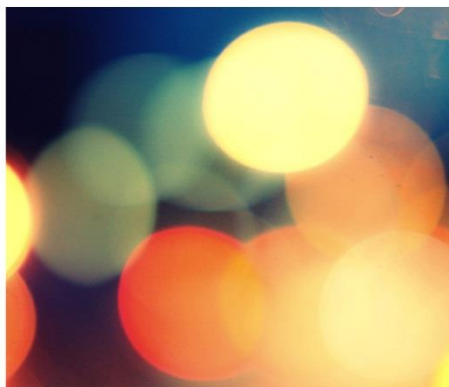
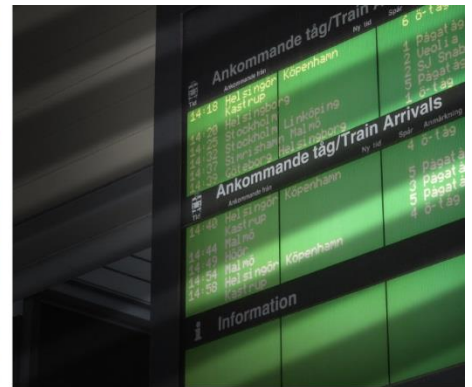
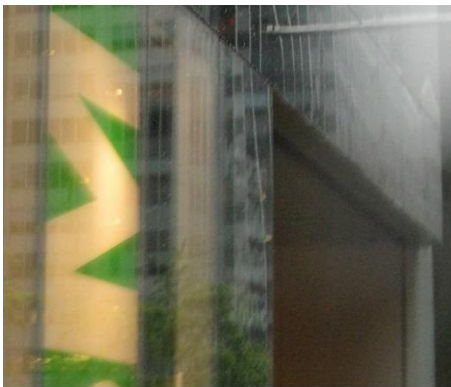


# Innfasing av lav- og nullutslippsteknologi

## Mulighetsstudie for busser i bergensområdet

Rapporten er oversatt til norsk av Allegro språktjenester, på oppdrag fra Skysst.



**Dokumentinformasjon**

<b>Tittel:</b>	Innfasing av lav- og nullutslippsteknologi – Mulighetsstudie for busser i bergensområdet
<b>Serienr.</b>	2017:46
<b>Prosjektnr:</b>	17055
<b>Forfattere:</b>	Hannes Englesson Sebastian Fält
<b>Medvirkende:</b>	PG Andersson
<b>Kvalitetsrevi- sjon:</b>	PG Andersson
<b>Bestiller:</b>	Skyss Kontaktperson: Einar Aalen Hunsager, tlf. +47 409 16 229

**Dokumenthistorikk:**

<b>Versjon</b>	<b>Dato</b>	<b>Endring</b>	<b>Distribusjon</b>
0.1	22.05.2017	Tidlig, uferdig utkast	Bestiller
0.2	26.05.2017	Oppdatert utkast	Bestiller
0.9	16.06.2017	Foreløpig sluttversjon	Bestiller
0.95	22.06.2017	Redaksjonelle justeringer	Bestiller
1.0	26.06.2017	Sluttrapport	Bestiller

## Forord

---

I løpet av de nærmeste årene kommer Skyss til å gå i gang med nye anbudsrunder for kollektivtrafikken i kontraktsonrådene Bergen nord, Bergen sentrum, Bergen sør og Vest. Hordaland fylkeskommune og Skyss har en ambisjon om å sette sammen en bussflåte som drives av fornybar energi, og i de kommende anbudsrunderne vil det bli stilt krav om at fornybar energi skal benyttes der det er mulig. Kommende kontraktperioder gjelder fra 2019–2020, og anskaffelsene skal planlegges ut fra et nullutslippsperspektiv ettersom det hovedsakelig er i anskaffelsesfasen at fylkeskommunen har handlingsrom til å stille mer ambisiøse krav til utslipp og miljøpåvirkning. Før neste anbudsrunde påbegynnes, skal Skyss ha utarbeidet en plan for innføring av lav- og nullutslippsteknologi for busstrafikken i bergensområdet, og det er her denne utredningen kommer inn som et viktig underlag. I utredningen er det undersøkt hvilke driftsteknologier som er hensiktsmessige/mulige for de respektive transportkontraktene med hensyn til rutelengder, infrastrukturbehov og kostnadsbilde for ulike løsninger.

Utredningen ble gjennomført våren 2017 av en prosjektgruppe hos Trivector sammen med Einar Aalen Hunsager, Gudrun Einbu og Stine Karoline Olsen fra Skyss. Trivectors prosjektgruppe besto av tekn. lic. Per Gunnar Andersson (oppdragsansvarlig), civ.ing. Hannes Englesson og civ.ing. Sebastian Fält.

Göteborg, juni 2017

Trivector Traffic AB



## Sammendrag

---

Hordaland fylkeskommune og Skyss har en ambisjon om å sette sammen en bussflåte som drives av fornybar energi, og i de kommende anbudsrundene vil det bli stilt krav om at fornybar energi skal benyttes der det er mulig. Før neste anbudsrunde påbegynnes, skal Skyss ha utarbeidet en plan for innføring av lav- og nullutslippsteknologi for busstrafikken i bergensområdet.

For å kunne sette et realistisk ambisjonsnivå for implementering av lav- og nullutslippsbusser samt konkrete miljøkrav i kommende kontrakter har Trivector på oppdrag fra Skyss sett nærmere på hva som er teknisk mulig for busstrafikken i regionen (med hensyn til rutelengder, infrastrukturbehov, topografi m.m.), og hvordan kostnadsbildet ser ut for ulike løsninger.

Utredningen gir svar på følgende spørsmål:

- ▶ Hva er hensiktsmessige og realistiske lav- og nullutslippsløsninger for busskontraktene i bergensområdet i perioden fram til 2030?
- ▶ Hvilke bussteknologier vil være tilgjengelig i 2019/2020 når nye kontrakter skal inngås, og hvilke nye teknologier kan forventes å komme til i løpet av kontraktperioden?
- ▶ Hvilke av de bussteknologiene som forventes å være tilgjengelige, vil være hensiktsmessige i Bergen med tanke på klima og topografi?
- ▶ Hva er anbefalt innfasingstakt for anbefalte lav- og nullutslippsteknologier for busskontraktene i bergensområdet?

Lavutslippsteknologi omfatter biodrivstoff, biogass og hybridteknologi; nullutslippsteknologi omfatter helelektriske løsninger. Råstoffet skal være fornybart, og bærekraften i samsvar med det nåværende kunnskapsnivå.

Løsningene som anbefales, skal være økonomisk rimelige og såpass pålitelige og driftssikre at dagens servicenivå kan opprettholdes. Et prøveprosjekt med ny teknologi kan inkluderes som en del av de anbefalte løsningene.

Følgende driftsteknologier/brensler er undersøkt og nærmere beskrevet:

- ▶ Drivstoff som er etablert på markedet (FAME/RME, HVO og biogass)
- ▶ Ulike framdriftsteknologier
  - ▶ Konvensjonell teknologi (diesel- og gassdrift)
  - ▶ Hybridbuss
  - ▶ Hybridbuss (hydrogen/brenselcelle)
  - ▶ Ladbar hybridbuss
  - ▶ Helelektrisk buss (depotlading/hurtiglading/trolleybuss/IMC)

En vurdering av hensiktsmessige løsninger med hensyn til drivstoff og elektrifisering av busstrafikken i de respektive kontraktsområdene er presentert i dokumentasjonen i vedlegg 1. Ettersom elektrifisering er den teknologien som har

størst begrensinger per i dag, samtidig som det er den teknologien som har størst potensial for miljøforbedring og energieffektivitet, har vi sett mer inngående på mulighetene for helelektrisk drift. Opplysningene i vedlegg 2 viser hva som er mulig og kan anses å være relevant ut fra dagens kunnskapsnivå og tekniske utvikling. En faktisk implementering krever imidlertid en mer detaljert dimensjonering i samarbeid med kjøretøyprodusenter og operatører.

### Scenarier som er undersøkt

På bakgrunn av hvilke teknologier som er mulige for de respektive transportkontraktene, er tre alternative scenarier utarbeidet: alternativscenario 0, 1 og 2. De to sistnevnte innebærer en økt andel elektrifisert trafikk, bruk av biodrivstoff og infrastrukturtiltak, mens alternativscenario 0 tilsvarer dagens drift men med Euro VI-busser. Et viktig utgangspunkt for arbeidet har vært å prøve å holde nede antallet ulike driftsteknologier innenfor en og samme kontrakt da dette gir en mer kostnadseffektiv og driftssikker løsning.

Alternativscenario 0 (referanse):

Kontraktssområde	El. (trolley)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Diesel
Bergen nord	-	-	3, 3E, 4, 4E	Øvrige linjer
Bergen sentrum	2	-	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	-	-	Alle linjer

Alternativscenario 1:

Kontraktssområde	El. (IMC)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Biodrivstoff
Bergen nord	-	-	3, 3E, 4, 4E	Øvrige linjer
Bergen sentrum	Ny 2, 21*, 80*	10, 15	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	-	-	Alle linjer

\*Linjene flyttes fra kontraktssområde Bergen sør

Alternativscenario 2:

Kontraktssområde	El. (IMC)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Biodrivstoff
Bergen nord	-	-	Alle linjer	
Bergen sentrum	Ny 2, 13, 19, 21, 80	10, 12, 14, 15, 18, 40, 40E, 41, 45, 47, 81/82	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	22, 52, 54, 56, 57, 61, 64, 65, 70, 71, 75, 76	-	Øvrige linjer

Linjer som bytter kontraktsområde i alternativscenario 2:

Linjer	Fra	Til
20, 24, 25, 28, 48 og 55	Bergen sentrum	Bergen sør
42, 43	Bergen sentrum	Vest
21, 80	Bergen sør	Bergen sentrum

### *Resultatbeskrivelse*

De ulike scenariene er analysert ut fra klima- og miljøprestasjoner, energiytelse og økonomiske virkninger av at trafikken kjøres med den enkelte driftsteknologi som er foreslått. Resultatene beskrives per kontraktsområde.

### Miljøvirkninger

Avansert biodrivstoff gir en stor reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp, men spennet er stort og avhenger av type biodrivstoff og biodrivstoffets opprinnelse. Alternativscenario 1 og 2 forutsetter som tidligere nevnt biogass med svært gode klimaegenskaper mens biodrivstoff kan ha både gode og mindre gode klimaegenskaper. Usikkerheter vedrørende tilgangen på biobrensel er et viktig aspekt som må tas i betraktning. Elektrifisering kan legge til rette for enda større reduksjoner men er av større betydning for energiforbruket og til en viss grad for utslippene lokalt. Euro VI-standarden gir allerede i dag en betydelig reduksjon i lokale utslipp sammenlignet med tidligere Euro-klasser.

### Økonomiske virkninger

Både alternativscenario 1 og 2 innebærer høyere kostnader<sup>1</sup> enn alternativscenario 0, men forskjellen i årlig kostnad ligger på mellom 2 og 6 %, og alternativscenario 2 er det alternativet som medfører høyest kostnader. Medregnes kostnader som ikke påvirkes av valg av teknologi, og som ikke er inkludert i beregningene, blir totalkostnadene høyere, og da vil de teknologiavhengige kostnadsforskjellene bli noe lavere totalt sett. Ved innføring av elbusstrafikk er det mulig å få støtte fra ENOVA, noe som vil redusere infrastrukturinvesteringen, men den årlige kostnadsreduksjonen totalt sett vil være relativt liten.

<sup>1</sup> Kostnaden for utbygging av trolleyinfrastruktur til Laksevåg/gjennom sentrum inngår ikke i kostnadsversikten på neste side, men vil komme i tillegg dersom alternativscenario 1 eller 2 gjennomføres. Investeringskostnadene for ledningsnettet antas å beløpe seg til totalt 90 millioner kroner i henhold til beregningene i Teknisk forprosjekt for trolleybuss til Laksevåg, utarbeidet av Bybanen Utbygging. Av denne kostnaden vil utbyggingen av ledningsnettet til Laksevåg utgjøre 60 millioner kroner.

## Sammenstilling av resultatene

Alternativscenario 0 (referanse):

Kontraktssområde	km	kWh	CO <sub>2</sub> , tonn	NO <sub>x</sub> , kg	PM, kg	Beregnet årlig kostnad, kr
Bergen nord	8 100 000	43 207 000	5 449	12 191	196	183 520 000
Bergen sentrum	5 860 000	22 251 000	5 786	7 251	68	148 910 000
Vest	7 020 000	27 024 000	7 324	9 188	86	141 910 000
Bergen sør	7 700 000	30 864 000	8 364	10 494	99	165 270 000
<b>Totalt</b>	<b>28 680 000</b>	<b>123 346 000</b>	<b>26 923</b>	<b>39 124</b>	<b>449</b>	<b>639 610 000</b>

Alternativscenario 1:

Kontraktssområde	km	kWh	CO <sub>2</sub> , tonn	NO <sub>x</sub> , kg	PM, kg	Beregnet årlig kostnad, kr
Bergen nord	8 100 000	43 207 000	1 352-3 573	12 191	196	185 210 000-187 170 000
Bergen sentrum	6 490 000	20 156 000	762-2 700	5 404	51	173 840 000-175 550 000
Vest	7 020 000	27 024 000	1 245-4 541	9 188	86	145 040 000-147 320 000
Bergen sør	6 960 000	28 052 000	1 292-4 713	9 538	90	149 530 000-152 550 000
<b>Totalt</b>	<b>28 570 000</b>	<b>118 439 000</b>	<b>4 651-15 527</b>	<b>36 321</b>	<b>423</b>	<b>653 620 000-662 590 000</b>
sml. referanse	0%	-4%	-42-83%	-7%	-6%	2-4%

Infrastrukturinvesteringen for dette alternativet beløper seg til 12 millioner kroner, eller tilsvarende knappe 880 000 kr/år. Enova-stønning på inntil 40 % av dette kan redusere den årlige kostnaden med 350 000 kroner.

