

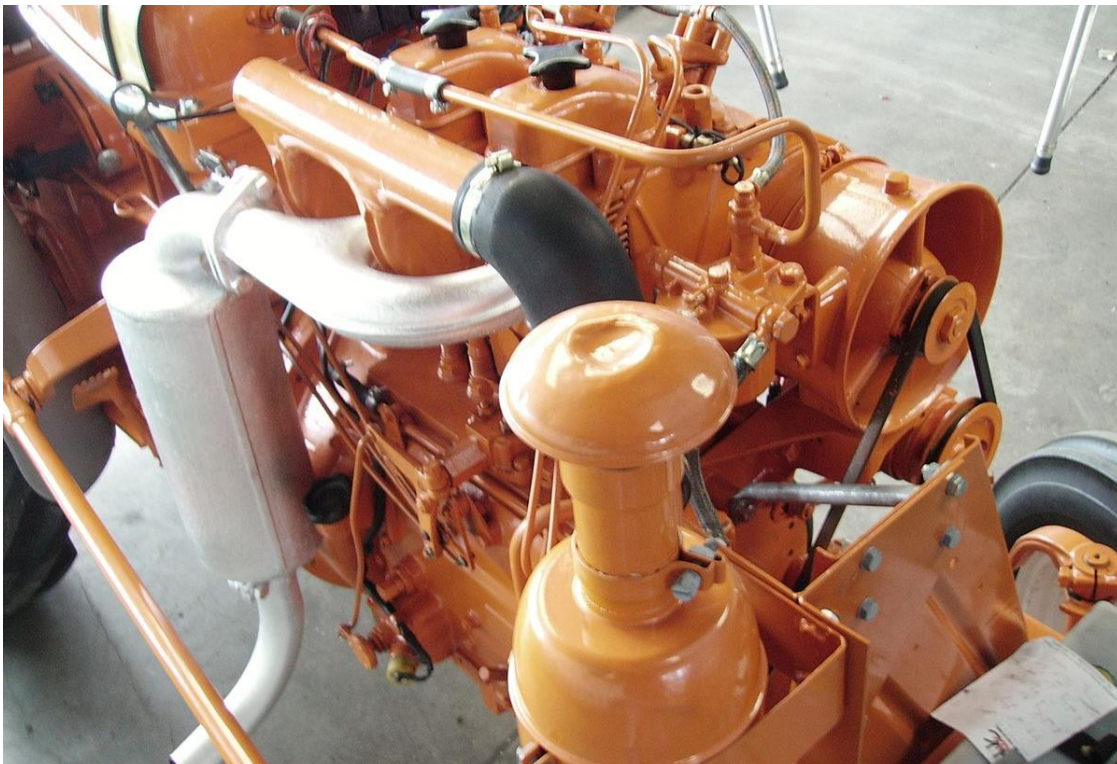
Beregnet til  
**Miljødirektoratet M-661 | 2016**

Dokument type  
**Rapport**

Dato  
**November 2016**

# RAPPORT

## MULIGHETSROMMET FOR ALTERNATIV TEKNOLOGI PÅ TRAKTORER



# **RAPPORT MULIGHETSROMMET FOR ALTERNATIV TEKNOLOGI PÅ TRAKTORER**

Revisjon **3**  
Dato **30.11.2016**  
Utført av **Heidi Ødegård Berg, Per Halvor Bekkelund,  
Helene Sedal**  
Kontrollert av **Per Halvor Bekkelund**  
Godkjent av **Arne Fredrik Lånke**  
Beskrivelse **Rapport**  
Forsidebilde **Bas Steijvers, CC BY-SA 3.0 [1]**

Ref. 1350018541  
Document ID 739805-4 / MIL-ALT-Rapport-003

## INNHOILDSFORTEGNELSE

<b>Sammendrag</b>	<b>1</b>
<b>1. Introduksjon</b>	<b>3</b>
<b>2. Forutsetninger</b>	<b>4</b>
2.1 Teknologivalg	4
2.2 Kategorisering av traktorer	4
2.3 Bestand av traktorer og motorredskaper	5
2.4 Utslippsreduksjoner	5
2.5 Kostnader	5
<b>3. Elektrisk drift av traktorer</b>	<b>6</b>
3.1 Teknologisk egnethet	6
3.2 Teknologisk modenhet	6
3.3 Egnethet knyttet til infrastruktur	6
3.4 Utslippsreduksjoner	7
3.5 Kostnader og kostnadsutvikling	7
3.6 Oppsummering av fordeler og ulemper	8
<b>4. Hybrid drift av traktorer</b>	<b>8</b>
4.1 Teknologisk egnethet	8
4.2 Teknologisk modenhet	9
4.3 Egnethet knyttet til infrastruktur	9
4.4 Utslippsreduksjoner	9
4.5 Kostnader og kostnadsutvikling	9
4.6 Oppsummering av fordeler og ulemper	9
<b>5. Hydrogen drift av traktorer</b>	<b>10</b>
5.1 Teknologisk egnethet	10
5.2 Teknologisk modenhet	10
5.3 Egnethet knyttet til infrastruktur	10
5.4 Utslippsreduksjoner	11
5.5 Kostnader og kostnadsutvikling	11
5.6 Oppsummering av fordeler og ulemper	11
<b>6. Traktor driftet på biogass/biometan</b>	<b>11</b>
6.1 Teknologisk egnethet	11
6.2 Teknologisk modenhet	12
6.3 Egnethet knyttet til infrastruktur	12
6.4 Utslippsreduksjoner	12
6.5 Kostnader og kostnadsutvikling	13
6.6 Fordeler og ulemper	13
<b>7. Traktor driftet på Biodrivstoff</b>	<b>13</b>
7.1 Teknologisk egnethet	13
7.2 Teknologisk modenhet	14
7.3 Egnethet knyttet til infrastruktur	14
7.4 Utslippsreduksjoner	14
7.5 Kostnader og kostnadsutvikling	14
7.6 Fordeler og ulemper	14
<b>8. Oppsummering og tiltak</b>	<b>15</b>
<b>9. Siterte verk</b>	<b>19</b>

## FIGURLISTE

Figur 1 Kostnadsutvikling batteripakker for elbil (kilde: Rapport M-620 Miljødirektoratet) .....	7
Figur 2: Fordeler og ulemper elektrisk drift .....	8
Figur 3: Fordeler og ulemper hybrid drift .....	9
Figur 4: Fordeler og ulemper hydrogen drift .....	11
Figur 5: Fordeler og ulemper biogassdrift.....	13
Figur 6: Fordeler og ulemper biodrivstoffdrift .....	14
Figur 7: Mulighetsrommet for reduserte klimagassutslipp ved alternativ teknologi på traktorer.....	15
Figur 8: Utslipp for traktorer i jordbruket med og uten tiltak .....	17
Figur 9: Dieselforbruk fordelt på motorstørrelse for dieseldrevne traktorer, eksisterende bestand og nysalg, per år.....	18

## TABELLISTE

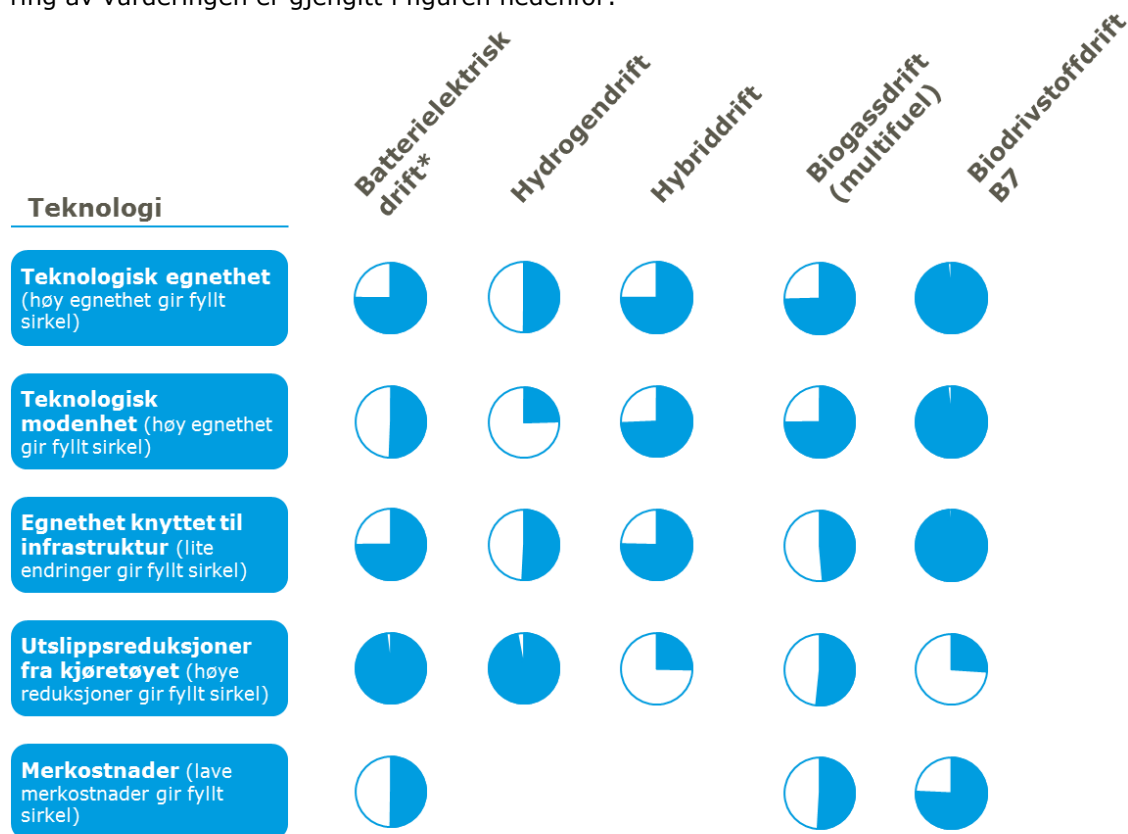
Tabell 1: Kategorisering etter motorstørrelse, gitt i kW og hk .....	4
Tabell 2: Strømverdier og effekter for standardiserte uttak for hurtiglading ved ladestasjoner i Norge .....	6
Tabell 3: Utslippsreduksjoner for 5 ulike tiltak i landbruket i 2021 og 2030 ...	17
Tabell 4: Utslippsreduksjoner for 5 ulike tiltak i landbruket i 2021, i tonn.....	2
Tabell 5: Utslippsreduksjoner for 5 ulike tiltak i landbruket i 2030, i tonn.....	2

## SAMMENDRAG

Miljødirektoratet arbeider kontinuerlig med å oppdatere kunnskapsgrunnlaget for lavutslippsutvikling i klimapolitikken. En viktig del av kunnskapsgrunnlaget for Norges utslippsforpliktelser i internasjonale klimaavtaler er tiltaksanalyser av mulige reduksjoner i utslipp av klimagasser, tiltakskostnader og gjennomførbarhet av klimatiltak.

