

MAJ 2020  
MIDTTRAFIK

# ANALYSE AF GRØN OMSTILLING FOR DE REGIONALE BUSSE

RAPPORT



MAJ 2020  
MIDTTTRAFIK

# ANALYSE AF GRØN OMSTILLING FOR DE REGIONALE BUSSE

RAPPORT

PROJEKTNR.

A132227

DOKUMENTNR.

1

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

22. maj 2020

BESKRIVELSE

Rapport

UDARBEJDET

CANG

KONTROLLERET

JGL

GODKENDT

CANG



# INDHOLD

1	Baggrund og formål	9
1.1	Denne rapport	10
1.2	Rapportens indhold	11
2	Baseline	12
3	Emissioner fra bustrafikken	16
3.1	Emissioner	17
3.2	Hvad opnås ved udskiftning til EURO VI-normen	18
4	Beregningsforudsætninger	21
5	Analyse og vurdering af alternativer	26
5.1	Syntetisk diesel	26
5.2	Biogas	30
5.3	Hybridbusser	37
5.4	Eldrevne busser	43
5.5	Brintbusser	55
5.6	Fordele og ulemper	58
6	Anbefaling	60
6.1	Øvrige forhold	62
6.2	Samlet	63
6.3	Scenarier	64

## Tabelliste:

Tabel 1	Bustyper, der anvendes til regional buskørsel. Kilde: Data fra Midttrafik	12
Tabel 2	Fordeling af årlige køreplankm og bustimer på finansieringskilde. Kilde: Data fra Midttrafik	13

Tabel 3	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) for den samlede, regionalt finansierede buskørsel i Midttrafik. Kilde: Data fra Midttrafik	15
Tabel 4	Udledning af CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) med forskellige teknologier (gennemsnitlig udledning/km) og opgjort for EURO V og EURO VI for at illustrere de markante effekter for kvælstofoxider og partikler, som EURO VI medfører. Tallene er baseret på, at en bus skønsomt i gennemsnit kører 3,4 km/liter diesel.	20
Tabel 5	Effekten for emission af CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) af at indføre EURO VI-busser som erstatning for eksisterende busser med lavere miljøstandard på de regionale ruter i Midttrafik. Beregnet på baggrund af udført og planlagt kørsel i 2019-2020. Kilde: Data fra Midttrafik	20
Tabel 6	TCO, beregnet på baggrund af 12 års kontraktperiode samt totale, årlige omkostninger for den regionale kørsel	24
Tabel 7	TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel	30
Tabel 8	Reduktion i CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede busstrafik i Midttrafik ved brug af syntetisk diesel i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes HVO til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik	30
Tabel 9	TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel	36
Tabel 10	Reduktion i CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede busstrafik i Midttrafik ved brug af biogas i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes biogas til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik	37
Tabel 11	TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel	43
Tabel 12	Reduktion i CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede busstrafik i Midttrafik ved brug af hybridbusser eller plugin hybrider, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes hybridbusser henholdsvis plugin hybrider til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik	43
Tabel 13	Karakteristika for en eldrevet, depot-charged bus	49
Tabel 14	TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel	51
Tabel 15	Reduktion i CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede busstrafik i Midttrafik ved brug af eldrevne busser (depot charge) sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes elbusser til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik	51
Tabel 16	Karakteristika for en eldrevet, opportunity-charged bus	53
Tabel 17	TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel	55
Tabel 18	Reduktion i CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede busstrafik i Midttrafik ved brug af eldrevne busser (Opportunity-charged) sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes elbusser til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik	55
Tabel 19	Vurdering af forskellige teknologier, deres respektive fordele og ulemper og egnethed i forhold til reduktion af miljøbelastningen fra den kollektive	

bustrafik. Udgangspunktet er en sammenligning med dieselbus (venstre kolonne), dvs. nødvendige investeringer, omkostninger og udfordringer mv. er beskrevet med en dieselbus som alternativ. Farverne og styrken indikerer, om noget er positivt (grønt) eller negativt (rødt) ift. diesel som reference 59

#### Figurliste:

Figur 1	Aktuel aldersfordeling på busser, der udfører regional buskørsel. Kilde: Data fra Midttrafik	13
Figur 2	Fordelingen af busser, der udfører regional buskørsel, på EURO-normer. Desuden viser figuren det gennemsnitlige antal køreplankm, som busser indenfor de forskellige standarder kører p.t. Kilde: Data fra Midttrafik	14
Figur 3	Referencemodel. Gennemsnitlig km-pris for en 12 m dieselbus (EURO VI) beregnet for en kontraktlængde på 12 år i Midttrafik	24
Figur 4	Fordelingen af de totale operatørudgifter på hovedelementer for den regionale buskørsel. Kilde: Midttrafik	25
Figur 5	Bus, der tanker HVO. Kilde: www.busworld.org	27
Figur 6	TCO/km for syntetisk diesel, HVO, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år	29
Figur 7	Foto af gasbusserne i Silkeborg. Kilde: Allan Ringgaard.	33
Figur 8	TCO/km for biogas og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år	36
Figur 9	Skitse af en Volvo plugin hybrid bus, der oplades ved hjælp af en pantografsløsning. Kilde: Insideevs.com	40
Figur 10	TCO/km for hybridbusser og plugin-hybrid busser og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år	42
Figur 11	Nominal batterikapacitet versus planlægningsmæssig kapacitet. 15-25 % af batteriernes nominelle kapacitet kan ikke udnyttes af hensyn til batteriernes levetid. Hvis de aflades for meget, reduceres antallet af mulige genopladninger. Herudover sker der en degenerering af batterier over tid på i størrelsesordenen 20 % og endelig skal der i en planlægningssammenhæng tages højde for evt. kommende køreplanjusteringer.	46
Figur 12	TCO/km for en depot-charged bus til sammenligning med en bus på fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år	50
Figur 13	Gennemsnitlige km-priser for en 12 m eldrevet opportunity-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år	54

#### Liste over forkortelser:

BtL	Biomass-To-Liquid, syntetisk diesel
CO/CO <sub>2</sub>	Kulite, giftig gas/Kuldioxid, klimagas
DPF	Diesel partikel filter
EURO III/IV/V/VI	Europæisk norm for emissioner fra tung trafik

1G/2G	1./2. generations biobrændstoffer, 2. generation er baseret på affald og ikke genanvendelige produkter
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil, syntetisk diesel
kWh	Kilowatt timer
NO <sub>x</sub>	Kvælstofoxider, sundhedsskadelige
PPM	Parts per million
TCO	Total costs of operation – totale køretøjsrelaterede driftsomkostninger.
VE	Vedvarende energi



# 1 Baggrund og formål

Ifølge den netop vedtagne klimalov skal Danmark levere 70% reduktion i udledningen af klimagasser i 2030 i forhold til niveauet i 1990. Transportsektoren står for en meget betydelig del af de samlede udledninger, og også i den kollektive trafik er der behov for en grøn omstilling frem mod 2025 og 2030. Midttrafik og Region Midtjylland har bedt COWI om at tilvejebringe et faktabaseret grundlag for at kunne træffe strategiske og politiske beslutninger om, hvordan indfasning af miljøvenlige teknologier ved de kommende udbud af regional buskørsel kan ske på en hensigtsmæssig måde.

Opgaven består af to overordnede dele:

- I Screening: En generisk analyse af fordele/ulemper ved relevante alternative drivmidler og teknologier med udgangspunkt i regionalbustrafikken i Midttrafik
- II Opstilling og gennemførelse af scenarieberegninger, der kan bidrage til en efterfølgende fastlæggelse af strategi for kommende udbud.

Del I I første del af projektet etablerer COWI et overblik over muligheder og perspektiver ved forskellige drivmidler og teknologier og deres anvendelse i den regionale bustrafik i Midttrafik. Hvad er realistisk og relevant, og hvilke fordele og ulemper indebærer de respektive alternativer? Resultaterne præsenteres i denne rapport.

Del II Dernæst drøfter COWI sammen med Midttrafik og regionen, hvilke scenarier, der er mest interessante for regionen at få belyst og kvantificeret. Afsættet vil bl.a. være de foreliggende, nationale klimamål, der kræver ændringer fra 2025 og igen fra 2030. Beskrivelse af scenarier, beregningsforudsætninger og -resultater præsenteres i en særskilt rapport, hvor basisoplysningerne hentes fra den generiske analyse, der beskrives og afrapporteres i nærværende rapport.

Scenarieberegningerne vil særligt sætte fokus på de miljømæssige effekter, der kan opnås og den tilhørende driftsøkonomi for regionen. Hensigten er overordnet set at lette arbejdet med at rammesætte de kommende udbud.

## 1.1 Denne rapport

I denne rapport beskriver COWI de overordnede, tekniske og driftsmæssige aspekter af de mest relevante og aktuelle alternativer til diesel som drivmiddel. Regionen og Midttrafik har en ambition om, at omstillingen til mere klimavenlig drift skal ske under hensyntagen til, at den planlagte og forventede drift kan realiseres i praksis både i omstillingsfasen og efterfølgende. De valgte løsninger skal teknisk set kunne fungere uden væsentlige problemer, de skal være økonomisk realistiske, og de skal så vidt muligt også imødekomme andre miljømæssige problemer som luftforurening og støj.

Alternative drivmidler

Følgende alternative drivmidler indgår i screeningen:

- > Syntetisk diesel (HVO)
- > Naturgas/biogas
- > Eldrevne løsninger (depotopladning eller opladning på ruten)
- > Hybrider
- > Brint.

Emner, der vurderes

Udover fokus på miljømæssige og driftsøkonomiske aspekter, vurderer vi andre væsentlige fordele og ulemper, der må forventes at kendetegne de nævnte bussteknologier i perioden frem til de kommende udbud. Følgende emner er inddraget i udredningen:

- > Drivmidlets fremstilling
- > Miljøbelastning generelt, herunder emissioner af CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partikler og støj
- > Andre driftsaspekter som passagerkomfort samt energiforbrug til varme og aircondition i busserne
- > Nødvendige investeringer og forventet driftsøkonomi
- > Flexibilitet for kunder og planlægning, forsyningssikkerhed (opetider) og begrænsninger af køremønstre
- > Tilhørende rammebetingelser, herunder overordnet organisering samt udbuds- og ejerforhold i den offentlige bustrafik
- > Infrastruktur og tilgængelighed i forhold til lokalisering af tankanlæg (tomkørsel)
- > Modning af teknologier og vurdering af kommende udvikling.

Vi har taget afsæt i tidligere projekter, hvor vi har afdækket karakteristika om alternative drivmidler, idet vi samtidig har ajourført os med ny viden og sikret, at de økonomiske nøgletal vi anvender, er udtryk for dét, der kan forventes aktuelt.

Baseline

Som en del af analysen har COWI sammen med Midttrafik etableret en *baseline* for emissioner fra den regionale bustrafik i dag. Det gør det muligt at opgøre de forventede, miljømæssige effekter ved at indføre nye teknologier.

Herudover har vi fastlagt en økonomisk referencemodel, som anvendes til beregningsmæssigt at opgøre og sammenligne de økonomiske effekter af at implementere alternative teknologier i forhold til i dag. I den økonomiske

referencemodel er udgangspunkt den gældende køreplan med det nuværende driftsomfang.

Diesel som reference Den nuværende, bedste dieselt teknologi på markedet (EURO VI) er anvendt som reference i forhold til de gennemførte analyser og vurderinger af driftsøkonomiske- og miljømæssige effekter for alternative drivmidler.

## 1.2 Rapportens indhold

Indledningsvist beskrives i Afsnit 2 baseline for drift og emissioner fra den regional finansierede bustrafik i Region Midtjylland. Hvad er de vigtigste karakteristika i forhold til effekterne af en fremtidig grøn omstilling og hvordan ser de driftsøkonomiske forudsætninger ud.

Dernæst beskrives i afsnit 3 en række forhold, som vurderes at være væsentlige for at forstå de miljømæssige sider af den samlede problemstilling, herunder en kort redegørelse for de væsentligste ulemper ved den kollektive bustrafik i forhold til klimaforandringer og sundhedsskader, forårsaget af lokal luftforurening.

I afsnittet beskrives desuden, hvad den nye EURO VI-norm må forventes at betyde for den samlede emission af sundhedsskadelige stoffer.

I afsnit 4 redegøres for de anvendte beregningsforudsætninger for den komparative del af rapporten.

I afsnit 5 gennemgås og vurderes de udpegede alternative drivmidler og -teknologier. Vurderingen er baseret på de forventede miljømæssige effekter, de forventede økonomiske aspekter og investeringer samt andre forhold, der anses for at udgøre fordele/ulemper ved forskellige teknologier. Viden er her baseret på danske erfaringer samt erfaringer fra andre relevante aktører internationalt.

Vi ser nærmere på, hvordan de udvalgte teknologier i givet fald vil kunne tages i anvendelse, herunder en vurdering af de væsentlige styrker og svagheder i forhold til den givne busdrift. Vi ser også nærmere på lokale forhold omkring produktion af drivmidlerne, tilstrækkelige leverancer og evt. nødvendig transport og oplagring.

Overvejelser om indførelse af eldrevne busser kræver nøje vurdering af vognløb og ture i relation til sikring af den nødvendige batterikapacitet. En sådan vurdering kan ikke gennemføres inden for rammerne af denne generiske beskrivelse. For at kunne sammenligne eldrevne løsninger med andre alternativer er beregningsteknisk antaget, at elbusserne i en tænkt situation vil kunne erstatte de nuværende dieselbusser i forholdet 1:1.

Anbefaling Analyserne afsluttes i Afsnit 6 med en opsamling af de fundne resultater og en anbefaling til, hvilke(n) teknologi(er), der mest hensigtsmæssigt kan tages i anvendelse for at understøtte en grøn omstilling. I vurderingen indgår bl.a. de forventede økonomiske konsekvenser af at reducere udledningen af klimagasser.

## 2 Baseline

**Dataindsamling** Midttrafik har leveret data om de nuværende, overordnede driftsforhold. Disse data anvendes til at tegne et billede af baseline, dvs. det aktuelle udgangspunkt, hvad angår energiforbrug og emissioner for den regionale busdrift.

**Kørsel** Data vedrørende køreplantimer og køreplankm er generelt opgjort for perioden fra 1. juli 2019 og frem til 30. juni 2020. Det betyder, at opgørelserne dels indeholder data for den faktisk, udførte kørsel med driftsbusser, reservebusser og dubleringsbusser for perioden fra 1. juli 2019 til udgangen af 2019, dels indeholder data for den planlagte kørsel i foråret 2020 frem til 30. juni.

Tomkørsel og garagekørsel er ikke medregnet i opgørelserne.

**Aktuel buskørsel** I Region Midtjylland udføres den regionale, kollektive bustrafik med i alt 258 kontraktbuser. 141 af disse busser kører udelukkende på regionale ruter, og betjener alene vognløb og ture, hvor regionen finansierer det samlede driftsunderskud. De øvrige 117 busser betjener både regionale vognløb og vognløb, som finansieres af andre end Region Midtjylland – dvs. kommuner og naboregionerne. Der er kørsel på 85 regionale ruter i alt.

Samlet set udgør den regionale kørsel ca. 87 % af den samlede kørsel, som de i alt 258 busser udfører. Og for de 117 busser, der både kører regional kørsel og andet kørsel, udgør den regionale kørsel godt 2/3 af kørslen. Den resterende tredjedel er kørsel for kommuner eller andre trafiksselskaber.

**Reservebuser mv.** I tilknytning til de 258 kontraktbuser er der en pulje af reservebuser, der også i mindre omfang benyttes som dubleringsbuser. Det drejer sig om ca. 40 busser (ca. 15% af kontraktbuserne) og de er alle af samme standard som kontraktbuserne. Puljen af reservebuser indgår ikke i beregningerne, da de alene erstatter en kontraktbus og således udfører kørsel i stedet for en kontraktbus. Omfanget af dubleringskørsel med reservemateriellet er ikke opgjort, men vurderet meget lavt og således med ringe betydning for de samlede konklusioner.

**Bustyper** Kørslen udføres hovedsageligt af landevejsbuser, se Tabel 1. De 222 højgulvsbuser er blandede busser, både hvad angår størrelse, alder, indretning mv. Knap 50 % af disse busser er 12 meter busser, ca. 35 % er 13 meter busser, og de resterende varierer fra 13,5 – 15 meter.

Der er samlet 18 laventrébuser, hvor 14 af dem er 18 meter busser med plads til 126 siddende og stående passagerer. De betjener alle rute 100 og 123. De resterende 4 laventrébuser er 13,7 meter lange og har plads til 104 passagerer i alt. De betjener også rute 100. De 18 X-buser er typisk busser på omkring 13 meter med 45-49 siddepladser samt en række ståpladser.

*Tabel 1 Bustyper, der anvendes til regional buskørsel. Kilde: Data fra Midttrafik*

Bustyper	Højgulv	Laventré	X-busser	Sum
Antal busser	222	18	18	258

**Køreplankm**

Samlet udfører de 258 busser årligt ca. 26,5 mio. køreplankm, heraf ca. 23,1 mio. køreplankm, som udelukkende er regional kørsel. De busser, der anvendes til at udføre regional buskørsel, kører således i gennemsnit ca. 103.000 køreplankm årligt. Heraf udgør regionalt finansieret kørsel ca. 89.700 km årligt som et gennemsnit.

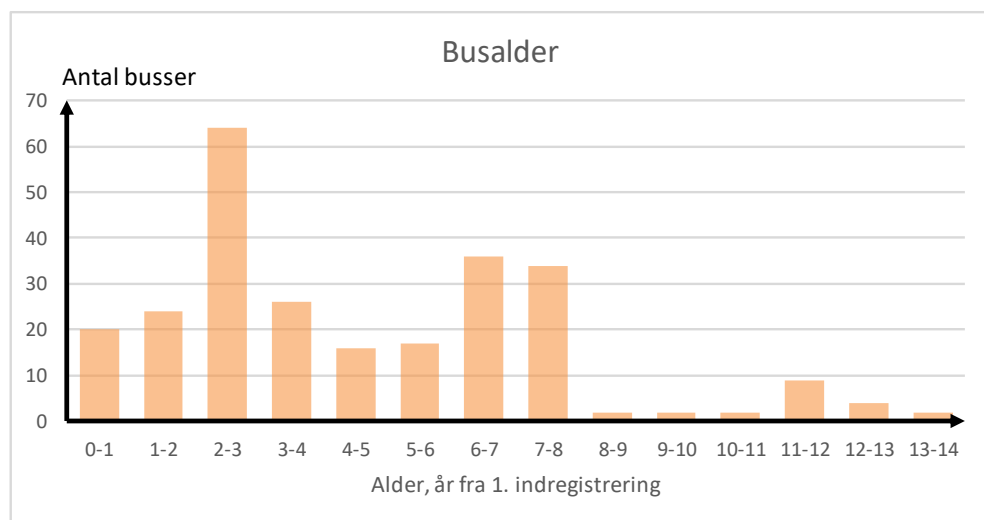
Sammenholdt med andre danske trafikkselskaber er et gennemsnitligt kørselsomfang på mere end 100.000 km årligt pr. kontraktbus udtryk for en ret effektiv udnyttelse af kørselsmateriellet. Der er køreplanlagt ca. 568.000 køreplantimer årligt, som regionen finansierer. Det svaret til ca. 2.200 timer pr. bus i gennemsnit. Den gennemsnitlige køreplanhastighed er beregningsmæssigt ca. 40,8 km/t. Se i øvrigt Tabel 2.

Tabel 2 Fordeling af årlige køreplankm og bustimer på finansieringskilde. Kilde: Data fra Midttrafik

Finansiering af kørsel	Antal busser	Antal køreplankm	%	Antal køreplantimer	%
Region Midtjylland	141	15.038.800	56,7 %	381.560	58,8 %
Region Midtjylland	117	8.098.800	30,5 %	186.210	28,7 %
Øvrige		3.387.000	12,8 %	81.100	12,5 %
I alt	258	26.524.700	100,0 %	648.870	100,0 %
I alt for Region Midtjylland	258	23.137.600	87,2 %	567.770	87,5 %

**Busalder**

I øjeblikket er busserne gennemsnitligt ca. 4,5 år gamle, og der er en høj andel af ret nye busser. Der er kun ganske få busser over 8 år, se Figur 1.