Alternativscenario 2:

Kontraktssområde	km	kWh	CO <sub>2</sub> , tonn	NO <sub>x</sub> , kg	PM, kg	Beregnet årlig kostnad, kr
Bergen nord	8 100 000	49 552 000	1 016	11 892	273	193 670 000
Bergen sentrum	4 800 000	8 410 000	71-109	105	1	144 840 000
Vest	7 430 000	28 618 000	1 318-4 808	9 730	92	154 120 000-157 200 000
Bergen sør	7 940 000	28 615 000	1 234-4 461	8 996	85	179 830 000-182 680 000
<b>Totalt</b>	<b>28 270 000</b>	<b>115 195 000</b>	<b>3 639-10 393</b>	<b>30 723</b>	<b>450</b>	<b>672 460 000-678 390 000</b>
sml. referanse	-1%	-7%	-61-86%	-21%	0%	5-6%

Infrastrukturinvesteringen for dette alternativet beløper seg til 96 millioner kroner, eller tilsvarende knappe 7,1 millioner kr/år. Enova-stønning på inntil 40 % av dette kan redusere den årlige kostnaden med drøye 2,82 millioner kroner.



# Innholdsfortegnelse

---

<b>1.</b>	<b>Innledning</b>	<b>2</b>
1.1	Bakgrunn	2
1.2	Formål	2
1.3	Omfang	2
<b>2.</b>	<b>Bussteknologier og alternative drivstoff</b>	<b>4</b>
2.1	Etablerte typer biodrivstoff på markedet	4
2.2	Bussteknologier	6
<b>3.</b>	<b>Dagens busstrafikk (2016)</b>	<b>18</b>
3.1	Bergen nord	18
3.2	Bergen sentrum	18
3.3	Vest	19
3.4	Bergen sør	20
3.5	Dagens passasjertrafikk og forventet utvikling	20
<b>4.</b>	<b>Mulige teknologier for busstrafikken i Bergen</b>	<b>24</b>
<b>5.</b>	<b>Analyse</b>	<b>26</b>
5.1	Vurdering av forutsetninger og muligheter	26
5.2	Utviklingsalternativer	34
5.3	Miljø- og klimapåvirkning samt energiforbruk	41
5.4	Økonomi	45
5.5	Trafikken 2030	48
<b>6.</b>	<b>Konklusjoner og anbefalinger</b>	<b>52</b>
6.1	Teknologivalg i de aktuelle scenariene	52
6.2	Samlet effektvurdering	53



# 1. Innledning

---

## 1.1 Bakgrunn

Hordaland fylkeskommune og Skyss har en ambisjon om å sette sammen en bussflåte som drives av fornybar energi, og i de kommende anbuds rundene vil det bli stilt krav om at fornybar energi skal benyttes der det er mulig. Kommende kontraktperioder gjelder fra 2019–2020, og anskaffelsene skal planlegges ut fra et nullutslippsperspektiv ettersom det hovedsakelig er i anskaffelsesfasen at fylkeskommunen har handlingsrom til å stille mer ambisiøse krav til utslipp og miljøprestasjon. Før neste anbudsrunde påbegynnes, skal Skyss ha utarbeidet en plan for innføring av lav- og nullutslippsteknologi for busstrafikken i bergensområdet.

## 1.2 Formål

For å kunne sette et realistisk ambisjonsnivå for implementering av lav- og nullutslippsbusser og konkrete miljøkrav i kommende kontrakter har Skyss bedt om en utredning som viser hva som er teknisk mulig for busstrafikken i regionen (med hensyn til rutelengder, infrastrukturbehov, topografi m.m.), og hvordan kostnadsbildet ser ut for ulike løsninger.

Utredningen skal gi svar på følgende spørsmål:

- ▶ Hva er hensiktsmessige og realistiske lav- og nullutslippsløsninger for busskontraktene i bergensområdet i perioden fram til 2030?
- ▶ Hvilke bussteknologier vil være tilgjengelig i 2019/2020 når nye kontrakter skal inngås, og hvilke nye teknologier kan forventes å komme til i løpet av kontraktperioden?
- ▶ Hvilke av de bussteknologiene som forventes å være tilgjengelige, vil være hensiktsmessige i Bergen med tanke på klima og topografi?
- ▶ Hva er anbefalt innfasingstakt for anbefalte lav- og nullutslippsteknologier for busskontraktene i bergensområdet?

## 1.3 Omfang

Lavutslippsteknologi omfatter biodrivstoff og hybridteknologi; nullutslippsteknologi omfatter helelektriske løsninger. Råstoffet skal være fornybart, og bærekraften i samsvar med det nåværende kunnskapsnivå.

Løsningene som anbefales, skal være økonomisk rimelige og såpass pålitelige og driftssikre at dagens servicenivå kan opprettholdes. Et prøveprosjekt med ny teknologi kan inkluderes som en del av de anbefalte løsningene.

Følgende områder inngår i studien:

Kontraktsumråde	Kontrakten utløper
Vest	24.06.2019
Bergen sør	16.08.2019
Bergen nord	01.10.2020
Bergen sentrum	01.12.2020

Studien vil ta hensyn til at kollektivtrafikken i kommende kontraktperiode ifølge planen vil øke fra ca. 49,2 millioner reiser i 2016 til ca. 80 millioner reiser i 2030. Dette da det i regionen er et mål om at biltrafikken ikke skal øke.

## 2. Bussteknologier og alternative drivstoff

*Følgende kapitler inneholder en kartlegging av dagens bussmarked og det eksisterende tilbudet av alternative drivstoff og driftsteknologier. Fordeler og ulemper med ulike teknologier er analysert, og det framtidige potensialet er beregnet ut fra dagens kunnskapsnivå. Teknologiens modenhet er vurdert, og eksempler på hvor i Europa teknologien er tatt i bruk og i hvilket omfang, blir presentert.*

### 2.1 Etablerte typer biodrivstoff på markedet

#### FAME/RME

FAME står for fettsyremetylestrer og kan framstilles av ulike typer oljevekster som raps, solsikke, soya og palme. Det er også mulig å framstille FAME av animalsk fett eller av vegetabilsk eller animalsk avfallsolje. Det finnes også andre biologiske råstoffer som eventuelt kan bli interessante på lengre sikt, for eksempel Camelina (en oljeplante) og algeoljer. I Norden brukes vanligvis rapsolje da den har kuldeegenskaper og derfor er bedre egnet for et nordisk klima. Denne typen FAME kalles RME, eller rapsmetylester. Det er mulig å kjøre diesekjøretøy på 100 % FAME, men FAME har noe lavere energiinnhold enn fossil diesel, og det kreves visse tekniske tilpasninger av kjøretøyet. For å kjøre på 100 % FAME kreves godkjenning fra produsenten av kjøretøyets motor.

Tabell 2-1 Fordeler og ulemper med RME.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fornybart drivstoff</li> <li>+ Produksjon i Norden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Krever modifisering av diesekjøretøy</li> <li>- Relativt liten CO<sub>2</sub>-reduksjon (ca. 40 %)</li> <li>- Noe lavere energiinnhold enn i fossil diesel</li> </ul>

#### HVO

HVO står for hydrert vegetabilsk olje og kan framstilles av ulike typer oljevekster som raps, solsikke og palme. HVO kan også framstilles fra tallolje, som er et biprodukt fra skogindustrien. Da brenselet ble innført på markedet, var råstoffbasen utelukkende vegetabilsk, derav navnet, men nå kan HVO også framstilles av animalske fettstoffer, for eksempel animalsk fett fra slakteavfall. HVO framstilles ved at fettsyrer reagerer med hydrogengass ved høy temperatur og under høyt trykk. Følgelig er også hydrogengassens opprinnelse av betydning for brenselets totale klimapåvirkning. Sporbarhet er viktig når det gjelder HVO, og det er viktig at palmeoljen som eventuelt er brukt i framstillingen av HVO, oppfyller relevante krav med hensyn til arbeidernes vilkår, og at produksjonen ikke er basert på råstoff fra plantasjer i avvirket regnskog. HVO framstilt i Norden har gode klimaegenskaper, og ettersom brenselet er nesten identisk med fossil diesel, er

det i dag flere bussprodusenter som tillater 100 % HVO i sine Euro V- og VI-motorer uten at det trengs ekstra tiltak.

Etterspørselen etter HVO har økt kraftig de senere årene, og den store etterspørselen forventes å vedvare i årene som kommer. Det knyttes stor usikkerhet til om tilgangen på HVO vil kunne dekke behovet i framtiden, særlig når det gjelder HVO med gode klimaprestasjoner. Mengden HVO med gode klimaprestasjoner er beregnet til ca. 1,1 millioner m<sup>3</sup>, og samlet mengde HVO globalt er beregnet til ca. 5 millioner m<sup>3</sup>, eller omtrent tilsvarende Norges totale forbruk av drivstoff i dag<sup>2</sup>. En stor del av tilgjengelig HVO produseres av palmeolje og da av et råstoff som kalles PFAD, som ofte betraktes som restprodukt. I Norge har myndighetene klassifisert PFAD som et biprodukt, noe som enkelt sagt betyr at HVO fra PFAD ikke oppfyller bærekraftskriteriene. Følgelig er det stor usikkerhet knyttet til tilgangen på bærekraftig HVO i Norge i framtiden, noe som også vil kunne føre til at prisen på eksisterende bærekraftig HVO øker.

Tabell 2-2 Fordeler og ulemper med HVO.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fornybart drivstoff</li> <li>+ Det finnes produksjon i Norden</li> <li>+ Det finnes HVO med en CO<sub>2</sub>-reduksjon på inntil ca. 83<sup>3</sup> %</li> <li>+ Kan brukes direkte i de fleste konvensjonelle dieselmotorer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begrenset tilgang og usikkerhet knyttet til tilgang i framtiden</li> <li>- Fare for stigende priser på HVO med gode klimaegenskaper</li> </ul>

## Biogass

Biogass dannes gjennom en organisk nedbrytingsprosess i et oksygenfritt miljø. Gassen består i hovedsak av metan og karbondioksid, men den inneholder også noe hydrogen sulfid og vanddamp. Produksjonen av biogass skjer hovedsakelig i biogassanlegg, der organisk materiale utrånnes i råtnetanker. Metaninnholdet i gassen ligger vanligvis på rundt 60–70 prosent. Biogass produseres også naturlig i deponier med organisk avfall. Framstilling av biogass er et viktig bruksområde for biogass. Biogassbasert biogass framstilt ved oppgradering av biogass og lokalt framstilt biogass har gode klimaegenskaper.

I Bergen produseres biogass lokalt. Anlegget skal kunne levere 2,3–2,5 millioner Sm<sup>3</sup>/år i perioden 2020–2030, som tilsvarer en energiverdi på ca. 23–25 GWh/år. Ifølge planen vil 95 % av biogassen bli framstilt av slam, 5 % av matavfall.

Tabell 2-3 Fordeler og ulemper med biogass.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fornybart drivstoff</li> <li>+ Gode klimaegenskaper</li> <li>+ Lokal produksjon i Bergen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begrenset tilgang</li> </ul>

<sup>2</sup> Anders Kleve Svella, CircleK, e-post 2017-05-29.

<sup>3</sup> Ifølge dokumentasjonen som ligger til grunn for denne rapporten ([https://lovdata.no/dokument/SF/for-skrift/2004-06-01-922#KAPITTEL\\_4](https://lovdata.no/dokument/SF/for-skrift/2004-06-01-922#KAPITTEL_4)), gir det beste biodrivstoffet i Norge en reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp på 83 % sammenlignet med fossil diesel. Dette er på linje med den HVO som selges av Circle K, og som er basert på fritryolje.

## 2.2 Bussteknologier

### Mekanisk drivlinje (konvensjonell teknologi)

Det kan være et alternativ å videreføre bruken av konvensjonelle busser med mekanisk drivlinje dersom det finnes busslinjer der omstilling til ny teknologi ikke kan forsvares økonomisk. Den nyeste utslippsklassen Euro VI gir relativt lave utslipp, og med biodrivstoff i tankene kan utslippene av fossil CO<sub>2</sub> reduseres. Fordelene er at det som regel er et rimelig alternativ, og at det ikke kreves noen ekstra tiltak i tillegg til anskaffelsen av kjøretøyet. Ulempene er at det fortsatt vil være lokale utslipp og støy samt at energieffektiviteten forblir lav. Man må være klar over at det ikke finnes gassmotorer som har like høy effekt som dieselmotorer. Dette kan være en begrensning for større kjøretøyer som kjører krevende vognløp med store nivåforskjeller langs ruten. Gassdrift med komprimert gass benytter også en forgassermotor, som er den av dagens bussmotorer som har lavest virkningsgrad.

### *Euro VI sammenlignet med tidligere Euro-klasser*

Den nyeste utslippsklassen Euro VI gir en betydelig reduksjon i lokale utslipp sammenlignet med tidligere Euro-klasser (som i stor grad benyttes i dagens buss-trafikk i Bergen).