Rambøll har, på oppdrag for Miljødirektoratet, gjort en vurdering av mulighetsrommet for reduserte klimagassutslipp ved å innføre alternativ teknologi på traktorer i landbruket. Basert på motorstørrelse har Rambøll vurdert hvilke traktorer som det er mest realistisk at går over på lav- eller nullutslippsteknologi innen 2021.

De alternative teknologiene som er blitt vurdert er hybrid, elektrisk, hydrogen, biodrivstoff, biogass og multifuel teknologi. Teknologiene er blitt vurdert med hensyn til teknologisk egnethet, teknologisk modenhet, krav til infrastruktur, utslippsreduksjoner og kostnader. En oppsummering av vurderingen er gjengitt i figuren nedenfor:

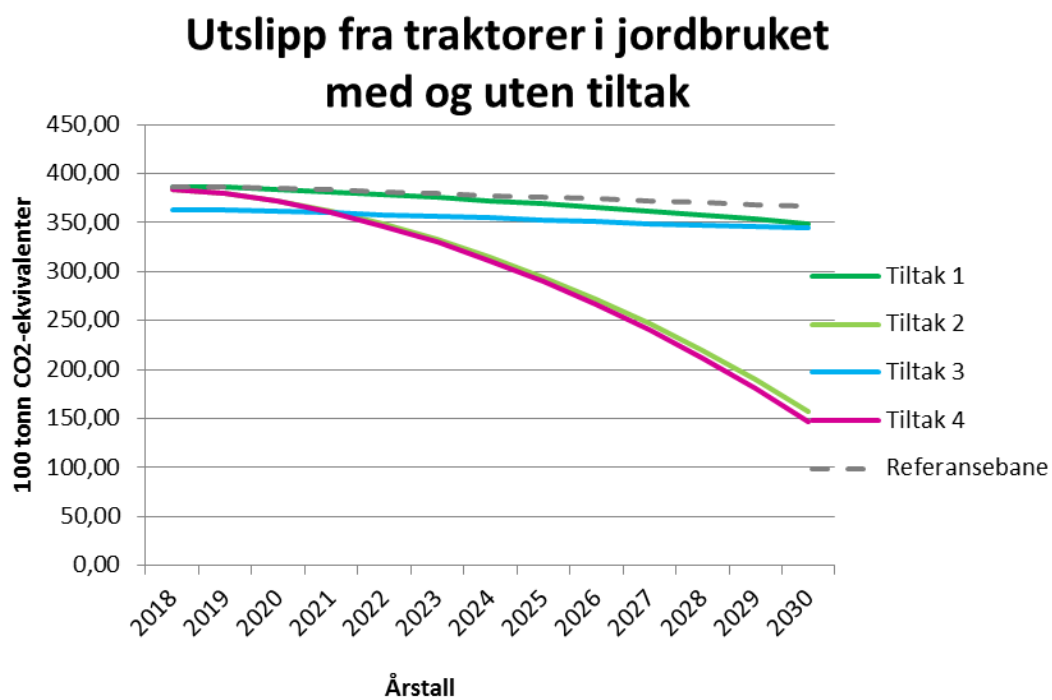


### \*Små traktorer, motorstørrelse < 56 kW

Vurderingen er basert på informasjon om traktorer som Miljødirektoratet har gjort tilgjengelig for Rambøll. Informasjon om teknologi, kostnader og utslippsfaktorer er hentet inn fra offentlig tilgjengelige kilder som det er referert til i rapporten. Noen antakelser er basert på Rambølls egne erfaringer fra andre prosjekter. Det er angitt i rapporten der det er relevant.

Informasjon om traktorer og utslippsfaktorer er hentet fra arbeider som er henholdsvis 6 og 9 år gamle. Det er også, for de fleste teknologiene utfordrende å finne erfaringer fra drift eller forsøk/studier på traktorer, slik at erfaringer med drift er hentet fra bussdrift, lastebil-drift eller personbil. Dette gjør at usikkerheten i vurderingen må anses som stor. Rambøll anbefaler at vurderingen leses som en mulighetsstudie og understreker at det bør gjøres en mer omfattende vurdering av traktordrift med ulike lav- eller nullutslippsteknologier.

Basert på teknologivurderingen har Miljødirektoratet valgt ut 5 tiltak som Rambøll har beregnet utslippsreduksjoner og tiltakskostnader for. Disse fem tiltakene er dieseldrevne traktorer over på batterielektrisk drift, kombinert biogass- og dieseldrift i dual-fuel motor, innblanding av biodrivstoff i anleggsgas (B7 og HVO30), samt kombinert biogass- og biodieseldrift (B7) i dual-fuel motor. De fem tiltakene er presentert i et oppsummerende kapittel til slutt i vurderingen. Utslipp fra traktorer i jordbruket med og uten tiltak er gjengitt i figuren nedenfor.



## 1. INTRODUKSJON

Miljødirektoratet arbeider kontinuerlig med å oppdatere kunnskapsgrunnlaget for lavutslippsutvikling i klimapolitikken. En viktig del av kunnskapsgrunnlaget for Norges utslippsforpliktelser i internasjonale klimaavtaler er tiltaksanalyser av mulige reduksjoner i utslipp av klimagasser, tiltakskostnader og gjennomførbarhet av klimatiltak.

Rambøll har, på oppdrag for Miljødirektoratet, gjort en vurdering av mulighetsrommet for reduserte klimagassutslipp ved å innføre alternativ teknologi på traktorer i landbruket. Basert på motorstørrelse har Rambøll vurdert hvilke traktorer som det er mest realistisk at går over på lav- eller nullutslippsteknologi innen 2021. Miljødirektoratet har med bakgrunn i vurderingen valgt ut 5 tiltak som Rambøll har beregnet tiltakskostnader for. Innfasing av tiltakene fram mot 2030 vurdert i samarbeid med Miljødirektoratet, der Rambølls vurdering av innfasing er gjort med bakgrunn i hvor moden teknologien anses å være i 2021 og videre frem mot 2030. Modenhet for teknologi deles gjerne inn i fire overordnede kategorier:



For å identifisere egnede verdikjeder kan ulike verktøy for å identifisere modenhet brukes. Alle trinn fra grunnleggende forskning til kommersialisering kan systematiseres. Technology Readiness Level (TRL) er en veletablert og anerkjent metode brukt for å identifisere modenhet for utvikling av teknologier, spesielt i USA, men også i EU i forbindelse med støtte til forskning og utvikling. I dette prosjektet har det ikke vært mulig å bruke en slik omfattende prosess som TRL innebærer. De fire nivåene, som nevnt over, grunnleggende FoU, demonstrasjon/pilot, tidlig kommersialisering, og (sen) kommersiell teknologi har blitt brukt i teknologikartleggingen.

Fornybar framdriftsteknologi på traktorer i det norske landbruket er etter det Rambøll kjenner til i liten grad tilgjengelig i markedet i dag, og utviklingen ser ut til å gå saktere enn den gjør for f.eks personbilmarkedet og til dels også markedet for tungtransport. Batterielektrisk drift og biogassdrift anses f.eks. som nokså moden teknologi som er utprøvd på personbiler og busser. Det er derimot ikke, som Rambøll kjenner til, rene batterielektriske traktorer tilgjengelig i markedet i dag. Noen unntak finnes, men det er på prototyp -eller demonstrasjonsnivå. Biogasstraktorer driftet med dual fuel motorer finnes, bl.a. i Sverige, men disse er også å betrakte som testprosjekter eller i tidlig kommersiell drift. Men teknologien finnes, og utviklingen kan gå raskt dersom etterspørselen for slike maskiner øker.

Hydrogendrift er etablert og tilgjengelig for mindre kjøretøy, og anses derfor på sikt å bli tilgjengelig også for traktorer. Men i dag har hydrogen lite fokus som løsning for traktorer blant maskinprodusentene og det er ikke, som Rambøll kjenner til, traktorer tilgjengelig på markedet i dag, med unntak av enkelte prototyper.

Biodrivstoff kan være en løsning på kort sikt når innblandingen ikke krever at det gjøres endringer på eksisterende traktorer og tilhørende infrastruktur. Det er da forutsatt at biodrivstoff finnes tilgjengelig der traktorbrukeren til vanlig henter sitt drivstoff, noe som ikke nødvendigvis er tilfellet i dag.

## 2. FORUTSETNINGER

### 2.1 Teknologivalg

De alternative teknologiene er vurdert med utgangspunkt i teknologisk egnethet for bruk på dieseldrevne traktorer i landbruket. Motorkraft, kuldeegenskaper, effekt av lengre tids lagring av drivstoffet, samt muligheten for å lagre drivstoffet lokalt er momenter som kort omtales for hver av teknologiene.

Videre gjøres det en vurdering av teknologiens modenhet. Teknologien regnes som moden når den er kommersielt tilgjengelig i Norge. Den må kunne regnes som tilgjengelig innen 2021, ettersom en forutsetning for at teknologien skal innlemmes som et tiltak er at den har en effekt fra 2021.

Egnethet knyttet til infrastruktur må vurderes for å kunne si noe om hvor tilgjengelig teknologien er i Norge og i distriktene, og hvor omfattende det er, både ressurs- og kostnadmessig, å gå over til en gitt teknologi. Med infrastruktur menes fyllestasjoner, drivstofflager og metode for distribusjon av drivstoff. Logistikk knyttet til distribusjon av drivstoffet kommenteres der det er relevant.

