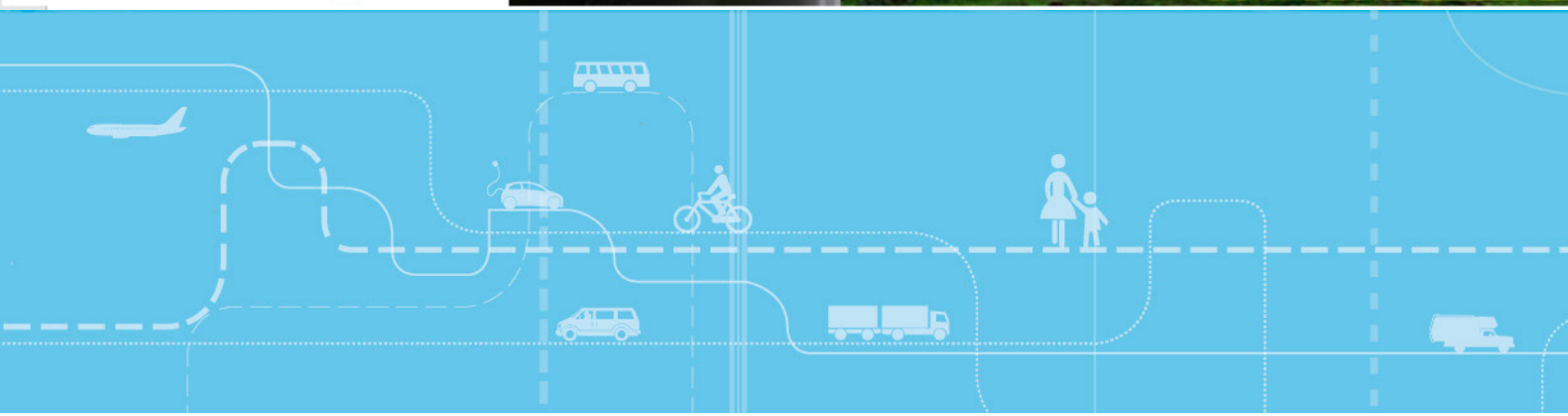


# Klima- og miljøvurdering av teknologi og drivstoff for tunge kjøretøy





# Klima- og miljøvurdering av teknologi og drivstoff for tunge kjøretøy

Rolf Hagman

Forsidebilde: Rolf Hagman

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

**Tittel:** Klima- og miljøvurdering av teknologi og drivstoff for tunge kjøretøy

**Forfatter:** Rolf Hagman

**Dato:** 10.2019

**TØI-rapport:** 1716/2019

**Sider:** 20

**ISSN elektronisk:** 2535-5104

**ISBN elektronisk:** 978-82-480-2258-9

**Finansieringskilde:** Direktoratet for forvaltning og IKT

**Prosjekt:** Difi driv

**Prosjektleder:** Rolf Hagman

**Kvalitetsansvarlig:** Marika Kolbenstvedt

**Fagfelt:** Transportteknologi og miljø

**Emneord:** PM, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>-ekv

#### Sammendrag:

Formålet med rapporten er å sammenstille kunnskap om klima- og lokalmiljøbelastningene ved bruk av tunge kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og forskjellige energibærere. Denne kunnskapen vil være en del av underlaget for Difis drivstoffmatrise.

Klima- og miljøbelastningene fra bruk av tunge kjøretøy blir i rapporten beregnet som summen av skadekostnadene forårsaket av klimapåvirkningen og avgassutslippene av lokalt forurensende avgasser. Klimapåvirkningen blir oppgitt som utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i et livsløpsperspektiv (Well to Wheel). Avgassutslippene av lokalt forurensende avgasser i form av PM (avgasspartikler) og NO<sub>x</sub> måles direkte fra avgassrøret.

De negative klimaeffektene er tilnærmet null fra nullutslippskjøretøy og varierer men er også lave ved bruk av tunge kjøretøy med de fremdriftsteknologiene og de biodrivstoffer som blir brukt i Norge.

Avgassutslipp av PM og NO<sub>x</sub> fra tunge kjøretøy med Euro VI-teknologi er lave med alle typer av drivstoff og mye lavere enn fra tilsvarende avgassutslipp fra eldre kjøretøy.

**Title:** Technology and fuels for environmentally friendly Heavy duty Vehicles

**Author:** Rolf Hagman

**Date:** 10.2019

**TØI Report:** 1716/2019

**Pages:** 20

**ISSN:** 2535-5104

**ISBN Electronic:** 978-82-480-2258-9

**Financed by:** Agency for Public Management and eGovernment (Difi)

**Project:** 4744 – Difi driv

**Project Manager:** Rolf Hagman

**Quality Manager:** Marika Kolbenstvedt

**Research Area:** Transport Technology and Environment

**Keywords:** PM, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>-eqv

#### Summary:

A purpose with this report is to assemble knowledge about climate- and local environmental effects from the use of Heavy Duty Vehicles and different energy carriers. This knowledge will be a part of Difi's work with advisory services.

The impact on climate- and environment harmful effects is calculated as the sum of economic costs from the use of Heavy duty Vehicles with different drivetrains and energy carriers. The impact on global warming is calculated from emissions of CO<sub>2</sub>-eqv and life cycle assessments Well to Wheel. The harmful effects from PM (exhaust Particulate Matter) and NO<sub>x</sub> is measured from tailpipe emissions.

The global warming impacts are down towards zero from Zero emission Vehicles and are of different magnitude but also low from the use of Heavy Duty vehicles with different drivetrains and the biofuels that are used in Norway.

Tailpipe emissions of PM and NO<sub>x</sub> are low from Heavy Duty Vehicles with Euro VI technology with all kinds of fuels and much lower than from older vehicles.

**Language of report:** Norwegian

Transportøkonomisk Institutt  
Gaustadalléen 21, 0349 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

Institute of Transport Economics  
Gaustadalléen 21, N-0349 Oslo, Norway  
Telephone +47 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

# Forord

Klima- og miljøpåvirkning fra transportsektoren har fått stadig større oppmerksomhet de senere årene. Dette har resultert i et stort ønske om endringer i kjøretøyparken og klimavennlige løsninger for fremdrift av tunge kjøretøy. Denne rapporten vurderer klima- og miljøkostnader i form av klimagassutslipp og lokalt forurensende avgasser fra ulike kombinasjoner av fremdriftsteknologier og drivstoffer. Rapporten vil være en del av underlaget for poengsetting i en drivstoffmatrise for tunge kjøretøy, som Direktoratet for forvaltning og ikt (Difi) har utarbeidet i samarbeid med Miljødirektoratet, og med innspill fra Transportøkonomisk institutt (TØI).

Rapporten er skrevet på oppdrag for Difi hvor Sarah Fossen Sinnathamby har vært kontaktperson. Sarah Fossen Sinnathamby, Tonje Nerby og Odd Olaf Schei fra Difi har bidratt med gode innspill underveis i arbeidet med rapporten. Mats Nordum og Thea Johnsen fra Miljødirektoratet har bidratt med oversikt og detaljer om alle fornybare drivstoffer som ble tatt i bruk i Norge i 2018. De har vider bidratt med forklaringer av hvordan Miljødirektoratets reduksjon av klimapåvirkning i forhold til fossile alternativer skal tolkes.

Rapporten er skrevet av forsker Rolf Hagman, forsker Marika Kolbenstvedt kvalitetssikret rapporten.

Oslo, oktober 2019

Transportøkonomisk institutt

*Gunnar Lindberg*  
Direktør

*Jardar Andersen*  
Avdelingsleder



# Innhold

## Sammendrag

<b>1</b>	<b>Begrepsavklaring.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Innledning.....</b>	<b>3</b>
2.1	Bakgrunn.....	3
2.2	Formål.....	3
2.3	Avgrensning.....	3
2.4	Rapportstruktur.....	4
2.5	Difis drivstoffmatrise.....	4
<b>3</b>	<b>Metodetilnærming.....</b>	<b>5</b>
3.1	Teori og kilder.....	5
3.2	Valg og bruk av informasjon.....	8
<b>4</b>	<b>Resultater og diskusjon.....</b>	<b>13</b>
4.1	Beregning av klima- og miljøbelastninger.....	13
4.2	Klimapåvirkningens betydning.....	14
4.3	De helseskadelige miljøbelastningers betydning.....	15
4.4	Oppsummering.....	16
<b>5</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>17</b>
	<b>Vedlegg 1: Metode for beregning av klimapåvirkning.....</b>	<b>18</b>
	<b>Vedlegg 2: Database – avgassutslipp.....</b>	<b>20</b>





## Sammendrag

# Klima- og miljøvurdering av teknologi og drivstoff for tunge kjøretøy

TØI rapport 1716/2019  
Forfatter: Rolf Hagman  
Oslo 2019 20 sider

*Formålet med denne rapporten er å sammenstille kunnskap om klimapåvirkning og avgassutslipp fra tunge kjøretøy som bruker forskjellige fremdriftsteknologier og forskjellige energibærere. Denne kunnskapen er tenkt å danne deler av underlaget for Difi for rangering av de forskjellige teknologiene og drivstoffene i en drivstoffmatrise.*

Klima- og miljøbelastningene fra tunge kjøretøy er forskjellige med ulike kombinasjoner av fremdriftsteknologier og energibærere. For å vurdere klima- og miljøbelastningene fra bruk av kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og energibærere bruker vi i denne rapporten vurderinger av utslipp i et livsløpsperspektiv (Well to Wheel). Klima- og miljøbelastningene samt de årlige kostnadene for disse belastningene blir beregnet for tunge kjøretøy med dieselmotor, gassmotor samt med elektrisk fremdrift. De aktuelle energibærerne er fossil dieselolje, naturgass, biogass, biodrivstoffer, elektrisk energi i batterier og med hydrogen som energibærer.

Kostnadene for klima- og miljøbelastningene blir beregnet som summen av skadekostnadene for klimapåvirkningen og skadekostnadene for avgassutslipp av lokalt helseskadelige avgasser. Klimapåvirkningen (utslippene av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i et livsløpsperspektiv) blir oppgitt i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Klimapåvirkningen fra bruk av biodrivstoff er basert på tall for biodrivstoff brukt i Norge i 2018, som rapporteres til Miljødirektoratet. Disse oppgis som en prosentverdi av en referanseverdi for fossilt drivstoff målt i CO<sub>2</sub>-ekv/MJ.