Tabell 2-4 Grenseverdier for ulike Euro-klasser.

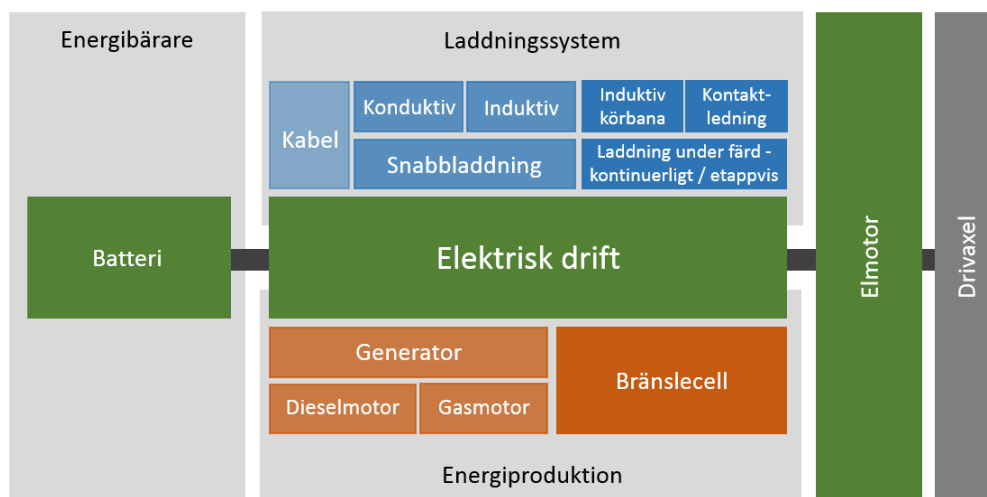
Euro-klasse	Testsyklus	NO <sub>x</sub> (mg/kWh)	PM (mg/kWh)
Euro III	ETC	5 000	160
Euro IV	ETC	3 500	30
Euro V	ETC	2 000	30
Euro VI	WHTC	460	10

Som vi ser, er altså grenseverdiene for Euro VI satt ned med 91–94 % sammenlignet med Euro III og 67–77 % sammenlignet med Euro V. I tillegg blir Euro VI-kjøretøy sertifisert etter en annen testsyklus med den følge at det er større samsvar mellom de faktiske utslippsverdiene og testsyklusverdiene for Euro VI-kjøretøy enn for kjøretøy sertifisert etter tidligere Euro-klasser.

Følgelig vil overgang til Euro VI-kjøretøy gi en betydelig reduksjon i lokale utslipp, og bruken av biodrivstoff vil redusere utslippene av fossil CO<sub>2</sub>. De største ulempene med konvensjonell teknologi med forbrenningsmotor, til tross for Euro VI-standard, er lav energieffektivitet, høye støynivåer og at det likevel vil være en viss mengde lokale utslipp.

## Elektrisk drivlinje (muligheter med ny teknologi)

En elektrisk drivlinje gir mulighet for økt energieffektivitet og en rekke ulike alternativer når det gjelder energiforsyning. Avhengig av hvilke krav som stilles til bussen, kan ulike former for helelektrisk drift eller hybridløsninger benyttes.



Figur 2-1 Valgmuligheter med hensyn til energitilførsel for busser med elektrisk drivlinje. Opprinnelig bildekilde: Solaris. Tilpasset av forfatterne.

### Hybridbuss, (bio-)gass eller (bio-)diesel

Hybridteknologi finnes i dag i to utførelser, nemlig seriell og parallell hybriddrift. Ved seriell hybriddrift forsyner en elektrisk drivlinje med en gass- eller dieseldrevet generator en eller flere elmotorer med energi. I tillegg lagres energi på et batteri slik at generatoren kan arbeide kontinuerlig på jevnt turtall og lagre regenerert bremseenergi. Dette systemet tilsvare elektrisk drift med energiproduksjon via generator i samsvar med Figur 2-1. Ved parallell hybriddrift får en mekanisk drivlinje med forbrenningsmotor ekstra støtte av et parallelt elektrisk system med elmotorer som drives av et batteri som lagrer regenerert bremseenergi. Dette systemet inngår ikke i men er mer et konvensjonelt system med et ekstra støttesystem. Hybridbusser kan ikke tillegglades eksternt men bare fylles med drivstoff.

Hybriddrift uten tillegglading er et alternativ som kan redusere støy og brenselforbruk til en lavere kostnad enn helelektriske alternativer ettersom kjøretøyene som regel er rimeligere og ikke krever noen ladeinfrastruktur. Heller ikke er rekkevidden begrenset. Hybriddrift kan forventes å redusere energiforbruket med 10–30 % (så langt har det vært stor spredning i de praktiske resultatene fra hybridbussdrift). Det vil gjenstå lokale utslipp og støy, dog med en viss reduksjon. Ved å fylle med biodrivstoff reduseres utslippene av fossil CO<sub>2</sub>, og ytterligere reduksjon oppnås også ved at hybriddrift har høyere energieffektivitet.



Tabell 2-5 Fordeler og ulemper – hybridbusser med forbrenningsmotordrevet generator.

Fordeler	Ulemper
+ Relativt rimelig, krever ingen infrastruktur annet enn tankstasjon	- Dårligere energieffektivitet enn ladbare kjøretøyer
+ Fleksibel ettersom rekkevidden ikke er begrenset sammenlignet med konvensjonell drift	- Det vil fortsatt være motorstøy og lokale utslipp
+ Finnes i kjøretøystørrelser på 12–24* meter	- Kan i praksis fylles med fossilt brensel og krever derfor kontroller
+ Behøver ikke å lades	- Framtidig tilgang på bærekraftig HVO er usikker
+ Gode klimaegenskaper dersom bærekraftige bio-brenslar brukes til generatordrift	- Hybridbuss med gassdrift er uvanlige på markedet
	- Flytende brensel medfører distribusjonstransport
	- Parallellhybrider har to ulike driftssystemer som må vedlikeholdes

\* Imidlertid må boggibusser sannsynligvis spesialbestilles, og mulighetene vil avhenge av hvor mange busser som trengs.

### Teknologisk modenhet og framtidsutsikter

Dieseldrevne hybridbusser er i dag et etablert alternativ på det europeiske markedet. Bussene finnes i en rekke størrelser på inntil 24 meter. Hybridbusser med gassdrift er derimot sjeldnere å se på dagens marked. Van Hool er en av de få produsentene som markedsfører denne teknologien på sin hjemmeside og tilbyr 18-meters og 24-meters BRT-kjøretøy med gasshybriddrift. Det er 24-meters utgaven som i dag ruller i Bergen og Malmö. Utover disse er det uklart om det så langt er solgt noen gasshybrider på det europeiske markedet.

Teknologien har i dag ingen direkte begrensninger og antas å ikke måtte gjennomgå noen større forandringer i årene som kommer. Sannsynligvis kan teknologien finjusteres og energieffektiviteten øke noe. På lengre sikt er det fare for at teknologien vil bli overflødig – dersom den helelektriske teknologien utvikles til å bli en fullgod erstatning – og da kan tilbudet av hybridbusser på markedet bli redusert eller forsvinne.

Solaris har nettopp solgt 208 hybridbusser med dieseldrift til Belgia. Bussene er serielle hybrider med superkondensatorer, såkalte “supercaps”, for lagring av elektrisk energi, og skal leveres i perioden 2017–2019.



Figur 2-2 24-meters gasshybridbusser ruller i dag i Malmö (t.v.) og Bergen (t.h.). Produsent Van Hool. Foto: Hannes Englessen.

### *Hybridbuss, hydrogen/brenselcelle*

Hydrogen kan produseres med elkraft og vann, for eksempel inne på et depotområde. Ved hjelp av elektrisitet “deles” vannet inn i sine enkelte bestanddeler ved elektrolyse. I denne prosessen kan energitapet imidlertid komme opp i 25 % (noen kilder oppgir et enda høyere tap, 30–40 %). En alternativ måte å produsere hydrogen på, er å utnytte hydrogengassen som kan produseres som et biprodukt i enkelte industrielle prosesser. Da er det snakk om hydrogengass som et restprodukt fra fossile kilder som forbrennes om den ikke blir tatt vare på. Hydrogen anvendes i hovedsak for omdanning til elektrisitet i en brenselcelle om bord i en buss med elmotor, med andre ord en form for hybriddrift. Bruk av brenselcellebusser er i dag svært lite utbredt i Europa, og vanligvis bare i forbindelse med ulike prøveprosjekter. Fordelen med denne teknologien er at den muliggjør utslippsfri drift med lang rekkevidde.

Tabell 2-6 Fordeler og ulemper – hybridbusser med våtgassdrevne brenselceller.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Utslippsfri drift med lang rekkevidde</li> <li>+ Lave støynivåer</li> <li>+ Behøver ikke å lades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fortsatt en umoden teknologi, og det er usikkerhet knyttet til brenselcellers livslengde, driftssikkerhet og framtidige kostnader</li> <li>- Høye kostnader</li> <li>- Begrenset infrastruktur for fylling av hydrogen</li> <li>- Store energitap ved bærekraftig produksjon av hydrogen</li> <li>- Begrenset tilbud av kjøretøy på markedet</li> </ul>

### **Teknologisk modenhet og framtidsutsikter**

Brenselcellebusser er i dag i drift bare på et fåtall steder i Europa, blant annet i forbindelse med prøveprosjekter med enkeltstående busser i Hamburg, London og Oslo.

Det er svært vanskelig å spå hvilken framtid brenselcellebussene har. Noen bussprodusenter har tro på teknologien og arbeider aktivt med å utvikle den og få den i drift med støtte av forskningsmidler fra EU. Samtidig har teknologien ”vært på gang” siden årtusenskiftet, men den har fortsatt ikke klart å etablere seg på markedet, og flere spørsmål gjenstår. Mens batteribussteknologien har gjort store framskritt i de senere år, har brenselcelleteknologien ikke riktig løst ennå. Og spørsmålet er om eller når den kommer til å løse.

### *Ladbar hybridbuss, (bio-)diesel*

Ved å sette et større batteri inn i en hybridbuss og legge til rette for ekstern tillegglading fra elnettet kan bussen kjøre en lengre strekning med helelektrisk drift uten generatorkraft. Dette vil føre til bedre energieffektivitet og lavere utslipp sammenlignet med tilsvarende hybridbusser. Det vil også gjøre det mulig å bestemme på hvilke delstrekninger man skal benytte helelektrisk drift for å unngå utslipp og støy i sårbare områder.

Tabell 2-7 Fordeler og ulemper – hybridbusser med forbrenningsmotordrevet generator.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Muliggjør helelektrisk drift på delstrekninger</li> <li>+ Lang rekkevidde</li> <li>+ Høy energieffektivitet</li> <li>+ Doble systemer gir høyere driftssikkerhet</li> <li>+ Svært gode klimaegenskaper dersom bærekraftige biobrenslers brukes til generatordrift og busser lades med fornybar elektrisitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avhengig av ladeinfrastruktur</li> <li>- Det vil gjenstå motorstøy og lokale utslipp på deler av strekningen</li> <li>- Kan i praksis fylles med fossilt brensel og krever derfor kontroller</li> <li>- Framtidig tilgang på bærekraftig HVO er usikker</li> <li>- Finnes per i dag ikke med gassdrift</li> <li>- Flytende brensel medfører distribusjonstransport</li> <li>- Kun 12-meters standardbusser etablert på markedet</li> <li>- Få produsenter av ladbare hybrider på markedet</li> <li>- Parallellhybrider har to ulike driftssystemer som må vedlikeholdes</li> <li>- Høy investeringskostnad</li> </ul>

### Teknologisk modenhet og framtidutsikter

På dagens marked er det først og fremst Volvo som har satset på ladbare hybridbusser med en 12-meters standardbusmodell i sitt ordinære sortiment. I tillegg er det et par andre produsenter som har satt noen få ladbare hybrider i drift. Vanligvis lades bussene induktivt med pantograf. I tillegg til noen få busser fra ADL, dobbeldekkere med induktiv lading som er i drift i London, finnes det bare 12-meters standardbusser som er i drift med ladbar hybridteknologi. Framtiden er ganske usikker ettersom teknologiske forbedringer og mer erfaring med helelektrisk teknologi kan gjøre denne teknologien mindre populær eller rett og slett overflødig. I dag er følgende busser satt i drift i Europa:

- |                          |                                      |
|--------------------------|--------------------------------------|
| ▶ Namur, Belgia:         | 11 busser fra Volvo, induktiv lading |
| ▶ Tallinn, Estland:      | 24 busser fra Volvo, induktiv lading |
| ▶ Bertrange, Luxembourg: | 12 busser fra Volvo, induktiv lading |
| ▶ Valladolid, Spania:    | 5 busser fra Vectia, induktiv lading |
| ▶ Göteborg, Sverige:     | 7 busser fra Volvo, induktiv lading  |
| ▶ Stockholm, Sverige:    | 8 busser fra Volvo, induktiv lading  |
| ▶ Södertälje, Sverige:   | 1 buss fra Scania, induktiv lading   |

Fra 2017 skal Volvo sette ytterligere 25 busser i drift i Skottland, fem i Sverige og 55 i Belgia.