Forventet utslipp omfatter de viktigste klimagassene og partikkelutslipp som PM10 og PM2,5 (partikkelutslipp der tallet angir partiklens diameter, oppgitt i mikrometer ( $\mu\text{m}$ )). Forventet utslipp er avgrenset til å omfatte direkte utslipp knyttet til drift av traktoren.

Kostnadene deles inn i investeringskostnad og driftskostnader, som fordeles over forventet levetid for teknologien. Driftskostnader omfatter drivstoffkostnader.

Drivere og barrierer er ikke inkludert i vurderingen, men kommenteres kort der det er naturlig.

Med bakgrunn i vurderingen dannes et bilde av mulighetsrommet for alternativ teknologi for traktorer. Mulighetsrommet oppsummeres i kapittel 7.

### 2.2 Kategorisering av traktorer

Traktorer kategoriseres etter motorstørrelse. Motorstørrelsen er oppgitt som maksimalt effektnivå, i kW, og er inndelt i størrelsesgrupper i henhold til EMEP/EEA-guidelines på følgende måte [2]:

**Tabell 1: Kategorisering etter motorstørrelse, gitt i kW og hk**

Motorstørrelse [kW]	Motorstørrelse [hk]
19-37 kW	26-50 hk
37-56 kW	50-76 hk
56-75 kW	76-102 hk
75-130 kW	102-177 hk
130-750 kW	177-1020 hk

Alle forutsetninger om traktorbestanden og traktorenes karakteristika er hentet fra et arbeid utført av Selvig i 2014; «Nasjonalt utslippsregnskap – ikke veigående kjøretøy, maskiner, redskap og fritidsbåter», «Delnotat: TRAKTORER, dieseldrift» [2].

Traktorer har lang levetid. Gjennomsnittsalderen til en traktor ble i Selvig 2014 beregnet til 25 år, basert på data fra kjøretøyregisteret [2]. Mange traktorer har en vesentlig høyere levetid enn dette, ofte 30-40 år.



Driftstimer for traktorer beskriver hvor mange timer en traktor i gjennomsnitt er i drift per år. Dette tallet vil variere bl.a. med alderen til traktoren. Selvig 2014 finner at traktorer som er 35 år eller eldre har omtrent 100 driftstimer mens de som er 10 år eller yngre har mellom 450 og 700 driftstimer per år [2]. Rambøll har ikke hatt mulighet til å hensynta traktorbestandens aldersfordeling. Det er skilt mellom eksisterende bestand og nysalg, der eksisterende bestand er antatt å være gammel med gjennomsnittlig driftstid på 100 timer, og traktorer fra nysalgstatistikken har en gjennomsnittlig driftstid på 500 timer. Det er knyttet stor usikkerhet til denne antakelsen.

Belastningsgraden beskriver hvilken motorbelastning traktorene kjører på. Behovet for motorytelse vil variere avhengig av hvilken type arbeid traktoren skal gjøre. Selvig 2014 beskriver bl.a. at traktoren vil gå på tilnærmet maksimal ytelse ved pløying, harving eller tung jordbearbeiding, og med en mye lavere belastning ved lettere arbeid som såing. Selvig 2014 anvender en gjennomsnittlig belastningsgrad på 50%, basert på litteratur [2]. Den samme belastningsgraden er anvendt i dette arbeidet.

### 2.3 Bestand av traktorer og motorredskaper

Selvig 2014 gjengir utviklingen i bestanden av dieseldrevne traktorer fra 1980 til 2011. Datagrunnlaget viser at det har vært en jevn økning i bestanden av traktorer i hele perioden fra ca. 175 000 traktorer i 1980 til ca 230 000 traktorer i 2011. Fra 1985 til 1992 sank salget av traktorer sterkt, men tok seg noe opp igjen etter bunnåret 1992. Nedgangen har vært størst for de minste traktorene, med motorytelse under 75 kW. Nedgangen i salget av disse traktorene har vart frem til 2011, mens traktorer med større effekt har økt sin markedsandel [2].

Selvig 2014 beskriver hele bestanden av dieseldrevne traktorer i Norge, og ikke alle disse er i bruk i landbruket. SSB fører statistikk over antall traktorer i jordbruksbedrifter, se tabell 6122-1. Tabellen viser at ca. 90 000 firehjulstraktorer er registrert i bruk i Norge i 2014 [3]. Dette tilsvarer 38% av bestanden som Selvig 2014 opererer med. Andre kilder opererer med de samme tallene [4]. Rambøll har derfor antatt at omtrent 40% av traktorbestanden som Selvig 2014 opererer med er i drift i jordbruket i Norge i dag.

### 2.4 Utslippsreduksjoner

Utslippsreduksjoner er beregnet ut fra drivstofforbruk i de ulike scenarioene og utslippsfaktorer per kg drivstoff. Det er kun regnet utslipp fra forbrenning av de ulike drivstoffene, produksjon er ikke inkludert, i tillegg er kun fossilt CO<sub>2</sub> inkludert i beregningene. Inkludering av utslipp fra produksjon av de ulike drivstoffene og biogent CO<sub>2</sub> vil kunne gi andre resultater. Det er benyttet utslippsfaktorer fra Ecoinvent, fra 2007 [5]. Utslippsfaktorene er ikke fra traktorer spesielt, men drivstoffene er representative for de ulike teknologiene som er valgt.

### 2.5 Kostnader

For å finne merkostnaden ved å bytte ut dieseltraktorer med ny teknologi er det hentet inn kostnader for utvalgte poster. Kostnadene er delt inn i to poster; kostnader knyttet til investering og kostnader knyttet til drift. Andre kostnader, for eksempel knyttet til vedlikehold og infrastruktur, vil også være relevante. Det har ikke vært mulig å ta hensyn til slike kostnader innenfor oppdragets økonomiske ramme og disse er derfor ekskludert.

Investerings-, eller produksjonskostnaden, angir merkostnaden for å innføre alternativ teknologi i nye traktorer. Kostnaden er estimert ved å se på prisdifferansen mellom en dieseltraktor og en traktor med alternativ teknologi. Pris er hentet fra offentlig tilgjengelige kilder. Kostnader knyttet til drift er representert ved drivstoffpris. Drivstoffpriser er basert på gjeldende norske listepriiser hentet inn fra offentlig tilgjengelige kilder, og er omregnet til dieselevivalenter. For biogass har Rambøll anvendt egne erfaringspriser fra markedet, omregnet til dieselevivalenter. For biodrivstoff har Rambøll anvendt offentlig tilgjengelige listepriiser med en framskriving som er basert på arbeid Rambøll har utført på oppdrag for Miljødirektoratet og som ikke er offentlig tilgjengelig når denne rapporten skrives. For elektrisk drift er offentlig tilgjengelig kraftpris anvendt.

### 3. ELEKTRISK DRIFT AV TRAKTORER

Batterielektrisk drift av traktorer innebærer bruk av elektrisk motor og batterier for fremdrift av maskinen, tilsvarende det man finner på elbiler.

#### 3.1 Teknologisk egnethet

Traktorer med batterielektrisk drift gir god trekkraft, men tradisjonelle traktorer som brukes i landbruket i dag har lite areal og volum disponibel for installasjon av større batteripakker. Rambøll har beregnet at de minste traktorene med motorstørrelser på 19-56 kW vil kreve batterier med en tyngde på ca. 400-800 kg. Slike batterier vil oppta et volum på 200-400 liter, og vil være praktisk mulig å innføre tatt i betraktning at en slik traktor veier om lag 3-4 tonn. De større traktorene med motorstørrelser fra 56-300 kW vil kreve batterier med en vekt på over 1 tonn. Slike batterier vil oppta et volum på 500 liter eller mer. Mindre traktorer for lettere arbeid (19-56 kW motor) kan derfor tenkes basert på batteridrift, men det vil være utfordringer ved kontinuerlig, langvarig bruk pga. begrensninger i batteristørrelsen.

Batteridrift vil derfor begrenses både med hensyn til effekt og driftstid per lading. De tyngste maskinene vil derfor være utfordrende å drifte batterielektrisk. For mindre og lettere arbeid kan batterielektrisk drift være en løsning.

Batterier har mindre gode kuldeegenskaper. Kulde medfører samtidig økt energiforbruk og dermed redusert brukstid på batteriene. I tillegg kan det være utfordringer knyttet til drift og vedlikehold for elektromotor og elektriske overføringer, da det vil kreve spesialkompetanse ved havarier. På en annen side har batterielektriske biler vist seg å være driftssikre, til dels på grunn av mindre bevegelige deler og varmeutvikling.

Vurdering av egnethet batterielektrisk drift av traktorer i Norge, motorstørrelser < 56 kW	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

#### 3.2 Teknologisk modenhet

Batterielektrisk drift anses som en nokså moden teknologi. Den er utprøvd i busser og kommersiell i biler. Det er ikke, etter det Rambøll kjenner til, rene elektriske traktorer med batterier tilgjengelig i markedet. Noen unntak finnes, men det er på prototypnivå.

Etterspørsel etter batterielektriske traktorer er forventet å ha en betydning for teknologiutviklingen frem mot 2021, og med videre fokus og kostnadsutvikling antas det også at flere typer anleggsmaskiner, inkludert traktorer blir tilgjengelig. Det antas at det er mer sannsynlig at de minste typene traktorer vil være egnet for batterielektrisk drift, sammenlignet med de større typene.

Vurdering av modenhet batterielektrisk drift av traktorer i Norge, alle motorstørrelser	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

#### 3.3 Egnethet knyttet til infrastruktur

Helelektrisk drift av traktorer vil stille krav til elektrisk infrastruktur på gården.