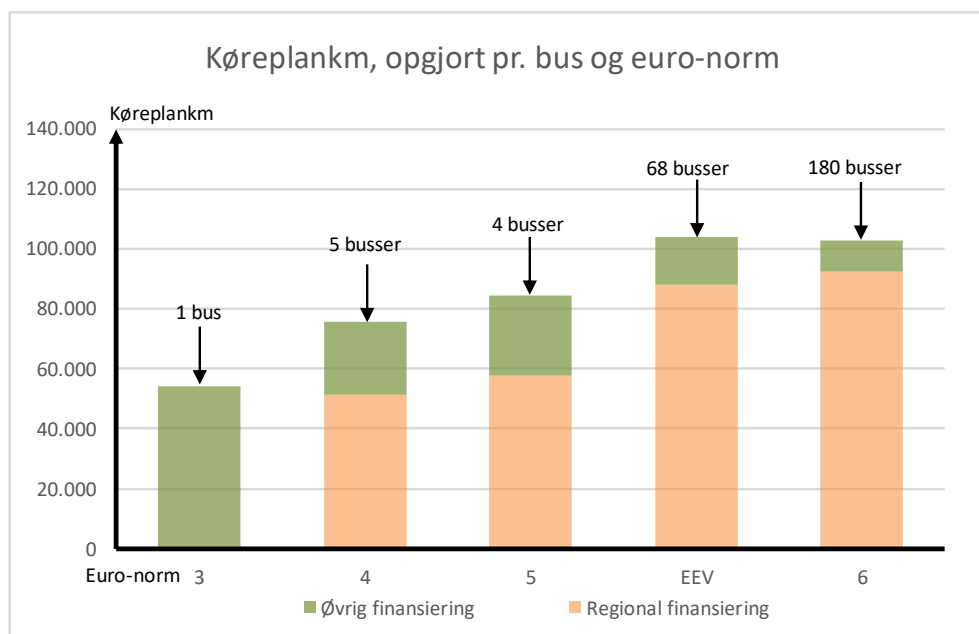
Figur 1 Aktuel aldersfordeling på busser, der udfører regional buskørsel. Kilde: Data fra Midttrafik

**EURO-norm**

I Figur 2 er vist en opgørelse af bussernes EURO-norm sammenholdt med det årlige antal kørte og planlagte køreplankm pr. bus i de respektive emissionskategorier.

Det kan beregnes, at ca. 98 % af den samlede kørsel udføres med busser, der enten er EEV (et såkaldt *Enhanced Environmental Friendly Vehicle*) eller opfylder EURO VI-standarden<sup>1</sup>. Kun 10 busser efterlever lavere emissions-standarder.

Ser vi alene på den regionalt finansierede kørsel, så benyttes busserne med den nyeste og bedste miljøstandard til at udføre størstedelen af kørselsomfanget på ruterne. EURO VI busser kører i gennemsnit godt 92.000 km årligt, EEV-busser kører ca. 88.000 km årligt, mens EURO V og IV busserne kun kører ca. 58.000 km hhv. ca. 51.000 km årligt. Kørslen er tydeligvis tilrettelagt, så busser med de dårligste miljø- og klimamæssige egenskaber kører færre km end busser med bedre standard.



Figur 2 *Fordelingen af busser, der udfører regional buskørsel, på EURO-normer. Desuden viser figuren det gennemsnitlige antal køreplankm, som busser indenfor de forskellige standarder kører p.t. Kilde: Data fra Midttrafik*

## Energiforbrug

Energiforbruget for busserne er opgjort på baggrund af indberetninger fra operatørerne, hvor de har oplyst aktuelle forbrugstal for deres respektive busser.

Disse forbrugstal er efterfølgende koblet med opgørelserne af kørsel, som de forskellige busser har udført og planlægges at udføre i den nævnte periode. På den måde er bussernes energiprofil og respektive kørsel blevet sammenvægtet i beregningen af et samlet gennemsnit for energiforbruget.

<sup>1</sup> De såkaldte EEV-busser (Enhanced Environmentally Friendly Vehicle) opfylder en emissionsnorm, der ligger mellem EURO V og VI-normerne. EEV-normen svarer til EURO V hvad angår værdier for CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>, mens udledningen af partikler (PM) er ca. 1/3-del lavere, end for en EURO V bus. I beregningerne i denne rapport er forudsat, at emissionen fra disse busser svarer til EURO V, da TEMA2015-modellen ikke indeholder modelberegninger for en EEV-bus. Dernæst har vi fratrukket 1/3 af partikel-emissionerne for at få så retvisende et billede af dagens situation.

Samtlige 258 busser, der anvendes til den regionale kørsel, benytter diesel som drivmiddel.

Beregnet som et vægtet gennemsnit af antal køreplankm, kører busserne på de regionale ruter i Midttrafik ca. 3,4 km pr. liter diesel (regionalt finansieret kørsel).

CO <sub>2</sub> emissioner	Opgørelser af CO <sub>2</sub> -emissioner fra den aktuelle drift er baseret på CO <sub>2</sub> -indholdet i fossil diesel, dvs. den mængde CO <sub>2</sub> , der udledes, når 1 liter diesel forbruges i en forbrændingsmotor. Der er i beregningerne taget højde for et vist indhold af biobrændstof i den diesel, der findes på det danske marked (B7). For biobrændstofandel er udledningen af CO <sub>2</sub> lavere end for den rene, fossile diesel.
Luftforurening	Opgørelser af NO <sub>x</sub> - og partikelemissioner er baseret på COPERT <sup>2</sup> modellen. COPERT 4 er den seneste version af et officielt modelværktøj, udviklet under 'The European Environment Agency'. Modellen anvendes til at beregne luftforurening og udledning af drivhusgasser fra vejtrafik, og data herfra er baseret på standardiserede, konsistente og sammenlignelige procedurer, der efterlever kravene i de internationale konventioner og protokoller.
Aktuelle emissioner	De aktuelle emissioner fra den regionale buskørsel i Midttrafik er opgjort i Tabel 3.

*Tabel 3 CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) for den samlede, regionalt finansierede buskørsel i Midttrafik. Kilde: Data fra Midttrafik*

	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler (PM)
Årlig udledning	Ton	Ton	Kg
Regionalt finansieret kørsel	17.840	30,4	202

<sup>2</sup> Officielt modelværktøj, udviklet under 'The European Environment Agency'.

### 3 Emissioner fra bustrafikken

Målet om et renere miljø sætter fokus på en problemstilling, der i denne sammenhæng omfatter produktion af alternative drivmidler, distribution af drivmidler, forbrænding af drivmidlerne i motorerne og endelig emission af restprodukter fra forbrændingen.

For Midttrafik handler det ikke så meget om teknikken omkring selve produktionen af alternative drivmidler, eller om teknikken i de motorer, der er nødvendige i busserne. Det handler derimod om helt overordnet at begrænse de samlede miljømæssige effekter (emissionerne), hvordan det kan ske i praksis, og hvad det vil kræve økonomisk og på anden vis.

Med i den vurdering hører dog også overvejelser om, hvordan produktionen af drivmidlerne sker, og om produktionen og brugen af de alternative drivmidler efterlever gældende og forventede krav.

Krav til biobrændstoffer

Hvad angår biobrændstoffer er der i dag et omsætningskrav til vejtransporten som betyder, at selskaber, som formidler brændstoffer skal sikre, at mindst 5,75 % af den årlige omsætning er biobrændstof<sup>3</sup>. Denne andel kan stige til 10 % fra 2020<sup>4</sup>. Ydermere gælder, at biobrændstoffer, som er produceret på affald, rester, cellulose og lignocellulose (ofte benævnt 2.-generations biobrændstoffer) tæller dobbelt i opfyldelsen af forpligtelsen og derved giver et klart incitament til at være miljøbevidst i sin produktion af brændstof og i sin brug af energi i det hele taget.

Endvidere skal leverandørerne i henhold til brændstofkvalitetsdirektivet årligt indberette om de leverede mængder og typer af brændstoffer (både fossile brændstoffer og brændstoffer baseret på vedvarende energi, herunder biobrændstoffer) og deres emissioner. Kravene til indberetning er ligeledes fastsat i bekendtgørelse nr. 370 af 18. april 2017.

Råvarerne til biobrændstoffer må ikke dyrkes på arealer, som har høj biodiversitet eller et højt carbonindhold, (f.eks. regnskov). Man må altså ikke drive "rovdrift" på naturen eller fortrænge en mad- eller foderproduktion for at skaffe sig adgang til arealer til brug for produktion af biobrændstoffer. Dette er i tråd med et EU-direktiv fra 2015, som begrænser brugen af de madbaserede konventionelle biobrændstoffer, og som i stedet fremmer en overgang til avancerede biobrændstoffer, baseret på affald mv.

<sup>3</sup> Lov om bæredygtige biobrændstoffer, Lov n. 468 af 12. juni 2009. Opgjort som energiprocent

<sup>4</sup> VE-direktiv 2009/28/EF pålægger EU's medlemsstater et bindende mål om 10 % vedvarende energi i landtransporten fra 2020. Den vedvarende energi kan udgøres af biobrændstoffer, som blandes i benzin, diesel, og naturgas men kan f.eks. også være elektricitet fra vindmøller, der anvendes i tog og elbiler.



### 3.1 Emissioner

Typisk adresseres to vigtige miljøproblemer fra transportsektoren. Det ene er klimaforandringer forårsaget af global opvarmning, det andet handler om sundhedsskader, forårsaget af lokal luftforurening.

#### Global opvarmning

Den globale opvarmning, som hovedsagelig skyldes CO<sub>2</sub>-udledningen, er en generel problemstilling, hvor udledningen af CO<sub>2</sub> er lige skadeligt, uanset om det sker i landområder eller i tætte byområder.

CO<sub>2</sub>-emissioner kan ikke reduceres ved at rense udstødningsrøgen. Løsningen er i stedet at anvende vedvarende energi eller fossilfri drivmidler, der for nogle vedkommende er CO<sub>2</sub>-neutrale, fordi der forud er forbrugt CO<sub>2</sub> i den proces, hvor drivmidlet blev dannet.

Biobrændsler er her oplagte løsninger, afhængigt af, hvordan det biologiske indhold bliver til og håndteres. Med de brændstoffer, der produceres i dag kan der opnås betydelige reduktioner med hensyn til CO<sub>2</sub>.

Tilsvarende gode resultater kan opnås med el til eldrevne busser, hvis produktionen af el vel og mærke baseres på vedvarende energi. I 2017 leverede vindmøller 43 % af det samlede elforbrug i Danmark, og det var aktuel verdensrekord<sup>5</sup>. I 2018 var det tilsvarende tal 41 %. Til gengæld leverede solen 4 % af det samlede elforbrug i 2018 mod 2 % i 2017. 2019 blev igen et rekordår, hvor vindmøller leverede 47 % og solen 3 % af det samlede energiforbrug<sup>6</sup>. I praksis betyder det, at strømmen i det danske elnet giver anledning til en udledning, der svarer til ca. 150 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Som forbruger kan man købe certifikater, der dokumenterer, at den forbrugte mængde strøm annullerer en kvote i EU-systemet, som dernæst annulleres. Eller hvor merprisen for certifikatet bruges til at sikre nye, ekstra investeringer i vedvarende energi. En stor del af elproduktionen kommer i forvejen fra vindmøller, så det er først, når man gennem elregningen støtter en udbygning af bæredygtig energi, at strømmen kommer i de bedste bæredygtighedskategorier.

Efter vores oplysninger, er strømmen til de eldrevne busser i Danmark ikke certificeret i øjeblikket. Den anvendte strøm medfører med andre ord en CO<sub>2</sub>-udledning som beskrevet ovenfor.

#### Lokal forurening

Forurening af luften fra bussernes udstødning har også direkte negative helbredsmæssige virkninger på mennesker og dyr, især på grund af emissioner af NO<sub>x</sub> og partikler. Disse skadevirkninger har mere lokal karakter og er derfor større i byområder, hvor befolkningstætheden er langt større end i landområder.

Der er primært to muligheder for at reducere forureningen: For det første kan de skadelige stoffer renses væk fra udstødningsrøgen ved brug af katalysatorer

<sup>5</sup> Energi-, Forsynings- og Klimaministeriets hjemmeside, 11. januar 2018

<sup>6</sup> <https://www.dr.dk/nyheder/viden/klima/halvdelen-af-danmarks-elforbrug-daekkes-nu-af-vind-og-sol>, 2. januar 2020

og filtre. På den måde kan man anvende stort set de samme typer af busser og motorer, som anvendes i stor skala i dag.

Der kan også anvendes helt andre typer af motorer, f.eks. elmotorer, som anvendes i el- og brintbusser, og som slet ikke har nogen skadelige emissioner fra udstødningen, dér hvor busserne kører.

## Støj

Når det handler om støjemission fra busser, har nogle drivmidler og teknologier fordele frem for andre. Målinger viser, at eldrevne busser støjer betydeligt mindre end dieselbusser, når de alene anvender elmotorer. En dieseldrevet bus udleder typisk ca. 7 dB(A) mere støj end en eldrevet bus - 74 dB(A) mod 67 dB(A)<sup>7</sup>. Til sammenligning svarer den almindelige trafikstøj fra en gade til ca. 65 dB(A)<sup>8</sup>.

Gasbusser udleder også mindre støj end dieselbusser. Oplysninger fra nogle af producenter indikerer et niveau, der ligger på ca. 3 dB(A) under niveauet for tilsvarende dieselbusser<sup>9</sup>.

I denne rapport er udledningen af støj anført for de undersøgte drivmidler, idet emnet ikke behandles med yderligere detaljer.

## 3.2 Hvad opnås ved udskiftning til EURO VI-normen

Som led i at reducere luftforureningen fra vejtrafikken er der på EU-niveau vedtaget et sæt af emissionsnormer, som køretøjerne skal overholde. Normerne indeholder maksimumgrænser for hvor meget køretøjerne må forurene med forskellige stoffer, bl.a. NO<sub>x</sub> og partikler (PM). Normerne gælder også for Danmark og betragtes som en veletableret standard.

1. januar 2015 trådte den nye EURO VI norm i kraft. Hverken den tidligere EURO V eller den nye EURO VI norm forholder sig til udledningen af CO<sub>2</sub> og energiforbruget. Men i forhold til målene om reduktioner for NO<sub>x</sub> og PM, har den nye norm stor betydning. Med EURO VI-normen er der dels indført strengere krav til de allerede regulerede emissioner, dels indført en række nye testkrav, herunder Off-cyklus test og test under brug, som skal give et mere retvisende billede af de reelle emissioner.

Konkret er grænseværdierne blevet skærpet med EURO VI for NO<sub>x</sub>-emissionerne fra 2,0 g til 0,4 g NO<sub>x</sub> pr. kWh og partikelemissionerne fra 0,02 til 0,01 g pr.

<sup>7</sup> [http://roskilde.dk/sites/default/files/fics/DAG/3250/Bilag/Notat\\_vedr.\\_udbud\\_af\\_el-busser\\_for\\_linje\\_201A\\_og\\_202A\\_JF\\_til\\_Roskilde.pdf](http://roskilde.dk/sites/default/files/fics/DAG/3250/Bilag/Notat_vedr._udbud_af_el-busser_for_linje_201A_og_202A_JF_til_Roskilde.pdf)

<sup>8</sup> En ændring af lydstyrken på 1-2 dB er den mindste ændring, det menneskelige øre kan opfatte, 3 dB er en hørbar ændring, og 5-6 dB er en tydelig ændring. En ændring på ca. 10 dB opleves som en fordobling eller halvering af lydstyrken

<sup>9</sup> <https://static1.squarespace.com/static/56fe742fab48de7987accef8/t/584aa03b8419c22ce768d6f1/1481285749145/Scania.pdf>

kWh. Sidstnævnte er faktisk endnu strengere, fordi det ikke kun er partiklernes vægt, men også antallet, som tæller<sup>10</sup>.

De skrappe krav betyder som noget nyt, at busproducenterne er nødt til at montere katalysator<sup>11</sup> og dieselpartikelfilter (DPF) inden levering af busser for alle typer af teknologi, undtagen elbusser. Funktionen af dette udstyr vil løbende blive tjekket af elektroniske systemer i busserne, der vil melde fejl, hvis udstyret ikke fungerer efter hensigten. Hidtil er katalysatorer og partikelfiltre blevet eftermontreret i større stil på EURO II- og -III-busser med systemer, der fungerer uafhængigt af motorstyring og kontrolsystemer.

Ifølge flere kilder vil netop denne ændring betyde, at bussernes reelle miljøprofil forbedres markant. Partikelfiltre vil opsamle alle typer af partikler (herunder de ultrafine partikler), såfremt katalysatorerne fungerer, som de skal. Indfrielse af miljømål handler således også om tilstrækkelig kontrol af det anvendte miljøudstyr. Konkrete emissionsmålinger fra biogasbusser i drift hos Trafikselskabet Skyss i Bergen, Norge, har for nylig eftervist, at EURO VI-busserne reelt giver de forventede, markante emissionsreduktioner.

Samlet reduceres den lokale luftforurening betydeligt med EURO VI i forhold til de tidligere EURO normer, uanset hvilket drivmiddel, der anvendes. Emissionerne fra dieselbusser på fossil diesel er vist i Tabel 4 sammen med emissioner fra andre teknologier. Som sammenligningsgrundlag er vist de tilsvarende emissioner med EURO V-normen. Tallene er beregnet med afsæt de konkrete kørselsforhold i Midttrafik, hvor det forudsættes, at en bus i gennemsnit kører ca. 3,4 km/liter diesel.

Efter næste, hele udbudsrunde i Midttrafik er det formentlig realistisk at antage, at endnu flere end de nuværende 180 busser i Midttrafik vil opfylde EURO VI-normen. Knap 70 % af busserne opfylder allerede EURO VI normen i dag, og godt 25 % opfylder de særlige betingelser for at være EEV-busser, hvor udledningen af sundhedsskadelige stoffer også er meget begrænset. Tilbage er der ca. 15 % af busserne, der i dag kun opfylder EURO III, IV eller V normen. Særligt for disse busser vil et løft til EURO VI medføre store reduktioner i udledningen af NO<sub>x</sub> og partikler (PM).

---

<sup>10</sup> I den forbindelse kan det være problematisk, at EURO-normerne har fokus på emission pr. kWh. Det medfører, at motorer med høj ydelse må forurene mere end mindre motorer, og at der kan være en tendens til at anvende større motorer end strengt nødvendigt af hensyn til emissionsværdierne

<sup>11</sup> Brug af katalysatorer med Selective Catalytic Reduction -teknologi vil gøre det muligt at reducere emissioner af NO<sub>x</sub> markant

**Tabel 4** Udledning af CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) med forskellige teknologier (gennemsnitlig udledning/km) og opgjort for EURO V og EURO VI for at illustrere de markante effekter for kvælstofoxider og partikler, som EURO VI medfører. Tallene er baseret på, at en bus skønsmæssigt i gennemsnit kører 3,4 km/liter diesel.

Drivmidler i busser	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler (PM)
	g/km	g/km	g/km
<b>EURO V:</b>			
Diesel	771	3,80	0,032
<b>EURO VI:</b>			
Diesel	771	0,32	0,003
Syntetisk diesel, HVO 2G	100	0,29	0,002
Biogas	-	0,32	0,003
Hybrid	617	0,26	0,003
El (VE)	-	-	-
Brint (VE)	-	-	-

- a) Ifølge Energistyrelsens hjemmeside medfører produktionen af biogas på afgasning af husdyrgødning samlet set en reduktion i udledningen af klimagasser på mere end 100 %. I vores beregninger er forsigtigt forudsat, at udledningen af CO<sub>2</sub> er 0 g/km.  
 b) For hybridbusser er antaget, at emissionerne generelt reduceres med 20 % på grund af lavere energiforbrug.

Hvis vi antager, at de nuværende EURO III, IV, V og EEV-busser udskiftes til EURO VI busser efter en kommende udbudsrunde, så vil den samlede emission af NO<sub>x</sub> og partikler (PM) vil blive markant reduceret. Effekten er vist i Tabel 5.