#### *Helelektrisk buss, saktelading i depot*

Helelektriske busser med større batterier om bord som saktelades i depot (som regel via kabel med 20–80 kW) blir i dag prøvd ut flere steder i Europa. Batteriene er optimert for å lagre energi og derved maksimere kjøretøyenes rekkevidde. Dette innebærer imidlertid at ladeeffekten begrenses, og for tiden er saktelading det eneste alternativet for disse batteriene. Høy energitetthet og rask energitilførsel motvirker nemlig hverandre med dagens batteriteknologi. Rekkevidden er en begrensning ettersom det ikke finnes alternative driftsformer. En vanlig måte å øke rekkevidden på, er å installere et varmeapparat som drives med forbrenningsmotor via en generator. Oppvarming er energikrevende, og på denne måten kan rekkevidden økes.

Produsentene lover i dag en rekkevidde på inntil 30 mil, men i praksis er rekkevidden lengre ettersom det er mange faktorer som påvirker den faktiske driften. Den begrensede rekkevidden og det faktum at bussen vanligvis må lades i 4–6 timer i depot etter avsluttet kjøring, gjør at teknologien egner seg best for ruter med spredte avganger eller forsterkningslinjer når også lading i løpet av dagen er mulig.

Med dagens hurtige utvikling innen batteriteknologi råder det usikkerhet knyttet til blant annet service og reservedeler når bussene blir noen år gamle. For tiden er det også usikkerhetsmomenter ved teknologien, ikke minst når det gjelder rekkevidde, batterilevetid og kostnader.

Tabell 2-8 Fordeler og ulemper med sakteladede batteribusser.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Energieffektivt</li> <li>+ Ingen lokale utslipp fra bussmotoren</li> <li>+ Svært lav klimapåvirkning i drift forutsatt fornybar elektrisitet</li> <li>+ Lave støynivåer</li> <li>+ Krever bare infrastruktur i depotet (ladeutstyr)</li> <li>+ Lave driftskostnader</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Krever som regel flere kjøretøyer på grunn av lang ladetid, usikker rekkevidde</li> <li>- Teknologien er fortsatt umoden og i stadig utvikling</li> <li>- Kan bli nødvendig med forsterket elforsyning til depot</li> <li>- Bare noen få produsenter tilbyr 18-meters leddbusser</li> <li>- Høy investeringskostnad for kjøretøy</li> <li>- Framtidige kostnader er vanskelige å beregne</li> <li>- Fare for at batterivekten kan gi kapasitetsproblemer</li> <li>- For tiden ingen felles teknologistandard</li> </ul>

*\*) Europeiske standarder forventes å bli innført i 2019 og internasjonale standarder i 2020. Allerede nå har bussprodusentene Irizar, Solaris, VDL og Volvo og ladeutstyrprodusentene ABB, Holoix og Siemens blitt enige om å etablere et åpent grensesnitt mellom busser og ladeutstyr for å lette innføringen av elbussystem i byer i Europa.*

## Teknologisk modenhet og framtidsutsikter

Teknologien tilbys i dag av en rekke produsenter, men oftest er det 12-meters standardbusser eller mindre busser som tilbys. Det finnes også et fåtall produsenter som tilbyr 18-meters leddbusser. For tiden finnes det ingen 24-meters dobbelleddbusser med sakteladet batteridrift tilgjengelig på markedet, selv om det er indikasjoner på at slike er under utvikling. Batteriteknologien utvikles hurtig i dag, og sannsynligvis kommer kjøretøyenes rekkevidde til å øke suksessivt framover. Samtidig kommer nok ladetiden da til å øke, ettersom høy ladeeffekt i dag krever en batterikonfigurasjon som begrenser energilagringkapasiteten, og motsatt. Ny batteriteknologi kan imidlertid etablere seg, og det er i dag vanskelig å vurdere hvordan teknologien vil prestere om 10–15 år. Med dagens batterityper finnes det imidlertid tekniske og kjemiske begrensninger som medfører en betydelig batterivekt og begrenset rekkevidde. Noen store forskjeller i rekkevidde vil nok ikke være mulig med dagens batteriteknologi; det er nok heller prisen som kommer til å falle i takt med at teknologien etablerer seg.

For tiden finnes det anslagsvis omkring 300 sakteladede batteribusser i drift i Europa (>12 m). Nesten samtlige er 12-meters standardbusser, men det finnes også et en del enkeltstående 14–18-meters busser under utprøving, i tillegg til et par dobbeldekkere i London. Flere skal leveres i løpet av 2017.



Figur 2-3 Batteridrevet depotladet standardbuss i Ängelholm. Producent BYD. Foto: Ida Blank.

### Helelektrisk buss, hurtiglading

Batteribusser kan også utstyres med batterier tilpasset hurtiglading. Ved å etablere hurtigladedestasjoner, som regel på linjens endeholdeplasser, kan bussen lades konduktivt via en pantograf eller induktivt via en ladeplate i bakken. Bussen lades når den står stille, og konduktiv lading skjer normalt med 150–450 kW<sup>4</sup>. Induktiv lading er en mer umoden teknologi og har i dag ikke samme ladeeffekt som konduktiv lading. Fordelene med tilleggsloading er at bussene klarer det daglige arbeidet uten å måtte kjøre til depotet for å lade, samt at bussenes batterikapasitet kan optimeres for å unngå unødvendig batterivekt. Busser med hurtiglading kan også utstyres med superkondensatorer for energilagring i stedet for batterier. Det er en teknologi som egner seg for lading med høy effekt men som har en lavere energilagringsskapasitet. Det finnes også eksempel på systemer som kombinerer batterier og superkondensatorer.

For å optimere et system med tilleggsloading må kjøretøyene tilpasses den aktuelle busslinje og ladestruktur, og kjøretøyene må dimensjoneres som system basert på de rådende forutsetninger. Forsinkelser kan være vanskelige å håndtere ettersom bussene må lades. Ladetiden medfører også ofte lengre omløpstider og eventuelt økt kjøretøybehov. Dette kan føre til begrensninger og redusere bussenes fleksibilitet, men ved å dimensjonere bussene etter den tyngste linjen de skal betjene, kan de brukes på de fleste linjene, dog med en viss teknisk overkapasitet i bussene.

En generelt uttalt grense for teknologien i dag er en linjelengde på ca. 15 km. For lengre linjer anbefales som regel andre teknologier. Systemet kan utformas på ulike måter, for eksempel med ladestasjoner på holdeplasser langs ruten. Det vanligste er å etablere ladestasjoner på endeholdeplassene for hver linje.

Tabell 2-9 Fordeler og ulemper med hurtigladede helelektriske busser.

Fordeler	Ulemper
+ Energieffektivt	- Lengre omløpstid som følge av lading, behov for ekstra kjøretøy kan oppstå
+ Ingen lokale utslipp fra bussmotoren	- Teknologien er relativt umoden, og rask teknologisk utvikling kan føre til usikkerhet med hensyn til hvilke tiltak som kreves på lengre sikt
+ Nesten ingen klimapåvirkning i drift forutsatt fornybar elektrisitet	- Høy investeringskostnad for kjøretøy
+ Lave støynivåer	- Usikkerhet med hensyn til kostnader på lengre sikt
+ Ingen begrensning i rekkevidde for trafikk på den aktuelle linjen	- Forsinkelser kan være vanskeligere å håndtere ettersom bussene må lades
+ 18-meters leddbusser finnes på markedet	- Behov for ladeinfrastruktur, ofte plassert på endeholdeplassene
	- Fare for at batterivekten vil redusere kapasiteten
	- For tiden ingen felles standard*

*\*) Europeiske standarder forventes å bli innført i 2019 og internasjonale standarder i 2020. Allerede nå samarbeider et antall bussprodusenter og ladeutstyrsprodusenter med et åpent grensesnitt mellom busser og ladeutstyr, Opp-Charge, for å lette innføringen av elbussystem.*

<sup>4</sup> På enkelte steder er høyere ladeeffekt under utprøving, blant annet i Umeå i Sverige.

## Teknologisk modenhet og framtidsutsikter

Systemet er i dag under utprøving flere steder i Europa. I Eindhoven har et større system vært i drift siden desember 2016, det absolutt største i Europa så langt. 43 stk. 18-meters leddbusser fra VDL er satt inn i et større system med mange linjer. Hurtiglading skjer på depot via pantograf for samtlige busser ettersom depotet befinner seg sentralt nær togstasjonen. Dette har vært en forutsetning for at systemet skal fungere. Et lignende system, med samme produsenter og samme ladeteknologi, skal settes i drift i den sørlige delen av Amsterdam i desember 2017. Systemet skal imidlertid bygges ut til ca. 100 leddbusser.

Framover kan 24-meters dobbelleddbusser med hurtiglading bli en realitet ettersom det finnes foretak som arbeider med å produsere slike busser. Teknologien er også i stadig utvikling, og høyere ladeeffekter kan bli standard innen et par år. Dette kommer først og fremst til å gi kortere ladetid, men begrensningen i linjelengde, ca. 15 km etter dagens anbefalinger, vil nok ikke endre seg nevneverdig de kommende årene. Dette fordi lengre kjørestrekning krever mer lagret energi, og siden høy ladeeffekt og høy energilagringkapasitet krever ulik dimensjonering av batteriteknologien, kommer det til å innebære lengre ladetider, noe som ikke er ønskelig med dette systemet da det vil påvirke omløpstiden. Valget av batteriteknologi vil dermed stå mellom lengre kjørestrekning med lengre ladetid og kortere kjørestrekning med kortere ladetid, og det er ikke noe som tyder på at dette kommer til å endre seg i årene som kommer.



Figur 2-4 Tilleggs-ladet batteribuss som hurtiglades på endeholdeplassen på linje 55 i Göteborg. Foto: PG Andersson



Figur 2-5 Hurtigladede batteribusser. T.v. 18-meters leddbuss i Eindhoven. Konduktiv lading. Produsent VDL/Heliox. T.h. 12-meters standardbuss i Berlin. Induktiv lading. Produsent Solaris/Bombardier. Foto: Hannes Englessen.

### Helelektrisk buss, trolley

En trolleybuss er en helelektrisk buss som via en strømvaktaker montert på bussen henter energi fra kontaktledninger i luften over veibanen. Den teknologiske utviklingen har gitt nye muligheter for trolleybusser, og i den senere tid har stadig flere trolleybusser blitt utstyrt med mindre batterier for å klare kortere strekninger uten kontaktledning. Batterier kan for eksempel brukes for å slippe kompiliserte og estetisk dårlige krysningspunkter, for å kjøre kortere strekninger inne på depotet eller for å klare strømvavbrudd/veiarbeid på kortere strekninger uten driftsforstyrrelser og med fortsatt helelektrisk drift. Batteriene gir også mulighet for å utnytte bremseenergien og dermed redusere energiuttaket fra elnettet.

Den kontinuerlige strømforsyningen fra kontaktledningen gjør at rekkevidde ikke er noe tema, og bussene kan rulle uten å måtte stanse for å lade eller fylle på drivstoff. De største ulemper med trolleybusser er høyere investeringskostnader i infrastruktur og kjøretøy og at kontaktledninger i luften kan anses som uestetisk.

Tabell 2-10 Fordeler og ulemper med trolleybuss.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Godt utprøvd</li> <li>+ Helelektrisk drift uten avbrudd for lading</li> <li>+ Alle aktuelle busstørrelser er tilgjengelig</li> <li>+ Energieffektivt</li> <li>+ Ingen lokale utslipp fra bussmotoren</li> <li>+ Nesten ingen klimapåvirkning i drift forutsatt fornybar elektrisitet</li> <li>+ Lave støynivåer</li> <li>+ Høy driftssikkerhet med ny batteriteknologi</li> <li>+ Kontaktledninger i luften over veibanen viser en tydelig og langsiktig satsing på en kollektivtrafikkstrekning, såkalt «bane-effekt».</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Høy investeringskostnad for infrastruktur og kjøretøy</li> <li>- Kontaktledninger i luften kan anses som uestetisk</li> <li>- Konvensjonelle trolleybusser kan ikke benyttes på linjer uten infrastruktur; noe begrenset fleksibilitet</li> </ul>

### Teknologisk modenhet og framtidutsikter

Trolleybussteknologien er i dag den mest utprøvde og pålitelige teknologien for elektrisk drift, og det finnes en rekke systemer av ulik størrelse i drift verden over. I Europa er det i dag nærmere 150 byer som har et trolleybussystem med til sammen om lag 1 200 linjer og 11 000 kjøretøyer. Trolleybusser finnes i alle kjøretøystørrelser opp til 25-meters dobbelleddbusser – med andre ord er det ingen begrensninger med hensyn til valg av kjøretøy. Det vil neppe finne sted noen større teknologisk utvikling for konvensjonelle trolleybusser. Reservebatteriene kan bli bedre, men dette er av marginal betydning. Derimot kan nye teknologier kombineres med et trolleybussystem. Et eksempel er såkalt IMC (In-Motion-Charging), dvs. batteribusser som lades via kontaktledning under kjøring, og som deretter kjører med batteridrift på strekninger/linjer uten kontaktledning. Dette er nærmere beskrevet i neste kapittel. Et annet eksempel er trolleybusser med batterier og brenselceller. Det ble nettopp bestilt ti slike busser til Riga i Latvia. Bussene, 18-meters leddbusser, skal dels trafikkere trolleylinjer med strøm fra kontaktledning, dels andre kortere linjer med batteridrift og lading



med hydrogendrevne brenselceller. Bussene produseres av Solaris og skal leveres ved årsskiftet 2017–2018.