Det er naturlig å ta utgangspunkt i de samme spesifikasjonene som i standardiserte uttak for hurtiglading ved ladestasjoner i Norge. Dvs uttak med følgende strømverdier og effekter:

**Tabell 2: Strømverdier og effekter for standardiserte uttak for hurtiglading ved ladestasjoner i Norge**

Ladestasjoner	230/16	230/32	400/32	400/110	400/125
Type	Type 2	Type 2	Type 2	CCS	CCS/Chdm
Effekt (kW)	3,7	7,4	22,2	76,2	86,6
Effekt (kW) i praksis	3,7	7,4	22,2	50,0	50,0

Hastigheten på ladingen vil påvirke bruksområdet for traktoren. For traktorer vil lading med 20-50 kW være hensiktsmessig med hensyn til ladetid. Teknisk sett vil 20kW ladestasjon kunne installeres uten større utfordringer, mens ved 50 kW vil man risikere behov for oppgradering av elektrisk infrastruktur.

Vurdering av egnethet knyttet til infrastruktur til batterielektrisk drift av traktorer i Norge, motors-tørrelser < 56 kW	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

### 3.4 Utslippsreduksjoner

Det er ikke knyttet utslipp til direkte forbrenning ved elektrisk fremdrift av kjøretøy.

Vurdering av utslippsreduksjoner knyttet til elektrisk drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

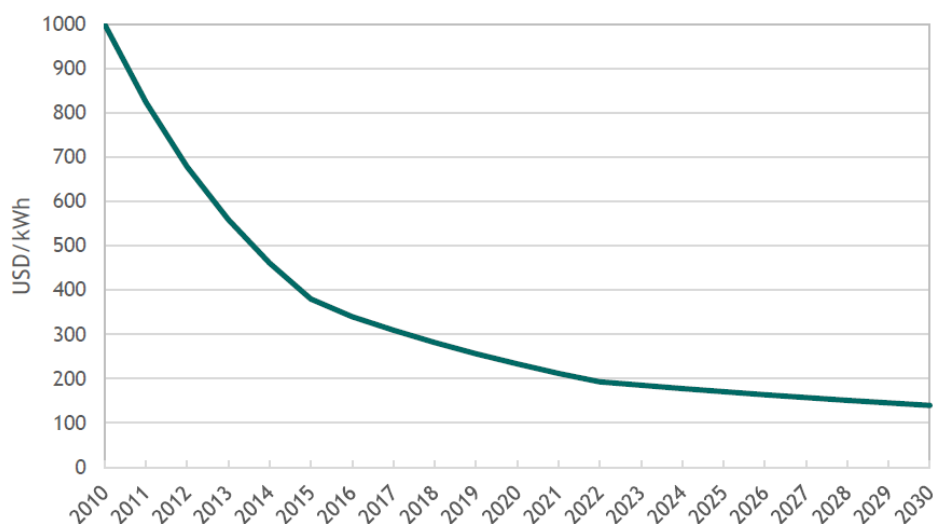
### 3.5 Kostnader og kostnadsutvikling

Investeringskostnad for elbiler er noe høyere enn for biler med forbrenningsmotorer, jfr rapport M-620, «Tiltakskostnader for elbil» Miljødirektoratet 2016 [6]. Videre i denne rapporten er det forutsatt lik levetid på elbil og fossilbil, og levetid på batteri lik levetid for bil.

Forventet levetid for personbiler er rundt 18 år. Vår oppfatning er at dette er en ganske optimistisk vurdering av levetid på batterier i elektriske kjøretøy. I og med at traktorer vurderes til å ha lenger levetid enn bil, så vil det bli nødvendig å skifte batterier i løpet av levetiden for en traktor.

Basert på vurderinger i rapport M-520 vil merkostnaden for elbil kontra fossilbil tilsvarer omtrent kostnaden for batteripakken. Det indikerer at produksjonskostnaden er lik for de to kategoriene når en ser bort fra batteriene. Denne betraktningen er lagt til grunn og forventes å gjelde også for traktorer.

Kostnad for elektriske batterier forventes å falle som vist på figuren under.



Figur 1 Kostnadsutvikling batteripakker for elbil (kilde: Rapport M-620 Miljødirektoratet)

### 3.6 Oppsummering av fordeler og ulemper

Fordeler og ulemper ved elektrisk drift av traktorer er vist under.



Figur 2: Fordeler og ulemper elektrisk drift

## 4. HYBRID DRIFT AV TRAKTORER

Hybrid drift av traktorer er elektrisk i tillegg til forbrenningsmotor basert på fossilt drivstoff. Det er flere mulige kombinasjoner av hybrid drift av traktorer, men i denne rapporten er det tatt utgangspunkt i hybrid løsning med elektrifisering av både fremdrift og forbrukere (forbrukere omfatter her kupévarmere o.l.). Videre kan hybrid løsning deles inn i to grupper, ladbar og ikke-ladbar løsning. Begge disse vil være aktuelle for traktorer i landbruket, men ladbar hybrid vil ha størst potensiale for reduksjon av drivstofforbruk og utslipp, derfor er dette løsningen som behandles videre i dette kapitlet.

### 4.1 Teknologisk egnethet

Hybrid drift av traktorer er i dag tilgjengelig fra noen produsenter, og for noen få maskiner

Elektrifiseringen innebærer bruk av dieselmotor til drift av generator som igjen sørger for elektrisk forsyning til forbrukere om bord og til redskap koblet til traktoren. Elektrisitet erstatter helt eller delvis hydraulikk og mekanisk kraftoverføring.

Det er også noen eksempler på elektrisk fremdrift av traktorer, da mest for mindre og lettere maskiner.

Hybrid løsning anses å være godt egnet for traktorer. Det gjelder både for elektrifisering av redskap, vifter og pumper, samt fremdrift.

Vurdering av egnethet hybrid drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

#### 4.2 Teknologisk modenhet

Hybrid drift av traktorer anses som en relativt moden teknologi når det gjelder fremdriftssystemer. Dette er teknologi som er prøvd i biler og busser.

Elektrifisering av energiforbrukere på traktoren må anses å være mindre modne på det nåværende tidspunkt. Det pågår arbeid med å kvalifisere og standardisere løsninger for elektrifisering av traktor og redskap.

Vurdering av modenhet hybrid drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

#### 4.3 Egnethet knyttet til infrastruktur

Hybrid kondensatordatordrift av traktorer har i utgangspunktet ingen særskilte krav til infrastruktur. Det er å forvente at det vil utvikles ladbare hybridløsninger for tilkobling til strømmettet, noe som vil stille krav til elektrisk infrastruktur. Noe av utfordringen er at mange gårder er lokalisert langt fra knutepunkter i strømmettet og har begrenset elektrisk kapasitet frem til gården for hurtiglading av kjøretøyer. For traktorer som ikke brukes i gårdsdrift vil dette være annerledes.

Vurdering av egnethet knyttet til infrastruktur hybrid drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

#### 4.4 Utslipsreduksjoner

Konkrete utslipsreduksjoner knyttet til hybrid drift av traktorer er ikke vurdert. Produsentene selv hevder at hybrid løsning vil kunne gi drivstoffbesparelse og utslipsreduksjon i området 10-30%. Dette vil avhenge av i hvor stor grad traktoren elektrifiseres, og bruksområdet for traktoren.

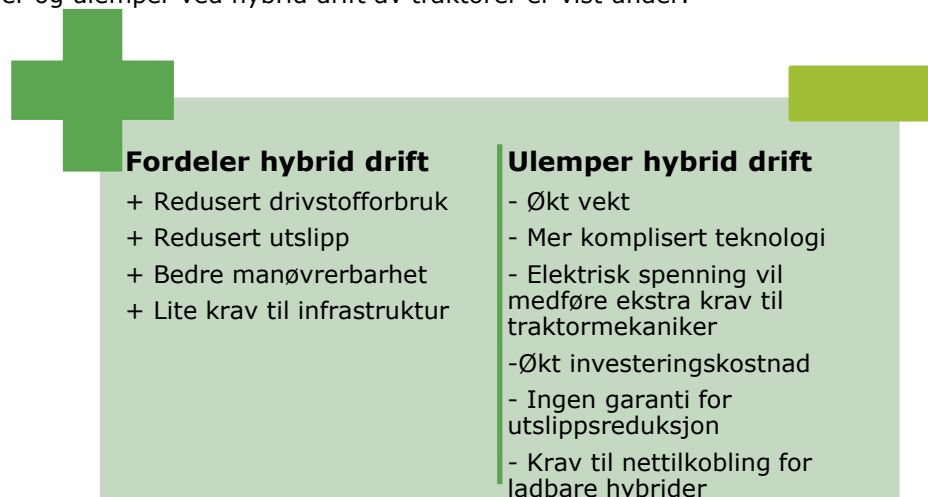
Vurdering av utslipsreduksjoner hybrid drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

#### 4.5 Kostnader og kostnadsutvikling

Konkrete kostnader knyttet til hybrid drift av traktorer er ikke vurdert. Investeringskostnadene til hybrid traktorer forventes å falle noe de kommende år. Dette baserer seg på forventning om at produksjonskostnadene vil falle når volumet øker, samtidig som batterikostnadene forventes å falle. Batterikostnader er omtalt i kapittel 2.

#### 4.6 Oppsummering av fordeler og ulemper

Fordeler og ulemper ved hybrid drift av traktorer er vist under.



Figur 3: Fordeler og ulemper hybrid drift

## 5. HYDROGEN DRIFT AV TRAKTORER

Hydrogen drift av traktorer innebærer bruk av hydrogen i både flytende og gassform, enten i en forbrenningsmotor eller i en brenselcelle. Hydrogen i gassform og brenselcelle er mest relevant for bruk i kjøretøyer.

### 5.1 Teknologisk egnethet

Der batteridrift har begrensninger i lagret mengde energi og rekkevidde, kan hydrogen lagres og har langt raskere fylletid. Dette gjør at rekkevidde, driftstimer og effekt på maskinene kan økes i forhold til elektrisk drift. Siden motoren fortsatt vil være elektrisk kan hydrogendrift også kombineres med batterier eller hybrid drift.

En brenselcelle trenger noe tid til oppvarming før den gir maksimal effekt, men vil generelt ha bedre kuldeegenskaper enn traktorer med batterielektrisk drift.

Det vil imidlertid, på grunn av hydrogenets fysiske egenskaper, være komplisert å lagre drivstoffet på gårdene, og lagring under høyt trykk vil kunne medføre risiko. Videre vil drift og vedlikehold kunne bli komplisert, med behov for spesialkompetanse ved motorhavari. Teknologisk egnethet er derfor betraktet som mindre god for traktorer.