**Samlet set** Det ses, at udfordringen for Midttrafik særligt er udledningen af CO<sub>2</sub>, hvor indførelsen af EURO VI ikke vil sikre en reduktion i forhold til i dag. For udledningen af NO<sub>x</sub> og partikler (PM) vil EURO VI sikre en meget markant reduktion i forhold til omfanget i dag.

**Tabel 5** Effekten for emission af CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) af at indføre EURO VI-busser som erstatning for eksisterende busser med lavere miljøstandard på de regionale ruter i Midttrafik. Beregnet på baggrund af udført og planlagt kørsel i 2019-2020. Kilde: Data fra Midttrafik

Årlig udledning Fra i dag → EURO VI	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler (PM)
	Ton	Ton	Kg
Midttrafik	17.840 → 17.840 (Uændret)	30,4 → 7,4 (÷ 76 %)	202 → 79 (÷ 61 %)

## 4 Beregningsforudsætninger

I forbindelse med afdækning, beskrivelse og vurdering af de væsentligste fordele og ulemper ved forskellige teknologier, har Midttrafik leveret relevante data om de nuværende, overordnede driftsforhold. Herudover er anvendt følgende, beregningsmæssige forudsætninger:

**Emissioner** CO<sub>2</sub>-emissionerne fra HVO og biogas er baseret på oplysninger fra producenter og distributører. NO<sub>x</sub>- og partikelemmissioner for HVO og biogas er baseret på oplysninger fra producenter og internationale studier.

**Usikkerheder** Forskellige kilder påpeger, at busser i bybusstrafik ikke kan efterleve de mål for emissioner, som de i testopstillinger er målt til at kunne opfylde i forbindelse med typegodkendelser inden indsættelse i driften.

Blandt andet kan det være et problem, at der på grund af køremønstre med hyppige start-og-stop og generelt lave hastigheder ikke opnås tilstrækkeligt høje temperaturer i filtrene, til at de fungerer efter hensigten. Disse forhold afspejles muligvis ikke optimalt i de standardiserede, fælleseuropæiske testopstillinger, der anvendes til emissionsmålinger.

I praksis kan det betyde, at grænseværdierne i EURO-normerne ikke opfyldes, selv om de såkaldte SORT-værdier fra busleverandørerne<sup>12</sup> er tilfredsstillende. Udgangsniveauet for emissioner kan således være højere end antaget (værdierne fra Tabel 2).

Usikkerheden gælder i dag for busser, der opfylder den tidligere gældende EURO V-norm, men det kan på tilsvarende vis også komme til at gælde for den nye EURO VI-norm. Der er ikke umiddelbart undersøgelser, der peger på, at usikkerheden og gabet mellem test og virkelighed vil være større for EURO VI-normen end for de tidligere normer. Som nævnt tidligere snarere tværtimod.

Ifølge COWIs oplysninger er COPERT 4 en troværdig og officiel kilde til beskrivelse af emissioner fra vejtransporten, og suppleret med lokale data for kørslen i Midttrafik må det antages at være et realistisk bud på, hvilke emissioner, der kan forventes fra den kollektive busstrafik fremover.

**Diesel** Den typiske markedspris for fossil diesel ligger i øjeblikket på omkring 8,50 DKK/l. Heraf udgør moms på den faste energifgift og på CO<sub>2</sub>-afgiften ca. 0,79 DKK/l. Operatøren vil typisk ikke betale fuld markedspris, men vil ofte kunne opnå en eller anden form for rabat som storkunde.

<sup>12</sup> SORT-målinger: Standardized On-Road Test cycle, som omfatter tre standardiserede kørecykluser, der efterligner kørsel i tung-, let- og landtrafik. SORT-målinger kræves i dag af Trafikselskabet Movia (certifikat) for de busmodeller, der vinder kørsel for trafik-selskabet

Trækkes moms fra markedsprisen på 8,50 DKK, og forudsætter vi forsigtigt, at operatøren også kan opnå en rabat på 0,20 DKK/l, så ender den beregningsmæssige pris for en liter diesel på 7,50 DKK/l.

HVO	Prisen for HVO er baseret på oplysninger fra Biofuel Express, som afhængigt af omfanget på en given leverance, vil kunne levere HVO uden palmeolie til en literpris på ca. 12 DKK.
Biogas	Nature Energy leverer i øjeblikket certificeret biogas til busserne i Fredericia. Den gennemsnitlige pris var i 2017 på ca. 6,75 DKK pr. Nm <sup>3</sup> (mellem 6,50 -7,00 DKK pr. Nm <sup>3</sup> ), og prisen i starten af 2020 forventes at ligge i samme niveau med en lille pil nedad, da gaspriserne generelt er meget lave p.t. Den nævnte pris indeholder i Fredericia levering af biogas inkl. certifikat samt betaling for afskrivning af tankanlæg. Ved en lignende, stor leverance kan tilsvarende priser forventes.
EI	<p>I 2012 blev indgået en aftale, der bl.a. indebar, at elafgiften til busser blev reduceret fra 91 øre pr. kWh til 0,4 øre pr. kWh. I 2019 er den samlede reduktion på 88 øre pr. kWh. Aftalen udløb i første omgang til udgangen af 2019. I april 2017 aftalte den daværende regering sammen med Socialdemokratiet og Det Radikale Venstre, at særreglen om lav elafgift skal videreføres for busser indtil 1. januar 2024<sup>13</sup>. Ifølge aftalen forudsætter dette dog, at EU-Rådet giver tilladelse til en undtagelse fra Energibeskatningsdirektivet, hvilket lige nu forhandles. Regeringen forventer i et svar til Movia om emnet at fremlægge forslag om en forlængelse af ordningen i to år som led i finansloven for 2020<sup>14</sup>. Regeringens forventninger må derfor være, at forhandlingerne med Kommissionen ender positivt.</p> <p>Den lave elafgift betyder, at den samlede elpris til busdrift kan fastlægges ved at tage udgangspunkt i almindelige forbrugerpriser i det pågældende område og fratække afgiftslettelsen. I øjeblikket er elprisen omkring 2,15 DKK pr. kWh i de fleste selskaber, og med afgiftslettelsen og den tilhørende moms bliver prisen ca. 1,05 DKK pr. kWh. Det er den pris, vi har lagt til grund for beregninger i rapporten.</p> <p>I rapporten er angivet en række skønnede priser for forskellige teknologier, herunder indkøbspriser for busser og tilhørende anlæg. Udgangspunktet er her de seneste priser, vi har fundet hos relevante kilder.</p>
Økonomiske effekter	<p>I en udbudssituation vil valget stå mellem en traditionel dieselbus (EURO VI) contra et alternativ med bedre miljømæssig profil.</p> <p>For at kunne sammenligne de økonomiske effekter af at implementere alternative teknologier i forhold til i dag, opgøres de samlede driftsudgifter, der er direkte knyttet til at købe og drive et antal busser svarende til behovet i en kommende typisk kontraktperiode, herunder udgifter til brændstof, afskrivning af materiellet samt udgifter til nødvendig service, vedligeholdelse og reparationer.</p>

<sup>13</sup> <https://www.regeringen.dk/media/3286/aftale-om-elbiler.pdf>

<sup>14</sup> Skattestyrelsen, Vejledende svar vedrørende processtrøm til elbusser, 13. november 2019

Resultatet opgøres som en samlet pris (i denne rapport benævnt TCO – Total Cost of Operation) pr. kørt km i gennemsnit for en hel kontraktperiode<sup>15</sup>.

I beregningerne anvendes følgende forudsætninger:

- > Indkøbspris for en typisk 12 m dieselbus anslås til 220.000 Euro, svarende til ca. 1,64 mio. DKK
- > Dieselforbruget svarer til ca. 3,4 km/l i gennemsnit  
Det nuværende forbrug varierer forholdsvis meget, tilsyneladende afhængigt af busmærke, -model og rutetype. De ca. 3,4 km/l er beregnet som et vægtet gennemsnit for hele Midttrafik
- > De gennemsnitlige service & vedligeholdelsesomkostninger udgør ca. 1,9 DKK/km (TØI og busproducenter)
- > Diesel koster 7,50 DKK/l
- > Samlet kørselsomfang gennemsnitligt 89.700 km pr. år (nuværende køreplanomfang for den regionalt finansierede kørsel med 258 kontraktbusser i gennemsnit)
- > Afskrivningsperiode (kontraktlængde) på 12 år  
Bussens scrapværdi efter 12 år sættes skønsmæssigt til 10 % (15% har i en længere periode været anset som et realistisk tal, men omstillingen til emissionsfri busser må forventes at presse scrapværdien yderligere ned).

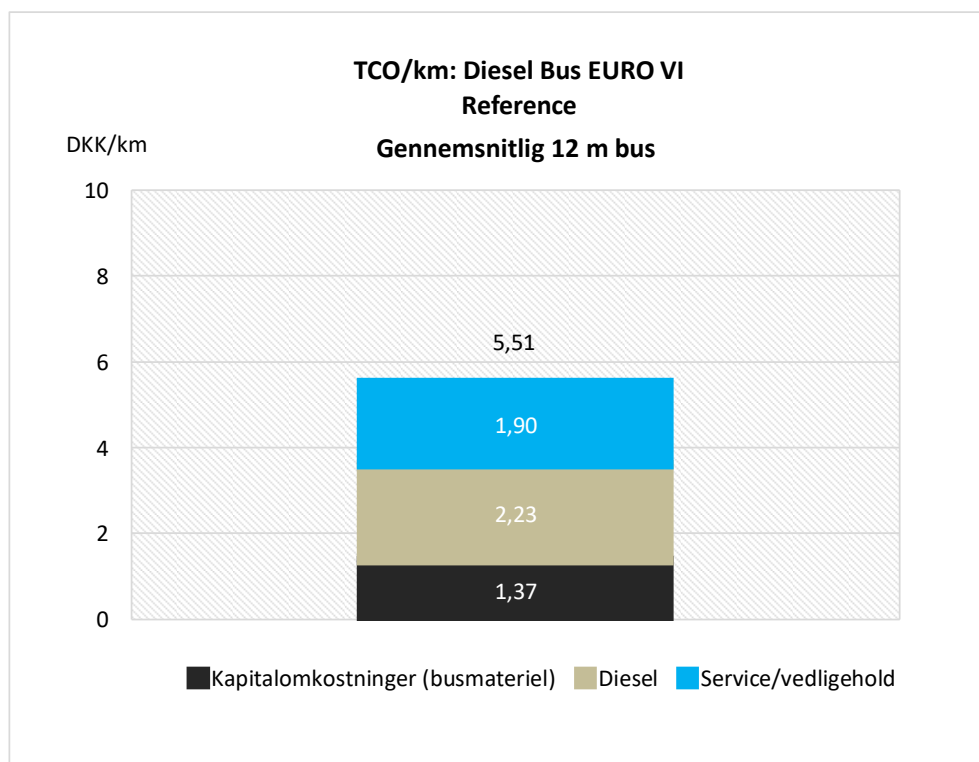
TCO/km

Resultatet er opgjort pr. km ses i Figur 3. Busserne i Midttrafik kører ca. 90.000 km i gennemsnit om året (reelt over 100.000 inkl. kørsel som finansieres af andre end regionen), hvilket sammen med en lang, beregningsmæssig afskrivningsperiode på 12 år er med til at holde værdiafskrivningen pr. km på et lavt niveau.

Udgifterne til service- og vedligeholdelse er typisk lave i de første år hvor busen er ny, men stiger senere i kontraktperioden. Her er angivet et gennemsnit over udgifterne over hele kontraktperioden.

---

<sup>15</sup> Det forudsættes, at administrationsomkostninger, basisudgifter til depot, lønninger til chauffører og andet personale, forsikringer, vejafgifter og andre afgifter samt evt. rentetab er identiske for de forskellige typer af teknologi. Disse udgifter er derfor udeladt af TCO-beregningen



Figur 3 Referencemodel. Gennemsnitlig km-pris for en 12 m dieselbus (EURO VI) beregnet for en kontraktlængde på 12 år i Midttrafik

TCO

De køretøjsrelaterede driftsomkostninger (TCO) for en dieselbus, EURO VI (ref.) er vist i Tabel 6.

Tabel 6 TCO, beregnet på baggrund af 12 års kontraktperiode, udgifter til løn, bygninger, forsikring mv. samt totale, årlige omkostninger for den regionale kørsel

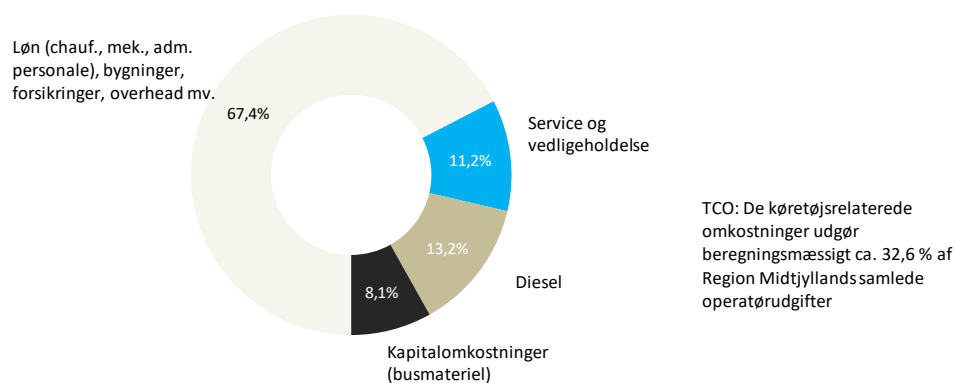
Dieselbus (EURO VI)	Gennemsnitlig bus
Årlige driftsudgifter <u>TCO for 1 bus</u>	0,49 mio. DKK
Årlige udgifter til løn (chauffør, adm. personale mv.) bygninger, forsikring, overhead mv. <u>for 1 bus</u>	1,021 mio. DKK
Årlige driftsudgifter <u>TCO for alle 258 busser</u>	127,4 mio. DKK
Årlige udgifter til løn (chauffør, adm. personale mv.) bygninger, forsikring, overhead mv. <u>for 258 busser</u>	263,6 mio. DKK
<u>Totale, årlige omkostninger for Region Midtjylland</u>	391,0 mio. DKK



Totale omkostninger De busrelaterede driftsomkostninger TCO udgør beregningsmæssigt ca. 32,6 % af Midttrafik' totale omkostninger til operatørerne for den regionale buskørsel.

De resterende ca. 67,4 % dækker bl.a. operatørernes administrationsomkostninger, udgifter til depot, lønninger til chauffører, mekanikere og andet personale, forsikringer, vejafgifter og andre afgifter, overhead mv. Det forudsættes, at disse øvrige omkostninger er identiske, uafhængigt af forskellige typer af teknologi. De indgår derfor ikke i beregningen af TCO, se i øvrigt Figur 4. De totale omkostninger opgøres dog som del af beskrivelsen for de forskellige teknologier, jf. Tabel 6.

#### Totale operatørudgifter for regional buskørsel



Figur 4 Fordelingen af de totale operatørudgifter på hovedelementer for den regionale buskørsel. Kilde: Midttrafik

Interview Udover fra Midttrafik, har COWI indhentet informationer fra følgende kilder:

- > Clemen Rasmussen, Biofuel-Express
- > Bruno Sander Nielsen, Brancheforeningen for biogas
- > Frank Rosager, Brancheforeningen for biogas
- > Søren Toft, Nature Energy
- > Mikkel Krogsgaard Niss, Københavns Kommune
- > Victor Hug, Trafikselskabet Movia
- > Erik Rolvung, Scania Danmark A/S
- > Poul Nielsen, EvoBus Danmark A/S
- > Anita Palm Laursen, VDL Bus & Coach Danmark A/S
- > Kim Koefoed-Larsen, Umove, Roskilde
- > Henrik Thygesen, SE
- > Peter Bjerregaard, E.ON

## 5 Analyse og vurdering af alternativer

En række alternative drivmidler og teknologier indgår i større eller mindre grad i den offentlige debat, når der drøftes alternativer til traditionel diesel. Det omhandler bl.a.:

- > Syntetisk diesel
- > Biogas
- > Hybridbusser (bl.a. diesel- og gaselektriske med batteripakke)
- > Elbusser med natopladning (depot-charging) eller opladning på ruten (opportunity-charging)
- > Brintbusser.

I det følgende gennemgås de vigtigste karakteristika for ovennævnte drivmidler og teknologier forud for en overordnet vurdering af de mest relevante og realistiske alternativer for Midttrafik. Udpegningen af visse drivmidler og teknologier frem for andre betyder ikke, at Midttrafik bør afskrive de øvrige teknologier set i længere perspektiv, men alene, at de ikke for nuværende skønnes realistiske at inddrage i den almindelige busdrift i større skala.

### Vurderingskriterier

Den overordnede vurdering er sket på baggrund af følgende kriterier (vurderingen er foretaget samlet):

- > De miljømæssige effekter – i form af CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, partikler, støj
- > De nødvendige investeringer – er behovet stort eller begrænset?
- > Driftssikkerheden – er teknologien stabil og gennemprøvet?
- > Tilgængeligheden til drivmidler – umiddelbare adgangs-, transport- og opbevaringsforhold
- > De driftsøkonomiske aspekter – bliver det markant dyrere end i dag?

### 5.1 Syntetisk diesel

Biomass-To-Liquid (BtL) i varianten 2G Renewable biodiesel, også kaldet HVO, produceres på basis af restprodukter fra slagterier, døde dyr fra landbruget samt fedt og olier, der er uegnet til fødevareproduktion.

Som alternativt brændstof har HVO et stort potentiale<sup>16</sup>. Det er bl.a. eftervist i Helsinki, hvor ca. 300 af byens busser hos fire busoperatører i en forsøgsperiode på mere end tre år har kørt på HVO, dels i ren form, dels iblandet almindelig fossil diesel<sup>17</sup>. Forsøget har blandt andet vist, at syntetisk diesel har gode egenskaber som drivmiddel, og kan erstatte fossil diesel fuldstændigt uden

<sup>16</sup> Syntetisk diesel produceres ved en katalytisk omdannelse af brint og kulmonoxid i form af olier/fedtstoffer af vegetabilisk eller animalsk oprindelse. Metoden minder om processen i et olieraffineri

<sup>17</sup> Projektet er det hidtil mest omfattende af sin art, og er blevet gennemført som et samarbejde mellem blandt andre Helsinkis regionale trafikelskab, Neste Oil, VTT (teknisk research center), Aalto universitet og Scania som busproducent. Projektet er bl.a. evalueret i VTT – Research Notes 2604: Optimized usage of NExBTL, renewable diesel fuel, 2011

modifikationer af motorer eller tankanlæg. Linje 600S og 390R på Sjælland har benyttet HVO 2G siden december 2016.



Figur 5 Bus, der tanker HVO. Kilde: [www.busworld.org](http://www.busworld.org)

#### Fordele

De umiddelbare fordele ved HVO er, at:

- > Det kan anvendes i ren form eller iblandes fossil diesel i alle blandingsforhold
- > Det kan anvendes året rundt
- > Det er let at anvende uden modifikationer af busser, motorer, tanke eller andet
- > Anvendelse af HVO kan reducere brændstofforbruget svagt pga. højere energitæthed
- > Det reducerer udledningen af CO<sub>2</sub> med op mod 90 %, 10 % lavere NO<sub>x</sub>, 30 % færre partikler afhængigt af produktionsprodukter
- > Forsøg dokumenterer at effekterne er permanente og signifikante.

#### Ulemper

Ulemperne handler primært om:

- > Der er ingen produktion i Danmark, p.t. findes det bl.a. i Finland
- > Transport og transportudgifter fordyrer produktet
- > Der er kun få distributører i Danmark
- > 2G HVO er dyrere end diesel. Vi anvender en literpris på 12 DKK i beregningerne efter oplysninger fra en af distributørerne, Biofuel Express.

