt biogassproduksjon bidrar til å øke andelen fornybar energi i verdens samlede energiforbruk (delmål #7.2). På europeiske nivå, Scarlet et al. (2018) vises at biogassproduksjon økte fra 71 PJ i 2005 til 352 PJ i 2015 (dvs. fra 2,7 % til 7,8 % av alt bioenergi).

I tillegg viser forskning, pilotering og produksjon av biogass i Norge, at det hjelper til å forbedre prosesser og virkningsgraden for biogassproduksjon, noe som bidrar til teknologiutvikling både i Norge og i utlandet (delmål #7.a)

I Norge er biogass lokalprodusert energi basert på avfall, og er derfor lite påvirket av internasjonale prisvariasjoner, noe som kan gjøre tilgang til biogass mer pålitelig enn andre form av energi (mål #7).



Fremme varig, inkluderende og bærekraftig økonomisk vekst, full sysselsetting og anstendig arbeid for alle

Fordi biogass produseres fra avfall, og er fornybar, bidrar biogassproduksjon til å oppheve koblingen mellom økonomisk vekst og miljødeleggelser (delmål #8.4). Thema Consulting (2016) estimerte at bidrag fra biogassproduksjon gir en samlet verdiskaping på ca. 2 millioner kroner pr. GWh, og en sysselsetting på 1,7 årsverk pr. GWh (mål #8).

Totalt, Avfall Norge (2017b) estimerer at biogassbransjen kan bidra med 20.000 nye jobber og 25 milliarder kroner i årlig verdiskaping (høy antagelse).

Bygge robust infrastruktur, fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og bidra til innovasjon



Biogass kan brukes på tvers av sektorer: til transport, industri og energi (Carbon Limits, 2018), og kan bidra til å omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med en mer effektiv bruk av ressurser og større anvendelse av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser (delmål #9.4).

Bruk av avfall til biogassproduksjon representerer en mer effektiv bruk av ressurser enn alternative anvendelser, som f.eks. forbrenning av matavfall for energiproduksjon (Hordaland Fylkeskommune, 2017) (delmål #9.4).



Gjøre byer og bosettinger inkluderende, trygge, motstandsdyktige og bærekraftige

Bruk av biogass til drivstoff bidrar til å kutte klimagassutslipp (Avfall Norge, 2017b), og gjør derfor transportsystemer mer bærekraftige (delmål #11.2). I tillegg, kan biogassproduksjonen fra matavfall bidra til å redusere kostnader for avfallshåndtering i byer (IRENA, 2015), og forbedre avfallshåndtering (delmål #11.6).

Sikre bærekraftige forbruks- og produksjonsmønstre

Biogassproduksjon bidrar til bevaring av næringsstoffer (bla. nitrogen og fosfor) for ny matvareproduksjon via bruk av restproduktet som biogjødsel (Carbon Limits, 2018) (delmål #12.2, #12.5). Avfallshåndtering via biogassproduksjon bidrar til å redusere utslipp i luft, vann og jord (delmål #12.4).



Offentlige anskaffelser er viktige for biogass, og bransjen jobber aktivt for å få på plass kriterier for offentlige anskaffelser som tar bedre hensyn til klima- og miljøeffektene av ulike type energikilder (delmål #12.7). Se for eksempel Avfall Norge (2017b) og Carbon Limits (2018) om hvordan offentlige anskaffelser kan rette til legge for økt biogassproduksjon og bruk



Handle umiddelbart for å bekjempe klimaendringene og konsekvensene av dem

Biogassproduksjon og -bruk gjør det mulig å kutte klimagassutslipp, blant annet ved å:

- unngå metanutslipp fra lagring av fersk husdyrgjødsel, når den brukes som råstoff til biogass (Avfall Norge, 2017b, 2019).
- ved å bruke matavfall som råstoff til biogass i stedet for forbrenning eller kompostering (NMBU, 2017).

Innen transportsektoren kan bruk av biogass gi store utslippsreduksjoner når den erstatter diesel, eller noen typer HVO (se vedlegg A).

Rå biogass inneholder også CO₂ som blir separert fra biometan i oppgraderingsprosessen. Denne CO₂ kan deretter utnyttes til f.eks. veksthus (GREVE Biogass, 2018), og bidra til å redusere utslipp fra næringer som vanligvis bruker fossil CO₂.

Bevare og bruke hav og marine ressurser på en måte som fremmer bærekraftig utvikling



Biorest produseres når husdyrgjødsel og annet avfall behandles i biogassanlegg. Bioresten kan deretter brukes som biogjødsel, og den reduserer avrenning til elver og vassdrag, sammenlignet med spredning av husdyrgjødsel (Biogass Østfold 2015, SSB 2012). Dette bidrar til å redusere havforurensning forårsaket av næringsstoffer (delmål #14.1).

Fiskeslam fra klekkeri og andre anlegg på land kan også brukes til biogassproduksjon. I fremtiden blir det kanskje mulig å bruke slam fra oppdrett i sjø (Tekfisk, 2018). Bruk av fiskeslam som råstoff til biogass hjelper også med å redusere utslipp til sjø og havforurensning, forårsaket av næringsstoffer (delmål #14.1).