Vurdering av egnethet hydrogen drift av traktorer i landbruket	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

### 5.2 Teknologisk modenhet

Hydrogen er en umoden teknologi for traktorer i dag. Hydrogen har lite fokus som en løsning for landbruksmaskiner blant maskinprodusentene og det er ikke, som Rambøll kjenner til, maskiner tilgjengelig på markedet i dag, med unntak av enkelte prototyper, for eksempel New Holland NH2.

Teknologien er imidlertid etablert og tilgjengelig for mindre kjøretøy, og anses derfor på sikt å bli tilgjengelig også for anleggsmaskiner som traktorer. Det vil kunne være et markedspotensial for hydrogen drift av traktorer, spesielt dersom man får løst utfordringene med distribusjon og lagring av drivstoff.

Det vil være behov for infrastruktur for distribusjon og fylling av hydrogen. Dette er ikke tilgjengelig i dag, men vil vokse fram med økt etterspørsel etter hydrogen for eksempel drevet av fremvekst av hydrogenbiler. Produksjon av hydrogen antas å øke i tiden fremover for å dekke etterspørsel fra transportsektoren.

Vurdering av modenhet hydrogen drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

### 5.3 Egnethet knyttet til infrastruktur

Stasjonær lagring av hydrogen fordrer at det investeres i spesielt tilpasset fylleutstyr, samt lagringstanker. Hydrogen trykkesett og fylles på stål- eller komposittflasker som kan transporteres og lagres. Gassen trykkesett til 700 bar for å minimere transportvolum og påfølgende transportkostnader [7]. Hydrogen bør være kommersielt tilgjengelig i nærområdet.

Vurdering egnethet i forhold til infrastruktur knyttet til hydrogen drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

#### 5.4 Utslippsreduksjoner

Det er ikke knyttet utslipp til direkte forbrenning ved bruk av hydrogenteknologi til fremdrift av kjøretøy.

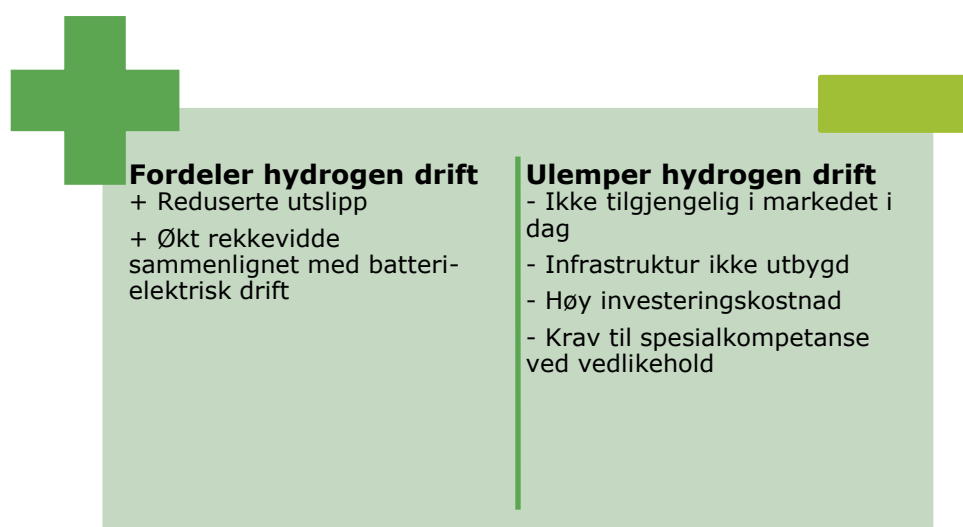
Vurdering av utslippsreduksjoner knyttet til hydrogen drift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

#### 5.5 Kostnader og kostnadsutvikling

Kostnader og kostnadsutvikling for hydrogen drift av traktorer er ikke vurdert.

#### 5.6 Oppsummering av fordeler og ulemper

Fordeler og ulemper ved hydrogen drift av traktorer er vist under.



Figur 4: Fordeler og ulemper hydrogen drift

## 6. TRAKTOR DRIFTET PÅ BIOGASS/BIOMETAN

Med biogass menes her den brennbare gassmiksen som produseres når organisk materiale brytes ned anaerobt (uten tilgang til oksygen). Biogass av drivstoffkvalitet omtales som **biometan**. Biometanet kan enten leveres som komprimert biometan (CBG) eller flytende biometan (LBG). Komprimert og flytende biometan vil være produkter som har samme egenskaper som komprimert og flytende naturgass (CNG og LNG). Løsninger med komprimert biometan er vurdert.

### 6.1 Teknologisk egnethet

Det finnes ulike typer motorer som kan bruke biometan som drivstoff. Motortypen som brukes mest i lette gasskjøretøy og i busser er Otto-motoren. Konsepter som finnes for dieselskjøretøy er motorer med høytrykksinnblåsning og dual-fuel motorer. En dual-fuel motor har i motsetning til motorer med høytrykksinnblåsning mulighet for ren dieseldrift og krever mindre dyre og sensitive komponenter [8]. Motoren kan benytte kun diesel som drivstoff. Ren gassdrift er derimot ikke mulig [9]. Rambøll har valgt å se nærmere på traktorer med dual-fuel motor i denne vurderingen.

Dual-fuel motorer som kombinerer diesel og biogassdrift gir god trekraft, også for de større maskinene. Rambøll gjennomførte i 2015 en undersøkelse av hvorvidt biometan forårsaker større driftsproblemer, i hovedsak for busser [10]. Blant de undersøkte aktørene var det for en leverandør meldt om oppstartsproblemer i kaldt vær [11]. Det er ikke, som Rambøll kjenner til, større utfordringer knyttet til kuldeegenskaper. Biometan kan lagres stasjonært, men krever at det investeres i ekstrautstyr for fylling av gass. I tillegg vil lagring av trykksatt metangass kunne med-

føre risiko og krever at det tas hensyn til sikkerhet. Imidlertid er trykkforholdene og lagringsbehovene mindre omstendelige enn for hydrogen. Det vil som for de øvrige motorteknologiene som er vurdert, være behov for spesialkompetanse ved motorhavari. For øvrig vil en overgang til dual-fuel drift gi lengre driftsintervaller og dermed mindre behov for vedlikehold sammenlignet med en dieselmotor [12]. Samlet vurderes teknologisk egnethet som god for denne teknologien.

Vurdering av egnethet biogassdrift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

## 6.2 Teknologisk modenhet

Teknologien er etablert og tilgjengelig for bussflåter, tyngre kjøretøy og personbiler, da i stor grad med Otto-motorer. Rambøll er kjent med at bl.a. Valtra produserer biogasstraktorer med dual-fuel drift i dag, men det er uklart om noen slike traktorer er i drift i Norge [13]. Utviklingen av Valtras dual fuel motor startet i 2008, og produksjon av et begrenset opplag traktorer for kommersiell drift ble igangsatt i 2013 [13]. Traktorene er i stadig utvikling, blant annet jobbes det med løsninger for å få ned metanutslipp fra motoren [14]. Rambøll antar med bakgrunn i dette at det vil finnes kommersiell dual-fuel-teknologi myntet på traktorer innen 2021, slik at teknologisk modenhet er vurdert som god for denne teknologien.

Vurdering av modenhet biogassdrift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

## 6.3 Egnethet knyttet til infrastruktur

Stasjonær lagring av biogass fordrer at det investeres i spesielt tilpasset fylleutstyr på gården, samt lagringstanker. CBG trykkesettes og fylles på stål- eller komposittflasker som kan transporteres og lagres. Gassen trykkesettes til 200-300 bar for å minimere transportvolum og påfølgende transportkostnader [15]. Biogassen må være kommersielt tilgjengelig i nærområdet, som betyr at det enten må være etablert en fyllestasjon for biogass i nærområdet, eller at det finnes en biogassprodusent som kan levere oppgradert biogass til traktoreieren. Som allerede nevnt vil lagring av trykksatt metangass kunne medføre risiko og krever at det tas hensyn til sikkerhet. Teknologien vurderes som middels egnet med hensyn til infrastruktur.

Vurdering av egnethet knyttet til infrastruktur for biogassdrift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
---	-----	---------	-----

## 6.4 Utslippsreduksjoner

Biogassens fortrinn er at den er fornybar, og dermed gir reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp sammenlignet med fossile drivstoff. Biogass er del av et mye kortere karbonkretsløp enn de fossile drivstoffene, som betyr at skogen og annen vegetasjon har kapasitet til å ta opp og forbinde det karbondioksidet som slippes ut ved forbrenning av biogassen. Fordelene med dual-fuel drift er økt utnyttelse av gass og renere forbrenning som gjør seg gjeldende spesielt ved landeveiskjøring. Arbeidskjøring med traktor medfører mye start og stopp som øker forbrukt dieselandel. I praksis kan det forventes at motoren forbruker omtrent 60 % biogass [9]. De resterende 40 % er dieselforbruk.

I perioden 2011-2014 har det svenske prosjektet MEKA (Metandiesel Efterkonvertering av Arbeidsmaskiner) undersøkt utslipp forbundet med bruk av dual-fuel motorer i traktorer. Resultatene ble presentert i rapportform i 2015, og viser at metanlekkasjer under drift er en utfordring som i noen tilfeller øker utslippene av klimagasser sammenlignet med dieseldrift. De nyere traktormodellene har gjennomført tiltak som reduserer metanutslippene, slik at problematikken knyttet til metanutslipp forventes å minke i fremtiden og etter hvert bli neglisjerbare. Med bakgrunn i dette vurderes teknologien til medium egnet som utslippsreducerende tiltak.