Figur 2-6 Trolleybuss på linje 2, ved holdeplassen Stadsporten. Foto: Sebastian Fält

### *Helelektrisk buss, lading under kjøring*

Den raske teknologiske utviklingen på batterisiden har som tidligere nevnt muliggjort nye busskonsepter som nytter trolleyinfrastruktur. Gjennom konseptet IMC (In-Motion-Charging) kan batteribusser utstyrt med strømvaktar kjøres som trolleybuss under kontaktledning og samtidig lade batteriet. Deretter kan kjøretøyet kjøre på batteridrift uten kontaktledning for deretter å lade batteriene på nytt når kontaktledning igjen er tilgjengelig. I praksis gir dette et system med tilleggs-ladete batteribusser som ikke trenger pause for å lade batteriene. Ved for eksempel å etablere trolleybussinfrastruktur på en strekning som trafikkeres av mange busslinjer, kan de ulike linjene trafikkeres med batteribusser som også benytter trolleyinfrastrukturen for å lade batteriene. Dermed vil det være mulig å elektrifisere flere linjer med et relativt lite behov for trolleyinfrastruktur.

Kiepe, en produsent som arbeider mye med IMC-teknologi, har utarbeidet generelle retningslinjer for hvor mye infrastruktur som trengs i forhold til linjelengde. Standardverdiene varierer avhengig av kjøretøytype og middelhastighet og er utarbeidet ut fra forutsetningen om at kjøreruten ikke har nivåforskjeller. Ifølge retningslinjene bør for eksempel 20 % av busslinjen ha kontaktledning dersom den trafikkeres av 12-meters standardbuss med en hastighet på 30 km/t. Tilsvarende andel er ca. 35 % for 18-meters leddbuss og 50 % for 24-meters dobbelleddbuss.

Tabell 2-11 Fordeler og ulemper med et trådbuss-/Slideln-system.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Fleksibelt system</li> <li>+ Helelektrisk drift uten avbrudd for lading</li> <li>+ Bygger delvis på velprøvd, moden teknologi</li> <li>+ Energieffektivt</li> <li>+ Ingen lokale utslipp fra bussmotoren</li> <li>+ Nesten ingen klimapåvirkning i drift forutsatt fornybar elektrisitet</li> <li>+ Lave støynivåer</li> <li>+ Kombinerer fordelene fra flere teknologier for helelektrisk drift</li> <li>+ Lavere investeringskostnad for infrastruktur sammenlignet med konvensjonelle trolleybussystemer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Høy investeringskostnad for kjøretøy</li> <li>- Kontaktledninger i luften kan anses som uestetisk, men behovet for kontaktledning vil bli redusert</li> <li>- Forutsetter delstrekninger med kontaktledning; noe begrenset fleksibilitet for kjøretøyene</li> </ul>

## Teknologisk modenhet og framtidsutsikter

Flere av byene som har trolleybussnett i dag, planlegger å forlenge linjer og anlegge nye linjer uten kontaktledning som i stedet skal trafikkeres med IMC-busser. Denne teknologien har allerede vært i drift i mange år i for eksempel Landskrona i Sverige (en 12-meters standardbuss) og i Esslingen i Tyskland (åtte 18-meters leddbusser). Bedre batteriteknologi kan på sikt gjøre det mulig å kjøre lengre strekninger uten kontaktledning, men samtidig må batteriene kunne lades igjen, og dermed ender man opp med de samme begrensningene som tilleggs-ladede busser. En lengre rekkevidde hjelper lite om det ikke er tilstrekkelig med tid (og strekning, i dette tilfellet) til å lade batteriene igjen.



Figur 7 IMC-buss i Esslingen med nedfelte trolleytenger som kjører på batteri. Foto: PG Andersson

### 3. Dagens busstrafikk (2016)

---

Studien dekker fire kontraktsonråder med et stort antall busslinjer. En kort presentasjon av dagens busstrafikk er gitt under. Mer detaljert dokumentasjon som studien er basert på, er presentert i vedlegg 1. Parallelt med denne studien, som tar utgangspunkt i linjenettet slik det forelå i 2016, arbeider Skyss med å utvikle linjenettet i bergensområdet. Denne rapporten er et innspill til Skyss' overordnede arbeid med linjenettet når det gjelder mulighetene for elektrifisering.

Følgende kontraktsonråder inngår i denne studien:

Kontraktsonråde	Kontrakten utløper
Bergen nord	01.10.2020
Bergen sentrum	01.12.2020
Vest	24.06.2019
Bergen sør	16.08.2019

#### 3.1 Bergen nord

Kontraktsonrådet omfatter stamlinjene 3–6, busstrafikken i blant annet Åsane og Arna samt en del av bylinjene i Bergen. Linje 3, 3E, 4 og 4E trafikkeres med gassdrevne leddbusser. Øvrige linjer trafikkeres i dag med dieseldrevne standard- og boggibusser. Høyeste turtetthet i rushtiden varierer mellom 8 og 10 minutter for stamlinjene og mellom 10 og 30 minutter for de øvrige linjene.

Dagens depot på Haukås er tilpasset gassdrevne leddbusser. Depotet har 154 oppstillingsplasser for busser, dvs. 105 for leddbusser og 49 for standardbusser. Det er 45 plasser for fylling av gass og én fyllestasjon for diesel i tilknytning til vaskehallen.

#### Mulige endringer

- ▶ Det er planer om en ny trasé for Bybanen nordover mot Åsane. Hvor traséen skal gå, er ennå ikke avgjort, men om/når den blir noe av, vil det bli behov for en større omlegging av linjene i kontraktsonrådet Bergen nord.
- ▶ Depotet på Haukås skal utstyres med en kompressor og lokalprodusert biogass fra biogassanlegget i Rådalen.

#### 3.2 Bergen sentrum

I kontraktsonråde Bergen sentrum finnes i dag trolleylinje 2 som trafikkeres med leddbusser. Busstrafikken i kontraktsonrådet dekker i all hovedsak Bergen sentrum, Årstad, Fyllingsdalen, Laksevåg og Loddefjord. I tillegg til Bergen sentrum

er Haukeland universitetssjukehus et viktig målpunkt. Linje 9 trafikkeres i dag med dobbelleddbusser, men linjen skal legges ned. Dagens trafikk i Bergen sentrum, med unntak av trolleylinje 2, trafikkeres med gass- og dieseldrevne standard- og boggibusser. Linjene er generelt korte, og bare et fåtall overstiger 15 km én vei. Turtettheten varierer mellom 7,5 og 60 minutter i rushtiden.

Dagens depot på Mannsverk er tilpasset leddbusser, trolley- og gassbusser; sistnevnte kjører på naturgass. Det er ikke plass til et kompressoranlegg, og depotet kan derfor ikke få tilgang til biogass. Det finnes 108 oppstillingsplasser, hvorav 10–15 for leddbusser. De øvrige plassene er tilpasset standardbusser. Det er 50 plasser for fylling av gass og én fyllestasjon for diesel. I tillegg til bussoppstillingsplassene på Mannsverk leier trafikkoperatøren Tide tjue bussplasser på Straume, der busser står parkert over natten.

### Mulige endringer

I *Faglig grunnlag for trafikkplan Bergen 2025, dato Februar 2017* beskrives noen forslag til omlegging av linjer som vil kunne påvirke mulighetene for elektrifisering av busslinjer i sentrumskontrakten.

- ▶ I rapporten foreslås søndre gren av linje 3, fra Sletten, koplet sammen med linje 5 til Loddefjord Terminal (som i dag er linjer i kontraktsonråde Bergen nord). Den nordlige grenen av linje 3 foreslås i stedet koplet sammen med linje 12 mot Oasen.
- ▶ Linje 19 foreslås forlenget, noe som kan forsvare/hindre elektrifisering av linjen med dagens teknologi.

## 3.3 Vest

I kontraktsonråde Vest består busstrafikken i dag av lange linjer med relativt spredte avganger. Det er bare noen få linjer som er kortere enn 15 km én vei, og de lengste linjene er nærmere 30 km lange. Turtettheten varierer generelt mellom 20 og 30 minutter i rushtiden. Som regel nyttes dieseldrevne standardbusser, men flere dieseldrevne boggibusser er også satt inn i trafikk. Trafikken har en høy grad av ”landeveiskarakter” med høy middelhastighet.

Kontraktsonråde Vest har i dag to depoter: ett på Straume og ett på Haugland. Depotet på Straume har ikke mulighet for fylling av gass og er heller ikke tilpasset leddbusser. Depotet har en fyllestasjon for diesel og har plass til totalt 100 standardbusser, hvorav 20 plasser opptas av Tides busser, som tilhører kontraktsonråde Bergen sentrum og som starter derfra om morgenen.

Operatøren leier depotet på Haugland fra Askøy kommune. Depotet kommer til å bli avvirket innen kort tid da Askøy kommune har planer om å bygge boliger i området. Depotet er bare utstyrt for standardbusser, totalt 100 busser, og mangler fyllemulighet for gass. Det finnes én fyllestasjon for diesel.

Nytt depot er foreslått lagt i tilknytning til Askøybroens nordre brofeste. Det er ennå ikke klart om det nye depotet vil stå klart til den nye kontrakten begynner å løpe.

Utover et nytt depot foreligger det ingen planer om vesentlige endringer i buss- trafikken i kontraktsområdet.

### 3.4 Bergen sør

I kontraktsområde Bergen sør finnes i dag busstrafikk med både ledd-, boggi- og standardbusser, samtlige med dieseldrift. Linjene er av ulik karakter ettersom de fleste fungerer som matelinjer fra ulike områder til knutepunktene langs Bybanen. De fleste linjene er relativt korte men det er store variasjoner. Linjene er også av ulik karakter, men generelt er middelhastigheten høy. Turttettheten varierer mellom 10 og 60 minutter i rushtiden.

Bussdepotet ligger i Fana og har plass til 110 busser, hvorav ni leddbusser, de øvrige er standardbusser. Ytterligere 20 busser står på depotet på Straume om natten. Depotet i Fana har en fyllestasjon for diesel, men ingen fyllemuligheter for gass.

Det er ikke planer om større endringer i kontraktsområde Bergen sør.

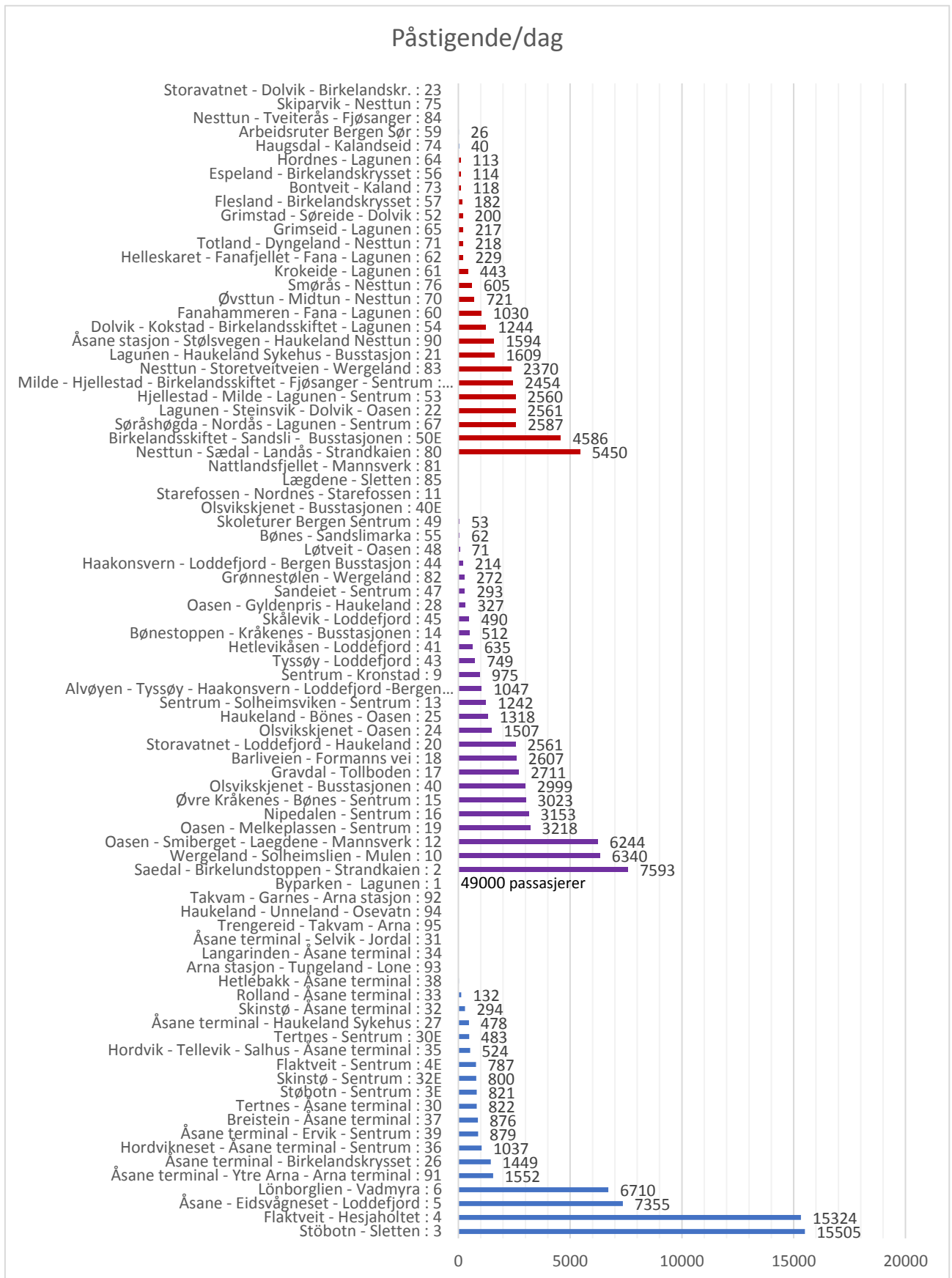
### 3.5 Dagens passasjertrafikk og forventet utvikling

I rapporten *Faglig grunnlag for Trafikkplan Bergen 2025* redegjøres det for antall reisende per linje og per dag. Tallene er basert på statistikk over passasjertrafikk i uke 7 og 8 i 2016. På grunn av det begrensede datamaterialet er det en viss usikkerhet knyttet til kvaliteten på dataene. Passasjertallene bør derfor tolkes med forsiktighet. Ifølge opplysninger fra Skyss er dette imidlertid de mest pålitelige tallene som finnes, da det for tiden arbeides med å oppdatere systemet for beregning av passasjertall. Tallene bør likevel kunne benyttes til sammenligninger linjene imellom. I det nedenstående framgår det at linje 1–6 (stamlinjene) samt linje 10, 12 og 80 har flest passasjerer (>5000 påstigende/dag). Bybanen (linje 1) er i særklasse når det gjelder passasjertrafikk med i underkant av 50 000 påstigende per dag.