Utslippene av lokalt forurensende avgasser blir oppgitt i form av gram avgasspartikler (PM) og gram nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>).

Skadekostnadene for klimapåvirkningen beregnes fra vekten av CO<sub>2</sub>-ekv multiplisert med skadekostnaden per tonn CO<sub>2</sub>-ekv i henhold til Statens Vegvesens, SVVs retningslinjer. Skadekostnadene for de lokalt helseskadelige avgassutslippene beregnes fra vekten av utslippene multiplisert med skadekostnaden per kg i henhold til SVVs retningslinjer.

En sammenstilling av informasjon og resultatene av utførte beregninger vises i tabell S1. Vi ser blant annet at:

- Elektriske fremdriftsteknologier og bruk av klimavennlige drivstoff (energibærere) har store positive klimaeffekter i forhold til å bruke fossile drivstoffer i forbrenningsmotorer.
- Ved bruk av avanserte fornybare drivstoffer i tunge kjøretøy og med Vegdirektoratets anbefalte pris på 380 NOK/tonn for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter blir kostnadene for utslipp av klimagasser på 3 000-5 000 NOK per år.
- Klimakostnadene ved bruk av konvensjonelle fornybare drivstoffer blir i størrelsen 7 000-13 000 NOK per år. Med fossile dieseldrivstoffer blir klimakostnadene under de samme forutsetningene i størrelsen 40 000 NOK per år.
- Med nullutslippsteknologiene (elektrisk fremdrift og hydrogen) blir klimakostnadene i størrelsen 500 NOK og 2000 NOK per år.

- Avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> blir radikalt redusert fra alle nye tunge kjøretøy som oppfyller de strenge Euro VI-kravene uansett hvilke drivstoffer de bruker. Skadekostnadene for lokalt helseskadelige avgassutslipp for kjøretøy med forbrenningsmotorer og Euro VI teknologi blir på maksimalt 10 000 NOK/år. Skadekostnader blir derimot så store som opp mot 150 000 NOK/år for eldre tunge kjøretøy med Euro V-teknologi.
- Avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> er så lave fra alle tunge kjøretøy med forbrenningsmotorer og fungerende Euro VI-renseteknologi at det er lite meningsfullt å gjøre forskjell mellom forskjellige fremdriftssystemer og drivstoffer når det gjelder lokalt helseskadelige avgassutslipp.

Tabell S1 : Avgassutslipp, klimapåvirkning (utslipp av klimagasser i et livsløpsperspektiv, Well to Wheel) samt beregnede klima- og miljøkostnader for bruk av tunge kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og drivstoffer med Statens Vegvesens anbefalte kostnader for klimagassutslipp og de høyeste kostnadene for lokalt helseskadelige avgasser i norske storbyer.

Estimert klima- og miljøpåvirkning fra tunge kjøretøy i bytrafikk (Braunschweig)													
Fremdriftsteknologi		Energi-bærer	Avgassutslipp			Klima-påvirkn.	Avgassutslipp per år fra et kjøretøy				Klima-påvirkning/		Skade-kostnader klima- og miljø per år (NOK)
			NOx	PM	CO2		70 000 km		km		år		
			g/km	g/km	g/km	CO2 ekv g/km	NOx kg	kostnad	PM kg	kostnad	CO2-ekv tonn	kostna	
Fossilt drivstoff	Euro VI Dieselmotor	Fossil autodiesel	0,15	0,014	1118	1274	10,5	2520	0,98	4518	89	33888	40926
	Euro VI Gasmotor	Naturgass	0,09	0,025	1068	1200	6,3	1512	1,8	8068	84	31920	41500
	Euro VI Gasmotor	60 % Naturgass	0,09	0,025	1068	782	6,3	1512	1,8	8068	55	20812	30391
Konven-sjonelle biodrivstoff	Euro VI ED95 Dieselmotor	ED 95 Bioetanol	0,15	0,014	1321	561	10,5	2520	0,98	4518	39	14911	21949
	Euro VI Dieselmotor	B100 (FAME)	0,15	0,014	1150	535	10,5	2520	0,98	4518	37	14233	21271
	Euro VI Dieselmotor	HVO100	0,15	0,014	1030	357	10,5	2520	0,98	4518	25	9489	16527
Avanserte biodrivstoff	Euro VI ED95 Dieselmotor	ED95 Bioetanol	0,15	0,014	1321	178	10,5	2520	0,98	4518	12	4744	11782
	Euro VI Dieselmotor	B100 (FAME)	0,15	0,014	1150	127	10,5	2520	0,98	4518	9	3389	10427
	Euro VI Dieselmotor	HVO100	0,15	0,014	1030	217	10,5	2520	1,0	4518	15	5761	12799
	Euro VI Gasmotor	100 % Biogass	0,09	0,025	1068	156	6,3	1512	1,8	8068	11	4150	13729
Nullutslippsteknologi	Elektrisk	Batterier med norsk el energi	0	0	0	13	0	0	0	0	1	339	339
	El/Hydrogen	Hydrogen fra norsk el energi	0	0	0	64	0	0	0	0	4	1694	1694
Eldre teknologi	Euro V /EEV Dieselmotor	Fossil autodiesel	7	0,068	1166	1329	490	117600	4,76	21944	93	35343	174887

Skadekostnadene for klima- og miljøbelastningene vil bli lavere hvis vi bruker Statens Vegvesens lavere kostnader for avgassutslipp av PM (avgasspartikler) og NO<sub>x</sub>. Disse lavere kostnadene er aktuelle i lite befolkede tettsteder og mindre norske byer. Sannsynlige fremtidige høye skadekostnader for utslipp av klimagasser vil kunne påvirke de samlede klima- og miljøkostnadene for bruk av forskjellige fremdriftssystemene og energibærerene i tunge kjøretøy i klimavennlig retning.

# 1 Begrepsavklaring

## Klima- og miljøvurderinger

**Klimapåvirkning** blir i rapporten brukt for å beskrive i hvor stor grad jordens klima blir påvirket av (netto) utslipp av klimagasser i form av utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

**(Netto) Utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter** er synonymt med klimapåvirkning.

**Klimapåvirkning for kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og forskjellig energibærere** blir i denne rapporten oppgitt i et «Well to Wheel» perspektiv og tallfestet i form av gram CO<sub>2</sub> ekv/km.

**Klimapåvirkningen fra bruk av et tungt kjøretøy** kan vi ved å multiplisere utslippene av CO<sub>2</sub>-ekv. (Well to Wheel (oppgitt i g/km)) med kjørelengden/år oppgis i form av tonn CO<sub>2</sub> /år. Klimapåvirkningen i form av tonn CO<sub>2</sub> ekv/år kan deretter multipliseres med en skadekostnad/tonn og gir da en kostnad for klimapåvirkningen per år.

**Avgassutslipp** er den mengde av forskjellige avgasskomponenter som kan måles ved kjøring av et kjøretøy (definert kjøresyklus) og måles i gram/km.

**Miljøbelastning** blir i rapporten brukt for beskrive den skadevirkning som skapes av avgassutslipp av de lokalt helseskadelige avgasskomponentene PM (avgasspartikler) og NO<sub>x</sub> (Nitrogenoksider). Dette er en sterkt avgrenset del av all miljøpåvirkning fra tunge kjøretøy.

**Miljøbelastningen fra bruk av et tungt kjøretøy** kan vi ved å multiplisere avgassutslippene (oppgitt i g/km) med kjørelengden/år oppgi i form av kg PM og kg NO<sub>x</sub>/år. Miljøbelastningen i form av kg PM/år og NO<sub>x</sub>/år kan deretter multipliseres med en skadekostnad/kg og gir en kostnadene for miljøbelastningene per år.

**Klima- og miljøvurderingene** av kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og forskjellige energibærere blir i rapporten tallfestet ved å summere de beregnede skadekostnadene for klima- og miljøbelastningene.

**Skadekostnader** er i rapporten kostnader som påføres av utslipp av CO<sub>2</sub> og av lokalt helseskadelige avgassutslipp. Skadekostnadene er av Statens Vegvesen oppgitt som en kroneverdi per tonn CO<sub>2</sub> og per kg avgassutslipp av PM respektive NO<sub>x</sub>.

**Fremdriftsteknologier** er teknologier for fremdrift av tunge kjøretøy. I denne rapporten er fremdriftsteknologiene forbrenningsmotorer eller elektriske motorer med tilhørende fremdriftssystemer. Energibærerne for forbrenningsmotorer er fossile drivstoffer eller biodrivstoffer. For elektriske motorer er energibærerne batterier eller hydrogen (som omformes til elektrisk strøm i brenselceller).

**Nullutslippsteknologi** i transport omfatter bruk av elektrisitet og hydrogen som energikilde i batterier eller brenselceller, som ved bruk ikke har utslipp av avgasser fra et eksosrør. (Stortingsmelding 2016-2017).

**Biodrivstoffer** er drivstoffer (energibærere) som er produsert fra biologisk (eller fornybart) materiale. I et livsløpsperspektiv vil biodrivstoffer i begrenset grad bidra til global klimapåvirkning. Begrepet fornybare drivstoff omfatter mer enn biodrivstoffer, men, begrepene «biodrivstoffer» og «fornybare drivstoff» brukes i denne rapporten til dels om hverandre.

### Livsløpsutslipp fra fossil diesel og biodrivstoffer

Referanseverdien for livsløpsutslipp av CO<sub>2</sub> fra fossilt drivstoff er oppgitt av Miljødirektoratet, hentet fra EUs fornybardirektiv og oppgitt til 83,8 g CO<sub>2</sub>-ekv/MJ.

Livsløpsutslippene for forskjellige biodrivstoff er oppgitt av Miljødirektoratet og hentet fra innrapportert biodrivstoff som ble brukt til å oppfylle omsetningskravet i 2018. Her oppgis det i hvor stor grad (prosent) drivstoffenes utslipp blir redusert i forhold til den fossile referansen (83,8 g CO<sub>2</sub>-ekv/MJ).