Vurdering av utslippsreduksjoner knyttet til biogassdrift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----



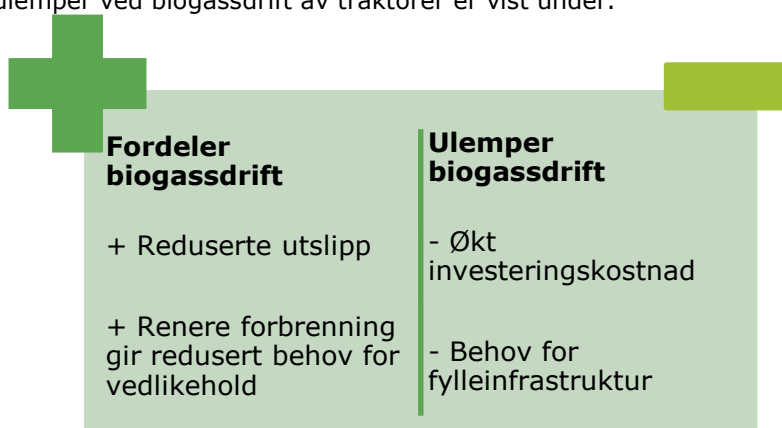
## 6.5 Kostnader og kostnadsutvikling

Traktorer med dual fuel teknologi vil i dag representere en merkostnad sammenlignet med traktorer med konvensjonell dieselmotor. Det svenske prosjektet MEKA har vurdert merkostnaden for investering i en traktor med dual-fuel teknologi til 200 000 SEK sammenlignet med investering i en dieseltraktor [16]. Bruk av biogass drivstoff og den litt lavere virkningsgraden knyttet til dual-fuel motoren bidrar også til merkostnader sammenlignet med anleggsdiesel og dieseldrift [16].

Vurdering av kostnadsreduksjoner knyttet til biogassdrift av traktorer i Norge	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

## 6.6 Fordeler og ulemper

Fordeler og ulemper ved biogassdrift av traktorer er vist under.



Figur 5: Fordeler og ulemper biogassdrift

## 7. TRAKTOR DRIFTET PÅ BIODRIVSTOFF

Med biodrivstoff menes i denne sammenhengen biodiesel. Det finnes flere typer biodiesel tilgjengelig på markedet i dag, som er aktuelle for traktorer. Et utvalg er gjengitt under:

- B7 (lavinnblanding, personbiler)
- B30 (høyinnblanding, tungtransport og flåtekjøretøy)
- B100 (høyinnblanding, tungtransport og flåtekjøretøy)
- ED95 (høyinnblanding, tungtransport og flåtekjøretøy)
- HVO100 (høyinnblanding, tungtransport og flåtekjøretøy)

Denne vurderingen er begrenset til å omfatte bruken av B7, det vil si konvensjonell diesel (i denne sammenhengen anleggsdiesel) med en innblanding av 7 % biodiesel. Biodiesel er antatt å bestå av raps, med bakgrunn i Miljødirektoratets oversikt over innrapporterte biodrivstoff i Norge i 2015, som viser at størsteparten av biodiesel importert til Norge i dag er rapsbasert [17].

### 7.1 Teknologisk egnethet

Norge har et krav til omsetning av biodrivstoff i all kommersiell autodiesel og bensin, og for diesel er kravet til innblanding 7% (B7). I praksis kan det blandes inn 7 % biodrivstoff i avgiftsfri diesel uten konsekvenser for motoren. B7 kan brukes i alle dieseldrevne kjøretøy uten at det medfører nevneverdige endringer verken i motorkraft, kuldeegenskaper eller lagring av drivstoffet [18]. Teknologisk egnethet er derfor vurdert som god.

Vurdering av egnethet knyttet til traktorer driftet på biodrivstoff i Norge (B7)	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

## 7.2 Teknologisk modenhet

Biodrivstoffet B7 har tilnærmet samme egenskaper som diesel og kan anvendes som drivstoff i eksisterende motorer. Teknologisk modenhet er derfor regnet som god for dette drivstoffet.

Vurdering av modenhet knyttet til traktorer driftet på biodrivstoff i Norge (B7)	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

## 7.3 Egnethet knyttet til infrastruktur

Bruk av biodrivstoff B7 vil ikke medføre nye krav til infrastruktur hos gårdbrukeren. Det må imidlertid være mulig å få tak i biodrivstoffet på en enkel måte, og helst på de samme fyllpunktene for drivstoff som bonden henter sitt anleggsgas fra i dag. Dette vil kreve en endring i infrastrukturen som omsettere av biodrivstoff må stå for. Det er ikke tatt hensyn til dette i Rambølls vurdering. Teknologien er vurdert som god.

Vurdering av egnethet knyttet til infrastruktur for traktorer driftet på biodrivstoff i Norge (B7)	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

## 7.4 Utslipsreduksjoner

Biodrivstoffet B7 er en blanding av 7 % biodiesel og 93 % anleggsgas, og gir derfor ikke store reduksjoner i verken klima- eller miljøutslipp sammenlignet med mange av de andre teknologiene. Sammenlignet med de andre teknologiene som er vurdert er denne teknologien vurdert til å gi lave utslipsreduksjoner.

Vurdering av utslipsreduksjoner knyttet til traktorer driftet på biodrivstoff i Norge (B7)	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

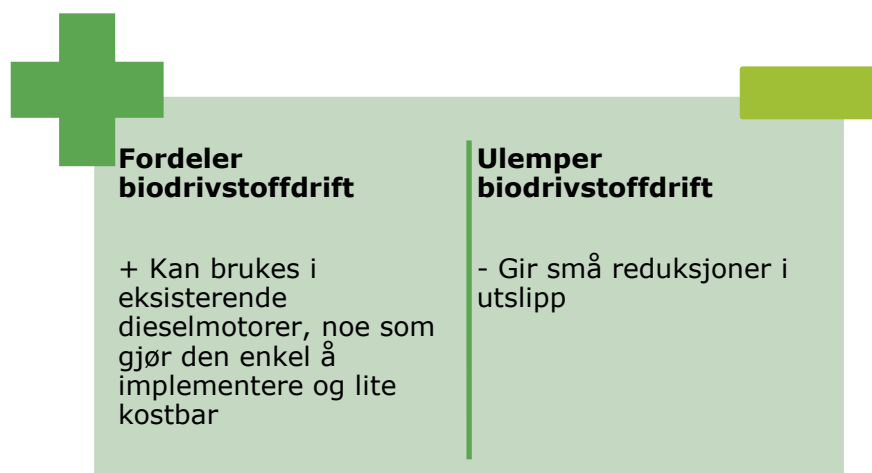
## 7.5 Kostnader og kostnadsutvikling

Traktorer på biodrivstoff B7 krever ikke at dieseltraktoren byttes ut og representerer derfor ikke noen merkostnad. Merknader knyttet til innføring av biodrivstoffdrift på traktorer kan være knyttet til drivstoffprisen. Teknologien innebærer lave kostnader sammenlignet med de andre teknologiene som er vurdert, og er derfor vurdert som god.

Vurdering av egnethet knyttet til infrastruktur knyttet til traktorer driftet på biodrivstoff i Norge (B7)	GOD	MIDDELS	LAV
--	-----	---------	-----

## 7.6 Fordeler og ulemper

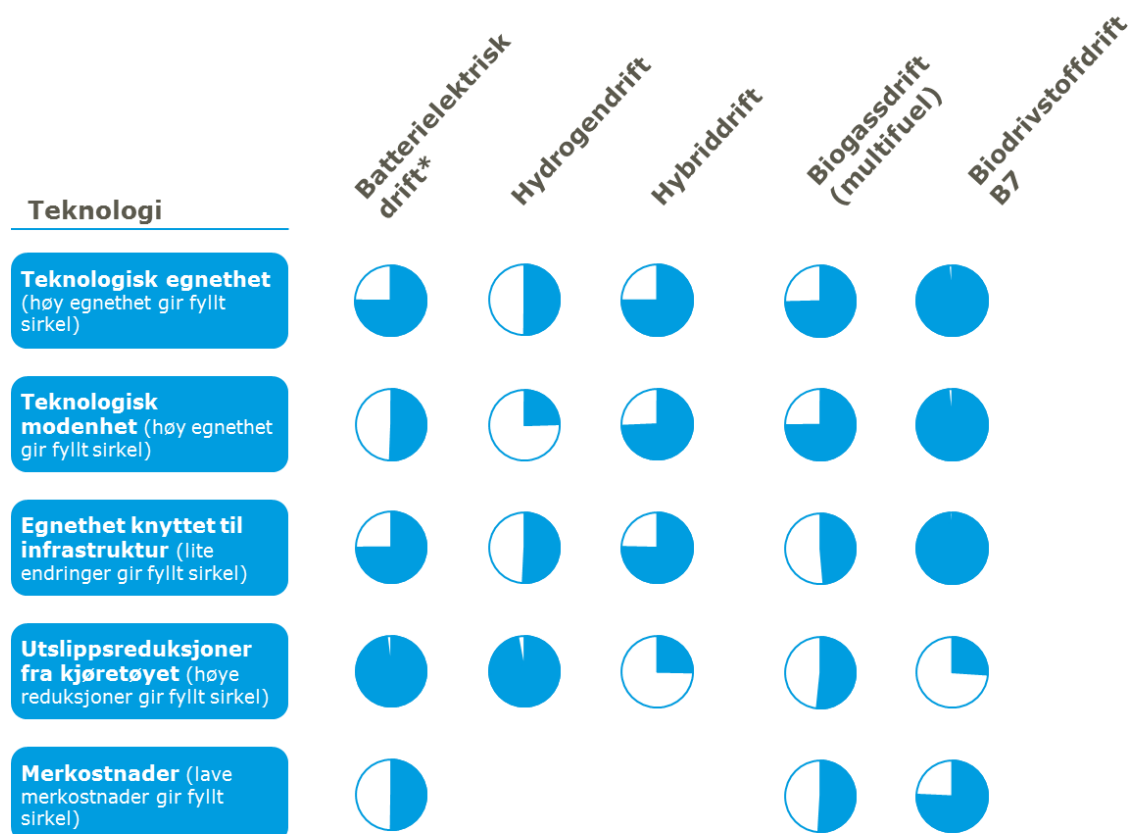
Fordeler og ulemper ved biodrivstoffdrift av traktorer er vist under.



Figur 6: Fordeler og ulemper biodrivstoffdrift

## 8. OPPSUMMERING OG TILTAK

Figur 7 oppsummerer mulighetsrommet for reduserte klimagassutslipp ved alternativ teknologi på traktorer. Fyllingsgraden i sirklene angir hvor «god» eller hvor «høyt» den enkelte teknologi scorer på de ulike vurderingskriteriene, som er listet til venstre.