Beskytte, gjenopprette og fremme bærekraftig bruk av økosystemer, sikre bærekraftig skogforvaltning, bekjempe ørkenspredning, stanse og reversere landforringelse samt stanse tap av arts mangfold

Biogjødsel fra biogassproduksjon kan brukes som substitutt for torvbaserte jordprodukter (CarbonLimits, 2018). Ifølge Regjeringen (2018), gir uttak av torv utslipp av klimagasser, og fører til store skader på naturmangfoldet. Biogjødsel som erstatningsprodukt kan derfor bidra til å bevare våtmarker (delmål #15.1).

Biogassproduksjonen i Norge er basert på avfall, i motsetning til en stor del av biodrivstoffproduksjon som kommer fra energivækster (Miljødirektoratet, 2019). Bruken av biogass i stedet for biodrivstoff fra energivækster, gjør det mulig å unngå risiko for direkte og indirekte arealbruksendringer, og kan bidra å stanse og reversere landforringelse samt stanse tap av arts mangfold (mål #15).

Styrke gjennomføringsmidlene og fornye globale partnerskap for bærekraftig utvikling



Biogassproduksjon er sirkulær økonomi i praksis. Nye forretningsmodeller for råstoff og produkter fra biogass stimulerer nye samarbeid mellom avfallsprodusenter, industri, jordbruk, fiskenæringen, kommuner, biogassprodusenter, biogass- og biogjødselforbrukere (mål #17).

C.1 KILDER

Avfall Norge, 2017a. Biogass - verdifullt, effektivt og klimanøytralt. Tilgjengelig: <https://www.avfallnorge.no/bransjen/nyheter/biogass-verdifullt-effektivt-og-kliman%C3%B8ytralt>

Avfall Norge, 2017b. Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskprodusert biogass - Kunnskapsgrunnlag og anbefalinger til innkjøpere. Tilgjengelig: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/avfall-norge-no/dokumenter/Baerekraft-og-klimanytte-for-norskprodusert-biogass-2017.pdf>

- Biogass Østfold, 2015. Om prosjektet. Tilgjengelig: http://www.biogassostfold.org/?page_id=5
- Carbon Limits, 2018. Tilrettelegging for bruk av biogass i Rogaland. Tilgjengelig: <http://www.rogfk.no/content/download/81091/1802691/file/180525%20-%20Tilrettelegging%20for%20bruk%20av%20biogass.pdf>
- ENOVA, 2015. Norske Skog investerer i biogass-anlegg. Tilgjengelig: <http://presse.enova.no/pressreleases/norske-skog-investerer-i-biogass-anlegg-1192614>
- FN, 2019. FNs bærekraftsmål. Tilgjengelig: <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-baerekraftsmaal>
- GREVE Biogass, 2018. Grønn CO2 fra biogassanlegg til veksthus - Norges første. Tilgjengelig: <http://grevebiogass.no/aktuelt/november-2018/groenn-co2-fra-biogassanlegg-til-veksthus-norges-foerste/>
- Hordaland Fylkeskommune, 2017. Biogass i Hordaland - faktagrunnlag. Tilgjengelig: <https://www.hordaland.no/globalassets/for-hfk/pdf-til-nyheter-2017-og-2018/biogassfakta.pdf>
- IRENA, 2015. The role of biogas in the global energy transition (på Engelsk). Tilgjengelig: http://regatec.org/Resources/Shunichi_Nakada.pdf
- KlimaOslo, 2019. Slik kan Oslos kloakk bli lønnsom. Tilgjengelig: <https://www.klimaoslo.no/2019/01/07/oslos-kloakk-er-verdifullt-avlopsvann/>
- Miljødirektoratet, 2019. Salget av avansert biodrivstoff økte i fjor. Tilgjengelig: <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2019/mai-2019/salget-av-avansert-biodrivstoff-okte-i-fjor/>
- Milojević et al., 2016. CNG propulsion system for reducing noise of existing city buses (på Engelsk). Tilgjengelig: https://www.researchgate.net/publication/310615941_CNG_propulsion_system_for_reducing_noise_of_existing_city_buses
- NMBU, 2017. Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift. Tilgjengelig: <https://www.innovasjon Norge.no/globalassets/finansieringstjenester/bioenergiprogrammet/praktisk-veileder-for-biogassanlegg.pdf>
- Regjeringen, 2018. Vil fase ut bruken av torv. Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/torv/id2616850/>
- Scarlat et al., 2018. Biogas: Developments and perspectives in Europe. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- SSB, 2012. Gjødtsel: ressurs - men miljøproblem. Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/gjodtsel-ressurs-men-miljoproblem>
- Tekfisk, 2018. Fiskeslam kan gi nye eksportmuligheter. Tilgjengelig: <https://fiskeribladet.no/tekfisk/nyheter/?artikkel=61330>
- Thema Consulting, 2016. Verdiskaping fra produksjon av biogass på Østlandet. Tilgjengelig: https://www.thema.no/wp-content/uploads/2017/02/THEMA_R-2016-16_Verdiskaping_fra_biogass_p%C3%A5_%C3%98stlandet_01_nov.pdf
- VEAS, 2019. Om VEAS. Tilgjengelig: <https://www.veas.nu/om-veas>



About Endrava

Endrava is a consulting company based in Oslo, Norway. We support organisations and businesses in embracing sustainability opportunities.

Read more at www.endrava.com

Company name: Endrava AS

Registration date: 07-09-2016

Org nbr.: NO 917 685 908 MVA

Address: Prins Oscars gate 32A, 3011 Drammen, Norway