### Kategorier av biodrivstoffer

Biodrivstoff kan deles inn i konvensjonelle og avanserte biodrivstoffer, som er basert på hvilket råstoff biodrivstoffet er laget av. Denne definisjonen brukes i EUs fornybardirektiv og norsk regelverk. Avanserte biodrivstoffer har generelt sett lavere utslipp av CO<sub>2</sub>-ekv enn konvensjonelle biodrivstoffer i et livsløpsperspektiv. Vi bruker i denne rapporten følgende begrepsapparat i overensstemmelse med Difis drivstoffmatrise.

- Avansert og konvensjonelt biodrivstoff defineres ut i fra råstoffet som brukes til å produsere biodrivstoffet. Konvensjonelt biodrivstoff produseres av mat- og fôrvekster, mens avanserte biodrivstoff i hovedsak er produsert av råstoff som er avfall og rester.
- **ED95** er **bio-etanol** tilsatt en tenningsforbedrer som gjør at dette drivstoffet egner seg for bruk i lett modifiserte dieselmotorer (fra Scania).
- **B100** er her **FAME produkter** (Fatty Metyl Ester) og **RME** (Raps Metyl Ester). Dette er fornybare drivstoffer (i 100 % konsentrasjon) som består av estrifiserte fornybare oljer (innblanding av en alkohol) og som kan brukes som drivstoff i dieselmotorer.
- **HVO100** er her hydrogenert fornybare olje og i tillegg andre fornybare syntetiske dieseldrivstoffer med samme kjemiske struktur som fossil diesel (i 100% konsentrasjon). Disse drivstoffene kan brukes direkte i dieselmotorer uten behov for modifiseringer eller justeringer av vedlikehold.
- **Biogass** er her høykonsentrert biometan fra biomasse.

## 2 Innledning

### 2.1 Bakgrunn

Høsten 2018 utviklet Direktoratet for forvaltning og ikt (Difi) og Miljødirektoratet en drivstoffmatrise som vurderer ulike kombinasjoner av fremdriftsteknologi og drivstoff for tunge kjøretøy, se Fig 1. Matrisen er ment som et evalueringsverktøy for offentlige oppdragsgivere som ønsker å anvende tildelingskriterium for å evaluere drivstoff i sine transportanskaffelser. Matrisen ble utviklet med innspill fra Rolf Hagman, Transportøkonomisk institutt.

Norge har klare ambisjoner om å redusere utslipp fra transportsektoren. I tråd med Nasjonal transportplan 2018-2029 skal alle nye bybusser være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass i 2025 og 75 prosent av nye langdistansebusser og 50 prosent av nye lastebiler skal være nullutslippskjøretøy innen 2030. Med Nullutslippsteknologi viser vi, i tråd med Nasjonal transportplan, til bruk av elektrisitet og hydrogen som energikilde i batterier eller brenselceller, som ved bruk ikke har utslipp av klimagasser" (Meld.St.33, 2016-2017).

### 2.2 Formål

Formålet med denne rapporten er å sammenstille kunnskap om klimapåvirkning og avgassutslipp fra tunge kjøretøy ved bruk av forskjellige fremdriftsteknologier og energibærere. Denne kunnskapen er tenkt å danne deler av underlaget for Difi ved rangering av de forskjellige teknologiene og drivstoffene i en drivstoffmatrise.

### 2.3 Avgrensning

Klima- og miljøbelastningene blir i denne rapporten oppgitt som summen av skadekostnadene for de globale klimapåvirkningene (CO<sub>2</sub>-ekvivalenter) og de lokalt helseskadelige avgassutslippene. Utslippene av klimagasser blir oppgitt i et livsløpsperspektiv (Well to Wheel) med spesifiserte fremdriftsteknologier, forskjellige energibærere og ved kjøring av en spesifisert kjøresyklus (Braunschweig bybusskjøresyklus). Utslippene av lokalt helseskadelig avgasser blir oppgitt som de målte avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> ved kjøring av Braunschweig bybusskjøresyklus.

Støy samt klima- og miljøbelastningene fra produksjon av kjøretøy er eksempler på belastninger og skadekostnader som ikke tatt med i denne rapporten og i vår vurdering av forskjellige fremdriftsteknologier og forskjellige energibærere.

Alle kjøretøy bidrar uansett fremdriftsteknologi med oppvirvling av svevestøv. Oppvirvling av svevestøv kan være en utfordring for luftkvaliteten, men er ikke tatt med i beregningene i denne rapporten.

## 2.4 Rapportstruktur

Kapittel 1 er en begrepsavklaring og 2 beskriver bakgrunn og formål med rapporten.

Kapittel 3 beskriver de forskjellige fremdriftsteknologiene og de forskjellige energibærerne som i Difis drivstoffmatrise i Norge er aktuelle for tunge kjøretøy. Kapittel 3 beskriver også metodetilnærming, den informasjon og de kilder vi bruker for beregningene i kapittel 4.

Kapittel 4 viser resultater og diskuterer beregnede klima- og miljøbelastningene av å bruke tunge kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og ulike energibærere.

Vedlegg 1 beskriver den metode vi i denne rapporten har brukt for beregning av tunge kjøretøys klimapåvirkning ved bruk av dieselolje og biodrivstoffer. Vedlegg 2 er en utslippsdatabase.

## 2.5 Difis drivstoffmatrise

Konvensjonelle drivstoff			
Dieselmotor Euro VI	Konvensjonell diesel	Tunge kjøretøy som er førstegangsregistrert i Norge etter 31. desember 2013 må tilfredsstille Euro VI-standarden. All diesel som selges i Norge følger den europeiske standarden EN590 og inneholder normalt 93% fossil diesel og 7% biodiesel. Denne kombinasjonen av motorteknologi og drivstoff regnes ikke som et ambisiøst klima- og miljøtiltak, og gis derfor ikke poeng.	
Gassmotor Euro VI	Naturgass	Tunge kjøretøy som er førstegangsregistrert i Norge etter 31. desember 2013 må tilfredsstille Euro VI-standarden. Denne kombinasjonen av motorteknologi og drivstoff regnes ikke som et ambisiøst klima- og miljøtiltak, og gis derfor ikke poeng.	
Gassmotor Euro VI	Naturgass - biogass	I denne kategorien kan leverandøren tilby gass som har innblandet maks. 60 % naturgass og min. 40 % biogass fra avfall eller biprodukter [med rapportering hver 12. måned]. Det kan være krevende for en leverandør å kontraktfeste at man skal kunne levere 100 % ren biogass i en hel kontraktperiode, og denne kategorien kan brukes som et alternativ.	
Konvensjonelle biodrivstoff			
Konvensjonelle biodrivstoff (1. generasjon) fremstilles av råstoff som også kan brukes til å produsere mat eller dyrefôr (landbruksvekster).			
Dieselmotor Euro VI tilpasset ED 95	ED 95 Bioetanol (Konvensjonelt)	ED95 brukes i etanolmotorer for tynge kjøretøy. Det består av 95% etanol og et tilsetningsstoff som gjør at drivstoffet kan brukes i motorer med kompresjonstenning (dieselmotorer).	
Dieselmotor Euro VI	B100 (Konvensjonelt)	Biodiesel B100 kan anvendes ned mot 0 °C. Drivstoffet er mao. best egnet til bruk i sommerhalvåret. Dersom oppdragsgiver ønsker å premiere tilbud på dette drivstoffet, bør det vektas opp mot perioden av året det kan anvendes.	
Dieselmotor Euro VI	HVO 100 (Konvensjonelt)	Hydrogenert vegetabilsk olje framstilt av planteoljer.	
Avanserte biodrivstoff			
Avanserte biodrivstoff (2. generasjon) framstilles av rester og avfall, fra næringsmiddelindustri, landbruk eller skogbruk. Slike avanserte biodrivstoff har lavere risiko for indirekte arealbruksendringer (ILUC).			
Dieselmotor Euro VI tilpasset ED 95	ED 95 Bioetanol (Avansert)	ED95 brukes i etanolmotorer for tynge kjøretøy. Det består av 95% etanol og et tilsetningsstoff som gjør at drivstoffet kan brukes i motorer med kompresjonstenning (dieselmotorer).	
Dieselmotor Euro VI	B100 (Avansert)	Biodiesel B100 kan anvendes ned mot 0 °C. Drivstoffet er mao. best egnet til bruk i sommerhalvåret. Dersom oppdragsgiver ønsker å premiere tilbud på dette drivstoffet, bør det vektas opp mot perioden av året det kan anvendes.	
Dieselmotor Euro VI	HVO 100 (Avansert)	Hydrogenert vegetabilsk olje framstilt av for eksempel tallolje fra treforedling eller frityrolje fra matproduksjon.	
Gassmotor Euro VI	Biogass (Avansert)	100 % biogass fra avfall eller biprodukter.	
Nullutslippsteknologi			
Elektrisk fremdrift	Hydrogen	Hydrogen fra norsk elektrisk energi som energibærer og brenselceller som energiomformere	
	Elektrisitet	Norsk elektrisk energi lagret i batterier som energibærer	

Figur 1: Drivstoffmatrisen for tunge kjøretøy er et dokument som blir utarbeidet av Difi i samarbeid med Miljødirektoratet og med innspill fra Rolf Hagman, Transportøkonomisk institutt.

## 3 Metodetilnærming

### 3.1 Teori og kilder

Vi ønsker å vurdere klima- og miljøbelastningene ved bruk av tunge kjøretøy. Klima- og miljøbelastningene blir vurdert i form av skadekostnader. Kostnadene blir beregnet som summen av skadekostnadene for klimapåvirkningen og skadekostnadene for avgassutslipp av lokalt helseskadelige avgasser.

Klimapåvirkningen blir oppgitt i form av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Klimapåvirkningen fra bruk av biodrivstoff blir beregnet med utgangspunkt i Miljødirektoratets verdier for prosentvis reduksjon sammenlignet med en fossil referanseverdi (målt i CO<sub>2</sub> ekv/MJ) (Miljødirektoratet 2019). Skadekostnadene for klimapåvirkningen beregnes fra vekten av CO<sub>2</sub>-ekv utslipp multiplisert med skadekostnaden per tonn CO<sub>2</sub> i samsvar med Statens vegvesens, SVVs retningslinjer (Statens Vegvesen 2016).