#### Tilgængelighed

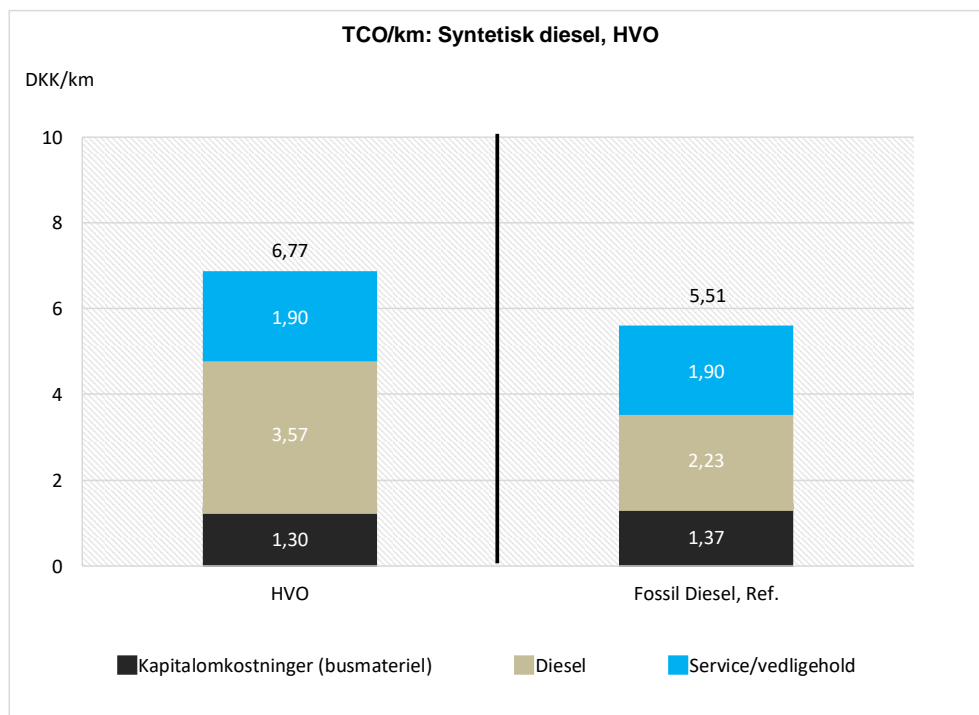
Den største producent af syntetisk diesel (HVO) er NESTE i Finland<sup>18</sup>. Derudover produceres HVO også i det øvrige Europa, men her foregår produktionen på basis af palmeolie (1G). Kapaciteten er begrænset af tilgængelige råvarer, og det

<sup>18</sup> UPM er en anden stor finsk producent, der også leverer til transportsektoren

er usikkert, hvorvidt der vil være tilstrækkelige mængder af affaldsbaseret HVO i fremtiden.

Biofuel-Express er dansk distributør af HVO og oplyser, at det i perioder er svært for Neste at levere tilstrækkelige mængder HVO helt uden anvendelse af palmeolie. Større leverancer af ren 2G HVO vil dog kunne leveres efter aftale. Stor efterspørgsel og efterspørgsel evt. fra flere sektorer kan generelt medføre, at prisen kan blive presset yderligere i vejret.

CO <sub>2</sub>	<p>CO<sub>2</sub>-fortrængningen for HVO 2G ligger på knap 90 %, lidt afhængigt af den aktuelle sammensætning af input i produktionen. Biofuel Express oplyser, at de kan levere HVO med en gennemsnitlig CO<sub>2</sub>-fortrængning på 87 % (certificeret).</p> <p>Det er heri antaget, at CO<sub>2</sub>-emissioner fra transport af HVO fra Finland eller Sverige til Danmark vil udgøre 3-5 %. Denne andel kan være mindre, hvis brændstoffet transporteres med tankskib i stedet for med lastbiler.</p>
Luftforurening	<p>HVO er renere end fossil diesel, og medfører en reduktion i NO<sub>x</sub>-emissionerne på knap 10 % og partikelemissionerne med ca. 33 %.</p>
Støj	<p>Ingen ændringer.</p>
Anvendelse i busserne	<p>HVO kan anvendes fuldstændigt som almindelig diesel, det kræver ingen ændringer i motoren og der ses ingen problemer (kontaminering) ved lave temperaturer.</p>
Priser	<p>Prisen på HVO afhænger i høj grad af afsatte mængder, af de aftaler, der kan indgås med aktuelle distributører i Danmark og af evt. afgifter, der pålægges biobrændstoffer i Danmark og evt. i producentlande.</p> <p>Biofuel Express oplyser, at en indikativ literpris på HVO i 2G-varianten leveret i Danmark til busbranchen vil være ca. 11,7 DKK/l afhængigt af den konkrete leverance. Vi har lidt forsigtigt anvendt 12 DKK/l i vores beregninger.</p> <p>Drift med HVO kan kræve installation af særligt tankanlæg, hvis operatøren ønsker at bevare muligheden for at kunne køre på fossil diesel til noget af sin kørsel og ikke ønsker at blande almindelig diesel og HVO i samme tank. Der er dog intet til hinder for at blande de to produkter i samme tank.</p>
Udbud	<p>Udbudsteknisk vil brug af HVO kunne sikres ved at stille skrappe krav til maksimal udledning af CO<sub>2</sub> fra buskørslen. Der er ikke umiddelbart andre udbudstekniske forhold, der bør ændres af hensyn til drift med HVO.</p>
TCO/km	<p>Driftsomkostningerne (TCO/km) til en bus, der anvender HVO er vist i Figur 6. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).</p>



*Figur 6 TCO/km for syntetisk diesel, HVO, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år*

Prisforskellen mellem at anvende syntetisk diesel frem for almindelig diesel udgør ca. +1,25 DKK/km, hvilket svarer til ca. 23 % af de samlede køretøjsudgifter.

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) i hele kontraktperioden er vist i Tabel 7.

Tabel 7 TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel

Syntetisk diesel, HVO	Regional buskørsel i Midttrafik	
	HVO	Diesel
Årlige driftsudgifter TCO for 1 bus	0,61 mio. DKK	0,49 mio. DKK
Årlige driftsudgifter TCO for alle 258 busser	156,7 mio. DKK	127,4 mio. DKK
Årlige udgifter til løn (chauffør, adm. personale mv.) bygninger, forsikring, overhead mv. for 258 busser	263,6 mio. DKK	263,6 mio. DKK
<u>Totale, årlige omkostninger for Midttrafik</u>	420,2 mio. DKK	391,0 mio. DKK

Beregningsmæssigt vil overgang til HVO som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Midttrafik til operatører for kørslen øges med 29,2 mio. DKK årligt. DKK. Det svarer til godt 7 %.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 8.

Tabel 8 Reduktion i CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede bustrafik i Midttrafik ved brug af syntetisk diesel i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes HVO til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik

Årlig udledning	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler (PM)
	Ton	Ton	Kg
Diesel EURO VI → HVO EURO VI			
I alt	17.840 → 2.320 (÷ 87 %)	7,4 → 6,7 (÷ 9 %)	79 → 53 (÷ 33 %)

## 5.2 Biogas

Biogas er organisk materiale, der produceres ved, at husdyrgødning og andet organisk affald, for eksempel industriaffald fra slagterier, pumpes ind i en iltfrie, opvarmede reaktorer, der skaber en biologisk nedbrydningsproces af det organiske materiale, som danner metan. Nedbrydningsprocessen varer typisk få dage.

Biogas indeholder ca. 65 % metan (CH<sub>4</sub>), 35 % kuldioxid (CO<sub>2</sub>), samt spor af vand, svovl, ilt og kvælstof. Produktionen sker på biogasanlæg, der kan variere meget i størrelse og kapacitet. For at kunne anvendes som drivmiddel til busser skal gassen efterfølgende opgraderes til naturgaskvalitet (biometan), hvilket sker i særlige opgraderingsanlæg, hvor der fjernes CO<sub>2</sub>, svovl og vand fra gassen.

Gasmotorer kan i princippet køre på både biogas og naturgas, men der er flere fordele i at opgradere biogassen, så den har samme kvalitet og energitæthed som naturgas. Den opgraderede biogas vil typisk opnå et meget højt metanindhold på 96-99 %.

I praksis vil den opgraderede biogas blive injiceret i det danske naturgasnet tæt på biogasanlægget/opgraderingsanlægget i en mængde, der modsvarer forbruget af gas i busserne. Aftapningen af gas til busserne sker derefter via en stikledning fra naturgasnettet til en fyldestation, der etableres ske tæt på forbrugsstedet, f.eks. i tilknytning til operatørens garageanlæg. Busserne kører således reelt på naturgas, men et samtidig køb af VE-certifikater sikrer, at den forbrugte mængde energi "stammer" fra injiceret biogas.

For tiden er der markant fokus på at styrke anvendelsen af naturgas og især biogas i transportsektoren, bl.a. hos de seneste regeringer, der har gennemført flere tiltag for at fremme brugen. Energiforliget i 2012 indeholdt således bl.a. en forbedring af de økonomiske vilkår for biogasproduktion, når biogassen anvendes uden for kraftvarmesektoren, f.eks. i transportsektoren. Det har medvirket til forholdsvist lave gaspriser.

#### Fordele

Anvendelse af biogas indebærer umiddelbart følgende fordele:

- > Produktionen er gennemprøvet og teknologien er kendt
- > Det er forholdsvist let at håndtere og tåler sammenligning med almindelig diesel
- > Der findes et udbygget distributionsnet til gas så transport over lange afstande ikke er omkostningskrævende
- > Det er driftssikkert i busserne
- > Det reducerer udledningen af CO<sub>2</sub> og andre drivhusgasser markant afhængigt af de råstoffer, produktionen baserer sig på. Særlig stor reduktion ved produktion på gylle
- > Emissionsbegrænsende udstyr påvirkes ikke
- > Gasbusser er mere lydsvage end dieselbusser.

#### Ulemper

De primære ulemper ved biogas handler om følgende:

- > Øgede udgifter til indkøb af gasbusser, typisk 200.000 DKK, svarende til knap 10 % af indkøbsprisen for en traditionel dieselbus
- > Øgede udgifter til service & vedligeholdelse af busser, vi anvender forsigtigt 15 % i beregningerne<sup>19</sup>
- > Håndtering af levering og opbevaring af gas samt fyldestationer kan være mere komplekse for operatøren (herunder nødvendige tilladelser, sikkerhed mv.)

---

<sup>19</sup> Hybrid-Diesel vs. CNG, (An updated comparison of transit fleet alternatives): Steve Richardson, President Public Solutions Group, Ltd., januar 2013. Flere kilder peger på at merudgifterne kan være op til ca. 30 %, mens andre mener, at dette billede typisk er baseret på, at en nyere generation af gasbusser sammenholdes med en ældre og mindre kompliceret type af dieselbusser, og at de indbyrdes forskelle, hvad angår udgifter til service og vedligehold ikke længere er så store eller måske slet ikke er der

- > Gensalgsværdien af gasbusser efter endt kontrakt har i en periode været usikker, men vurderes i takt med implementeringen af flere busser og et voksende brugtmarked herhjemme og i landene omkring os at være tæt på gensalgsværdien af en dieselbus. Vi forudsætter en restværdi på 10 % efter 12 års kontrakt
- > Bussens samlede højde øges (10-30 cm typisk) pga. pladskrævende tanke, som monteres på bussens tag
- > Der sker i øjeblikket store bevægelser i gaspriserne særligt på grund af krav om øget iblanding af biobrændstoffer i alle drivmidler. Tendenserne synes umiddelbart at understøtte en udvikling mod lavere priser.

#### Tilgængelighed

Produktionen af biogas i Danmark er vokset markant indenfor de seneste år. Flere distributionsselskaber sender opgraderet biogas ind i naturgasnettet i Danmark, blandt andre Dong Energy, HMN og Nature Energy. Selskaberne har i flere år også sendt opgraderet biogas produceret af gylle til en række af deres naturgaskunder<sup>20</sup>.

E.ON har sammen med lokale landmænd for nylig åbnet Danmarks største biogasanlæg i Bevtoft. De lokale landmænd leverer gylle til anlægget, som på basis af ca. 450.000 ton gylle og 150.000 ton anden biomasse årligt producerer ca. 21 mio. m<sup>3</sup> opgraderet biogas, der sendes direkte ud i det danske naturgasnet. Alene denne mængde svarer til en faktor ca. 3 i forhold til det samlede forbrug af biogas til alle 258 busser, der finansieres af regionen. Herudover producerer andre danske anlæg store mængder opgraderet biogas.

Nature Energy betegnes i dag som en af verdens største producenter af biogas og driver i dag 10 biogasanlæg og planlægger nye, bl.a. ved Sønderborg, hvor byggeriet af et af to kommende anlæg for nylig er gået i gang. Selskabet har desuden netop købt en række gastankstationer fra HMN Naturgas og forventer, at potentialet for grøn biogas i transportbranchen er stort<sup>21</sup>.

#### CO<sub>2</sub>

De miljømæssige aspekter vil være mest positive ved brug af biogas baseret på gylle. Gylle, der udbringes på markerne inden afgang i et biogasanlæg, medfører en ret markant drivhusgasudledning i form af metan og lattergas. CO<sub>2</sub>-udledningen fra gyllen vil være langt mindre, hvis gyllen først afgasses i et biogasanlæg. Dermed får biogasproduktion på basis af husdyrgødning en mere end dobbelt så stor effekt på udledningen af drivhusgasser, som anvendelsen af andre råstoffer<sup>22</sup>.

Flere kilder, herunder Energistyrelsen<sup>23</sup> angiver en positiv effekt på CO<sub>2</sub>-regnskabet ved brug af afgasset gylle til produktion af biogas, men beregningsmæssigt sætter vi forsigtigt CO<sub>2</sub>-reduktionen til 100 %. Udover at bidrage

<sup>20</sup> Ritzau, 8. januar 2014

<sup>21</sup> Nature Energy, 9. september 2019, <https://natureenergy.dk/nyheder/pressemeddelelse/nature-energy-koeber-ni-gastankstationer-hmn-naturgas-bliver-stoerst-paa>

<sup>22</sup> Aarhus Universitet, 13. december 2018, <https://eng.au.dk/forskning/laboratorier-og-faciliteter/forsoegsbiogasanlaeg/biogas-mke/>

<sup>23</sup> Det samme gør EU i Direktiv 2018/2001, der lægger til grund, at biogas produceret på husdyrgødning medfører en nettogevinst for klimaet på ca. 40 kg CO<sub>2</sub>/GJ



positivt til CO<sub>2</sub>-regnskabet vil brug af biogas baseret på afgasset gylle også betyde, at udvaskningen af næringsstoffer fra markerne reduceres, ligesom lugtge-nerne også reduceres.

Luftforurening

Ingen nævneværdige effekter ved brug af gas i forhold til NO<sub>x</sub>- eller partikel-emissioner.

Støj

Gasbusser støjer mindre end dieselbusser (udvendig støj), og som nævnt tidli-gere peger kilder på et niveau, svarende til ca. 3 dB(A).

Indført flere steder

Gas vælges i fortsat større omfang rundt omkring i Danmark til brug i den kol-lektive trafik med bus. I 2013 blev Fredericia den første danske by der indsatte gasbusser på deres ruter og i sommeren 2014 fulde Holstebro Kommune efter og udskiftede alle deres bybusser til fra diesel- til gasbusser. Siden er der indført gasbusser bl.a. i NT (mellem Frederikshavn og Aalborg), i Midttrafik i Silkeborg, Skive og Holstebro på alle bybusser og i Movia på nordens største buslinje 5A/5C. I 2017 fik Sønderborg Kommune med 39 driftsbusser og fem reserve-busser Danmarks i øjeblikket største flåde af gasbusser. Hele kommunens kørsel udføres nu med gasbusser.

Det samlede setup i de forskellige projekter med nye busser og særlige tankan-læg/fyldestationer og garagefaciliteter har en del fællestræk, men adskiller sig også fra hinanden på visse punkter. Flere steder har en lokal leverandør af bio-gas været en medvirkende faktor til at initiere tiltagene, og der har ligeledes været et ønske fra de involverede kommuner om at forbedre de miljømæssige aspekter af den kollektive trafik og forsøge sig med alternativer til den velkendte teknologi. I Holstebro og i Nordjylland var det et politisk ønske at erstatte diesel med biogas uanset evt. mindre meromkostninger, mens Fredericia ønskede at holde de samlede driftsudgifter uændrede, og derfor ved et udbud bad om "så meget gasbusdrift som muligt" for et bestemt beløb.



Figur 7 Foto af gasbusserne i Silkeborg. Kilde: Allan Ringgaard.

Nødvendige investeringer

Biogasbusser er fortsat dyrere end traditionelle dieselbusser. Forskellige udenlandske kilder indikerer sammen med danske erfaringer, at indkøbsprisen for en sammenlignelig bus vil være ca. 200.000 kr. højere. Den samlede produktion af gasbusser er fortsat begrænset sammenholdt med dieselbusser, og større samlede ordrer vil givetvis påvirke prisen i nedadgående retning.

Det er antaget, at busserne beregningsteknisk vil have en scrapværdi på 10% af nyprisen efter et endt kontraktforløb på 12 år. I vores nabolande findes et forholdsvist stort marked for gasbusser, og det er vores vurdering, afskrivningen på en gasbus i de kommende år vil kunne sammenlignes med afskrivningen på en dieselbus.

Gasleverance og lokalisering af anlæg

Leverancen af gas udgør et centralt element i den samlede løsning. Med den regionale busdrift in mente, vil det mest sandsynlige scenarie være, at den nødvendige biogas sendes ind i det eksisterende naturgasnet, og at der hos en eller flere operatører etableres en lokal tilkobling til nettet, opføres tanke og et antal fyldestationer på operatørens garageanlæg.

Når det handler om busser i kollektiv trafik, er det uproblematisk at få en leverandør til at etablere tankanlæg/fyldestation til busserne, samt levere den fornødne mængde gas i løbet af en på forhånd given kontraktperiode.

I øjeblikket etableres mindre overfladeanlæg med tanke og fyldestationer på operatørens garageanlæg, som i størrelse modsvarer behovet for biogas fra 10-15 busser og op. Typisk er der tale om anlæg, hvor der etableres et antal fyldestude til Slow Fill (langsom tankning), så alle kontrakt- og reservebusser kan tankes samtidigt. Her kan alle busserne fyldes op i løbet af natten, mens en enkelt bus vil kunne fyldes op inden for 10-15 minutter (f.eks. i dagtimerne, hvor de andre busser kører).

Når kontrakten er slut, fjernes anlægget blot igen. Omkostninger til etablering og reetablering igen er indeholdt i den aftalte gaspris. Ulemper ved en sådan løsning er, at stordriftsfordele ved et ekstrasalg til andre interesserede ikke bringes i spil, og at det alene er forbruget hos busoperatøren, der skal dække de samlede omkostninger.

Vi mener ikke, at der længere er behov for at en kommune eller et trafikselskab forhandler en forhånds aftale med en gasdistributør for de operatører, der gerne vil byde med gas på kørsel. Usikkerheden ved at benytte gas er afdækket, og der må forventes at være konkurrence blandt en række leverandører til fordel for operatører og trafikselskaber.

Gaspriser

Generelt vil prisen på biogas afhænge af afsætningsmængder og kontraktlængder, som tankanlæg og fyldestationer kan afskrives over. Jo større mængder og længere kontrakter, des lavere priser. Herudover er prissætningen af biogas i sig selv ret kompleks i øjeblikket.

Gældende krav om iblanding af mindst 5,75 % (energibasis) biobrændstoffer til hele transportsektoren og et kommende krav om iblanding af såkaldt advanced biofuels på 0,9 % fra 2020 vil betyde at prisforskellene på biogas i forhold til

traditionel diesel vil flyttes markant. En tankstation med biogas vil kunne sælge sit 'overskud' af bioandele i sit brændstof til andre selskaber, der på den måde kan undgå at opgradere deres brændstof og alligevel efterleve de samlede målsætninger. Hvad disse bioandele er værd på markedet er svært at spå om, men ifølge Foreningen Biogasbranchen vil det kunne betyde, at biogas ender med at blive billigere end diesel.

Det er i øvrigt generelt i branchen vurderingen, at prisen på biogas begynder at kunne konkurrere med diesel, når den årlige afsætning runder 500.000 Nm<sup>3</sup>. Dette svarer i størrelsesordenen til forbruget for 15 busser.