\*Små traktorer, motorstørrelse < 56 kW

**Figur 7: Mulighetsrommet for reduserte klimagassutslipp ved alternativ teknologi på traktorer**

Teknologisk egnethet er vurdert med hensynt til motorkraft, kuldeegenskaper, effektiv lagring av drivstoffer, samt muligheter for å lagre drivstoffet lokalt.

Teknologisk modenhet er vurdert med tanke på innføring i 2021.

Egnethet knyttet til infrastruktur er avgrenset til å omfatte det den som eier/drifter traktoren må investere i. Drivstoffet må være tilgjengelig lokalt, noe som til dels er geografisk betinget.

Forventede utslippsreduksjoner er vist for direkte utslipp knyttet til kjøretøyet («tail pipe emissions»). Alle utslipp knyttet til drivstoffets livsløp, som produksjonsutslipp, transport m.m., er ikke inkludert. Dette er en forenkling som ikke nødvendigvis gir et riktig bilde av utslippene forbundet med teknologien. Det burde gjøres en mer omfattende vurdering av utslippsreduksjonene, enten en LCA for hver teknologi eller et mer omfattende litteratursøk.

Dagens kostnader er knyttet til investering i ny teknologi, samt merkostnader for drivstoff. Andre viktige kostnader som drift og vedlikeholdskostnader, kostnader knyttet til infrastruktur o.l. er ikke inkludert. Det har ikke vært mulig, innenfor de økonomiske rammene av dette prosjektet, å gjøre en grundig undersøkelse av merkostnaden for teknologi, og det er knyttet en betydelig usikkerhet til anslagene.

Basert på teknologivurderingen har Miljødirektoratet valgt ut 5 tiltak som Rambøll har beregnet utslippsreduksjoner og tiltakskostnader for. Disse fem tiltakene er

**1. Tiltak 1: Nysalg av små dieseldrevne traktorer skal over på batterielektrisk drift.**

En andel av nye dieseldrevne traktorer som selges fra og med år 2018 og som har små motorer (motorstørrelse < 56 kW) skal over på batterielektrisk drift. Det ble i løpet av utredningen avdekket at størrelsen og tyngden på batteripakken blir begrensende for hvor store motorer det er sannsynlig at kan gå over til batterielektrisk drift i 2018 (kap. 3.1). 8% av nye dieseldrevne traktorer som selges fra og med år 2018 og som har små motorer skal over på batterielektrisk drift i 2018, med gradvis innfasing til 100% i 2030 [19].

**2. Tiltak 2: Nysalg av større dieseldrevne traktorer skal over på kombinert biogass- og dieseldrift.**

En andel av nye dieseldrevne traktorer som selges fra og med år 2018 og som har større motorer (motorstørrelse > 56 kW) skal over på kombinert biogass- og dieseldrift med dual-fuel motor. I motsetning til batterielektrisk drift er dual-fuel drift egnet også for de større motorene. Det ble i løpet av utredningen funnet at en dual-fuel motor forbruker ca 60 % biogass og 40% diesel. 8% av nye dieseldrevne traktorer som selges fra og med år 2018 og som har større motorer skal over på kombinert biogass –og dieseldrift med dual fuel motordrift i 2018, med gradvis innfasing til 100% i 2030 [19].

**3. Tiltak 3: Eksisterende bestand av dieseldrevne traktorer skal over på biodiesel B7.**

Eksisterende bestand av dieseldrevne traktorer skal over på biodrivstoffet B7 (7% innblanding av biodiesel i konvensjonell diesel) i 2018. Biodieselet som er anvendt i dette tiltaket er RME (rape seed metyl ester). Som nevnt tidligere i rapporten er rape seed (raps) valgt fordi den utgjør størsteparten av andelen biodiesel i Norge i dag [17].

**4. Tiltak 4: Nysalg av større dieseldrevne traktorer skal over på kombinert biogass- og biodieseldrift.**

En andel dieseldrevne traktorer som selges fra og med år 2018 og som har større motorer (motorstørrelse > 56 kW) skal over på kombinert biogass- og biodieseldrift med dual-fuel motor. Dette tiltaket tilsvarer tiltak 2 med biodieselet B7 som erstatter for konvensjonell anleggsgas. 8% av nye dieseldrevne traktorer som selges fra og med år 2018 og som har større motorer skal over på kombinert biogass –og biodieseldrift med dual fuel motordrift i 2018, med gradvis innfasing til 100% i 2030 [19].

**5. Tiltak 5: Eksisterende bestand av dieseldrevne traktorer skal over på biodiesel HVO30.**

Eksisterende bestand av dieseldrevne traktorer skal over på biodrivstoffet HVO30 (30% innblanding av biodieselet HVO i konvensjonell diesel) i 2018. Dette tiltaket er ikke blitt vurdert i rapporten fordi det ikke var en del av den opprinnelige arbeidsomfanget til Rambøll. Underveis i prosjektet ble tiltaket foreslått tatt med fordi HVO30, på lik linje med B7, ikke krever at det gjøres modifiseringer i traktorens motor og øvrig infrastruktur på gården . Videre er HVO tilgjengelig på det norske markedet i dag og gir rom for en større utslippsreduksjon fordi innblandingprosenten er høyere sammenlignet med B7.

For tiltak 1, 2 og 4 er den samme innfasingstakten på 8 % av nye dieseldrevne traktorer over på alternativ teknologi i 2018 valgt for alle teknologiene. Innfasingstakten fra 2018 er bestemt av Miljødirektoratet, mens Rambøll har vurdert om innfasingen av de ulike tiltakene skal følge samme innfasingstakt. Rambølls vurdering av innfasing er gjort med bakgrunn i hvor moden teknologien anses å være i 2021 og videre frem mot 2030 (se kap. 3.2, 6.2 ). For å identifisere teknologisk modenhet kan ulike verktøy brukes. Alle trinn fra grunnleggende forskning til kommersialisering kan systematiseres. Technology Readiness Level (TRL) er en veletablert og anerkjent metode brukt for å identifisere modenhet for utvikling av teknologier, spesielt i USA, men også i EU i forbindelse med støtte til forskning og utvikling. I dette prosjektet har det ikke vært mulig å bruke en slik omfattende prosess som TRL innebærer. En forenkling, inndelt i de fire nivåene grunnleggende FoU, demonstrasjon/pilot, tidlig kommersialisering, og (sen) kommersiell teknologi har blitt brukt i vurderingen.

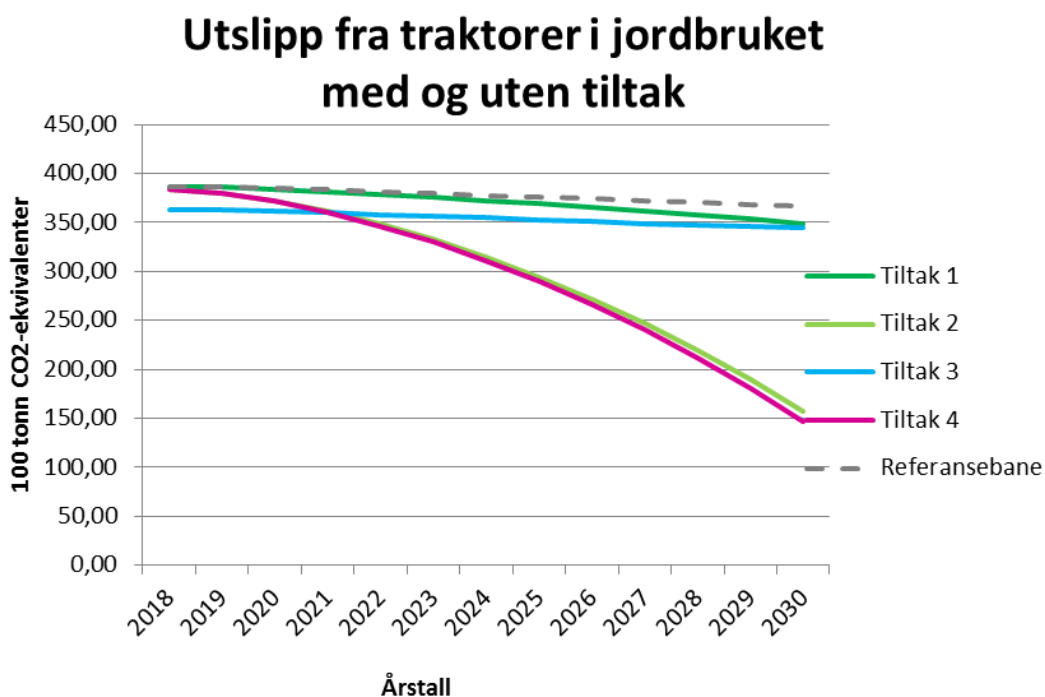
Både batterielektriske traktorer og traktorer med dual-fuel motorer som kombinerer biogass og diesel/biodiesel er vurdert til å ligge i tidlig kommersiell drift (se kap.1). Rambøll vurderer dermed at det ikke er hensiktsmessig å skille på innfasingstakten av disse tre tiltakene med de forenklingene som er blitt gjort.

Tabell 3 og figur 8 under oppsummerer effekten av de fem tiltakene. Utslippsreduksjonene er oppgitt som tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, og omfatter kyoto-gassene (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O). GWP-verdiene som er anvendt er hentet fra IPCC AR4, som Rambøll har fått fra Miljødirektoratet. Nederst i tabellen er Miljødirektoratets referansebane for utslipp knyttet til jordbruk, jakt og viltstell oppgitt. En oversikt over utslippsreduksjoner på komponentnivå er vist i vedlegg 1.

**Tabell 3: Utslippsreduksjoner for 5 ulike tiltak i landbruket i 2021 og 2030**

Tiltak	Utslippsreduksjon i 2021 tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	Utslippsreduksjon i 2030 Tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
<b>1</b>	1 900	17 800
<b>2</b>	22 500	210 000
<b>3</b>	23 700	22 700
<b>4</b>	23 600	220 000
<b>5</b>	6 500*	6 000*
<b>Referansebane</b>	383 700	366 700

\*kun CO<sub>2</sub> inngår i denne beregningen. Utslippsfaktor er hentet fra en annen kilde enn de øvrige tallene.