Avgassutslippene av lokalt forurensende avgasser blir oppgitt i form av gram avgasspartikler (PM) og gram nitrogenoksider (NO<sub>x</sub>). De lokalt helseskadelige avgassene måles direkte fra avgassrøret. Skadekostnadene for de lokalt helseskadelige avgassutslippene beregnes fra vekten av avgassutslippene multiplisert med skadekostnaden per kg i henhold til Statens vegvesens, SVVs retningslinjer.

Vi beregner klima- og miljøbelastningene fra bruk av tunge kjøretøy ved å se på klimapåvirkningen (Well to Wheel) samt målte avgassutslipp av PM og NO<sub>x</sub> ved bruk av følgende kilder:

- Tall for avgassutslipp i virkelig trafikk og relevante kjøreforhold som hovedsakelig blir hentet fra tester i VTIs (Technical Research Centre of Finland) avgasslaboratorium i Finland frem til og med 2016.
- Livsløpsutslipp fra fornybare drivstoffer og energibærere overlevert av Miljødirektoratet i form av en datafil med oversikt over brukte fornybare drivstoffer i Norge i 2018.
- For biogass er det per i dag begrenset tilgjengelig data om klimagassreduksjoner fra ulike norske anlegg, og det blir her brukt data fra Carbon Limits' rapport *Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskprodusert biogass* (Carbon Limits 2017).
- Skadekostnader for lokalt forurensende avgassutslipp og utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter blir hentet fra Statens Vegvesen, Vegdirektoratets Håndbok V172 Konsekvensanalyser.

Vi tar utgangspunkt i at kjøretøyene kjører 70 000 kilometer, som anses å være en typisk kjørelengde per år for busser (Hagman et al 2016) og en del andre tungtransportkjøretøy. Videre regnes klima- og miljøbelastningene om til kroner, ved å benytte skadekostnader knyttet til forskjellige utslipp. Klima- og miljøkostnadene vil danne deler av underlaget for Difis rangering av de ulike kombinasjonene av fremdriftsteknologier og drivstoff i en oppdatert versjon av drivstoffmatrisen.

### 3.1.1 Fremdriftsteknologier

**En elektrisk motor** gir en meget energieffektiv fremdriftsteknologi for tunge kjøretøy. Grunnen er at mindre enn 10 prosent av den tilførte elektriske energien forsvinner i form av varmetap i selve motoren. Energien til elektrisk fremdrift kan enten lagres i batterier eller i form av hydrogen. Elektrisk fremdrift med fornybar elektrisk energi som stort sett har norsk vannkraft som energikilde kaller vi nullutslippsteknologi. Et prioritert mål i Norge er innfasing av nullutslippsteknologi i transportsektoren (NTP 2018 – 2029).

**Dieselmotoren** er den helt dominerende og tradisjonelle fremdriftsteknologien for tunge kjøretøy. Ved bruk av dieselmotorer i tunge kjøretøy forsvinner største delen (65-80 %) av den tilførte energien (drivstoffet) i form av varmetap. For hvert kg drivstoff som blir brukt i en dieselmotor blir det ca. 2,6 kg avgassutslipp av klimagassen CO<sub>2</sub>. Lokalt forurensende avgasser i form av PM og NO<sub>x</sub> var for tunge kjøretøy frem til og med 2008 og Euro IV-avgasskravene et stort problem. Fra 2008 til 2013/2014 og avgasskravene Euro V var PM-avgassutslipp et mindre, men NO<sub>x</sub> fortsatt et stort problem. Fra og med 2013/2014 og avgasskravene Euro VI for nye tunge kjøretøy er avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> i virkelig trafikk nede på en brøkdel av det de var tidligere (se vedlegg 2).

**Gassmotoren** er en motortype som i tunge kjøretøy er noe mindre energieffektiv enn tilsvarende dieselmotor. Gassmotoren blir først interessant med lave priser på naturgass eller biogass. Med økende fokus på klimapåvirkning har gassmotoren fått økt interesse med biogass som drivstoff. Etter at det i 2014 kun fantes dieselmotorer som oppfylte Euro VI avgasskrav finnes det nå flere produsenter som tilbyr tunge kjøretøy med gassmotorer. Euro VI Gassmotorene til tunge kjøretøy har i tillegg til at de har lave avgassutslipp av PM og NO<sub>x</sub> i virkelig trafikk fått avgassutslipp av CO<sub>2</sub> på samme nivå eller noe lavere enn dieselmotorene (vedlegg 2).

### 3.1.2 Lokalt forurensende avgassutslipp

Lokal luftforurensning fra vegtrafikk, svevestøv (PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub>) og nitrogendioksid (NO<sub>2</sub>) kan være et problem for folkehelse flere steder i landet. Flere byer i Norge har utfordringer med å overholde forurensningsforskriftens grenseverdier og/eller nasjonale mål. For høye konsentrasjoner av svevestøv og nitrogendioksid kan være helseskadelig for alle mennesker, men barn, eldre og folk med luftveisproblemer eller hjertekarlidelser er spesielt sårbare. Dårlig luftkvalitet kan forverre sykdommer som astma, KOLS og hjerte- og karlidelser. Det er også funnet sammenhenger mellom langvarig eksponering for høye nivåer av luftforurensning og utvikling av sykdommer som f.eks. lungekreft. I tillegg til effekter på luftveier og hjerte-karsystemet er det funnet effekter på blant annet nervesystemet, fosterutvikling og stoffskifteforstyrrelser. Eksponering for NO<sub>2</sub> og avgasspartikler PM kan føre til irritasjon, akutte og kroniske betennelsesreaksjoner og forverring av allergiske tilstander i luftveiene.

Betennelsesreaksjonene kan også ha betydning for utvikling av lungekreft og økt dødelighet. I tillegg kan forurensningen gi plager og nedsatt trivsel på grunn av støv og lukt. De totale helsekostnadene for lokal forurensning i EU er estimert til ca. 766 milliarder Euro årlig (Transport & Environment).

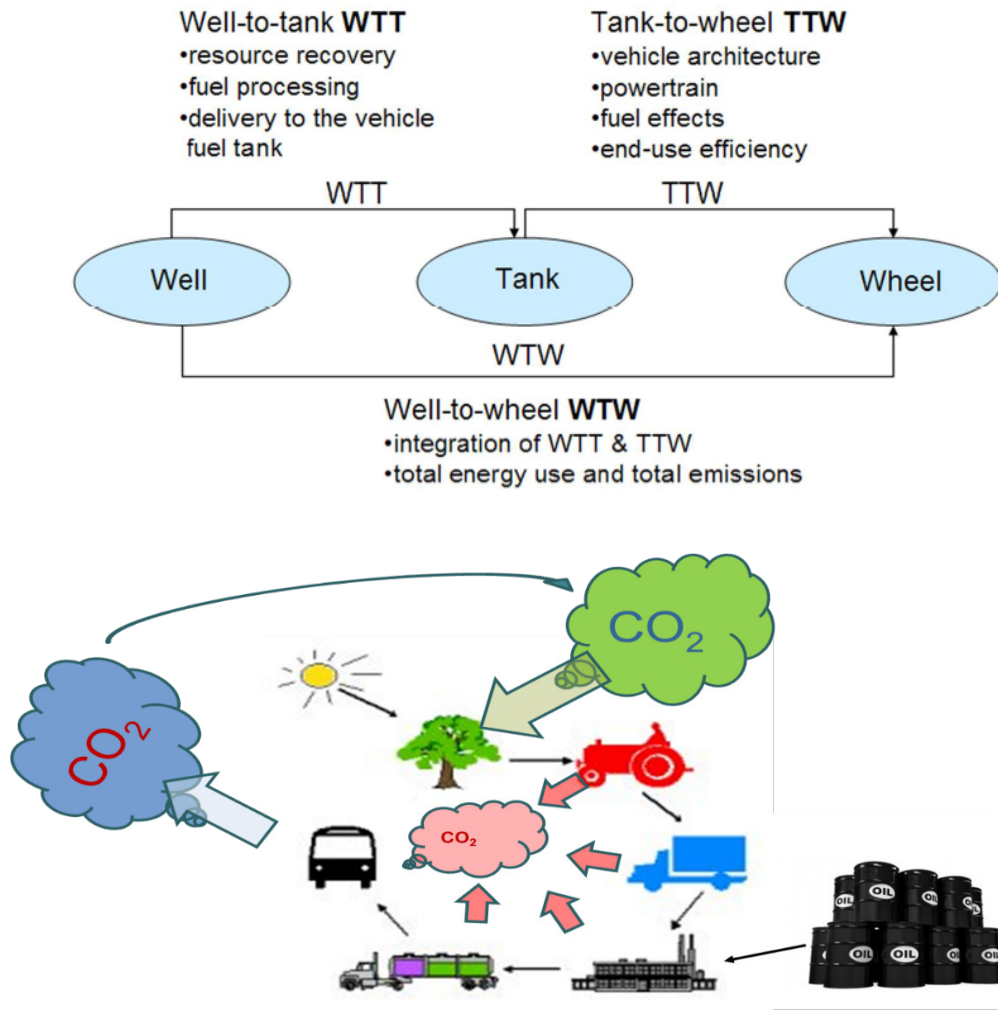
### 3.1.3 Klimapåvirkning

Det er et mål å bruke drivstoffer som i et livsløpsperspektiv i liten grad bidrar til global oppvarming. Fornybare drivstoffer er et alternativ til diesel og bensin fra fossil mineralolje og til naturgass fra fossile kilder. Et populært navn på slike drivstoffer er biodrivstoffer. Det som kjennetegner klimavurderingene av biodrivstoffer er at den biomassen som



forbrennes i form av drivstoff tilsvarer en biomasse med opptak av like mye karbondioksid som det som blir sluppet ut ved forbrenning i motoren. Nettoeffekten er derfor null.