Nature Energy oplyser, at den aktuelle pris for certificeret biogas til busserne i Fredericia er 6,75 DKK pr. Nm<sup>3</sup>. Heri er inkluderet udgifter til køb af tilhørende VE-certifikater samt udgifter til etablering, drift og nedtagning af nødvendige tanke og fyldestationer. Biogas vil fortsat kunne leveres til en tilsvarende pris for mindre anlæg som beskrevet ovenfor.

#### VE-gas

Når biogassen er opgraderet til en tilstrækkelig god kvalitet, injiceres den fysisk i distributionssystemet ét sted, hvorefter den kan aftappes fra nettet andre steder i Danmark. Gennem køb af et antal VE-certifikater får køberen garanti for, at en bestemt mængde gas, som aftages et bestemt sted, er produceret på basis af biogas og injiceret i nettet. Leverancen dokumenteres via Energinet.dk.'s certifikatordning, hvor ordningen sporer de aftalemæssige og ikke de fysiske strømme.

Priserne for VE-certifikater kan variere meget, især som følge af en samlet varierende produktion og afsætning af VE-drivmidler og det omtalte krav om andele af advanced biofuels i drivmidler fra 2020. Foreningen Biogasbranchen forklarer, at prisen ikke vil kunne komme under prisen på en CO<sub>2</sub>-kvote, som i øjeblikket udgør ca. 10-15 øre/Nm<sup>3</sup>, men prisen kan godt være langt højere, hvis der viser sig behov for at købe sig til en bedre miljøprofil.

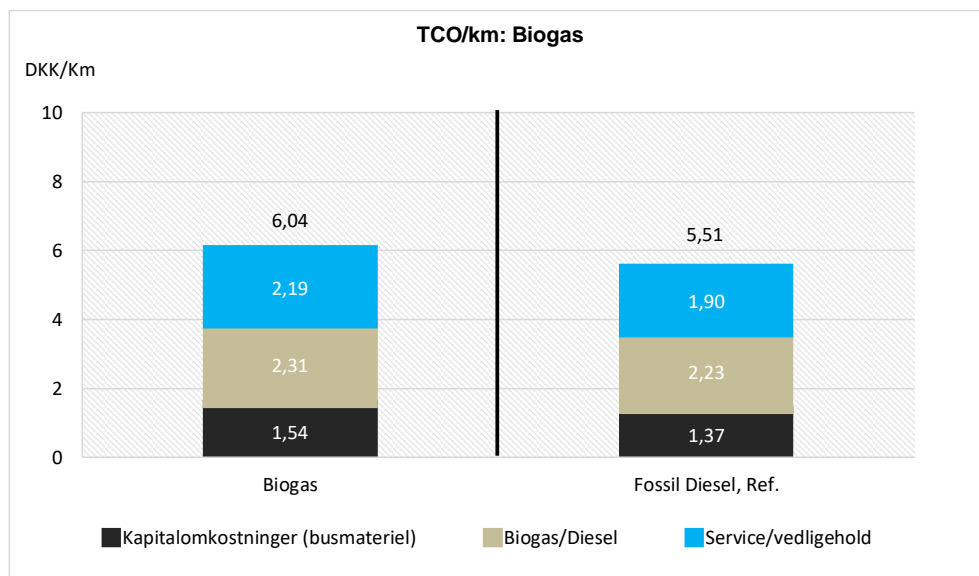
Generelt vil køb af VE-certifikater både kunne ske hos operatøren, trafikskabet eller hos kommuner. Umiddelbart virker det mest oplagt i forhold til den regionale bustrafik, at det er operatørerne selv, der forpligtes til at købe de nødvendige certifikater, i princippet helt uafhængigt af Midttrafik' øvrige kontrakt med operatøren, men baseret på oplysninger fra operatøren om reelt forbrug på de respektive linjer.

#### Udbud

Hvad angår udbud af buskørslen kan trafikskabet benytte vilkår, der ikke adskiller sig væsentligt fra almindelige vilkår for dieseldrevne bybusser. Den primære forskel er, at der kræves gasbusser i stedet for dieselbusser.

#### TCO/km

Driftsomkostningerne (TCO/km) til en bus, der anvender biogas er vist i Figur 8. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).



Figur 8 TCO/km for biogas og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år

Prisforskellen mellem at anvende biogas frem for traditionel diesel udgør ca. +0,53 DKK/km, hvilket svarer til ca. 10 % af de samlede køretøjsudgifter.

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) i hele kontraktperioden er vist i Tabel 9.

Tabel 9 TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel

Biogas med VE-certifikat	Regional buskørsel i Midttrafik	
	Biogas	Diesel
Årlige driftsudgifter <u>TCO for 1 bus</u>	0,54 mio. DKK	0,49 mio. DKK
Årlige driftsudgifter <u>TCO for alle 258 busser</u>	139,7 mio. DKK	127,4 mio. DKK
Årlige udgifter til løn (chauffør, adm. personale mv.) bygninger, forsikring, overhead mv. <u>for 258 busser</u>	263,6 mio. DKK	263,6 mio. DKK
<u>Totale, årlige omkostninger for Midttrafik</u>	403,2 mio. DKK	391,0 mio. DKK

Beregningsmæssigt vil overgang til biogas som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Midttrafik til operatører for kørslen øges med 12,2 mio. DKK årligt. DKK. Det svarer til ca. 3 %.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 10.

Tabel 10 Reduktion i CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede bustrafik i Midttrafik ved brug af biogas i en EURO VI-bus, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes biogas til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik

Årlig udledning	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler (PM)
Diesel EURO VI → Biogas EURO VI	Ton	Ton	Kg
I alt	17.840 → 0 (÷ 100 %)	7,4 → 7,4 (uændret)	79 → 79 (uændret)

### 5.3 Hybridbusser

Hybridbusser har to motorer – typisk en elmotor kombineret med en dieselmotor (og i sjældnere tilfælde ses en kombination med gasmotor eller ethanol)<sup>24</sup>. Bussen drives enten af én af motorerne eller af begge motorer samtidigt (seriel eller parallel hybrid). I serielle hybridbusser er forbrændingsmotoren ikke tvunget til at være placeret tæt på bagakslen, da motoren arbejder gennem en generator og ikke direkte mekanisk driver hjulene. Det giver flere frihedsgrader for indretning af busserne end hybridbusser med parallelteknologi kan tilbyde.

De første generationer af hybridbusser var typisk karakteriseret ved, at den elektriske motor blev drevet af energi, skabt ved udnyttelse af bremseenergien, samt ved opladning af batterierne, når forbrændingsmotoren er i brug.

Ofte anvendes elmotoren til at sætte bussen i gang fra stop, hvorefter den anden motor tager over ved en bestemt hastighed (15-20 km/t). Busserne er især egnede til bybuskørsel, hvor farten er forholdsvis lav, og hvor der sker mange opbremsninger. De helt overvejende fordele ved hybridbussen er, at det samlede energiforbrug herved reduceres, og at elmotoren begrænser udledningen af skadelige stoffer i de tætteste byområder.

Nyere hybridbusser kan også have en mindre batteripakke (plugin-hybrid), som oplades ved endestationer eller på lokaliteter, hvor det er passende i forhold til at kunne gennemføre emissionsfri kørsel i byområder. Det betyder, at rækkevidden med emissionsfri kørsel øges med de fordele, det medfører. Omvendt kræver opladningen af batterierne undervejs på ruten etablering af ladestander i stil med de standere, der kendes fra rene elbusser.

#### Fordele

Hybridbusser og plugin-hybrider har en række fordele sammenlignet med dieselbusserne. Ved at kombinere en elmotor med en forbrændingsmotor, opnås bl.a.:

- > Kommercielt udviklet teknologi
- > Mindre støj - elmotoren bruges til acceleration fra stoppesteder og kryds, hvor støjen ellers er størst
- > Bedre acceleration, hvis begge motorer bruges samtidigt

<sup>24</sup> COWI har ikke fundet kilder, der dokumenterer, at der er væsentlige fordele ved at anvende ethanol- eller gaselektriske hybridbusser frem for dieselelektriske busser

- > Lavere brændstofforbrug, ifølge producenterne op til 20-30 % i bytrafik eller mere for plugin-hybrider
- > Klimabelastningen reduceres tilsvarende ligesom udledningen af sundhedsskadelige stoffer (20-30 %).

#### Ulemper

De primære ulemper ved hybridbusserne er:

- > Anskaffelsespriserne er høje, typisk i størrelsesordenen +50-60 %
- > Batterier har begrænset levetid og medfører betydelige udgifter (op til 300.000 DKK), hvis de skal udskiftes. Erfaringer viser, at udskiftning må forventes efter 4-6 år<sup>25</sup>
- > Udgifter til service- og vedligehold kan være vanskelige at estimere (teknikken er mere kompliceret, to systemer, elektromotorene bryder tilsyneladende ofte sammen). Typisk angives +15-25 % i forhold til dieselbusser
- > Service og vedligehold kræver mere viden og andre værkstedsfaciliteter
- > De miljømæssige fordele kan være meget vanskelige at opnå i praksis og har i bl.a. danske forsøg vist sig så lave som 0-5 %.

#### Forsøg i Movia med hybridbusser

I 2011 modtog Movia puljemidler til at gennemføre et forsøgsprojekt med fire hybridbusser - to serielhybrider (med superkondensator) og to parallelhybrider, som blev testet på flere linjetyper i Movia.

Projektets formål var overordnet set at afdække, hvor velegnede hybridbusserne er til den danske trafik. Det gælder dels spørgsmål om holdbarheden af tekniken, dels spørgsmål om den samlede driftsøkonomi. Økonomien er meget afgørende for, om den forventede brændstofbesparelse kan dække den højere indkøbspris på busserne.

Forsøget skulle også afdække andre fordele ved busserne, f.eks. støjreduktioner ved stoppestedsteder og i kryds, og hvad det betyder for de rejsende. Desuden blev der opsamlet viden om den konkrete CO<sub>2</sub>-reduktion, vedligeholdelsesomkostninger og driftssikkerhed.

Forsøget viste, at de oplyste, teoretiske besparelser på op til 30 % af energiforbruget i tung bytrafik er tilsyneladende svære at opnå i praksis. Parallelhybridbusserne kunne i forsøget reducere CO<sub>2</sub>-udledningen med ca. 12-17 %, mens serielhybriderne kun reducerede CO<sub>2</sub>-udledningen med 0-5 %. Forsøgets resultater understøtter andre lignende forsøgsresultater<sup>26</sup>, der peger på, at yderligere udvikling af hybridteknologien er nødvendig, før CO<sub>2</sub>-reduktionen er overbevisende.

I denne rapport er forudsat, at der kan opnås emissionsreduktioner med en hybridbus på i størrelsesordenen 20 % i forhold til en typisk dieselbus.

<sup>25</sup> Volvo oplyste under et forsøg med hybridbusser hos Movia, at batteriudskiftning bør forventes efter 4-5 år

<sup>26</sup> Et lignende forsøg over nogle måneder med indsættelse af to diesel-elektriske hybridbusser i Aarhus Sporveje har vist en reduktion i energiforbruget på kun 17,5 %

Andre erfaringer  
med hybridbusser

Samtidig er hybridbusserne dyrere end traditionelle dieselbusser, og de løbende driftsudgifter kan være vanskelige at estimere. Særligt kan batteriernes begrænsede holdbarhed betyde, at de bliver nødvendige at udskifte i løbet af en typisk kontraktperiode - det kan blive bekosteligt for operatøren. Batterierne koster typisk i størrelsesordenen 300.000 kr. Samlet var Movias vurdering efter forsøget, at fordelene ved hybridbusser ikke opvejer ulemperne<sup>27</sup>.

I amerikanske storbyer har hybridbusser været anvendt i større stil i den almindelige drift som erstatning for dieselbusser i mange år. New York har en af verdens største flåder af hybridbusser med flere end 1.500 busser. Erfaringerne med hybridbusserne var ret gode i de første år, men siden 2010 er der ikke anskaffet nye hybridbusser.

Årsagen er primært, at bussernes performance ikke lever op til forventningerne. Elektromotorer og andre elektriske komponenter brænder sammen og må udskiftes i en højere takt end planlagt og forventet. Den 5-årige garantiperiode fra busproducenterne er udløbet, og udgifterne som byen selv må afholde hertil er nu så høje, at busserne i stedet overvejes ombygget og monteret med større dieselmotorer.

I Washington har der også været problemer med batterierne i 50 hybridbusser, som har krævet udskiftning, grundet risiko for kortslutning og brand<sup>28</sup>.

Nogle kilder angiver, at parallelhybrider er mest velegnede til linjer, hvor der også køres frit over længere strækninger, mens serielle hybrider er mest velegnede til tætte byområder med mange stop og starter. Enkelte kilder mener endda, at de serielle hybrider på visse linjetyper faktisk bruger mere brændstof end rene dieselbusser. I bl.a. New York er konstateret, at den gennemsnitlige hastighed for hybridbusser gennemsnitligt skal være under 13 km/t for at der opnås energibesparelser, der svarer til forventningerne<sup>29</sup>. Delstrækninger med højere hastigheder kan reducere besparelserne væsentligt.

Den anvendte teknologi i de amerikanske hybridbusser er måske ikke helt identisk med den teknologi, der anvendes i de nyere, europæiske hybridbusser. Erfaringerne bidrager dog til at skabe en vis usikkerhed om forventningerne til de samlede udgifter til at vedligeholde hybridbusser i en lang kontraktperiode.

Anvendelsen af hybridbusser i europæiske storbyer er hidtil i større eller mindre grad sket som led i forsøgsordninger bl.a. med det formål at afdække de langsigtede perspektiver – dvs. test af holdbarheden, behovet for batteriskift og forventede driftsudgifter generelt.

Teknologien må betragtes som værende kommercielt udviklet, selv om der fortsat sker udvikling af busserne, bl.a. hvad angår de anvendte batterier. De første

<sup>27</sup> Se den afsluttende rapport her: <https://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Kollektiv-Trafik/Puljer/Forsogspuljen/Fors%C3%B8gsprojekter/Drivmidler/Movia-hybridbusser.aspx>.

<sup>28</sup> EV World, Newswire, 29. marts 2012

<sup>29</sup> Green & Clean Journal, 18. juli 2013

versioner af hybridbusserne var eksisterende busmodeller, der blev ombygget til hybriddrift, men særligt efter 2009/2010 er hybridbusser hos nogle af busproducenter nærmest blevet en hyldevare.

I beregningerne i denne rapport forudsættes generelle udgifter til service og vedligeholdelse, der ligger 20 % højere end for dieselbusser, og samtidig er indregnet, at batterierne i løbet af kontraktperioden skal udskiftes én gang.

#### Plugin-hybrider

Bl.a. Volvo har udviklet en serie af plugin-hybridbusser, som har et regulært batteri, der lades op undervejs på ruten og som sikrer større emissionsfri rækkevidde. Bussen har en elektrisk motor på 150 kW og en lille EURO VI dieselmotor med omtrent samme ydelse. Begge sikrer hver især tilstrækkelig kraft og moment til normal drift som vi kender det fra traditionelle dieselbusser.



Figur 9 Skitse af en Volvo plugin hybrid bus, der oplades ved hjælp af en pantograf-løsning. Kilde: Insideevs.com

Batteriet er et 19 kWh lithium-ion batteri, der ifølge Volvo betyder at bussen kan køre ca. 10 km uden opladning, svarende til 60-70 % af den samlede afstand mellem opladningsstationer. Det vil ifølge producenten sikre 75 % lavere udledning af CO<sub>2</sub> og et totalt energiforbrug, der er 60 % lavere end en normal dieselbus.

#### Lokalisering af lade-standere

For traditionelle hybridbusser er der ingen særlige udfordringer hvad angår lokalisering af garageanlæg eller tankanlæg. Teknologien er uafhængigt af opladning uden for bussen.

For plugin-busser er situationen anderledes. For at kunne oplade bussen hurtigt (i løbet af 5-6 minutter) er der her behov for fast-charge opladere med en kapacitet på mindst 200 kW. Og skal driften overvejende være elektrisk skal linjeforløb være korte, og der må påregnes ladestandere ved alle endestationer.



Vi har endnu til gode at se langtidserfaringerne med busser af denne type. Er teknikken servicekrævende som traditionelle hybridbusser, og hvor ofte skal batterierne udskiftes?

Vi har forsøgt at beregne TCO for busser af denne type. I overslagsberegningerne er forudsat, at der etableres to fastcharge ladestandere pr. 10 busser.

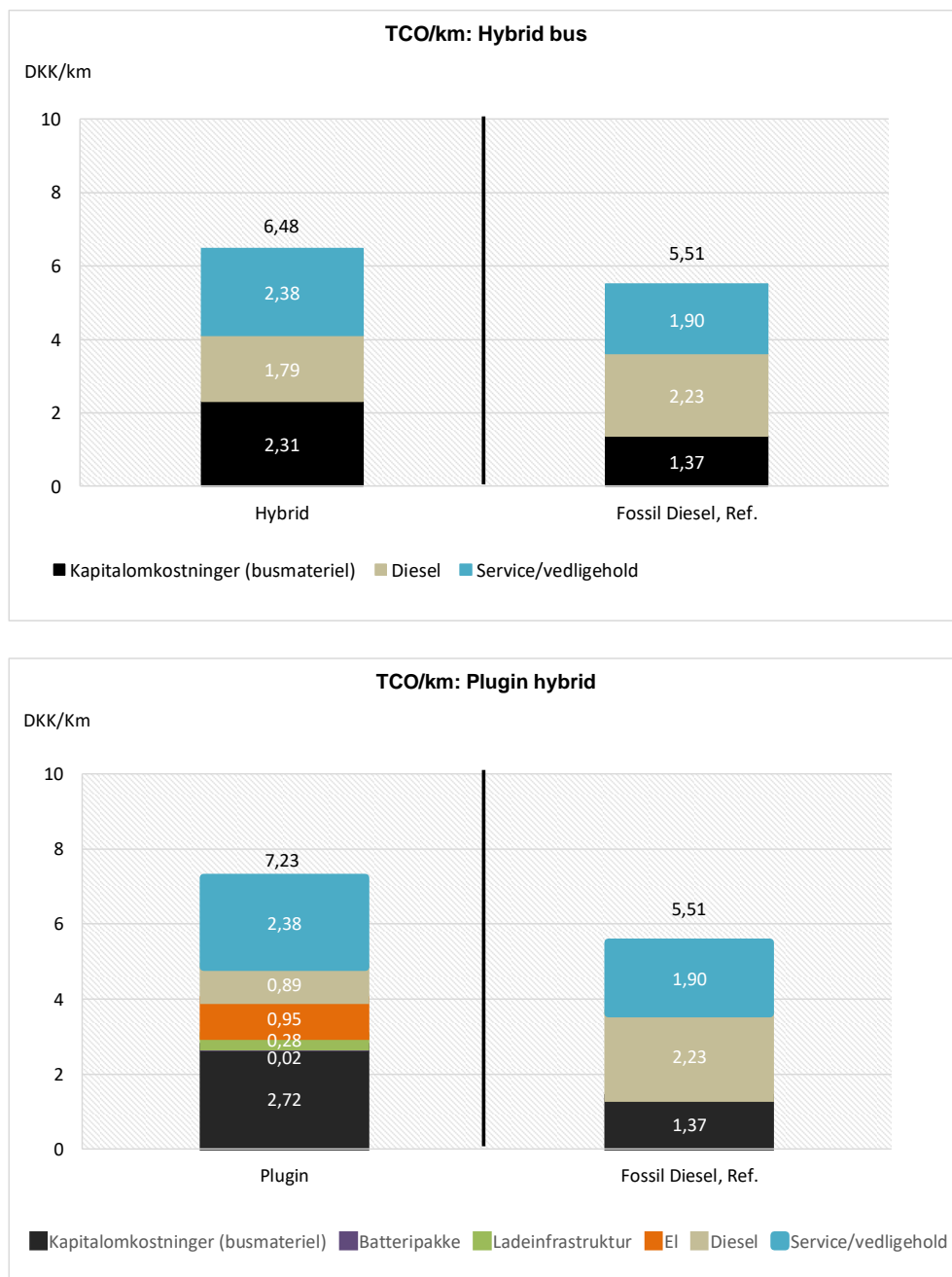
Udbud

Udbudsteknisk vil brug af traditionelle hybridbusser kunne sikres ved at kræve anvendelse af den type busser til den pågældende kørsel eller stille krav om maksimale emissioner, der modsvares af hybrid-teknologien.