I Trafikkplanen anvendes et vekstmål på +3,5 %, som stemmer godt overens med passasjerøkningen de siste to årene. Dersom målet innfris, vil det bety 80 millioner kollektivreiser i 2030 mot ca. 50 millioner i dag. Bybanen forventes å ta hånd om halvparten av passasjerøkningen, dvs. 1,75 %, den andre halvparten vil tilfalle busstrafikken. Denne rapporten ser nærmere på og beregner effekten av dette for trafikken i år 2030. Det er vanskelig å spå hvordan veksten vil fordele seg, men vi vet at framtidige boliger, kontorarbeidsplasser og servicetilbud vil bli liggende i et utvidet sentrumsområde, rundt senterområdene, langs eksisterende og planlagte bybanetraseer samt rundt bydelssentrene i Indre Arna og i Loddefjord. Dette betyr at kollektivtilbudet må styrkes mellom Bergen sentrum og de seks bydelssentrene Nesttun, Fyllingsdalen, Åsane, Loddefjord, Arna og Rådal. Med tanke på dette kan den største passasjerveksten forventes å føre til produksjonsøkninger hovedsakelig på de busslinjene som er sterkest i dag.

De 10 tyngste linjene i dagens linjenett, målt i antall passasjerer, er, rangert etter størrelse: Bybanen, 3, 4, 2, 5, 6, 10, 12, 80 og 50E. Disse linjene, sammen med den nye bybanetraseen og et ytterligere titalls sterke busslinjer, anses å være de

linjene som primært vil ha behov for produksjonsøkninger i takt med det økende antallet kollektivreisende. Dette er det nærmere redegjort for i kapittel 5.5.



Figur 3-1 Påstigende per dag og linje. Opplysningene om antallet reisende er basert på data fra uke 7 og 8 i 2016, og er framlagt av Skyss. Data mangler for enkelte linjer. Den begrensede undersøkelsesperioden gir en viss usikkerhet med hensyn til kvaliteten på dataene, men dataene vurderes likevel å kunne brukes som grunnlag for sammenligninger mellom de ulike linjene. Opplysningene gir dermed en indikasjon på hvordan passasjertrafikken fordeler seg på de ulike linjene.



## 4. Mulige teknologier for busstrafikken i Bergen

---

*Det finnes en rekke teknologier som er mer eller mindre modne for det kommersielle markedet. I dette avsnittet følger en kort redegjørelse for disse teknologiene og eventuell relevans for busstrafikken i bergensområdet.*

### **Biodrivstoff, med og uten hybriddrift**

Teknologien med hybrider eller konvensjonelle busser som drives med biodrivstoff, har vært på det kommersielle markedet i flere år, og teknologien kan anses som moden og mulig for stort sett all busstrafikk. I tillegg til hybrider som drives med HVO/FAME, finnes også biogasshybrider, men disse er i fåtall, og så vidt vi vet er det bare Malmö og Bergen som har slike i trafikk. Hybriddrift egner seg primært for linjer med hyppig start- og stoppfrekvens, det vi si på tettsteder der kjøring med helelektriske busser ikke er et reelt alternativ. Busstrafikken i Bergen har en generelt høy middelhastighet og relativt lav start- og stoppfrekvens, og de linjene som kan ha nytte av hybriddrift, er også aktuelle for helelektrisk bussdrift. Hybridbusser vurderes derfor som et mindre egnet alternativ for busstrafikken i bergensområdet ettersom kjøretøyene er dyrere og nytteverdien vurderes som relativt liten. Av denne grunn behandles heller ikke hybridbusser videre i denne studien. Konvensjonelle busser med biodrivstoff vil imidlertid fortsatt være et hensiktsmessig alternativ for deler av busstrafikken.

### **Brenselcelle**

Brenselcellebusser prøves ut flere steder i verden, blant annet i Oslo, som allerede i noen år har testet ut brenselcelledrift. Teknologien er imidlertid ikke moden for det kommersielle markedet ennå, og den er fremdeles dyr. Anbefalingen er at Skyss avventer og ikke satser på brenselcelledrift i kommende kontraktperiode. Brenselcellebusser vurderes ikke som noe alternativ i denne studien.

### **Ladbare hybrider**

Med hybridbusser med konduktiv tillegglading kan lengre busslinjer i all hovedsak kjøres med helelektrisk drift som kompletteres med forbrenningsmotor-drift på deler av strekningen. De doble drivlinjene gir høyere vedlikeholdskostnader og dårligere utnyttelse av ladeinfrastrukturen enn om bussene hadde vært helelektriske. I likhet med andre typer batteribusser er systemet ikke godt utprøvd selv om utviklingen er kommet relativt langt. Teknologien tilbys av noen få produsenter, først og fremst Volvo. Utgangspunktet for denne studien er at investering i ladeinfrastruktur skal gi helelektrisk drift, og ladbare hybrider vurderes som et mindre relevant alternativ for busstrafikken i Bergen.

### **Trolleybuss/IMC**

I og med at det allerede finnes trolleybusstrafikk i Bergen og det er gjort vedtak om å bygge ut trolleyinfrastrukturen, er det hensiktsmessig å utnytte eksisterende

infrastruktur i størst mulig grad, fortrinnsvis gjennom IMC-teknologi der batteribusser lades under kjøring ved hjelp av kjøreledning.

### **Batteribuss med hurtiglading (opportunity charging)**

Teknologien forutsetter utbygging av ladeinfrastruktur på endeholdeplassene for de aktuelle linjene, og egner seg generelt for linjer på inntil 15 km én vei. Satsing på infrastruktur bør gjøres slik at infrastrukturen utnyttes i høy grad for å oppnå en så kostnadseffektiv løsning som mulig. Det er et uttalt mål å elektrifisere linjer med relativt høy turtetthet og mange trafikktimer per døgn. Likeledes er det ønskelig at busser på flere linjer kan benytte samme infrastruktur. Det finns en rekke linjer i Bergen som oppfyller kravene og som kan være egnet for hurtiglading.

### **Batteribuss med depotlading**

Teknologien er mulig, men det råder usikkerhet med hensyn til rekkevidde, batterilevetid og kostnader. Skyss anbefales å fokusere på et par elektriske teknologier for å oppnå større fleksibilitet i bussystemet. I dette tilfellet prioriteres enten IMC (in-motion-charging) eller batteribuss med hurtiglading (OC) for busstrafikken i Bergen ettersom storskaladrift med depotladede busser vil innebære en større kjøretøyflåte og lavere effektivitet på grunn av begrensningene med hensyn til rekkevidde, økt ladetid og økt tomkjøring til og fra depotet for å lade busene. Teknologien kan imidlertid være hensiktsmessig på enkelte linjer, og den anses å være et alternativ for kommende kontraktperiode.

## 5. Analyse

---

### 5.1 Vurdering av forutsetninger og muligheter

*Følgende kapittel inneholder en vurdering av hensiktsmessige løsninger med hensyn til drivstoff og elektrifisering av busstrafikken i de respektive kontraktsområdene som presentert i dokumentasjonen i kapittel 2. Ettersom elektrifisering er den teknologien som har størst begrensinger per i dag, samtidig som det er den teknologien som har størst potensial for miljøforbedring og energieffektivitet, har vi sett mer inngående på mulighetene for helelektrisk drift. Opplysningene i vedlegg 2 viser hva som er mulig og kan anses å være relevant ut fra dagens kunnskapsnivå og tekniske utvikling. En faktisk implementering krever imidlertid en mer detaljert dimensjonering i samarbeid med kjøretøyprodusenter og operatører.*

#### Bergen nord

En større satsing på elektriske bussystemer i kontraktsområde Bergen nord vurderes av flere årsaker ikke å være aktuelt for 2020–2030:

- ▶ En ny etappe av Bybanen nordover er under planlegging, noe som vil få stor betydning for eksisterende busstrafikk. Busstrafikken bør holdes så fleksibel som mulig, og investering i linjespesifikt ladeutstyr bør på det nåværende tidspunkt unngås.
- ▶ Depotet på Haukås skal utstyres med et kompressorlegg som gjør det mulig å fylle med lokalprodusert biogass. Biogass bør derfor prioriteres i dette kontraktsområdet.
- ▶ Om lag halvparten av linjene har i dag kjørestrekninger som er lengre enn det som anses som hensiktsmessig for elbusser med hurtiglading. Av de øvrige linjene har de fleste spredte avganger eller fungerer som forsterkningslinjer i rushtiden, noe som gir en relativt lav utnyttelsesgrad for infrastrukturen for hurtiglading. Varierende omløp betyr også at flere av linjene har mer enn to endeholdeplasser. Dermed blir det komplisert å dimensjonere systemer med tilleggsledede elbusser.

Elbusser med hurtiglading er derfor ikke et hensiktsmessig alternativ for busstrafikken i kontraktsområde Bergen nord. Elektrifisering med depotladede batteribusser for forsterkningslinjer og linjer med spredte avganger kan være en mulighet, men en overordnet analyse (nærmere beskrevet i vedlegg 2) viser at bare noen få busslinjer egner seg for depotlading (DC) uten at det kreves større utvidelser av kjøretøyflåten. Dette ville kunne gi en høy kjøretøykostnad og økt behov for tomkjøring til og fra depot for lading også på dagtid. Drift med depotlading (DC-drift) anbefales derfor ikke. Å nytte lokalt produsert biogass vil være en bedre løsning. Med tanke på økt energieffektivitet er hybridkjøretøyer å foretrekke, men tilbudet av gasshybrider er lavt på dagens marked.

### *Erfaringer med gassdrift i kontraktsonråde Bergen nord*

Tide Buss AS, som er trafikkoperatøren i Bergen nord, har bidratt med opplysninger om deres erfaringer med gassdrift. Tide har lang erfaring med gassdrift og har generelt gode erfaringer med å kjøre på naturgass. De har hatt en del problemer med leddbussene som kjører på motorvei, men de understreker at feilen med disse bussene først og fremst er at de kjører mye og med høy belastning, noe som sliter mye på motorene. De understreker at problemene ikke nødvendigvis skyldes at de kjører på gass, men at kvaliteten på gassmotorer varierer mer enn for dieselmotorer. Det er først og fremst de eldre gassbussene (Euro V) som ble innkjøpt i 2011, som har driftsproblemer. Det samme gjelder ikke for de nyere MAN gassbussene (Euro VI), som fungerer tilfredsstillende.

Gassdrift benyttes i dag i Bergen nord og Bergen sentrum. Trafikken har per i dag et gassforbruk på ca. 45 GWh gass årlig. I 2016 sto kontraktsonråde Bergen nord for 55 % av gassforbruket, tilsvarende i underkant av 25 GWh. Med dagens trafikk bruker altså gassbussene i kontraktsonråde Bergen nord tilgjengelig mengde biogass ved full produksjon.

### **Bergen sentrum**

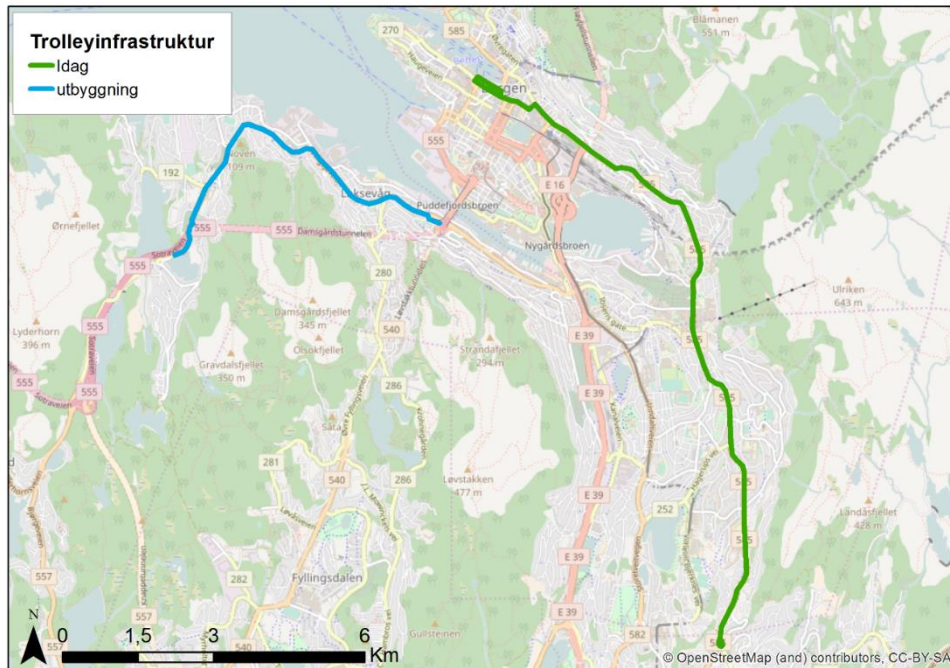
Busslinjene i Sentrum har med tanke på linjelengdene gode forutsetninger for elektrifisering av kjøretøyflåten. Etersom trolleybusser allerede er i bruk i dag og det foreligger planer om å bygge ut trolleyinfrastrukturen, er det flere busslinjer som vil kunne kjøre deler av kjørestrekningen med kjøreledning, lades under kjøring (IMC) og deretter fortsette å kjøre med batteridrift.