Å bruke definisjonen "Fornybare drivstoffer som oppfyller EUs og Miljødirektoratets til enhver tid gjeldende bærekraftskriterier" gjør det mulig å spesifisere hva vi krever når det gjelder klimapåvirkning fra et biodrivstoff. Klimapåvirkningen fra biodrivstoffer kan vurderes i et livsløpsperspektiv (Well to Wheel). I utgangspunktet er avgassutslippene av CO<sub>2</sub> fra et kjøretøy som bruker biodrivstoff (drivstoff basert på 100 % biomasse) like store som opptakene. Dette er i figur 2 illustrert med at blå sky for avgassutslipp er like stor som grønn sky for opptak av CO<sub>2</sub>.



Figur 2: Illustrasjoner av «Well to Wheel» klimapåvirkning fra biodrivstoffer og fossile drivstoffer. Blå sky er CO<sub>2</sub>-avgassutslipp ved forbrenning av biodrivstoff. Grønn sky er opptak av CO<sub>2</sub>. Rød sky er utslipp av CO<sub>2</sub> fra transporter, prosessering i industrianlegg, raffinerier med mere. Kilder: Nylund, N.-O., og Koponen, K. 2012 samt Hagman 2016.

Hvis vi bruker fossil olje som kilde for produksjon av drivstoff har vi ikke lengre et krets-løp, men kun avgassutslipp som tilfører atmosfæren ny CO<sub>2</sub> og ikke noe opptak av CO<sub>2</sub>. Uansett om vi har biomasse eller fossil olje som kilde for drivstoffet vil dog transport og prosessering i industrianlegg og raffinerier av oljene kunne bidra med utslipp av CO<sub>2</sub> som gir en negativ klimapåvirkning (rød sky i figur 2).

Klimapåvirkningene for bruk av biodrivstoffer i et livsløpsperspektiv skiller seg fra hvordan utslippene fra det samme drivstoffet bokføres i norsk klimaregnskap. Norsk klimaregnskap angir i samsvar med Kyoto og Paris-avtalene null utslipp (CO<sub>2</sub>-ekv) fra bruk av biodrivstoffer. Utslipp fra innsatsfaktorer som høsting, prosessering og transport føres opp på de landene og i de sektorene hvor disse prosesser har foregått, og ikke som en global klimapåvirkning forårsaket av norsk virksomhet.

Fra kjøretøy er det meste av klimagassutslippene karbondioksid (CO<sub>2</sub>), men det slippes også ut mindre mengder lystgass (N<sub>2</sub>O) og metan (CH<sub>4</sub>). Beregninger av utslipp av CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O og CH<sub>4</sub> benyttes til beregning av kostnader ved global luftforurensning. N<sub>2</sub>O- og CH<sub>4</sub>-utslippene omregnes til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

## 3.2 Valg og bruk av informasjon

Skadekostnadene for klima- og miljøbelastningene fra bruk av tunge kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og forskjellige drivstoffer (energibærere) blir sett i relasjon til de bedriftsøkonomiske kostnadene for bruk av disse tunge kjøretøyene.

### 3.2.1 Fremdriftsteknologier og avgassutslipp

Busser og tunge kjøretøy med Euro VI forbrenningsmotorer har avgassutslipp av NO<sub>x</sub>, PM, CO<sub>2</sub> og mindre mengder andre avgasskomponenter. Euro VI-dieselmotorer og Euro VI-gassmotorer har helt forskjellige forbrennings- og renseteknologier slik at avgassutslipp fra disse to motortypene kan være helt forskjellige.

Busser og tunge kjøretøy med elektrisk fremdrift og energibærere i form av batterier eller hydrogen har ikke avgassutslipp med unntak av at bruk av hydrogen gir utslipp av vann-damp.

### 3.2.2 Avgassutslipp i virkelig trafikk

Tall for avgassutslipp (NO<sub>x</sub>, PM og CO<sub>2</sub>) er i hovedsak hentet fra VTTs database for avgassutslipp fra bybusser. Databasen viser avgassutslipp fra kjøring av busser med Braunschweig bykjøresyklus i VTTs avgasslaboratorium (se vedlegg 2).

Braunschweig kjøresyklus er en internasjonalt anerkjent kjøresyklus for avgasstesting av busser. Denne kjøresyklusen etterligner krevende kjøreforhold i virkelig trafikk med mange nedbremsinger, stopp og krevende akselerasjoner. Disse forutsetningene vil også typisk gjelde for innsamling av avfall og varedistribusjon i tettbygde strøk. I langtransport og varedistribusjon over lengre avstander med tunge kjøretøy er avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> som regel lavere enn ved testing med Braunschweig kjøresyklus. Ved langtransport med høy og jevn motorbelastning er det enklere å få avgassrensesystemene til å fungere effektivt og derved oppnå lavere utslipp av PM og NO<sub>x</sub> enn ved krevende bykjøring.

Vi har ikke så omfattende data for avgassutslipp og bruk av forskjellige fremdriftsteknologier og drivstoffer for langtransport som for bybusser i bytrafikk. Ved å bruke utslippsfaktorer fra bybusser også for langtransport får vi litt for høye, men fortsatt lave, verdier for avgassutslippene og for de beregnede skadekostnadene Vi vil dog fortsatt få relevante sammenligninger mellom de forskjellige fremdriftsteknologiene og energibærerne.

Avgassutslippene av CO<sub>2</sub> er relatert til forbruk av et drivstoff som i sin tur er relatert til vekt. Avgassutslippene av CO<sub>2</sub> fra en buss ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus tilsvarer et forbruk av 4,2 l autodiesel per 10 km. Uansett om tunge kjøretøy bruker mer

eller mindre av et drivstoff vil den relative forskjellen i CO<sub>2</sub>-avgassutslipp mellom de forskjellige fremdriftsteknologiene i kombinasjon med de forskjellige drivstoffene være relevante for sammenligninger av den klimapåvirkning de gir.

Avgassutslipp for CO<sub>2</sub> med drivstoffene ED95, B100 og HVO100, se figur 1, er ikke tilgjengelige for busser med Euro VI-motorer ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus. Data om avgassutslipp av CO<sub>2</sub> med disse drivstoffene er dog tilgjengelige for busser med Euro V motorer, se VTT technology publ. 46 (Nylund og Koponen 2012). I denne publikasjonen finnes også tall for avgassutslipp av CO<sub>2</sub> fra busser med Euro V motorer og vanlig EN590 (fossil) dieselolje. Da energieffektiviteten er den samme forutsetter vi at forholdet mellom avgassutslipp av CO<sub>2</sub> mellom forskjellige dieseldrivstoffer er de samme enten bussene bruker Euro V-motorer eller Euro VI-motorer. Vi har med den forutsetningen estimert avgassutslipp av CO<sub>2</sub> med drivstoffene ED95, B100 og HVO100 for busser med Euro VI dieselmotorer ved kjøring med Braunschweig kjøresyklus.

Avgassutslipp av NO<sub>x</sub> og avgasspartikler (PM) med drivstoffene ED95, B100 og HVO100 er heller ikke tilgjengelige for busser med Euro VI-dieselmotorer. Med bakgrunn i at avgassutslippene av NO<sub>x</sub> og avgasspartikler (PM) fra busser og andre tunge kjøretøy helt bestemmes av renseteknologi og ikke av drivstoffene antar vi at avgassutslippene av NO<sub>x</sub> og avgasspartikler (PM) med drivstoffene ED95, B100 og HVO100 er like store for alle busser med Euro VI dieselmotorer.

Tabell 1: Utslippsfaktorer (avgassutslipp) basert på Braunschweig kjøresyklus, tunge kjøretøy (busser) som oppfyller Euro VI krav og på siste linje kjøretøy med eldre teknologi (Euro V).

Målte og estimert avgassutslipp fra tunge kjøretøy (buss) i bytrafikk (Braunschweig)					
Fremdriftsteknologi		Energibærer	Avgassutslipp		
			NO <sub>x</sub> g/km	PM g/km	CO <sub>2</sub> g/km
Fossilt drivstoff	Euro VI Dieselmotor	Fossil autodiesel	0,15	0,014	1118
	Euro VI Gassmotor	Naturgass	0,09	0,025	1068
	Euro VI Gassmotor	60 % Naturgass 40% Biogass	0,09	0,025	1068
Konvensjonelle biodrivstoff	Euro VI ED95 Dieselmotor	ED 95 Bioetanol	0,15	0,014	1321
	Euro VI Dieselmotor	B100 (FAME)	0,15	0,014	1150
	Euro VI Dieselmotor	HVO100	0,15	0,014	1030
Avanserte biodrivstoff	Euro VI ED95 Dieselmotor	ED95 Bioetanol	0,15	0,014	1321
	Euro VI Dieselmotor	B100 (FAME)	0,15	0,014	1150
	Euro VI Dieselmotor	HVO100	0,15	0,014	1030
	Euro VI Gassmotor	100 % Biogass	0,09	0,025	1068
Nullutslippsteknologi	Elektrisk	Batterier med norsk el energi	0	0	0
	El/Hydrogen	Hydrogen fra norsk el energi	0	0	0
Eldre teknologi	Euro V /EEV Dieselmotor	Fossil autodiesel	7	0,068	1166

Tabell 1 viser de målte og beregnede avgassutslippene som vi har brukt ved beregning av miljøbelastningene fra tunge kjøretøy. Siste raden i tabell 1 viser hvor store avgassutslippene av NO<sub>x</sub> og i noen grad PM var før Euro VI teknologi ble den påbudte standard for nye tunge kjøretøy fra 2013/2014.

De meget lave verdiene og den store forskjellen mellom PM og NO<sub>x</sub>-avgassutslipp fra kjøretøy med Euro VI-motorer og alle typer drivstoff i forhold til kjøretøy med eldre motorer viser at type drivstoff har meget liten betydning med ny fremdriftsteknologi. Ved langtransport blir avgassutslippene med ny fremdriftsteknologi enda lavere og lokalt helseskadelig luftforurensing vil ikke være et problem.

I sterk kulde vil avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> fra tunge kjøretøy med Euro VI avgassrenseteknologi kunne være noe høyere enn de er ved normale temperaturer (Hagman, R 2016). Årsaken er at de avanserte rensesystemene trenger høye temperaturer for å arbeide optimalt og at det i kulde vil ta noe tid for å oppnå denne temperaturen.