I tilfældet med plugin-hybrider kræves langt mere indgående forarbejde med etablering af ladestandere for at kunne tage disse busser i brug på en given linje. Se afsnittet om eldrevne busser.

TCO/km

Driftsomkostningerne (TCO/km) til hybridbusser og plugin-hybrider er vist i Figur 10. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).



Figur 10 TCO/km for hybridbusser og plugin-hybrid busser og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år

Prisforskellen mellem at anvende hybridbusser eller plugin-hybrider frem for traditionel diesel udgør ca. +0,97 DKK/km henholdsvis ca. +1,73 DKK/km, hvilket svarer til ca. 18 % henholdsvis 31 % af de samlede køretøjsudgifter.

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) i hele kontraktperioden er vist i Tabel 11.

Tabel 11 TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel

Hybridbus og plugin-hybrid	Regional buskørsel i Midttrafik		
	Hybrid	Plugin	Diesel
Årlige driftsudgifter <u>TCO for 1 bus</u>	0,58 mio. DKK	0,65 mio. DKK	0,49 mio. DKK
Årlige driftsudgifter <u>TCO for alle 258 busser</u>	149,8 mio. DKK	167,4 mio. DKK	127,4 mio. DKK
Årlige udgifter til løn (chauffør, adm. personale mv.) bygninger, forsikring, overhead mv. <u>for 258 busser</u>	263,6 mio. DKK	263,6 mio. DKK	263,6 mio. DKK
<u>Totale, årlige omkostninger for Midttrafik</u>	413,4 mio. DKK	431,0 mio. DKK	391,0 mio. DKK

Beregningsmæssigt vil overgang til hybridbusser eller plugin hybrider medføre, at de totale omkostninger for Midttrafik til operatører for kørslen øges med 22,4 mio. DKK årligt henholdsvis 39,9 mio. DKK. Det svarer til ca. 6 %/10 %.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 12.

Tabel 12 Reduktion i CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede busstrafik i Midttrafik ved brug af hybridbusser eller plugin hybrider, sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes hybridbusser henholdsvis plugin hybrider til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik

Årlig udledning Diesel EURO VI → Hybrid eller Plugin Hybrid EURO VI	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler (PM)
	Ton	Ton	Kg
Hybrid i alt	17.840 → 14.270 (÷ 20 %)	7,4 → 5,9 (÷ 20 %)	79 → 64 (÷ 20 %)
Plugin i alt	17.840 → 7.140 (÷ 60 %)	7,4 → 3,0 (÷ 60 %)	79 → 30 (÷ 60 %)

## 5.4 Eldrevne busser

Eldrift anses for at blive den fremherskende teknologi i transportsektoren om forholdsvis kort tid. Kommuner, regioner og trafikkselskaber overvejer i øjeblikket mulighederne for at indsætte eldrivne busser i større omfang i den kollektive trafik, og Roskilde har som første danske kommune netop indsat elbusser i hele bybusnettet.

De åbenlyse fordele omhandler 0-emission fra bussen og væsentligt mindre støjgener end fra traditionelle busser med forbrændingsmotorer. Herudover stiller

en del af producenterne i udsigt, at udgifterne til drift og vedligeholdelse er lavere end til dieselbusser. Almindelige 12 meter og større eldrevne busser fungerer endnu ikke fuldt ud som kommercielle løsninger på lige fod med dieselbusserne (bl.a. hvad angår bredden i udvalget af mærker/modeller, leveringstid og listepreiser), og de er ikke fuldt konkurrencedygtige med dieselbusserne på alle rutetyper.

**To opladningsmetoder** Der findes grundlæggende to relevante opladningsmetoder til eldrevne busser – depot-charging (opladning sker uden for ruten og typisk på garagen) og opportunity-charging (opladning sker undervejs på ruten og typisk ved endestationen).

For begge typer af eldrevne busser er det en udfordring at sikre passende og/eller tilstrækkelig rækkevidde for bussen i forhold til den planlagte rutedrift. De nuværende batterier er fortsat fysisk store og tunge, og kapacitet, størrelse og pris er nogenlunde ligefrem proportionale. Disse forhold understøtter ikke direkte mulighederne for at indrette og udstyre busserne i overensstemmelse med kundernes ønsker om eksempelvis klimaanlæg, komfort og gode pladsforhold. For at holde vægten af busser inkl. batteripakke nede (så de fortsat opfylder lovens krav), har de eldrevne busser typisk lidt lavere samlet passagerkapacitet og den stadigt stigende mængde udstyr i form af computere, informationssystemer og billetteringsudstyr, som kræves i busserne i dag, forbedrer ikke situationen.

Ladestander og tilhørende udstyr på busserne er specielle og omkostningskrævende afhængigt af, hvor hurtigt batterierne skal kunne oplades. Der findes i dag en fælles standard (OppCharge standarden), som mange leverandører og producenter understøtter<sup>30</sup>.

**Fordele** Anvendelse af eldrevne busser indebærer generelt følgende fordele:

- > Elmotorer er isoleret betragtet gennemprøvet teknologi
- > 0-emission fra bussen – ingen udstødning overhovedet
- > Eksisterende net kan anvendes til distribution af strøm – stor tilgængelighed
- > Lave omkostninger til "brændstof", typisk 25-35 % lavere, begunstiget af lave afgifter i øjeblikket
- > Lavere omkostninger til service & vedligeholdelse, typisk laves op til 25 %, hvilket vi anvender i beregningerne
- > Væsentligt lavere udvendigt støjniveau fra bussen
- > Markant udvikling af batterier og teknologi vil lette udbredelsen og dermed markedet

---

<sup>30</sup> OppCharge Standarden omfatter: Standardisering af selve koblingen mellem ladestander og skinner på busserne, udstyr der kan hjælpe chaufførerne med at positionere sig korrekt for at bussen kan lades, en standardiseret kommunikationsprotocol mellem udstyret i ladestander og bus (ISO 15118)

## Ulemper

Ulemperne ved eldrevne busser handler dels om en række forhold, som må formodes at være kendetegnende for teknologien, dels om forhold, som endnu er usikre, og som kan vise sig ikke at give anledning til problemer. Ulemperne omhandler:

- > Kortere rækkevidde. Gælder særligt for depotopladede busser
- > Mindre passagerkapacitet – typisk 10-20 % lavere for at holde vægten nede
- > Væsentlig højere anskaffelsespris, typisk en faktor 2 eller højere
- > Kommerciel produktion af fuldt eldrevne busser er fortsat beskedent hos en lang række traditionelle busproducenter. Der går formentlig yderligere nogle år, før produktionen er høj generelt set
- > Udgifter til ladestander – afhængigt af kapacitet fra 100.000->3 mio. DKK pr. stk.
- > Der kræves særlige opladningsstandere eller aggregater til opladning ved udvalgte stoppesteder eller på garageanlæg
- > Opladning på ruterne begrænser mulighederne for ruteomlægninger, både midlertidige og permanente
- > Usikkerhed omkring udgifter til service og vedligehold på langt sigt – især er holdbarheden af batterier og andre elektriske komponenter udokumenteret. Danske serviceaftaler indikerer, at udgifterne stort set svarer til niveauet for dieselbusser, men forventningerne er fortsat lavere udgifter
- > Gensalgsværdien efter endt kontrakt er usikker – markedet er fortsat ret begrænset
- > I takt med udbredelse skal findes løsninger på bl.a. bortskaffelse af ud-tjente batterier.

### 5.4.1 Særlige forhold og overvejelser

Der er særligt tre forhold, der er vigtige at overveje i forbindelse med indfasning af eldrevne busser:

- > Bussernes rækkevidde i en worst case situation (gælder særligt depotopladede busser)
- > Indfasning af elbusser kræver nye forberedelser
- > Eldrevne busser er ikke nødvendigvis 100 % klimaneutrale i øjeblikket.

## Rækkevidde

Når depotopladede busser planlægges indsat i driften på en rute, er det vigtigt, at bussen med den valgte batteripakke skal kunne gennemkøre den planlagte rute/vognløb i en worst case situation, som vil opstå på et tidspunkt i løbet af hele kontraktperioden.

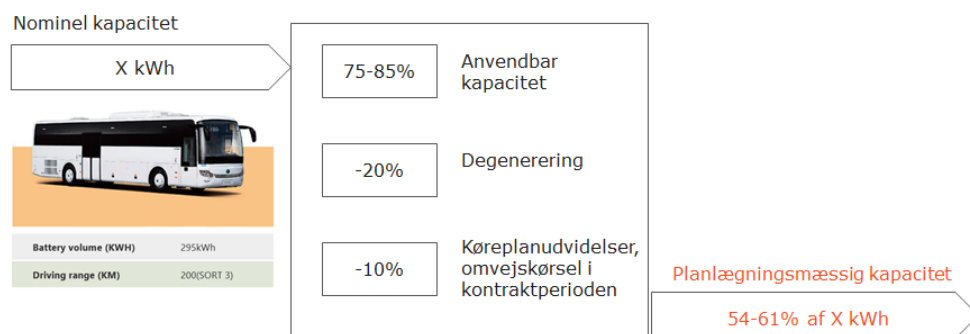
Det betyder bl.a., at bussen skal kunne klare den samlede planlagte kørsel i vintermånederne, hvor forbruget af energi typisk vil være størst. Bussens gennemsnitlige strømforbrug ved en middeltemperatur i Danmark er ikke retvisende for det billede.

Herudover skal der tages højde for, at kørslen skal kunne afvikles både når batterierne i bussen er nye, og når de nærmer sig tidspunktet for udskiftning. Batterierne vil typisk nå at miste op til 20 % af den samlede kapacitet, inden de må

udskiftes. Så kørslen skal kunne gennemføres med op til 20 % lavere batterikapacitet end fra start.

Herudover skal også være tilstrækkelig kapacitet i batteripakken til at håndtere de midlertidige driftsomlægninger, der løbende kan opstå, og til at kunne gennemføre forventede eller endnu ikke overvejede køreplanjusteringer i løbet af kontraktperioden. Strækker kontraktperioden sig over mere end 10 år, er det ikke ualmindeligt, at der opstår behov for at kunne omlægge/forlænge en rute med måske 10 %.

På den anden side skal batterierne ikke være for store, dels fordi det fordyrer den samlede pris for bussen, dels fordi det på grund af vægten begrænser bussens passagerkapacitet. Der vil typisk være ret stor forskel på den nominelle batterikapacitet, der typisk oplyses på en ny elbus, og den kapacitet, der reelt kan anvendes til at udføre rutekørsel i en kontrakt med trafikskabet. Det vil ikke være unormalt, at der kun kan planlægges med 55-60 % af den nominelle kapacitet, se illustration i Figur 11.



**Figur 11** Nominel batterikapacitet versus planlægningsmæssig kapacitet. 15-25 % af batteriernes nominelle kapacitet kan ikke udnyttes af hensyn til batteriernes levetid. Hvis de aflades for meget, reduceres antallet af mulige genopladninger. Herudover sker der en degenerering af batterier over tid på i størrelsesordenen 20 % og endelig skal der i en planlægningsammenhæng tages højde for evt. kommende køreplanjusteringer.

### Planlægning

Udbud af eldrevne busser kræver generelt nye og omfattende forberedelser for trafikskabet og i visse tilfælde også en anden involvering af ejerne, end vi kender i dag. Formålet med forberedelserne er at holde merudgifterne nede, bl.a. ved at minimere antallet af busser og ladestander, optimere den nødvendige batterikapacitet i busserne og minimere mulige risici for tilbudsgiverne.

I forbindelse med udbud af emissionsfri kørsel, vil det i mange tilfælde være en fordel, at tilbudsgiverne kan vælge enten at byde med busser, der oplades på ruten eller busser, der oplades på depotet. Forud for evt. etablering af ladestander i byrummet vil trafikskabet skulle udvikle et detaljeret aftalegrundlag med de forskellige involverede aktører.

Det omfatter bl.a. at:

- > Afdække markedet – der sker hele tiden nye ting på området

- > Fastlægge krav til systemleverandører, netselskaber og busoperatører om opgaver, leverancer, kvalitet og indbyrdes snitflader (levering og opførelse af standere, tilhørende teknik og adgang til strøm)
- > Fastlægge enhedspriser for køb, opstilling og service af komplet ladestation
- > Fastlægge finansiering af den samlede infrastruktur
- > Vurdere og indarbejde krav til standarder
- > Udarbejde plan for nedtagning af udstyret efter endt kontrakt
- > Udbyde aftalegrundlag og indgå rammeaftale om mulige leverancer.

Herudover er det vigtigt, at køreplanerne nøje gennemgås og tilrettelægges, så de understøtter brugen af elbusser. Jo færre busser, kontrakten omfatter, des vigtigere kan en køreplantilretning vise sig at være for det samlede behov for busser.

Trafikselskabet bør i den forbindelse:

- > Optimere køreplaner, vognløbsplaner og køreplanophold i forhold til elbusser. Manglende eller for korte ophold kan udløse ekstra busser
- > Udpege og vurdere egnede lokaliteter til opladning – adgang til strøm, plads til anlæg
- > Vurdere behovet for passagerkapacitet, dublering, ekstrabusser, anden forventet udvikling. Elbusser har typisk lidt lavere kapacitet end dieselbusser
- > Genoverveje kravene til operatørernes performance – høje krav til oppejler kan udløse ekstra busser
- > Simulere vognløbene for at se, hvordan køreplanen kan gennemføres.

Ender udbuddet med en løsning med opladning ved endestationerne skal trafik-selskab sammen med kommune/region skitse- og detailprojektere udformningen af disse endestationer, bl.a. i forhold til indretningen med teknikskabe, ladestander og kabelføring. Dette arbejde kan omfatte overvejelser og tilpasning af design af ladeudstyret i forhold til omgivelserne, og der kan også i udførelsesfasen ligge nye og konkrete opgaver i forhold til tilsyn og byggeledelse mv.

Samlet set en række nye planlægningsopgaver, der også stiller krav om en længere udbudsproces end tidligere (op til to år fra udbud til driftsstart).

Strømmen er ikke helt grøn

En anden overvejelse ved indfasning af eldrevne busser har baggrund i, at strømmen til opladning af busserne ikke er 100 % klimaneutral (VE-strøm). Ifølge danskenergi.dk blev 68 % af strømforbruget i Danmark i 2018 produceret ved hjælp af vedvarende energikilder<sup>31</sup>. Den resterende del af den forbrugte strøm blev bl.a. produceret ved hjælp af fossile brændsler – kul, olie, naturgas. Andelen af VE-strøm er roligt stigende, men VE-strøm vil med stor sandsynlighed ikke kunne dække det totale behov for strøm i Danmark inden for de nærmeste år.

<sup>31</sup> <https://www.danskenergi.dk/nyheder/2018-satte-rekord-solenergi>, 7. januar 2019. Vedvarende energikilder omfatter vind, vand, sol, biogas, biomasse og bionedbrydeligt affald.

Som gennemsnit betragtet medførte forbruget af 1 kWh i 2018 en udledning på ca. 209 g CO<sub>2</sub>. En elbus, der bruger 1 kWh pr. km vil således i teorien udlede ca. 209 g CO<sub>2</sub>, og bruger den 1,5 kWh pr. km vil den udlede ca. 314 g osv. Til sammenligning udleder en dieselbus i Midttrafik ca. 770 g/km. CO<sub>2</sub>-udledningen fra en elbus er med andre ord ikke helt ubetydelig i den sammenligning.

Det er muligt at købe strøm med et certifikat, der dokumenterer, at strømmen stammer fra vedvarende energikilder. Energinet.dk udsteder certifikater, og prisen pr. kWh er ganske lav for tiden.

Oliefyr medfører emissioner

Et andet aspekt omhandler brugen af oliefyr i mange, især depotopladede elbusser og den deraf følgende udledning af klimagasser og andre emissioner. Formålet med oliefyr i elbusser er at undgå et stort træk af strøm fra batterierne til opvarmning, ventilation og aircondition i bussen.

En del erfaringer viser, at forbruget af strøm til især opvarmning af bussen i de kolde perioder af året kan øge bussens forbrug af strøm med op til 50 %. Elbussens rækkevidde reduceres således markant, hvis opvarmningen sker alene ved hjælp af strøm fra batterierne. I forvejen er der en del supplerende udstyr i bussen, som i perioder bidrager til strømforbruget udover forbruget til selve fremdriften.

Oliefyret anvendes når udendørstemperaturen er lav, typisk under 5 grader celsius. Der er statistisk set ca. 100-125 dage årligt med middeltemperaturer under 5 grader. Fyret vil som udgangspunkt køre på diesel og i mange varianter kan der også anvendes HVO. Fyret kan have et brændstofforbrug på op til 4 liter pr. time, hvis det er i drift konstant. Det vil i givet fald medføre en CO<sub>2</sub>-udledning på i størrelsesordenen 300-350 g/km, hvis der anvendes almindelig diesel. Herudover kan der være andre udledninger fra fyret (i form af NO<sub>x</sub> og partikler mv.), som, så vidt COWI er orienteret, ikke reguleres eller kontrolleres af myndighederne i dag. Movia stiller i dag krav om, at oliefyr i eldrevne busser skal benytte HVO.

Ved opportunity-charging er det typisk ikke nødvendigt at bruge oliefyr, da bussens batterier vil kunne dimensioneres, så det samlede strømforbrug i bussen til alle formål kan dækkes.

## 5.4.2 Depot-charging

Depot-charging foregår, når bussen er taget ud af drift, dvs. typisk på operatørens garageanlæg om natten eller midt på dagen, hvis der er en lang pause.

I Tabel 13 vist en opgørelse over vigtige karakteristika for en depot-charged bus:



Tabel 13 Karakteristika for en eldrevet, depot-charged bus

Depot-charging	Uddybning	Anslået pris
Bus, anslået pris	<p>12 m bus med samme standard som en typisk dieselbus i dag</p> <p>Der findes ingen offentligt tilgængelige listepreiser på elbusser og priserne påvirkes formentlig af, at nogle producenter meget gerne vil ind i markedet. De data, vi har haft adgang til indikerer, at prisniveauet i øjeblikket ligger i et spænd mellem 3,4-4,1 mio. DKK. Spændet repræsenterer en forholdsvis stor spredning i priserne, især blandt europæiske og kinesiske mærker, hvor de kinesiske typisk er billigere og formentlig også har en anden detailkvalitet</p>	3,7 mio. DKK (middeltal)
Opladning	På depot, dvs. om natten eller på midt på dagen i en længere pause i driften	
Batterikapacitet i bussen	<p>250-375 kWh. Flere producenter forventer, at der i løbet af 2020 vil dukke batterier op med en nominel kapacitet på ca. 440 kWh til en almindelig 12 m bus</p> <p>Kinesiske busmærker tilbyder i øjeblikket busser med størst batteripakker. Typisk har de nyeste busser &gt; 250 kWh</p>	
Slow-charge ladestation	<p>Der findes ladestationer fra 25-150 kW. Vi har for eksemplets skyld regnet med standarder med en kapacitet på 50 kW. Det bør være 1 ladestander pr. driftsbus</p> <p>Da driften ligger i dagtimerne og tidligt på aftenen på de fleste vognløb, er der tilstrækkelig tid til fuld opladning på garagen med ladestander med en kapacitet på 50 kW.</p>	0,125 mio. DKK pr. ladestander
Fast-charge ladestation	<p>Kapacitet på 300 kW. Der vil ofte være 1 fast-charge ladestander pr. garage. I beregningerne har vi indregnet en fast charge stander pr. 30 busser</p> <p>En detaljeret udredning fra VTT og TØI fra 2016 anslår prisen for en 300 kW lader til ca. 2,25 mio. DKK.</p>	2,25 mio. DKK pr. ladestander
Fuldopladning: Slow-charge	5-6 timer	
Fuldopladning: Fast-charge	1-2 timer	
Specifikt energiforbrug	1,5 kWh/km som et forsigtigt bud inkl. forbrug til opvarmning, ventilation og aircondition (en <u>worst case</u> betragtning)	
Forventet rækkevidde som et gennemsnit i al slags vejr	<p>En bus med 375 kWh batterier (nominel kapacitet) vil beregningsmæssigt i en <u>worst case</u> betragtning have en rækkevidde til planlægningsformål (dvs. rutekørsel) svarende til ca. 160 km før den skal oplades igen.</p> <p>Heri er indregnet en forventet degenerering af batterierne på 20 % i løbet af kontraktperioden, og at det ikke vil være muligt at udnytte 20 % af batteriets nominelle kapacitet (der skal være en restkapacitet i batterierne på mindst 20 % ved maksimal afladning).</p>	

Energiforbrug

Det er ikke muligt at finde kilder, der beskriver erfaringer med eksakt energiforbrug under kørselsforhold, der vil minde om forholdene i Midttrafik. Forbruget vil generelt afhænge af passagerbelastningen, mængden af energiforbrugende udstyr i bussen, kørselsmønsteret, hastigheder, topografiske og klimamæssige udfordringer og chaufførens kørestil.