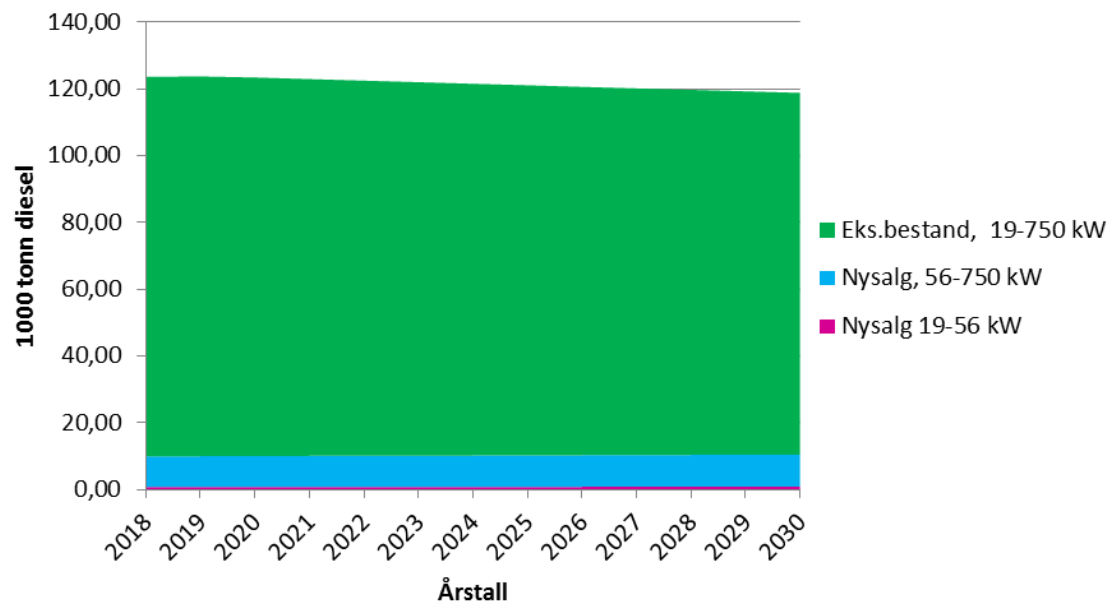
**Figur 8: Utslipp for traktorer i jordbruket med og uten tiltak**

Rambøll har ikke lyktes i å få tak i utslippsfaktorer for henholdsvis N<sub>2</sub>O og CH<sub>4</sub> som er representative for biodrivstoffet HVO. Tiltak 5 er derfor ikke sammenlignbar med de øvrige tiltakene i tabellen ettersom den ikke inkluderer utslippsbidrag fra CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O. Tiltaket er derfor ikke inkludert i figur 8. Videre er beregningen av utslippsreduksjoner for tiltak 5 basert på utslippsfaktorer fra en litteraturstudie og ikke ECOINVENT. Forutsetningene som ligger til grunn for utslippsfaktorene kan være lite sammenlignbare, bl.a. gjør teknologiutvikling på motorer det vanskelig å sammenligne utslippsfaktorer på tvers av årstall.

Utslippsreduksjonene ses i sammenheng med antall traktorer som finnes i de ulike kategoriene. Batterielektrisk drift gir sterkt reduserte utslipp, men ettersom andelen nysalg av små traktorer i

bestanden er liten blir total utslippsreduksjon tilsvarende liten. Dieselforbruket for traktorer fordelt på ulike motorstørrelser er illustrert i Figur 9. Beregningen av dieselforbruk er basert på Miljødirektoratets referansebane for klimagassutslipp for perioden 2018-2030. Drivstoffmengden er deretter fordelt mellom ulike motorstørrelser ved hjelp av data om traktorbestanden, eksisterende bestand og nysalg, hentet fra Selvig 2014 [2]. Som figuren viser er andelen nysalg av små traktorer i bestanden liten.

## Dieselforbruk fordelt på motorstørrelse



Figur 9: Dieselforbruk fordelt på motorstørrelse for dieseldrevne traktorer, eksisterende bestand og nysalg, per år.

## 9. SITERTE VERK

- [1] B. Steijvers, «Wikimedia,» [Internett]. Available: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1992755>. [Funnet November 2016].
- [2] E.Selvig, «Nasjonalt utslippsregnskap-ikke-veigående kjøretøy, maskiner, redskap og fritidsbåter. Delnotat: Traktorer, dieseldrift,» CIVITAS, 2014.
- [3] S. Sentralbyrå, «Statistisk Sentralbyrå - Jorbruksbedrifter med ulike typer traktor/motorslåmaskin,» SSB, 2016. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/lu/aar-forelopige/2016-02-17?fane=tabell&sort=nummer&tabell=256406>. [Funnet 11 November 2016].
- [4] «Gardsdrift.no; Bøndene eig kvar tredje traktor,» [Internett]. Available: <http://gardsdrift.no/b%C3%B8ndene-eig-kvar-tredje-traktor>. [Funnet 10 November 2016].
- [5] ECOINVENT, «Life cycle inventories of bioenergy. Data V2.0,» ECOINVENT, 2007.
- [6] Miljødirektoratet, «Tiltakskostnader for elbil, rapport M-620,» Miljødirektoratet, 2016.
- [7] *Samtale med Hexagon Lincoln*, Trondheim, 2016.
- [8] C. A. Power, «Clean Air Power,» [Internett]. Available: <http://www.cleanairpower.com/duel-technology.php>. [Funnet 1 September 2013].
- [9] C. Westport, «Cummins Westport,» [Internett]. Available: <http://www.cummins-westport.com>. . [Funnet 2 September 2013].
- [10] Rambøll, «CBG-krav til renhet. Driftsutfordringer og tiltak,» Rambøll, Trondheim, 2015.
- [11] M. e. al, «Gas Bus Technology and Operational Experiences in Helsinki Area,» Baltic Biogas Bus, 2012, 2012.
- [12] O. E.Einarson, «MEKA - biogasdrift i arbeidsmaskiner,» Jordbruksverket, Transportstyrelsen, 2014.
- [13] Valtra, «www.valtra.no,» 2016. [Internett]. Available: <http://www.valtra.no/618.aspx>. [Funnet 20 Oktober 2016].
- [14] E. E. et.al, «Biogassdrift i arbeidsmaskiner. Sluttrapport av regeringsoppdrag,» Jordbruksverket, 2015.
- [15] *Rambølls egen erfaring*.
- [16] S. T. O. ENghag, «Efterkonvertering av arbeidsmaskiner. Marknadsförutsätningar och förslag till styrmedel,» Jordbruksverket, Transportstyrelsen, 2011.
- [17] Miljødirektoratet, «Fakta om Biodrivstoff,» [Internett]. Available: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2016/Mars-2016/Fakta-om-biodrivstoff/>. [Funnet 20 Oktober 2016].
- [18] *Rambølls egne erfaringer*.
- [19] *Miljødirektoratet, mailkorresp. november-desember 2016*.
- [20] A.Peterson, «Biogas upgrading technologies - development and innovations,» IEA Bioenergy, Malmö, 2008.
- [21] W. Torres, «Hot gas removal of tars, ammonia and hydrogen sulfide from biomass gasification gas,» Science and engineering, pp.407-454, 2007.
- [22] S. G. Center, «Biogasfolder,» Svensk Gasteknisk Center, 2011.
- [23] Shell, «Natural gas - A bridging technology for future mobility?,» 2013. [Internett]. Available: <http://s05.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/natural-gas-wiener-motorensymposium-2013-english.pdf>. . [Funnet 1 November 2013].
- [24] S. Sentralbyrå, «Tabell: 07849: Registrerte kjøretøy, etter kjøringens art og drivstofftype (K),» SSB, 2016.

- [25] Traktor.no, «Utvikling i snitteffekt for traktorer fra 2012 til 2015,» [Internett]. Available: <http://www.traktor.no/traktorstatistikk/gjennomsnittstraktoren-har-passert-130-hestekrefter/>. [Funnet 20 Oktober 2016].
- [26] C. K, «Drivstoffpriser (listepris),» [Internett]. Available: [http://www.circlek.no/no\\_NO/pg1334073738687/business/milesDrivstoffbedrift/Priser.html](http://www.circlek.no/no_NO/pg1334073738687/business/milesDrivstoffbedrift/Priser.html). [Funnet 26 Oktober 2016].





**VEDLEGG 1**  
**UTSLIPPSREDUKSJONER FOR 5 ULIKE TILTAK I LANDBRUKET I 2021**  
**OG 2030, I TONN**

**Tabell 4: Utslippsreduksjoner for 5 ulike tiltak i landbruket i 2021, i tonn**

Tiltak	CO2	CO	CH4	N2O	NMVOC	PM10	PM2,5	NOx	SO2
<b>1</b>	1 900	4,11	0,02	0,02	0,98	0,04	0,42	17,11	0,06
<b>2</b>	22 430	48,49	0,29	0,14	10,75	0,42	4,95	200,16	0,64
<b>3</b>	23 651	53,90	0,32	0,01	7,57	0,18	2,20	-1,33	0,79
<b>4</b>	23 510	50,95	0,31	0,14	10,37	0,39	4,59	169,22	0,68
<b>5</b>	6 451	125,52	-	-	-	1,20	14,37	290,05	-

**Tabell 5: Utslippsreduksjoner for 5 ulike tiltak i landbruket i 2030, i tonn**

Tiltak	CO2	CO	CH4	N2O	NMVOC	PM10	PM2,5	NOx	SO2
<b>1</b>	17 750	38,38	0,23	0,17	9,13	0,33	3,96	159,63	0,56
<b>2</b>	209 260	452,39	2,73	1,34	100,27	3,89	46,16	1867,24	6,00
<b>3</b>	22 710	51,74	0,31	0,01	7,27	0,18	2,11	-1,27	0,76
<b>4</b>	219 330	475,34	2,86	1,34	96,78	3,61	42,81	1578,63	6,34
<b>5</b>	6 070	118,01	-	-	-	1,13	13,51	272,70	-