### 3.2.3 Drivstoffenes globale klimapåvirkning

Vi beregner klimapåvirkning for biodrivstoffer med utgangspunkt i et Excel-regneark fra Miljødirektoratet. Regnearket inneholder en oversikt over de biodrivstoffer som ble levert til det norske markedet i 2018. Miljødirektoratet oppgir hvor stor klimareduksjonen er i forhold til bruk av en fossil referanseverdi. Disse tallene er beregnet med metodikk fra EUs fornybardirektiv og oppgis i gram CO<sub>2</sub>-ekv./MJ. Alt biodrivstoff som er rapportert her må oppfylle EUs bærekraftkriterier, hvor det blant annet stilles krav om minst 50 % reduksjon av klimagassutslipp sammenlignet med den fossile referansen. Vår metode for beregning av klimapåvirkningen i gram CO<sub>2</sub>-ekv./km (Well to Wheel) ved bruk av tunge kjøretøy med forbrenningsmotorer og forskjellige energibærere blir utførlig beskrevet i vedlegg 1.

Både for flytende fornybare drivstoffer og for biogass er det en stor variasjon i hvor stor klimapåvirkningen er. Dette avhenger av blant annet råstoffet som benyttes, hvor biodrivstoffet produseres og produksjonsmetode.

For de forskjellige typene av fornybare flytende biodrivstoffer bruker vi gjennomsnittlige klimareduksjoner for alle leveranser til Norge i 2018. De gjennomsnittlige klimareduksjonene er av Miljødirektoratet vektet i forhold til størrelsen på leveransene og fremgår av tabell 2.

Tabell 2: Redusert klimapåvirkning (utslipp av CO<sub>2</sub> i de forskjellige biodrivstoffenes livsløp CO<sub>2</sub> ekv/MJ i forhold til fossilt alternativ (Miljødirektoratet 2019).

Energibærere - reduksjon av CO <sub>2</sub> -ekv i forhold til fossilt alternativ		
Energibærer	Utslipsreduksjon	
Fossil diesel	0%	1,00
Naturgass	0%	1,00
Biogass	87%	0,87
Etanol ED95 (konvensjonell)	56%	0,56
Etanol ED95 (avansert)	86%	0,86
B100 (konvensjonelt FAME)	58%	0,58
B100 (avansert FAME)	90%	0,90
HVO 100 (konvensjonelt)	72%	0,72
HVO 100 (avansert)	83%	0,83
El batteri	99%	0,99
El som hydrogen	95%	0,95

For biogass bruker vi en reduksjon på 87 prosent i forhold til fossilt drivstoff (Carbon limits 2017). Klimapåvirkningene for biogass er et gjennomsnitt av oppgitte klimareduksjoner for fem utvalgte biogassanlegg i Norge i forhold til bruk av fossilt drivstoff (Miljødirektoratet 2019 og Carbon limits 2017).

### 3.2.4 Klimapåvirkning fra elektrisk energiforbruk

For tunge kjøretøy med elektrisk fremdrift kan energien være lagret enten i batterier eller i form av hydrogen.

Oppgitt energiforbruk er sterkt varierende og for busser ofte ikke oppgitt for den sammenlignbare Braunschweig kjøresyklus. Vi bruker her med utgangspunkt i VITs Fuel and Technology Alternatives for Buses; Overall Energy Efficiency and Emission Performance (Nylund og Koponene 2012) og diverse tall fra andre nyere kilder 1,0 kWh/km for elbusser og 0,1 kg H<sub>2</sub> for elektriske busser med hydrogen.

Den globale klimapåvirkningen av å bruke elektrisk strøm i transportsektoren i Norge kan beregnes på flere måter. Beregning i forhold til kvotepliktig sektor i EU, Nordisk strømmiks, EU strømmiks er noen alternativer. I denne rapporten bruker vi en klimapåvirkning på 10 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh elektrisk energi. Denne utslippsintensiteten er satt lik den norske strømmiksen og i samsvar med beregningsverktøyet BioGrace-II calculation tool. For hydrogen bruker vi 580 g CO<sub>2</sub>-ekv/kg H<sub>2</sub> etter beregninger utført av Endrava AS på oppdrag fra Møre og Romsdal fylkeskommune (Vandenbussche 2019).

Med de oppgitte verdiene for energiforbruk og klimapåvirkning fra norsk elektrisk strøm får vi en utslippsreduksjon på 99 prosent for elektriske fremdrift med energien i batterier og 95 prosent med energien lagret i norskprodusert (elektrolyse) hydrogen.

### 3.2.5 Skadekostnader for CO<sub>2</sub>-ekv, PM og NO<sub>x</sub>

Skadekostnader for lokalt forurensende avgassutslipp og for utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter henter vi fra Statens Vegvesen, Vegdirektoratets Håndbok V172 Konsekvensanalyser (Statens Vegvesen 2016). Skadekostnadene er ment å tilsvare de skadene som utslippene påfører samfunnet og fremgår av tabellene 3, 4 og 5.

Tabell 3: Anbefalte enbetsverdier for skadekostnader for (NO<sub>x</sub> i NOK/kg utslipp, 2016 kr).

Skadekostnad, kr per kg NO <sub>x</sub> -utslipp		
Storby (Oslo, Bergen, Trondheim)	Andre større byer	Alle andre områder
240	120	60

Tabell 4: Anbefalte enbetsverdier for skadekostnader av svevestøv forurensning PM (NOK/kg utslipp, 2016-kr).

Skadekostnad, kr per kg PM <sub>10</sub> -utslipp			
Oslo og Trondheim	Bergen	Alle større byer	Tettsteder med mer enn 15 000 innbyggere
4610	3430	1940	520

Tabell 5: Skadekostnader per tonn utslipp CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i ulike utslippsår\*. (2016-kr). Kilde: Vegdirektoratet 2016.

Kr/tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalent	Årstall
250	2015
380	2020
945	2030

\* N<sub>2</sub>O og CH<sub>4</sub> regnes om til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

### **3.2.6 Driftskostnader**

Driftskostnadene for en buss med Euro VI-motor er inklusive kapitalkostnader, kostnader for fossil diesel og vedlikehold ca. 10 NOK/km og ca. 700 000 NOK/år (Hagman et al 2016). Personalkostnader er ikke medregnet i de bedriftsøkonomiske driftskostnadene.

Bruk av mer klima- og miljøvennlige fremdriftssystemer og drivstoffer har som regel en merkostnad (Hagman et al 2016). Et argument for å betale denne merkostnaden er at de samfunnsøkonomiske kostnadene for klima- og miljøskadene kompenserer for de bedriftsøkonomiske merkostnadene.

Andre tunge kjøretøy vil ha andre driftskostnader enn busser. Vi vurderer at klima- og miljøkostnadene i forhold de totale bedriftsøkonomiske kostnadene kan være tilnærmet de samme for tunge kjøretøy som for busser, og at forholdene mellom disse kostnadene vil være relevante ved valg av fremdriftsteknologi og drivstoff.

## 4 Resultater og diskusjon

### 4.1 Beregning av klima- og miljøbelastninger

Formålet med denne rapporten er å vurdere klima- og miljøbelastningene fra forskjellige kombinasjoner av fremdriftsteknologier og energibærere og å beregne de tilhørende skadestnadene.

Klima- og miljøbelastningene fra tunge kjøretøy er forskjellige fra ulike kombinasjonene av fremdriftsteknologier og energibærere. For å vurdere klima- og miljøbelastningene fra bruk av kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og energibærere bruker vi i denne rapporten utslipp i et livsløpsperspektiv (Well to Wheel). Klima- og miljøbelastningene samt de årlige kostnadene for disse belastningene blir beregnet for tunge kjøretøy med dieselmotor, gassmotor samt med elektrisk fremdrift. De aktuelle energibærerne er fossil diesel, naturgass, biogass, biodrivstoffer, elektrisk energi i batterier og med hydrogen som energibærer.

Avgassutslippene av PM (avgasspartikler) og NO<sub>x</sub> har blitt radikalt redusert fra tunge kjøretøy med Euro VI-motorer i forhold hva de var fra tunge kjøretøy med Euro V-motorer. Som det fremgår av tabell 1 er avgassutslippene for tunge kjøretøy ca. 5 ganger større for avgasspartikler (PM) og ca. 50 ganger større for NO<sub>x</sub> med Euro V-motorer enn med Euro VI-motorer. Dette får avgjørende betydning for skadestnadene.

#### 4.1.1 Sammenstilling og resultat av beregning

Vi har i vår beregning av klima- og miljøbelastningene brukt den anbefalte kostnaden (380 NOK/tonn) for utslipp av klimagassen CO<sub>2</sub> samt Statens vegvesens høyeste skadestnader for PM (4610 NOK/kg) og de høyeste skadestnadene for NO<sub>x</sub> (240 NOK/kg). De beregnede klima- og miljøkostnadene for bruk av tunge kjøretøy med forskjellige fremdriftssystemer og forskjellige energibærere vises i den siste kolonnen i tabell 6.

I tabell 6 har vi også sammenstilt utslippsfaktorer og avgassutslipp fra kjøring av Braunschweig kjøresyklus med tunge kjøretøy og de aktuelle fremdriftsteknologiene og energibærerne.

Hovedkonklusjoner er at:

- Elektriske fremdriftsteknologier og bruk av klimavennlige drivstoffer (energibærere) har store positive klimaeffekter i forhold til å bruke fossile drivstoffer i forbrenningsmotorer.
- Alle leverte biodrivstoffer til Norge i 2018 gir store reduksjoner i utslipp av klimagasser i forhold til fossil diesel.
- Avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> som ble radikalt redusert når det i 2013/2014 ble krav om at alle nye tunge kjøretøy må oppfylle de strenge Euro VI-kravene uansett hvilke drivstoffer de bruker nå er nede på meget lave nivåer.

Tabell 6 : Avgassutslipp, klimapåvirkning (utslipp av klimagasser i et livsløpsperspektiv, Well to Wheel) samt beregnede klima- og miljøkostnader for bruk av tunge kjøretøy med forskjellige fremdriftsteknologier og drivstoffer/energibærere.