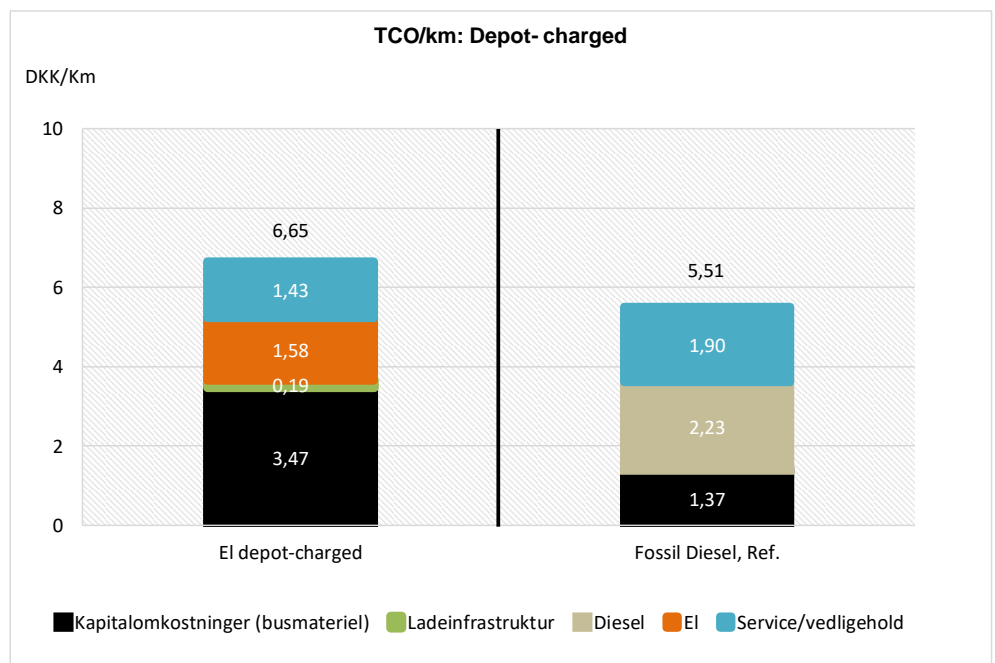
En del kilder indikerer, at det erfaringsmæssige energiforbrug til fremdrift af bussen alene svarer til 0,8-1,1 kWh ved middel passagerbelastning, et stoppestedsmønster med 4-600 m mellem stoppestederne, en ikke alt for udfordrende topografi og udendørstemperaturer over 5 grader. Hertil skal lægges energiforbrug til opvarmning af bussen i de koldeste perioder, hvilket ifølge flere kilder kan udgøre op til halvdelen af forbruget til fremdrift eller mere. Nye teknologier med varmepumper mv. udvikles netop nu med fokus på at få energiforbruget ned. Ligeledes viser erfaring, at opvarmning på garagen inden rutestart betyder meget for den nødvendige, supplerende opvarmning af bussen. Vi skønner derfor forsigtigt forbruget til 1,5 kWh/km. se Tabel 13.

Udbud

Udbudsteknisk vil brug af eldrevne busser kunne sikres ved at stille krav om emissionsfri kørsel.

TCO/km

Driftsomkostningerne (TCO/km) til en depot-charged bus er vist i Figur 12. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).



Figur 12 TCO/km for en depot-charged bus til sammenligning med en bus på fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år

Prisforskellen mellem at anvende en depot-charged elbus frem for traditionel diesel udgør ca. +1,14 DKK/km, hvilket svarer til ca. 21 % af de samlede køretøjsudgifter.

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) i hele kontraktperioden er vist i Tabel 14. I beregningerne er her forudsat, at alle nuværende busser erstattes af et lignende antal depot-charged busser, uanfægtet at det kan kræve ændringer i køreplanerne. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).

Tabel 14 TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel

El, depot charged	Regional buskørsel i Midttrafik	
	El, Depot-charged	Diesel
Årlige driftsudgifter <u>TCO for 1 bus</u>	0,60 mio. DKK	0,49 mio. DKK
Årlige driftsudgifter <u>TCO for alle 258 busser</u>	153,9 mio. DKK	127,4 mio. DKK
Årlige udgifter til løn (chauffør, adm. personale mv.) bygninger, forsikring, overhead mv. <u>for 258 busser</u>	263,6 mio. DKK	263,6 mio. DKK
<u>Totale, årlige omkostninger for Midttrafik</u>	417,4 mio. DKK	391,0 mio. DKK

Beregningsmæssigt vil en komplet overgang til elbusser med depot opladning som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Midttrafik til operatører for kørslen øges med 26,5 mio. DKK årligt. DKK. Det svarer til ca. 7 %.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 15.

Tabel 15 Reduktion i CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede bustrafik i Midttrafik ved brug af eldrevne busser (depot charge) sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes elbusser til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik

Årlig udledning Diesel EURO VI → Elbusser (depot-charged)	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partikler (PM)
	Ton	Ton	Kg
I alt	17.840 → 0 (÷ 100 %)	7,4 → 0 (÷ 100 %)	79 → 0 (÷ 100 %)

### 5.4.3 Opportunity-charging

Opportunity-charging er en metode, hvor bussens batterier oplades undervejs på ruten i forbindelse med stop ved udvalgte stoppesteder (hurtig opladning), i praksis sker det typisk ved endestationer.

Sammenholdt med depot-charged busser er de umiddelbare fordele ved opportunity-charged busser øget (ubegrænset) rækkevidde samt mindre

batterikapacitet og deraf lavere vægt. Den lavere vægt medfører dels, at antallet af passagerer ikke begrænses så meget som i en depot charged bus, dels at energiforbruget er 10-15 % lavere.

Det antages endvidere, at batterierne i opportunity-charged busser har længere levetid end i depot-charged busser. Producenterne forventer således, at batteriskift ikke behøver være nødvendige i bussens levetid (10-12 år), hvilket dog endnu ikke er eftervist i større skala. Udover høje anskaffelsespriser er ulemperne, at linjeføringer og endestationer fastlåses i en forholdsvis lang periode. Det gør løbende tilpasning af busdriften vanskelig.

Nedenfor er i Tabel 16 vist en opgørelse over vigtige karakteristika for en opportunity-charged bus:

Tabel 16 Karakteristika for en eldrevet, opportunity-charged bus

Opportunity-charging	Uddybning	Anslået pris
Bus, anslået pris	12 m bus med samme standard som en typisk dieselbus i dag  Data, vi har adgang til indikerer, at prisniveauet i øjeblikket ligger på omkring 3,3 mio. kr., men det afhænger i høj grad af bussens batteripakke – typer og størrelser. En udredning fra VTT og TØI anslår prisen for en bus til 360.000 euro uden batterier, mens flere kilder peger på, at batterier lige nu koster 5-600 euro pr. kWh. Prisspændet mellem europæisk og kinesisk producerede busser virker til at være mindre end for depot-charged busser	3,3 mio. DKK
Opladning	På ruten, dvs. undervejs i driften	
Batterikapacitet i bussen	150 kWh	
Fast-charge ladestation	Kapacitet på 350-450 kW. Der er forudsat 2 fast-charge ladestander pr. linje samt en på garagen. Med afsæt i antallet af ruter og busser pr. rute i Midttrafik i dag, er det i beregningerne forudsat, at 3 ladestander betjener 6 driftsbusser i gennemsnit.  På linje 2A i København er der i 2019 etableret 450 kW ladestander til ca. 3,25 mio. kr. pr. stk. Ifølge andre kilder kan en 300 kW stander leverer for ca. 2,25 mio. DKK, men den endelige pris afhænger af design, indpasning og indretning på den konkrete lokalitet	2,75 mio. DKK pr. ladestation
Fuldopladning: Fast-charge	15-20 minutter	
Specifikt energiforbrug, VTT simulering	1,3 kWh/km som et gennemsnit inkl. inkl. forbrug til opvarmning, ventilation og aircondition. På grund af lavere vægt og anden teknologi, er forbruget lavere end for en depot-charged bus, typisk 10-20 % lavere	
Forventet rækkevidde som et gennemsnit i al slags vejr	En bus med 150 kWh batterier (nominel kapacitet) vil beregningsmæssigt i en <u>worst case</u> betragtning have en rækkevidde til planlægningsformål (dvs. rutekørsel) svarende til ca. 75 km før den skal oplades igen. Det betyder, at den typisk vil kunne gennemkøre ruten med opladning kun i den ene ende (for at tage højde for evt. nedbrud).  Heri er indregnet en forventet degenerering af batterierne på 20 % i løbet af kontraktperioden, og at der skal være en restkapacitet i batterierne på mindst 20 % ved maksimal afladning.	

#### Ladestander

Opportunity-charged busser vil være mest velegnede til højfrekvente linjer med forholdsvis korte ruteforløb, og hvor behovet for opladning undervejs på ruten kan begrænses til endestationer. Det betyder nemlig lavere investeringer i løsninger til opladning. Af hensyn til driften vil der selv på helt korte linjer være behov for fast-charge opladere med en høj kapacitet på omkring 350-450 kW.

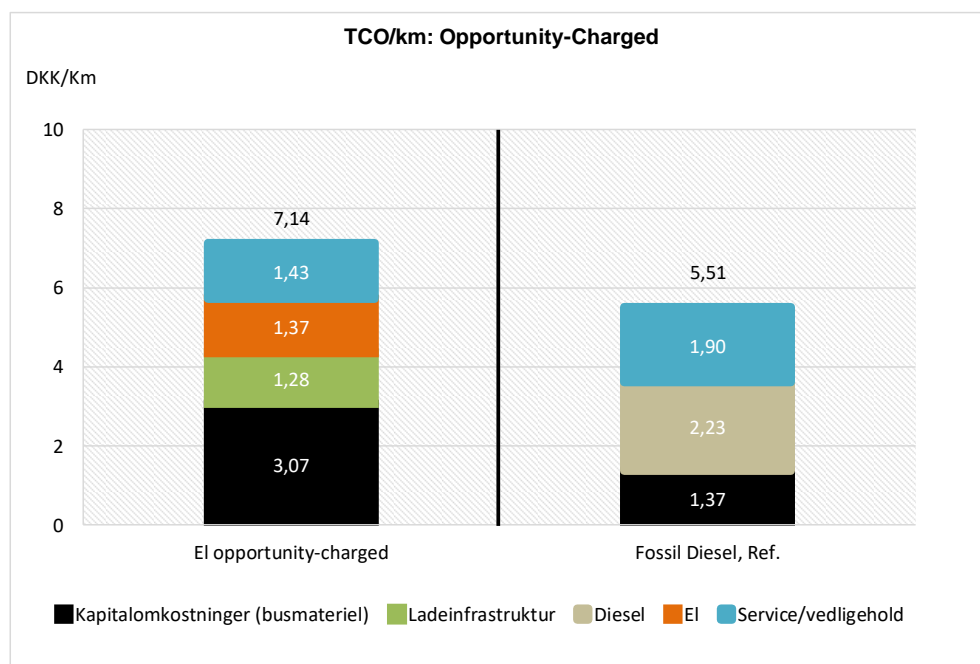
Standermonterede pantografløsninger (top-down) i byrummet har været mest i fokus indtil nu hos de største systemleverandører. De forventede fordele omhandler bl.a.:

- > At minimere mængden af udstyr samlet set og derved reducere de samlede udgifter
- > At minimere bussens højde
- > At minimere det nødvendige udstyr på bussen (fordele for vægt, service & vedligeholdelse)
- > At sikre 'renere' snitflader mellem systemleverandører og busoperatører, hvorved konfliktpunkter minimeres.

Ulempen er særligt, at når størstedelen af den følsomme teknologi er monteret i standeren, så vil evt. nedbrud ramme alle busser, hvorimod den modsatte løsning (down-up) kun vil ramme den enkelte bus.

TCO/km

Driftsomkostningerne (TCO/km) til en opportunity-charged bus er vist i Figur 13. Til sammenligning er vist de tilsvarende driftsomkostninger for busser, der anvender fossil diesel (reference).



Figur 13 Gennemsnitlige km-priser for en 12 m eldrevet opportunity-charged bus, og til sammenligning fossil diesel. Gennemsnitlige km-priser for en 12 m bus beregnet for en kontraktlængde på 12 år

Prisforskellen mellem at anvende eldrevne busser med opportunity-charging frem for traditionel diesel udgør ca. 1,63 DKK/km, hvilket svarer til ca. 30 % af de samlede køretøjsudgifter<sup>32</sup>.

<sup>32</sup> I beregningerne er forudsat, at 3 ladestandere betjener 6 driftsbusser. Hvis kørslen kan tilrettelægges på en måde, hvor 3 ladestandere i stedet kunne betjene 10 busser i

TCO

De totale driftsomkostninger (TCO) i hele kontraktperioden er vist i Tabel 17. I beregningerne er her forudsat, at alle nuværende busser erstattes af et lignende antal opportunity-charged busser, uanfægtet at det kan kræve ændringer i køreplanerne.

Tabel 17 TCO, beregnet på baggrund af 12 års kørsel i kontrakt i Midttrafik, sammenholdt med de tilsvarende udgifter for almindelig diesel

<i>El, depot charged</i>	<i>Regional buskørsel i Midttrafik</i>	
	<i>El, Opportunity charged</i>	<i>Diesel</i>
Årlige driftsudgifter <u>TCO for 1 bus</u>	0,64 mio. DKK	0,49 mio. DKK
Årlige driftsudgifter <u>TCO for alle 258 busser</u>	165,2 mio. DKK	127,4 mio. DKK
Årlige udgifter til løn (chauffør, adm. personale mv.) bygninger, forsikring, overhead mv. <u>for 258 busser</u>	263,6 mio. DKK	263,6 mio. DKK
<u>Totale, årlige omkostninger for Midttrafik</u>	428,7 mio. DKK	391,0 mio. DKK

Beregningsmæssigt vil en komplet overgang til elbusser med depot opladning som skitseret oven for medføre, at de totale omkostninger for Midttrafik til operatører for kørslen øges med 37,7 mio. DKK årligt. DKK. Det svarer til ca. 10 %.

De miljømæssige effekter er vist i Tabel 18.

Tabel 18 Reduktion i CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og partikler (PM) for den regionalt finansierede bustrafik i Midttrafik ved brug af eldrevne busser (Opportunity-charged) sammenholdt med almindelig diesel og EURO VI. Tallene er beregnet på baggrund af, at der anvendes elbusser til den samlede, regionale buskørsel i Midttrafik

<i>Årlig udledning</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>Partikler (PM)</i>
	<i>Ton</i>	<i>Ton</i>	<i>Kg</i>
<i>Diesel EURO VI → Elbusser (Opportunity-Charged)</i>			
I alt	17.840 → 0 (÷ 100 %)	7,4 → 0 (÷ 100 %)	79 → 0 (÷ 100 %)

## 5.5 Brintbusser

En brintbus drives grundlæggende set af elmotorer, som får strøm fra et eller flere batterier, der lades op af en brændselscellemotor. Brint er en universel energibærer, der kan produceres fra alle primære energikilder. Sker

gennemsnit, vil de beregnede, gennemsnitlige km-priser være ens for depot-charged og opportunity-charged busser

produktionen på baggrund af overskudsstrøm eller vedvarende energikilder medfører brint positive miljømæssige gevinster, men som udgangspunkt sker der et stort konverteringstab af energi både ved produktionen af brint og ved den efterfølgende omsætning af brinten til strøm i brændselscellen.

Der er i en årrække gennemført flere større og mindre forsøgsprojekter i blandt andet Europa med det formål at afdække positive og negative perspektiver ved brintbusser.

#### Fordele

Fordelene er primært:

- > Elmotorer er isoleret betragtet gennemprøvet teknologi
- > God rækkevidde
- > 0-emission fra bussen – ingen udstødning overhovedet
- > Gode miljømæssige gevinster, hvis brint produceres på overskudsstrøm eller vedvarende energikilder
- > Lavere udvendigt støjniveau fra bussen.

#### Ulemper

Overordnet set peger kilder på følgende ulemper:

- > Mange aktører og kilder vurderer, at brint- og brændselscelleteknologien fortsat er i en modningsfase
- > Der igangsættes en del forsøg i europæiske byer med brintbusser i øjeblikket, men vi er ikke bekendt med, at der er indsat brintbusser i almindelig kommerciel drift uden særlig økonomisk støtte.
- > Antallet af brintbusser i drift er fortsat meget begrænset, formentlig mellem 100-200 i Europa<sup>33</sup>
- > Udgifterne til en brintbus er fortsat op til en faktor 3-4 i forhold til en dieselbus
- > Driftssikkerheden er ikke på højde med de mest oplagte alternativer – der opstår nedbrud<sup>34</sup> og perioder med driftsstop
- > Der mangler distributionsnet i Danmark og tankfaciliteter er forholdsvis dyre
- > CO<sub>2</sub>-udledning i forbindelse med typisk brintproduktion og efterfølgende omdannelse af brint til el i brændselscellerne udgør et klimamæssigt problem
- > Styringsenheder skal forbedres (bl.a. energistyring)
- > Der er ikke etableret et eftermarked med tilgængelige reservedele, hvilket besværliggør nedbrud yderligere.
- > Ifølge NEL Hydrogen Solutions, en dansk brintvirksomhed, er brændstofudgifterne 30-40 % højere end udgifterne til en dieselbus, ifølge andre kilder er prisforskellen højere
- > Højere service & vedligeholdelsesomkostninger (ifølge NEL +20 %), og der kræves særlige værksteder/faciliteter og specialuddannet personale
- > Den gennemsnitlige levetid for brændselsceller har typisk ligget omkring 2.000 timer. Ifølge NEL er der sket forbedringer så den forventede levetid nu er op til 12.000 timer

<sup>33</sup> <https://www.dr.dk/nyheder/regionale/nordjylland/fremtiden-er-her-landets-foerste-brintbusser-er-paa-vej>

<sup>34</sup> I Oslo har tilgængeligheden til brintbusserne været under 70 %, andre steder har den været oppe på omkring 90 %



- > Høje anskaffelsesomkostninger på brændselsceller.

Der mangler fortsat en stor efterspørgsel efter brintbusser, som kan gøre priserne tilnærmelsesvist konkurrencedygtige med traditionelle busser. Af EU's strategi for alternative drivmidler fra januar 2013<sup>35</sup> fremgår, at priserne med en fortsat udvikling af teknologien og en fortsat efterspørgsel, vil falde til et sammenligneligt niveau i 2025-30. Herudover skal de øvrige, nævnte forhold også forbedres for at gøre teknologien tilstrækkelig konkurrencedygtig. Ændrede oliepriser kan dog sætte yderligere skub i udviklingen.

I 2010 var priserne på brintbusser en faktor fire højere end på typiske dieselbusser. Region Nordjylland og Aalborg Kommune besluttede i 2018 at gennemføre et forsøg med tre brintbusser, der nu har vist sig at koste godt 7 mio. kr. stykket. Det svarer fortsat til en faktor 4 i forhold til en dieselbus.