### ***Lading under kjøring, IMC***

#### *Med ny etappe i utbyggingen av trolleyinfrastruktur*

Det er en forutsetning for IMC-drift i kontraktsonråde Bergen sentrum at den vedtatte nye etappen<sup>5</sup> i utbyggingen av trolleyinfrastruktur blir gjennomført (se kartbilde Figur 3 under). For at IMC-drift i det hele tatt skal være aktuelt for en busslinje, må busslinjen kjøre under kjøreledning minst 20 % av strekningen. Linje 11 er unntatt ettersom midibusser ikke anses som aktuelle for IMC-teknologi.

<sup>5</sup> Forutsetningene for en utbygging av trolleyinfrastruktur til Laksevåg er undersøkt nærmere i utredningen Teknisk forprosjekt for trolleybuss til Laksevåg, utarbeidet av Bybanen Utbygging.



Figur 9 Eksisterende trolleyinfrastruktur og vedtatt utbyggingsetappe

Følgende av dagens linjer vurderes i utgangspunktet som potensielle IMC-linjer:

Linje	Andel av strekning under kjøreledning	Kjøretøy	Annet
16	38%	Standardbuss	Blir en del av trolleylinje 2
17	52%	Standardbuss	Blir en del av trolleylinje 2
20	24%	Standardbuss	
21	28%	Standardbuss	Tilhører i dag kontraksområde Bergen sør
80	50%	Standard-/boggi-/leddbuss	Tilhører i dag kontraksområde Bergen sør

Linje 80 kan være aktuell for IMC. Linje 16 og 17 kan slås sammen med trolleylinje 2, og endestoppene i vest kan da dekkes av en ny matelinje til trolleybussen på Lyngbø eller ved at nye linje 2 kjører annenhver tur til Gravdal og annenhver tur til Nipedalen med batteridrift. Begge alternativene er fullt mulige, men det sistnevnte krever tiltak for leddbustrafikk. Mer spesifikt må kjøreveien i Nipedalen, Lyngbøveien og Gravdalsveien utvides i bredden da de i dag enkelte steder er for smale, og det er fare for at bussene må rygge.

For linje 20 og 21 kreves en mer detaljert studie siden strekningen under kjøreledning er relativt kort. Forutsetninger for beregningene:

- ▶ Energiforbruk, “worst case”
  - ▶ standardbuss – 2 kWh/km
- ▶ Lading via kjøreledning
  - ▶ Inntil 150 kW

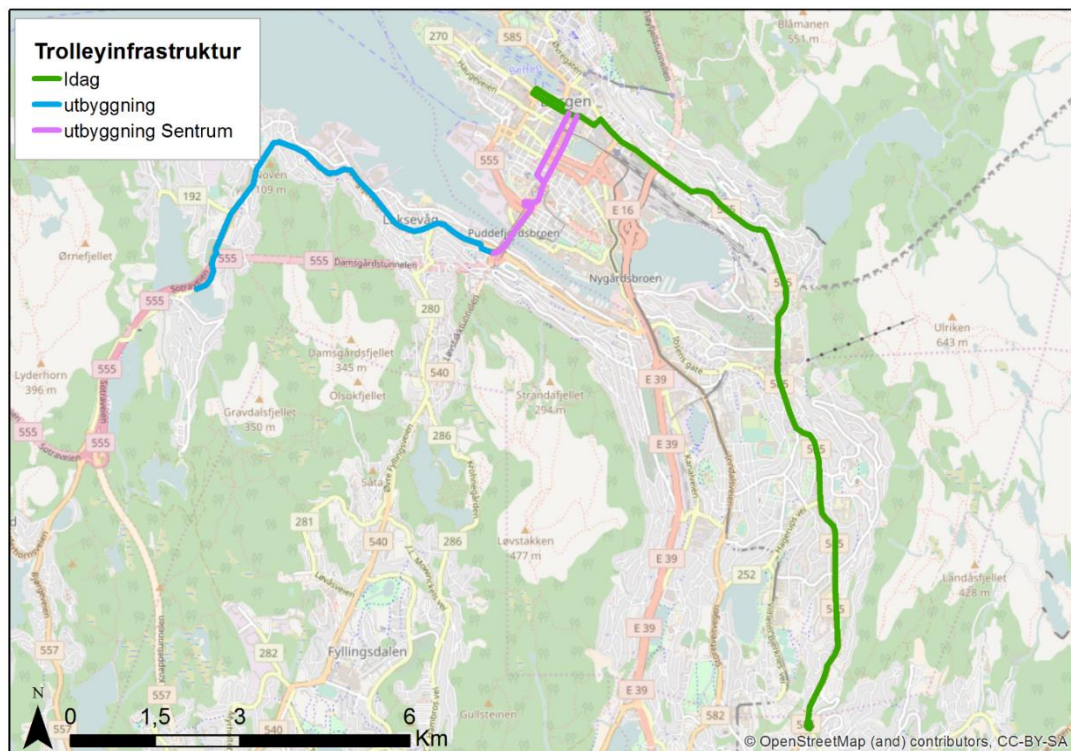
Beregnet energiforbruk og lading per omløp (“worst case”):

Linje	Batteridrift, kWh	Lading, kWh	Vurdering
20 <sup>6</sup>	40,4	38,4	Fungerer ikke med 150 kW
21	27,2	28,6	Ok (140 kW lading)

Gjennomgangen viser at medregnet den nye etappen trolleyinfrastruktur over Laksevåg kan linje 2 (sammenslått med linje 16 og 17), linje 21 og linje 80 trafikkeres med IMC-busser. De to sistnevnte kan da med fordel flyttes fra kontraksområde Bergen sør til kontraksområde Bergen sentrum for å samle IMC-bussene i et og samme kontraksområde.

### Med trolleyinfrastruktur gjennom Bergen sentrum

Ved å bygge trolleyinfrastruktur gjennom sentrum og knytte sammen den gamle etappen med den nye, kan det skapes nye muligheter for IMC-drift. Se kartbilde under. Også i dette tilfellet er utgangspunktet for studien at en busslinje må kjøre under kjøreledning minst 20 % av strekningen.



Figur 3 Kart over eksisterende trolleyinfrastruktur i grønt, vedtatt utbyggingsetappe i lyseblått og forslag til ny infrastruktur gjennom sentrum i lilla.

<sup>6</sup> Dersom det er mulig å lade med høyere effekt enn 150 kW, kan linje 20 være aktuell for IMC. For å vurdere disse mulighetene kreves detaljert prosjektering i samråd med leverandører og elnett eksperter.

Følgende av dagens linjer vurderes i utgangspunktet som potensielle IMC-linjer:

Linje	Andel av strekning under kjøreledning	Kjøretøy	Annet
12	20%	Standardbuss	
13	25%	Standardbuss	
16	61%	Standardbuss	Blir en del av trolleylinje 2
17	85%	Standardbuss	Blir en del av trolleylinje 2
19	27%	Standardbuss	
21	28%	Standardbuss	Tilhører i dag kontraktsområde Bergen sør
80	50%	Standard-/boggi-/leddbuss	Tilhører i dag kontraktsområde Bergen sør
81/82*7	21%	Standard-/boggibuss	

I henhold til tidligere gjennomgang er ny linje 2, linje 21 og linje 80 aktuelle for IMC. Linje 2 får nå kortere strekninger med batteridrift dersom bussene trafikkerer Gravdal og Nipedalen. Dersom linje 2 i stedet går til Lyngbø og en ny matebusslinje innføres mellom Lyngbø og Gravdal/Nipedalen, blir linje 2 en tradisjonell trolleylinje. Linje 12 vurderes ikke å være aktuell for IMC med den nåværende infrastrukturen ettersom kjøring med kjøreledning skjer i to etapper og kjørestrekningen tur-retur mellom Bergen sentrum og Oasen terminal blir for lang til at energibehovet kan dekket med lading via kjøreledning.

For de linjene som er mer usikre, er det gjennomført en mer detaljert studie for å vurdere mulighetene for drift med IMC-busser. Forutsetninger for beregningene:

- Energiforbruk, “worst case”
  - standardbuss – 2 kWh/km
  - standardbuss – 2,2 kWh/km
  - standardbuss – 3 kWh/km
- Lading via kjøreledning
  - Inntil 150 kW

Beregnet energiforbruk og lading per omløp (“worst case”):

Linje	Batteridrift, kWh	Lading, kWh	Vurdering
13	8,8	9,4	Ok (120 kW lading)
19	25,6	25,6	Ok (120 kW lading)
81/82	24,4	22,9	Fungerer ikke med 150 kW lading

På kort sikt medfører trolleyinfrastruktur gjennom sentrum at linje 13 og linje 19 kan trafikkeres med IMC, i tillegg til de linjene som allerede er vurdert som aktuelle uten trolleyinfrastruktur gjennom sentrum. I et lengre perspektiv vil sammenknytting av de to etappene gi et sterkt sammenhengende trolleynett gjennom

<sup>7</sup> Linje 81 og 82 skal etter planen slås sammen til én linje.

sentrale deler av Bergen og bedre forutsetninger for videre utbygging og elektrifisering av flere linjer med hjelp av IMC-teknologi.

### *Hurtiglading, OC*

Utgangspunktet for å vurdere om en linje er aktuell eller ikke for hurtiglading (OC), er at linjen ikke er lengre enn 15 km. Linjen bør også ha en relativt høy turtetthet (helst under 20 min.), men lavere turtetthet kan godtas om for eksempel linjen samkjøres med andre linjer, noe som vil gi en effektiv utnyttelse av ladeinfrastrukturen. I tillegg må det være mulig å få fram elektrisitet med en ladeeffekt på 450kW/ladestolpe til endeholdeplassen, og det må også være plass til å plassere ladeinfrastruktur pluss bussoppstilling på ladeplassen.

Forutsetninger for beregningene:

- Energiforbruk, “worst case”
  - standardbuss – 2 kWh/km
  - standardbuss – 2,2 kWh/km
  - standardbuss – 3 kWh/km
- Lading på endeholdeplass med 450 kW effekt

I tabellen under gis en oversikt over hvilke linjer som anses som aktuelle for hurtiglading, samt en vurdering av hensiktsmessigheten. I beregningen har vi lagt til grunn at det bare er linje 15 og 40/40E som har krav på boggibuss (LEL) mens de øvrige linjene i tabellen kan kjøres med standardbuss. Hovedtanken er å prøve å holde nede antallet ulike framdriftsteknologier i hvert kontraktsområde da bruk av flere ulike teknologier og busstyper ikke bare kan øke vedlikeholdskostnadene men også gi en mindre fleksibel vognpark (det kan bli vanskeligere å få på plass reservebusser ved driftsforstyrrelser).



Linje	Vurdering ut fra linjelengde og turtetthet	Hvilke holdeplasser trenger ladeplass?	Mulighet for å få på plass hurtigladeutstyr på disse plassene
10	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Mulen snuplass, Wergeland	Plass for lading antas å kunne anlegges på begge holdeplassene.
12*	*Linjelengden overstiger 15 km. Linjen må studeres i detalj før det eventuelt kan tas noen beslutning om å innføre drift med hurtiglading. Med hurtiglading blir det også behov for ytterligere to busser på linjen.	Mannsverk, Oasen terminal	Oasen terminal skal bygges om, men det bør være mulig å finne rom til et par ladeplasser. Når det gjelder Mannsverk, bør det undersøkes nærmere om lading kan gjøres på depot.
13	Kan kjøres med OC.	Solheimsviken	Vanskelig å finne plass til lading på holdeplassen. Holdeplassen foreslås derfor flyttet til et nytt sted der det er mulig å anlegge ladeplass. Et forslag er ved parkeringen i krysset mellom Damsgårdsveien og Michael Krohns gate. Hvorvidt dette er mulig/ønskelig må undersøkes nærmere.
14	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Bønestoppen, Bergen busstasjon	Det finnes to plasser som eventuelt kan brukes for lading på Bønestoppen. Bergen busstasjon har dårlig med plass for lengre oppstilling, men det finnes i dag 16 holdeplasser med faste avgangstider. Kan bli nødvendig å omregulere hvordan busstrafikken ankommer terminalen.
15	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Bergveien <sup>8</sup> , Olav Kyrres gate (Strandkai terminalen)	Holdeplassen Bergveien bør bygges om til snuplass med mulighet for bussoppstilling ved lading. Forslaget går ut på at linjen bruker Strandkai terminalen, som vil bli fristilt i og med at linje 2 forlenges til Laksevåg/Lyngbø.
18	Kan kjøres med OC.	Barliveien, Formanns vei	Studier av flyfoto viser at det bør være plass til minst én ladeplass i Barliveien. Ved Formanns vei vurderes mulighetene for ladeplass å være små, men dette må undersøkes nærmere.
19	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Oasen terminal, Olav Kyrres gate (Strandkai terminalen)	Oasen terminal skal bygges om, men det bør være mulig å finne rom til et par ladeplasser. For Strandkai terminalen, se linje 15 over.
40	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Bergen busstasjon Storavatnet terminal	Bergen busstasjon, se linje 14 over. Ved Storavatnet terminal bør det kunne anlegges 1–3 plasser.
40E	Kan kjøres med OC.	Bergen busstasjon, Olsvikmarken snuplass	Bergen busstasjon, se linje 14 over. Flyfoto viser at det bør være mulig å anlegge 1 ladeplass ved Olsvikmarken snuplass.
41	Kan kjøres med OC.	Loddefjord terminal	Det finnes plass som eventuelt kan brukes til lading.
45	Kan kjøres med OC.	Loddefjord terminal	Det finnes plass som eventuelt kan brukes til lading.
47	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Oasen terminal, Olav Kyrres gate (Strandkai terminalen)	Se linje 19 over.