Estimert klima- og miljøpåvirkning fra tunge kjøretøy i bytrafikk (Braunschweig)													
Fremdriftsteknologi		Energi-bærer	Avgassutslipp			Klima-påvirkn.	Avgassutslipp per år fra et kjøretøy				Klima-påvirkning/		Skade-kostnader klima- og miljø per år (NOK)
			NOx	PM	CO2		CO2 ekv	70 000 km		år			
						g/km		g/km	g/km	g/km	kg	kostnad	
Fossilt drivstoff	Euro VI Dieselmotor	Fossil autodiesel	0,15	0,014	1118	1274	10,5	2520	0,98	4518	89	33888	40926
	Euro VI Gasmotor	Naturgass	0,09	0,025	1068	1200	6,3	1512	1,8	8068	84	31920	41500
	Euro VI Gasmotor	60 % Naturgass	0,09	0,025	1068	782	6,3	1512	1,8	8068	55	20812	30391
Konvensjonelle biodrivstoff	Euro VI ED95 Dieselmotor	ED 95 Bioetanol	0,15	0,014	1321	561	10,5	2520	0,98	4518	39	14911	21949
	Euro VI Dieselmotor	B100 (FAME)	0,15	0,014	1150	535	10,5	2520	0,98	4518	37	14233	21271
	Euro VI Dieselmotor	HVO100	0,15	0,014	1030	357	10,5	2520	0,98	4518	25	9489	16527
Avanserte biodrivstoff	Euro VI ED95 Dieselmotor	ED95 Bioetanol	0,15	0,014	1321	178	10,5	2520	0,98	4518	12	4744	11782
	Euro VI Dieselmotor	B100 (FAME)	0,15	0,014	1150	127	10,5	2520	0,98	4518	9	3389	10427
	Euro VI Dieselmotor	HVO100	0,15	0,014	1030	217	10,5	2520	1,0	4518	15	5761	12799
	Euro VI Gasmotor	100 % Biogass	0,09	0,025	1068	156	6,3	1512	1,8	8068	11	4150	13729
Nullutslippsteknologi	Elektrisk	Batterier med norsk el energi	0	0	0	13	0	0	0	0	1	339	339
	El/Hydrogen	Hydrogen fra norsk el energi	0	0	0	64	0	0	0	0	4	1694	1694
Eldre teknologi	Euro V /EEV Dieselmotor	Fossil autodiesel	7	0,068	1166	1329	490	117600	4,76	21944	93	35343	174887

#### 4.1.2 Kommentarer

Skadekostnadene for klima- og miljøbelastningene vil bli lavere hvis vi bruker Statens Vegvesens lavere kostnader for avgassutslipp av PM (avgasspartikler) og NO<sub>x</sub> i tettsteder og mindre norske byer. Sannsynlige fremtidige høye skadekostnader for utslipp av klimagasser vil også påvirke de samlede klima- og miljøkostnadene for bruk av de forskjellige fremdriftssystemene og de aktuelle energibærerne i tunge kjøretøy.

Difi og TØI har tilgang til regnearket som ligger bak tabell 6 og kan ved eventuelt behov beregne klima- og miljøkostnader for bruk av tunge kjøretøy med andre kostnader for PM, NO<sub>x</sub> og CO<sub>2</sub>-ekv enn de som nå er brukt i tabell 6.

## 4.2 Klimapåvirkningens betydning

Klimapåvirkningene fra bruk av forskjellige drivstoffer og energibærere kan i et livsløpsperspektiv ha stor betydning for de samlede klima- og miljøbelastningene. Vurderingene av klimapåvirkningene er krevende og komplekse. Klimapåvirkningen fra et og samme type fornybart drivstoff oppgis ofte med store variasjoner i forhold til fossile



drivstoffer, noe som gjør det vanskelig å si at en type drivstoff er mer klimavennlig enn et annet.

I denne rapporten har vi brukt Miljødirektoratets oversikt over leverte biodrivstoffer i 2018 og de klimareduksjoner disse drivstoffene er oppgitt å gi i forhold til bruk av fossilt drivstoff for å beregne klimapåvirkningen i et Well to Wheel perspektiv. Dette er derfor et tallgrunnlag som representerer den aktuelle norske virkeligheten.

De biodrivstoffene som blir importert til Norge har høye sertifiserte verdier for reduksjon av klimagasser. Som nevnt, stilles det imidlertid krav til minst 50 % reduksjon over livsløpet sammenlignet med fossilt drivstoff. Klimakostnadene for bruk av avanserte fornybare drivstoffer blir med Vegdirektoratets anbefalte pris på for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter på 3 000-5 000 NOK per år. Klimakostnadene for bruk av konvensjonelle fornybare drivstoffer er noe høyere og i størrelsen 7 000-13 000 NOK per år. Med fossile dieseldrivstoffer blir klimakostnadene under de samme forutsetningene i størrelsen 40 000 NOK per år. Med nullutslippsteknologiene blir klimakostnadene i størrelsen 500 NOK og 2000 NOK per år.

De beregnede klima- og miljøkostnadene for bruk av et tungt kjøretøy kan sammenlignes med de beregnede samlede bedriftsøkonomiske kostnadene på 700 000 NOK/år. Forskjellene i beregnet klimakostnad mellom de forskjellige typene fornybare drivstoffer er små og klimakostnadene også små i forhold til de samlede bedriftsøkonomiske kostnadene. Det er forventet at Vegdirektoratet med økende fokus på global oppvarming framover vil anbefale høyere kostnader for utslipp av klimagasser utover hva som fremgår av tabell 5. Det er nye verdier på vei fra TØI til Vegdirektoratet men de er foreløpig ikke offisielle.

### 4.3 De helseskadelige miljøbelastningers betydning

I praksis viser beregningene at de meget lave avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> fra alle tunge kjøretøy med Euro VI-teknologi medfører at miljøkostnadene blir på under 10 000 NOK/år uansett om vi velger skadekostnader for norske storbyer eller tettsteder. Eldre fremdriftsteknologier kan derimot gi skadekostnader for PM og NO<sub>x</sub> i størrelsen 30 000 i tettsteder utenom storbyområdene og respektive 140 000 NOK/år i norske storbyer.

Avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> ble radikalt redusert når det i 2013/2014 ble krav om at alle nye tunge kjøretøy må oppfylle de strenge Euro VI-kravene uansett hvilke drivstoffer de bruker. At det kreves at utslippene er lave ikke bare i test men også i virkelig trafikk er avgjørende for at Euro VI-godkjente tunge kjøretøy med fungerende avgassrensingsystemer i svært liten grad bidrar til problemer med dårlig luftkvalitet.

Nivåene på avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> fra tunge kjøretøy med Euro VI-teknologi er så lave at det i liten grad kan være meningsfullt å gjøre forskjell mellom forskjellige fremdriftssystemer med forbrenningsmotorer og tilhørende drivstoffer.

Kjøretøy med nullutslippsteknologi har ikke helseskadelige avgassutslipp.

## 4.4 Oppsummering

Klimapåvirkningen av utslipp av CO<sub>2</sub>-ekv i et livsløpsperspektiv og avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> har en betydelig påvirkning på skadestnadene for klima- og miljø for ulike kombinasjoner av fremdriftsteknologi og drivstoff.

Nivåene på avgassutslippene av PM og NO<sub>x</sub> fra tunge kjøretøy med Euro VI-teknologi er imidlertid såpass lave, at når man utelukker forbrenningsmotorer med eldre Euro-klasser fra analysen (Euro V og lavere), ser vi at det først og fremst er ved å øke kostnaden for utslipp av klimagassen CO<sub>2</sub> at vi kan øke den relative forskjellen mellom de ulike kombinasjonene av fremdriftsteknologier og drivstoffer. Forskjellen i klima- og miljøkostnadene for nullutslippsteknologier og alternativene med moderne forbrenningsmotorer blir ca 10 000 NOK/år med avanserte biodrivstoffer, ca 20 000 NOK/år med konvensjonelle? biodrivstoffer og ca 40 000 NOK/år i forhold til fossile drivstoffer.

De beregnede skadestnadene for klima- og miljøbelastningene er for moderne tunge kjøretøy med Euro VI-teknologi og fossil dieselolje langt mindre enn de bedriftsøkonomiske kostnader på ca. 700 000 NOK per år. Med mer klima- og miljøvennlige løsninger som biodrivstoffer og elektrisk fremdrift vil de bedriftsøkonomiske kostnadene ofte øke mer enn de i denne rapporten beregnede skadestnadene for klima- og miljø.

Denne rapporten omhandler tunge kjøretøy, og som omtalt i kapittel 2 anvendes Braunschweig bykjøresyklus for å estimere utslipp fra slike kjøretøy under kjøring. Dette er en internasjonalt anerkjent kjøresyklus for avgasstesting av busser, som etterligner krevende kjøreforhold i virkelig trafikk med mange nedbremsinger, stopp og krevende akselerasjoner. Denne kjøresyklusen vil også være relevant for avfallsinnsamling og varedistribusjon. Braunschweig kjøresyklusen vil gi høyere utslipp av PM og NO<sub>x</sub> enn hva som er tilfelle i langtransport, som typisk har høy og jevn motorbelastning og kan få avgassrensningssystemene i tunge kjøretøy til å fungere optimalt.

Vi vurderer at klima- og miljøbelastningene og forskjellen i kostnader mellom dem vil være relevante for tunge kjøretøy uansett hvor tunge de er og under andre kjøreforhold enn Braunschweig kjøresyklus. Grunnene til forskjellene i klima- og miljøbelastningene for tunge kjøretøy er fremdriftsteknologier og energibærere med større eller mindre klimapåvirkning og større eller mindre avgassutslipp av PM og NO<sub>x</sub>.