NEL

Brintvirksomheden NEL Hydrogen Solutions i Herning har i år sammen med en række samarbejdspartnere fået tildelt støtte fra EU på i alt ca. 300 mio. kr. i forbindelse med et storskalaprojekt om indførelse af 600 brintbusser i Danmark, Storbritannien og Letland i perioden frem mod 2023.

Ifølge NEL handler projektet særligt om at få volumen i drift af brintbusser, idet NEL er overbevist om, at brint er tæt på at kunne konkurrere med diesel som drivmiddel til busser, også økonomisk. Samarbejdet involverer blandt andre en irsk busproducent, Wrightbus, der skal stå for opbygningen af busser. NEL fremhæver, at brintbussen ikke på samme måde som elbussen i dag er begrænset på rækkevidden, og at den ligesom elbussen er helt emissionsfri og medfører lavere udvendig støj.

NEL oplyser følgende om deres forventede løsning:

- > En meget væsentlig forudsætning er et setup med i størrelsesordenen minimum 20 brintbusser. Med færre end 20 busser bliver løsningen for dyr
- > En traditionel 12 meter bus med 2 dørsæt forventes at koste ca. 2,8-2,9 mio. DKK i indkøb med en standardtank til ca. 30 kg brint
- > De gennemsnitlige udgifter til service- og vedligehold ventes at ligge på ca. 2,25 DKK/km
- > Et kg. H<sub>2</sub> vil koste 37-52 DKK hos operatøren inkl. udgifter til en standard-løsning vedr. tankfaciliteter og tilhørende fyldeudstyr
- > Forventet forbrug af H<sub>2</sub> ca. 7-7,5 kg/100 km
- > Brinten skal transporteres rundt til lokale tankfaciliteter i lastbiler, der forventes at køre på HVO.

Med de oplyste nøgletal vil løsningen med samme driftsmæssige forudsætninger umiddelbart koste op mod 15 % mere end dieselalternativet. Rækkevidden vil beregningsmæssigt være ca. 400 km. med en standardtank, hvilket er længere end med depotopladede elbusser, men eksempelvis ikke tilstrækkeligt til at kunne gennemføre ca. halvdelen af de nuværende vognløb i Midttrafik.

---

<sup>35</sup> Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy, 24. januar 2013

Samlet set anser vi det fortsat ikke for realistisk, at brint vil komme til at spille en rolle i forhold til de førstkomende udbud i Midttrafik. De vigtigste årsager er følgende:

- > NEL har endnu ikke præsenteret hverken busser eller faciliteter til garage, tanke og fyldestationer
- > Der er ikke etableret lokal adgang til reservedele, viden og erfaring med teknologien i de busser, der tænkes anvendt. Det øger ulemperne ved driftsuregelmæssigheder
- > Økonomi og performance i en hel kontraktperiode er ikke dokumenteret endnu. Det gør det formentlig også vanskeligt at få operatørerne til at byde ind med den løsning
- > Energitab ved produktion af brint og omdannelse til el i brændselsceller gør løsningen mindre attraktiv end rene elbusser.

Vi anbefaler, at Midttrafik følger fremdriften og de første resultater i NELs projekt i de kommende år og inddrager teknologien i konkrete overvejelser igen, hvis det kan konstateres, at:

- > Performance og opetider i busserne kan sidestilles med dieselbusser og andre alternativer
- > De økonomiske forventninger holder stik eller forbedres yderligere
- > Hvis udviklingen ændrer rammebetingelserne for øvrige alternativer.

## 5.6 Fordele og ulemper

På baggrund af ovenstående gennemgang af aktuelle teknologier og drivmidler, er fordele og ulemper samlet i en oversigt i Tabel 19. Brint indgår ikke i tabellen, da vi ikke anser det for et realistisk alternativ i forhold til de kommende udbud.

**Tabel 19** Vurdering af forskellige teknologier, deres respektive fordele og ulemper og egnethed i forhold til reduktion af miljøbelastningen fra den kollektive busstrafik. Udgangspunktet er en sammenligning med dieselbus (venstre kolonne), dvs. nødvendige investeringer, omkostninger og udfordringer mv. er beskrevet med en dieselbus som alternativ. Farverne og styrken indikerer, om noget er positivt (grønt) eller negativt (rødt) ift. diesel som reference

Teknologi	Diesel, fossil	Syntetisk diesel, HVO	Biogas	Hybridbusser	Plugin hybrid	El, depot-charging	El, opportunity charging
Omkostninger – drivmiddel		Høje	Uændret	Lave	Lave	Meget lave	Meget lave
Nødvendige merinvesteringer, busser		Ingen	Lave	Høje	Høje	Meget høje	Meget høje
Nødvendige merinvesteringer, anlæg		Ingen	Lave	Ingen	Meget høje	Lave	Meget høje
Problemer i forhold til lokalisering af anlæg		Ingen	Ingen	Ingen	Placering af opladere	Ingen	Placering af opladere
Meromkostninger - service og vedligehold for busser		Ingen	Lave	Lave, men usikre + nye batterier	Lave, men usikre + nye batterier	Lave, men usikre + nye batterier	Lave, men usikre + nye batterier
Særlige rammebetingelser		Få producenter	Ingen	Ingen	Etablering af lade-standere	Ingen	Etablering af lade-standere
Særlige udbudsforhold		Ingen	Ingen	Ingen	Synkronisere kontrakter om kørsel og ladeanlæg	Lang afskrivning foretrækkes	Synkronisere kontrakter om kørsel og ladeanlæg
Behov for teknologisk udvikling		Ingen	Ingen	Lavere energiforbrug	Ingen	Længere rækkevidde, lavere vægt	Længere rækkevidde, lavere vægt
Miljømæssig profil (CO <sub>2</sub> )		Meget høj	Meget høj	Lav	Høj	Meget høj	Meget høj
Andre fordele/ulemper for kunder		Ingen	Lav støj	Delvis 0-emission og lav støj	Delvis 0-emission og lav støj	0-emission Meget lav støj	0-emission Meget lav støj
Samlet egnethed som alternativt drivmiddel i dag <sup>36</sup>		Egnet	Egnet	Egnet	Egnet	Egnet	Egnet
TCO, DKK/km	5,51	6,77	6,04	6,48	7,23	6,65	7,14
Løn, adm., fors., OH mv. DKK/km	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39	11,39
I alt, DKK/km	16,90	18,16	17,43	17,87	18,62	18,04	18,53
Totale omkostninger til operatører, Index	100,0	107,5	103,1	105,7	110,2	106,8	109,7

<sup>36</sup> Egnethed opgjort i forhold til at drivmidlet er tilgængeligt på markedet, at teknologien er tilstrækkelig moden og at teknologien kan indføres på buslinjer i Midttrafik i større skala

## 6 anbefaling

Formålet med analysen har været at belyse alternative teknologier og brændstofmuligheder for den regionalt finansierede kørsel i Region Midtjylland forud for de kommende udbud af rutekørsel. Præmissen er regionens overvejelser om at gøre den kollektive trafik mere miljø- og klimavenlig end i dag, f.eks. ved brug af biobaserede brændstoffer, eller ved at erstatte de nuværende dieselbusser med eldrevne busser. Konkret har spørgsmålet også været, om der er teknologier, som overordnet set må betragtes som værende mere velegnede end andre.

Der er tale om en generisk analyse, hvor den primære forudsætning har været uændret køreplan og dermed uændret drift i forhold til i dag. Resultaterne viser således konsekvensen ved anvendelsen af en anden teknologi end diesel i et forhold én til én. Konsekvenser ved omlægning af drift, f.eks. indførelse af længere stoppestedsophold eller indsættelse af flere busser pga. mindre rækkevidde, er ikke indregnet.

Analysen viser, at flere teknologier og brændstoffer kan være attraktive og fordelagtige at bringe i spil.

### VE-biogas

Biogas virker umiddelbart som det mest oplagte valg, primært af følgende grunde:

- > Det er pålideligt, praktisk anvendeligt og forholdsvist udbredt og kendt i Danmark
- > Miljøgevinsterne er meget væsentlige, særligt i forhold til udledning af klimagasser (CO<sub>2</sub>-reduktion på 100 % ved afgangning af gylle)
- > Gasbusser medfører lavere udvendig støj end dieselbusser
- > Omkostningerne er kun svagt højere end de nuværende omkostninger
- > Der er adgang til tilstrækkelige mængder i en kommende udbudsperiode
- > Indekstal for de totale omkostninger til operatører opgøres til 103,1 (hvor diesel er 100,0).

### Syntetisk diesel

Syntetisk diesel, HVO, er et andet fornuftigt alternativ, som også indebærer væsentlige fordele i forhold til almindelig diesel. Det omhandler især:

- > Flexibiliteten – det er helt ukompliceret at tage i brug
- > Miljøgevinsterne er meget markante, ikke mindst i forhold til udledning af klimagasser (CO<sub>2</sub>-reduktion på knap 90 %)
- > Omkostningerne er højere end de nuværende omkostninger, og også højere end biogas
- > Adgangen til tilstrækkelige eller i hvert fald visse mængder i en kommende udbudsperiode
- > Indekstal for de totale omkostninger til operatører opgøres til 107,5 (hvor diesel er 100,0).

Der kan vælges en løsning, hvor HVO er det foretrukne drivmiddel, og hvor diesel anvendes som alternativ i perioder, hvor HVO ikke er tilgængelig. På den måde kan sikres en høj miljøgevinst, også i perioder, hvor HVO måtte være

særligt dyr eller vanskelig at få adgang til i den rette kvalitet. Udbudsteknisk vil det kunne løses ved at stille emissionskrav, eksempelvis formuleret som gennemsnit over kontraktperioden, der sikrer den ønskede miljøeffekt gennem en høj andel af HVO.

#### Hybridbusser

Hybridbusser findes mindre egnede i sammenligningen, primært af følgende grunde:

- > De energi- og miljømæssige gevinster kan være vanskelige at opnå i praksis. Meget lave (og helt urealistiske for den aktuelle kørsel) driftshastigheder synes at være en kritisk faktor i den sammenhæng
- > Udgifterne til indkøb og drift af busserne er forholdsvist høje
- > Service & vedligeholdelsesomkostningerne efter lang tids drift kan være vanskelige at estimere. Uventede udskiftninger af elektromotorer og batterier vil gøre teknologien uforholdsmæssigt dyr og sårbar
- > Indekstal for de totale omkostninger til operatører opgøres til 105,7 (hvor diesel er 100,0).

#### Plugin hybrider

Tilsvarende vurderes også plugin hybrider at være mindre egnede for nuværende i sammenligning med de øvrige alternativer. Det skyldes primært:

- > Usikkerhed om langtidsholdbarheden af teknikken, som må vurderes til at være mere kompleks end i rene diesel-, gas- og eldrevne busser
- > Udgifterne til busser og ladestandere er høje, og service & vedligeholdelsesomkostningerne efter lang tids drift kan være vanskelige at estimere. Uventede udskiftninger af elektromotorer og batterier vil gøre teknologien uforholdsmæssigt dyr og sårbar
- > Etablering af ladestandere kræver betydelige forberedelser fra trafikskabs side
- > Beregningsmæssigt er dette alternative dyrere end fuldt eldrevne busser
- > Vi forventer, at plugin hybrider hurtigt udkonkurreres af rene elbusser
- > Indekstal for de totale omkostninger til operatører opgøres til 110,2 (hvor diesel er 100,0).

#### Eldrevne busser

Eldrevne busser er egnede visse steder, og samlet er vurderingen, at:

- > 100 % emissionsfri kørsel sikrer de største samlede klima- og miljøgevinster blandt alle alternativer
- > Eldrevne busser medfører væsentligt lavere udvendig støj
- > Udgifterne til busser og ladestandere er høje, særligt ved opportunity-charged busser
- > Den begrænsede rækkevidde kan fortsat udgøre et problem og reducere antallet af linjer, hvor eldrevne busser direkte kan erstatte dieselbusser 1:1 uden køreplanjusteringer
- > Etablering af ladestandere kræver betydelige forberedelser, især hvis opladning skal foregå ved endestationer i byrummet
- > Indekstal for de totale omkostninger til operatører for depot-charged busser opgøres til 106,8 og for opportunity-charged busser til 109,7 (hvor diesel er 100,0)

- > For ruter med mange busser kan meromkostningerne komme endnu længere ned end det generelle estimat ovenfor.

Det bemærkes, at både depot- og opportunity-charging teknologierne fortsat er uprøvede i stor skala over en sammenhængende, langvarig kontraktperiode i Danmark.

Almindelige 12 meter og større eldrevne busser fungerer således endnu ikke fuldt ud som kommercielle løsninger på lige fod med dieselbusserne (bl.a. hvad angår bredden i udvalget af mærker/modeller, leveringstid og listepreiser), og de er ikke fuldt konkurrencedygtige med dieselbusserne på alle rutetyper. Der er eksempelvis ikke indsat eldrevne busser i regionaldrift i Danmark endnu.

## 6.1 Øvrige forhold

Støj

Støjmæssigt vil det ikke medføre fordele at skifte til syntetisk diesel. Indsættes der gasbusser som alternativ til de nuværende dieselbusser, vil den udvendige støj reduceres med ca. 3 dB(A) for gasbusserne.

Støjen fra hybridbusser vil være op til ca. 7 dB(A) lavere end fra dieselbusser i de tidsrum, hvor de alene drives ved hjælp af batterierne. Indsættes traditionelle hybridbusser vil tidsrummene, hvor det kan ske, udgøre 15-20 % af den samlede køretid, indsættes plugin-hybrider kan der ske støjreduktionen for en større andel af køretiden.

Tilsvarende gælder for løsninger med eldrevne busser. Støjen vil også her være op til 7 dB(A) lavere end for dieselbusser, hvilket er klart mærkbart.

Kontraktlængde

I overgangen fra diesel til nye teknologier, der kræver høje investeringer i materiel og/eller ladeinfrastruktur, vil det være en fordel at øge kontraktlængden, hvis ønsket er at minimere ekstraomkostningerne. Afskrivningsperioden på busser og ladeudstyr er i visse tilfælde en betydende faktor til at reducere de samlede årlige driftsomkostninger og gøre de nye alternativer økonomisk sammenlignelige med den nuværende dieseldrift.

En af beregningsforudsætningerne i denne rapport er en afskrivningsperiode/kontraktlængde på 12 år. Hvis der eksempelvis udbydes eldrift på korterevarende betingelser, f.eks. 8 år, så vil meromkostningerne øges i forhold til vores beregninger, da elløsningerne især er karakteriseret af høje investeringer (som skal afskrives) og lavere driftsomkostninger. Så jo længere kontrakt, des større fordel for elbusserne, og omvendt. Og kan skiftet til emissionsfri busser koordineres med en forlængelse af kontrakterne, så vil det kunne betyde meget for meromkostningerne.

Billedet er lidt anderledes for gasbusser og anvendelse af HVO. For gasbussernes vedkommende er nogle af meromkostningerne knyttet til busmateriellet, mens de løbende driftsudgifter også er lidt højere end med dieselbusser. Så her er gevinsterne ved at forlænge kontrakterne ikke helt så markante som for

elbusser. Anvendes HVO er meromkostninger alene knyttet til drivmidlet, så her vil ikke være nogen effekt af at forlænge kontrakten.

#### Takststigningsloft

Antallet af rejsende øges ikke automatisk fordi der indføres grønne teknologier, og billetpriserne kan kun øges i begrænset omfang på grund af det såkaldte takststigningsloft. Loftet betyder, at den gennemsnitlige stigning i taksten for standardbilletter i den kollektive trafik ikke må overstige den øvrige prisudvikling i samfundet (opgjort som et særligt omkostningsbaseret indeks<sup>37</sup>).

Det betyder, at takststigningerne inden for et trafiksselskab i gennemsnit skal ligge under det udmeldte "loft". Disse regler blev fastlagt med virkning fra og med 2008. I 2010 blev indført en fleksibilitet, der betyder, at trafiksselskaberne kan opspare takststigninger, så en uudnyttet takststigning i et år kan udnyttes i de følgende to år.

Takststigningsloftet for 2020 er ifølge Trafik- bygge og boligstyrelsens hjemmeside 1,9 %.

De beregnede merudgifter til at dække operatørens øgede driftsomkostninger ved at indføre alternative drivmidler, kan derfor kun i begrænset omfang forventes medfinansieret gennem øgede billetindtægter. De resterende merudgifter må finansieres gennem øgede tilskud fra kommuner og region. I en situation, hvor billetindtægterne udgør ca. halvdelen af de samlede driftsomkostninger, betyder det, at en beregnet merudgift til operatørerne på 5 % resulterer i et nettotilskud til den kollektive trafik på +10 %.

## 6.2 Samlet

Rapporten viser, at Region Midtjylland sammen med Midttrafik har flere muligheder for at sikre en fremtidig reduktion af emissionerne fra busserne, også i de kommende udbud.

Øget anvendelse af biogas, som erfaringsmæssigt har vist sig som et godt alternativ i bl.a. København, Sønderborg, Fredericia, Skive, Holstebro og Silkeborg er en mulighed. Evt. kombineret med en forlænget kontraktlængde i forhold til i dag, hvilket alt andet lige vil reducere meromkostningerne i forhold til i dag. Biogassen tilbyder gode miljømæssige egenskaber, lavere støjledning og kan anvendes på alle rutetyper.

Anvendelse af HVO er en anden mulighed. Det er let at implementere og har gode miljømæssige effekter. Det vil kunne anvendes på alle rutetyper, men det er et dyrere alternativ end biogas, og det reducerer ikke støjledningen fra busserne.

Indførelse af eldrevne busser er også et muligt alternativ. Udnyttelsen af de enkelte busser i den regionalt finansierede buskørsel er relativt høj i Region

---

<sup>37</sup> Jævnfør Bekendtgørelse om takstændringer i offentlig servicetrafik i trafiksselskaber og hos jernbanevirksomheder (BEK nr. 1217 af 22/10/2015)

Midtjylland sammenholdt med andre regioner. Det medfører, at meromkostningerne ved at omstille til eldrevne busser alt andet lige er lavere end andre steder, når man kigger på det én til én, som er forudsætningen i denne analyse. Den endelige meromkostning ved omstilling til eldrevne busser vil bero på en nærmere analyse af de enkelte vognløb i forhold til specielt rækkevidde og muligheden for at lade enten i depot eller lejlighedsvis.

Indførelse af eldrevne busser vil sikre 0-emission fra bussernes udstødning og bidrage til en væsentlig støjreduktion. Til gengæld kræver det en række forberedelser, som beskrevet i afsnit 4.4, og klimaeffekterne er ikke helt optimale endnu. Teknologien er bedst egnet, hvor depot-charged busser kan køre ruter med korte vognløb <150-200 km (eller hvor der er lange ophold på garagen undervejs) eller hvor opportunity-charged busser kan køre på ruter med høj intensitet (mange busser og km) og lade op ved standere ved endestationerne.

Meromkostningerne vil bero på de helt konkrete forhold på de respektive ruter, og vil bl.a. afhænge af, i hvor høj grad ruter og vognløb kan tilrettes, så antallet af busser og ladestandere holdes nede. Længere kontrakter vil hér være en meget vigtig faktor til at minimere meromkostningerne.

## 6.3 Scenarier

- |        |  |
|--------|--|
| Del I  | Denne screeningsrapport er den første af to rapporter for Region Midtjylland vedr. omstilling til mere klimavenlig kollektiv bustrafik frem mod 2030.  |
| Del II | <p>COWI udarbejder en tilhørende rapport, hvor vi på baggrund af basisoplysninger i nærværende rapport, opstiller og gennemfører en række scenarieberegninger, der kan styrke regionens grundlag for at fastlægge en strategi for de kommende busudbud.</p> <p>Hvilke scenarier, der er interessante at beskrive og sætte tal på, aftales sammen med regionen og Midttrafik. Afsættet kan bl.a. være de foreliggende, nationale klimamål, der kræver ændringer fra 2025 og igen fra 2030. Det kan også være mål om bestemte emissionsreduktioner i perioden frem mod 2030.</p> <p>Scenarieberegningerne vil særligt sætte fokus på de miljømæssige effekter, der kan opnås og den tilhørende driftsøkonomi for regionen, og på de virkemidler, regionen har til rådighed. Hensigten er overordnet set at lette arbejdet med at rammesætte de kommende udbud.</p> |