## 5 Referanser

- Carbon Limits 2017. *Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskproduisert biogass*  
*Kunnskapsgrunnlag og anbefalinger til innkjøpere*. Avfall Norge.
- Edwards, Robert, Jean-François Larivé, David Rickeard, and Werner Weindorf. 2014.  
*Well-to-Tank Report Version 4.a, JEC Well-to-Wheels Analysis*
- Hagman, R et al 2015  
*Utslipp fra kjøretøy med Euro 6/VI teknologi. Resultater fra måleprogrammet i EMIROAD 2014,*  
*TØI rapport 1405/2015*
- Hagman, R et al 2016  
*Klima og miljøvennlig transport frem mot 2025, Vurderinger av mulige teknologiske løsninger for buss,*  
*TØI rapport 1571/2016*
- Hagman, R 2016  
*Busser, Euro VI og avgassutslipp, Status 2016, TØI rapport 1540/2016*
- Miljødirektoratet 2019  
*Kommunikasjon via mail med Mats Nordrum og Thea Johnsen*
- Nylund, N.-O., & Koponen, K. 2012.  
*Fuel and Technology Alternatives for Buses; Overall Energy Efficiency and Emission Performance.*  
VTT Technical Research Centre of Finland.
- Statens vegvesen 2016 *Vegdirektoratets Håndbok V172 Konsekvensanalyser.*
- Stortingsmelding 2016-2017. Nasjonal transportplan (2018 – 2029)  
*Meld.St.33, 2016-2017, s. 225*
- Teknologisk institutt, Bang, Jon. 1993.  
*Alternative drivstoffer, Fysiske data, Typiske utslipp.* Ord og uttrykk om motorer og  
utslipp; Noen myter og fakta om biler og utslipp, Miljøverndepartementet 1993
- Transport & Environment  
<https://www.transportenvironment.org/what-we-do/air-pollution>
- Vandenbussche, V et al 2019  
*Små hydrogen value chain*, Report #485944; Endrava AS

# Vedlegg 1: Metode for beregning av klimapåvirkning

## 1.

### Metode for beregning av klimapåvirkningen (CO<sub>2</sub>-ekv/km) for bruk av busser med Euro VI dieselmotor og fossil dieselolje i et «Well to Wheel» perspektiv ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus

Fossil diesel gir ved forbrenning direkte utslipp av 74 g CO<sub>2</sub>-ekv per energienhet målt i MJ (Teknologisk institutt, Miljøverndepartementet, Jon Bang 1993).

Snittverdien for utslipp av CO<sub>2</sub> i fra fossilt drivstoff i et livsløpsperspektiv er på 83,8 g CO<sub>2</sub>/MJ, oppgitt av Miljødirektoratet og hentet fra EUs fornybardirektiv.

Vi kan derfor anslå at fossil diesel har et utslipp på 9,8 g CO<sub>2</sub> (9,8/83,8 og 12 %) fra kilde til og med forbrenning.

Vi ser fra utslippsdatabasen i vedlegg 2 at busser med Euro VI teknologi bruker 0,35 kg dieselolje per km, noe som tilsvarer 15,2 MJ/km ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus. Utslippene av CO<sub>2</sub> i et «Well to Wheel» perspektiv ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus blir da 83,8 · 15,2 = 1274 g CO<sub>2</sub>/km.

## 2.

### Metode for beregning av klimapåvirkningen (CO<sub>2</sub>-ekv/km) for bruk av busser med Euro VI dieselmotor og forskjellige biodrivstoffer i et «Well to Wheel» perspektiv ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus

I sertifisering av biodrivstoffer og fra Miljødirektoratet blir det oppgitt i hvor stor grad disse drivstoffene reduserer utslipp klimagasser av i et livsløpsperspektiv prosent av en fossil referanse (fossil dieselolje).

Beregnet klimapåvirkning (utslipp av klimagasser) fra en buss ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus med et biodrivstoff som drivstoff i et «Well to Wheel» perspektiv

$$A = B - (B \cdot c) \quad (\text{g CO}_2/\text{km}).$$

*A* = Klimapåvirkning / Utslippene av CO<sub>2</sub>-ekv i et «Well to Wheel» perspektiv fra en buss ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus med et biodrivstoff som energibærer

*B* = Klimapåvirkning / Utslippene av CO<sub>2</sub>-ekv i et «Well to Wheel» perspektiv fra en buss ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus med fossil dieselolje som energibærer

*c* = Reduksjon i prosent (0,xx) av klimapåvirkningen / utslippene av CO<sub>2</sub>-ekv i et «Well to Wheel» perspektiv fra en buss ved kjøring av Braunschweig kjøresyklus med et biodrivstoff i forhold til bruk av et fossilt alternativ.

## 3.

**Konkret eksempel på beregning av klimapåvirkning**

Klimapåvirkningen (utslipp av CO<sub>2</sub>-ekv) fra et tungt kjøretøy med energibæreren HVO100 ved kjøring av Braunschweig blir i et Well to Wheel perspektiv:

Reduksjon i av CO<sub>2</sub> ekv i forhold til bruk av fossilt alternativ er av Miljødirektoratets tabell oppgitt til 83%.

Beregnet utslipp av klimagasser i et Well to Wheel perspektiv blir da

$$A=B - (B \cdot c)$$

$$A=1274 - (1274 \cdot 0,83) = 217 \text{ g CO}_2/\text{km}$$

*Tabell: Reduksjon av klimapåvirkning for energibærere i et livsløpsperspektiv (kilde til varmeenergi) i forhold til fossile alternativer CO<sub>2</sub>/MJ i 2018 (Miljødirektoratet 2019).*

<b>Energibærere - reduksjon av CO<sub>2</sub>-ekv i forhold til fossilt alternativ</b>		
<b>Energibærer</b>	<b>c</b>	
	<b>Utslippsreduksjon</b>	
Fossil diesel	0%	1,00
Naturgass	0%	1,00
Biogass	87%	0,87
Etanol ED95 (konvensjonell)	56%	0,56
Etanol ED95 (avansert)	86%	0,86
B100 (konvensjonelt RME)	58%	0,58
B100 (avansert RME)	90%	0,90
HVO 100 (konvensjonelt)	72%	0,72
HVO 100 (avansert)	83%	0,83
El batteri	99%	0,99
El som hydrogen	95%	0,95

# Vedlegg 2: Database – avgassutslipp

VTI's utslippsdatabase for busser oppdatert 21. des 2016.

VTI's bus data base: Updated		21.12.2016														
Braunschweig test cycle	Number of vehicles n	Driven km	Max	CO	HC	CH <sub>4</sub>	NOx	PM	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> eq**	FC	FC				
		Mjn		g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	kg/100km	MJ/km				
2 -axle buses, data for fully warmed-up engines																
Diesel Euro I	2	555025	672700	1,39	0,32		15,59	0,436	1220	1220	38,6	16,6				
Diesel Euro II	13	160500	1125674	1,60	0,21		12,86	0,213	1286	1286	40,7	17,5				
Diesel Euro III	14	15934	786164	0,85	0,12		8,48	0,209	1213	1213	38,4	16,6				
Diesel Euro IV	8	6105	474152	2,96	0,10		8,36	0,112	1207	1207	38,2	16,5				
Diesel Euro V***				2,96	0,10		7,51	0,089	1207	1207	38,2	16,5				
Diesel EEV	21	1020	696931	1,08	0,03		6,49	0,068	1166	1166	36,9	15,9				
Diesel Euro VI	8	15371	370017	0,14	0,01		0,15	0,014	1118	1118	35,4	15,2				
Ethanol EEV	4	25249	133297	4,01	0,69		6,25	0,022	1321	1321	69,2	17,5				
Diesel Hyb. EEV	5	2602	136255	0,89	0,02		5,12	0,046	848	848	26,9	11,6				
Diesel Hyb. Euro VI	1	68310	68310	1,66	0,00		0,21	0,011	943	943	29,8	12,9				
CNG Euro II*	2	211000	672946	4,32	7,12	6,76	16,92	0,009	1140	1295	42,1	20,7				
CNG Euro III	2	37600	237189	0,05	2,64	2,38	9,44	0,019	1185	1240	43,7	21,5				
CNG EEV	8	1824	640252	2,78	1,28	1,08	3,17	0,008	1276	1301	47,1	23,2				
CNG Euro VI	2	347	36047	0,53	0,06	0,04	0,09	0,025	1068	1068	39,4	19,4				
2 -axle buses, combined cold and hot start****																
Diesel Euro VI*****	3	26977	369960	0,24	0,02		0,63	0,027	1128	1128	35,7	15,4				
CNG Euro VI*****	2	347	35992	0,61	0,19	0,13	0,42	0,024	1078	1081	39,8	19,6				
2 -axle buses, light-weight, data for fully warmed-up engines																
Diesel****	4	993	26436	0,88	0,03		6,70	0,047	953	953	30,17	13,0				
Diesel Euro VI	2	8977	21726	0,14	0,01		0,37	0,006	961	961	30,41	13,1				
3 -axle buses, data for fully warmed-up engines																
Diesel Euro V	4	1400	232494	6,68	0,03		3,16	0,089	1414	1414	44,8	19,3				
Diesel EEV	7	5444	94910	1,24	0,04		6,02	0,072	1462	1462	46,3	19,9				
Diesel Euro VI	6	10215	198950	0,16	0,00		0,51	0,007	1383	1383	43,8	18,9				
CNG EEV	5	121773	651529	10,96	1,69	1,53	6,37	0,010	1407	1442	51,9	25,5				
3 -axle buses, combined cold and hot start****																
Diesel Euro VI*****	2	86249	198899	0,27	0,01		2,07	0,026	1439	1439	45,6	19,6				

\*For Euro II CNG CH<sub>4</sub> estimated at THC \* 0.95, for newer CNG vehicles CH<sub>4</sub> measured

\*\*CO<sub>2</sub>eqv = CO<sub>2</sub> + 23 \* CH<sub>4</sub>

\*\*\*Euro V results estimated based on Euro IV data

\*\*\*\*Includes result from emission classes Euro III, Euro IV and EEV

\*\*\*\*\*Weighted average (cold start 14 %, hot start 86 %)



## Transportøkonomisk institutt (TØI) Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et verrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel på internett og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside [www.toi.no](http://www.toi.no).

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se [www.ciens.no](http://www.ciens.no)). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.

### Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt  
Gautstadalléen 21  
NO-0349 Oslo

22 57 38 00  
[toi@toi.no](mailto:toi@toi.no)  
[www.toi.no](http://www.toi.no)