<sup>8</sup> En snuplass i Bergveien vil legge til rette for hurtiglading på linjen. En slik løsning utredes i Bergensprogramets plan- og byggeprogram.

81/82	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Grønnestølen snuplass Nattlandsfjellet.	Det finnes plass som eventuelt kan brukes til lading ved Grønnestølen snuplass. Flyfoto viser at det bør være mulig å anlegge 1 ladeplass ved Nattlandsfjellet.
-------	--	--	---

## Vest

Mulighetene for elektrifisering begrenses av de spredte avgangene kollektivtilbudet består av, og varierende kjørestrekninger og vognløp. Ettersom store deler av trafikkområdet ligger utenfor tettbebygde områder, reduseres også nytten av elektrifisering ettersom luftforurensning og støy ikke er noe uttalt problem, og fordi landeveistraffikk med høy middelhastighet og lav start-/stopppfrekvens ikke vil kunne ha særlig nytte av energigjenvinningen som følger av elektrisk driftsteknologi. Bussene som kjøres i rushtiden, såkalte forsterkningslinjer, og eventuelt også linje 490, 491, 493, 496 og 497 (med spredte avganger og bare noen få lengre turer) kan være aktuelle for depotlading, men det vil gi dyrere kjøretøy og en større kjøretøyflåte som vil ha begrenset nytteverdi. Derfor vurderes busser med biodiesel eller biogass som det best egnede alternativet for kontraktsområde Vest.

## Bergen sør

Kollektivtilbudet kjennetegnes av en linjestruktur med lokale busslinjer som mater et fåtall hovedterminaler hvor det er overgangsmuligheter til Bybanen. Til tross for relativt få avganger og varierende ruter på enkelte linjer, vurderes mulighetene for elektrifisering som gode, med hurtiglading på terminalene (Lagunen, Birkelandsskiftet, Nesttun terminal, Osøyro). Muligheten for depotlading er undersøkt også for Bergen sør (se vedlegg 2), men det er klart at kun noen få linjer vil egne seg for depotlading med mindre atskillig flere kjøretøy settes inn i trafikk. Nyttens vurderes derfor å være for liten i forhold til kostnaden, samtidig som det er mange linjer i kontraktsområdet som egner seg for hurtiglading.

Linje	Vurdering ut fra linjelengde og turtetthet	Hvilke holdeplasser trenger ladeplass?	Mulighet for å få på plass hurtigladeutstyr på disse plassene
22	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Lagunen, Oasen	Vanskelig å anlegge ladeplass ved Lagunen, men ev. 1–2 plasser. For Oasen, se tidligere tabell for Bergen sentrum.
52	Kan kjøres med OC, men krever ytterligere en buss i trafikk.	Lagunen, Grimstad	For Lagunen, se linje 22 over. Flyfoto viser at det bør være mulig å anlegge en ladeplass ved Grimstad snuplass.
54	Kan kjøres med OC.	Lagunen	For Lagunen, se linje 22 over.
56	Kan kjøres med OC, men spredte avganger.	Birkelandsskiftet	Plass til ca. 2–3 ladeplasser.
61	Kan kjøres med OC.	Lagunen, Krokeide	For Lagunen, se linje 22 over.
64	Kan kjøres med OC, men få avganger.	Lagunen	For Lagunen, se linje 22 over.
65	Kan kjøres med OC.	Lagunen, Birkelandsskiftet	For Lagunen, se linje 22 over. Plass til ca. 2–3 ladeplasser.
70	Kan kjøres med OC.	Nesttun terminal	Vanskelig å anlegge ladeplass her, høyst 1 plass. Ombygging nødvendig.

71	Kan kjøres med OC.	Nesttun terminal, Totland	For Nesttun terminal, se linje 70 over.
75	Kan kjøres med OC, men spredte avganger.	Nesttun terminal	For Nesttun terminal, se linje 70 over.
76	Kan kjøres med OC.	Nesttun terminal	For Nesttun terminal, se linje 70 over.

## 5.2 Utviklingsalternativer

*I tillegg til et referansescenario er det for kontraktperioden 2020–2030 utarbeidet to alternative scenarier for implementering av driftsteknologier og bruk av alternative drivstoffer. De to alternativene er utarbeidet med utgangspunkt i mulighetene som er identifisert som angitt i kapittel 5.1 og vedlegg 2, og er basert på til dels ulike forutsetninger, som beskrevet nedenfor i det enkelte alternativscenario. Beregningene er basert på 2016-produksjonen og tar ikke hensyn til forventet produksjonsøkning. Nærmere beskrivelse er gitt i vedlegg 3.*

*Målet har vært at hvert kontraktssområde skal bestå av høyst to forskjellige teknologier for framdrift av bussene, noe som med de nåværende forutsetninger dessverre ikke er mulig å oppnå til fulle i alle kontraktssområdene. Med få drivteknologier i hvert kontraktssområde vil reservedelslager, opplæring av sjåfører og behovet for spesialister for teknisk vedlikehold bli så effektivt som mulig. Få drivteknologier gir flere busser av samme type og dermed større mulighet for full utnyttelse av teknisk personell. Effektivt vedlikeholdsarbeid gir lavere kostnader. Færre kjøretøytyper gir bedre kunnskap hos førerne om kjøretøyene som er i bruk, så det ved eventuelle feil på kjøretøyet er større sannsynlighet for at føreren selv kan løse problemet basert på tidligere erfaring. Også dette vil gi en mer effektiv trafikk med lavere kostnader, men bidrar også til en mer pålitelig trafikk ved at driftsforstyrrelser reduseres. Endelig er det også verdt å poengtere at reservedelslageret blir mindre om antall kjøretøytyper begrenses. Også dette vil gi lavere kostnader. Disse effektene blir særlig synlige når det snakk om å innføre ny teknologi, i dette tilfellet batteribusser, som krever særskilt infrastruktur.*

### Alternativscenario 0 (referanse)

Referansescenariet er basert på årlig antall kilometer for 2016 men med Euro VI-dieselbusser. I tillegg kommer biogass fra Rådalen i kontraktssområde Bergen nord. Antall kjøretøykilometer per år og kjøretøy på de ulike kontraktssområdene er basert på dokumentasjon fra Skyss.

Utgangspunktet for kontraktssområde **Bergen nord** er trafikk med dieseldrevne busser som suppleres med biogassdrevne busser som bruker lokalprodusert biogass fra Rådalen, 23–25 GWh per år. Dagens gassbusstrafikk i kontraktssområde Bergen nord forbruker ca. 25 GWh i året, som er utgangspunktet for å beholde dagens gassbusstrafikk, men med lokalprodusert biogass i stedet for naturgass. Ifølge en tidligere konsulentrapport anses Rådalen å kunne forsyne 84 gassbusser, men dette gjelder trolig standardbusser (12 m). Ifølge opplegget i denne rapporten skal leddbussene på de tunge stamlinjene kjøres med biogass, og da vil antallet busser bli færre.

Bortsett fra trolleylinje 2, som i referansescenariet konsekvent kjøres med trolleyleddbuss, kjøres busstrafikken i kontraktssområde **Bergen sentrum** med dieseldrevne Euro VI-busser.

For **Vest** og **Bergen sør** skjer trafikken fortsatt med dieselbusser etter samme opplegg som i 2016. Samtlige kjøretøy forutsettes å oppfylle utslippskravene for Euro VI.

Nedenstående tabell viser antall kjøretøy og årlig vognproduksjon i referansescenariet:

Kjøretøytype	km/år	Antall kjøretøy
Leddbuss	4 730 000	64
Boggibuss	7 030 000	127
Standardbuss	16 550 000	334
Midibuss	370 000	7
<b>Totalt</b>	<b>28 680 000</b>	<b>532</b>

Tabellen gir en oversikt over hvilke linjer som kjøres med hvilken driftstype:

Kontraktssområde	El. (trolley)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Diesel
Bergen nord	-	-	3, 3E, 4, 4E	Øvrige linjer
Bergen sentrum	2	-	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	-	-	Alle linjer

## Alternativscenario 1

Alternativscenario 1 tar utgangspunkt i referansescenariet men inneholder i tillegg et antall forslag om mer miljøtilpasset driftsteknologi og drivstoff som kan implementeres med eksisterende linjenett. Utgangspunktet er å finne de løsningene som kan gjennomføres med dagens linjenett, og som gir størst virkning til en rimelig kostnad.

For kontraksområde **Bergen nord** er alternativscenario 1 omtrent det samme som referansescenariet. Forskjellen er at den fossile dieselen erstattes med biodrivstoff.

I kontraksområde **Bergen sentrum** omfatter alternativscenario 1 den planlagte nye etappen med trolleyinfrastruktur over Laksevåg. I dette scenariet skal dagens linje 2, 16 og 17 kjøres med trolleyledbuss med 10-minutters trafikk til Lyngbø i vest, der en matebusslinje mellom Gravdal og Nipedalen via Lyngbø erstatter de nåværende endestoppene på linje 16 og 17. Linje 2 skal kjøres på batteri gjennom sentrum (IMC) og i tillegg trafikkere de to etappene med trolleyinfrastruktur med trolleydrift. Som matebuss skal det brukes standardbuss med 10-minutters intervall i høytrafikk og 20-minutters intervall i lavtrafikk. Utover nye linje 2 er det med eksisterende linjenett og infrastruktur mulig å trafikkere linje 21 og linje 80 med IMC-busser om disse to linjene flyttes fra kontraksområde Bergen sør til kontraksområde Bergen sentrum. Da vil alle IMC-kjøretøyene bli samlet i ett kontraksområde og legge til rette for en mer optimert drift.

Linje 10 og 15 skal drives med elektriske busser med hurtiglading på endeholdeplassene.

Som i referansescenariet skal kontraksområde **Vest** og **Bergen sør** trafikkeres med Euro VI-dieselbusser, bare at i dette alternativscenarioet brukes biodrivstoff.

Dette gir følgende oppsummering av alternativscenario 1:

Kjøretøytype	km/år	Antall kjøretøy
Leddbuss	5 050 000	66
Boggibuss	7 030 000	129
Standardbuss	16 120 000	329
Midibuss	370 000	7
<b>Totalt</b>	<b>28 570 000</b>	<b>531</b>
Sammenlignet med referansealternativet	-110 000 (-0,4 %)	-1 (-0,2 %)

Som det framgår av tabellen over, vil alternativscenario 1 gi en effektivisering både med hensyn til vognproduksjon og kjøretøytilgang. En av årsakene til lavere produksjon og bussbehov er omleggingen av linje 2, 16 og 17.

Tabellen gir en oversikt over hvilke linjer som kjøres med hvilken driftstype:

Kontraktssområde	El. (IMC)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Biodrivstoff
Bergen nord	-	-	3, 3E, 4, 4E	Øvrige linjer
Bergen sentrum	Ny 2, 21*, 80*	10, 15	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	-	-	Alle linjer

\*Linjene flyttes fra kontraktssområde Bergen sør

## Alternativscenario 2

Alternativscenario 2 tar utgangspunkt i alternativscenario 1 men har et større innslag av elektrifisering og mer miljøtilpasset driftsteknologi og drivstoff som kan innføres med eksisterende linjenett for å oppnå stor effekt. De elektriske satsingene går ut på at IMC-driften økes ved at det etableres trolleyinfrastruktur gjennom sentrum som knytter sammen de to trolleyetappene i alternativscenario 1. Det omfatter også en større satsing på drift med hurtiglading. Når det gjelder hurtiglading, har vi i forbindelse med prosjektet dessverre ikke fått noe klart **svår fra BKK** med hensyn til muligheter/forutsetninger for å framskaffe nødvendige ladeeffekter på de holdeplassene som forutsettes utstyrt med hurtigladeutstyr. **Det er viktig å få dette avklart før et eventuelt vedtak om innføring av hurtiglading.** Alternativscenario 2 skiller seg ut ved at det innebærer en nærmest helelektrisk avtale for kontraktssområde Bergen sentrum, som også vurderes å være det området der eldriftens fordeler vil ha størst positiv effekt, blant annet gjennom mindre støy og lavere lokale utslipp.

Merk at i alternativscenario 2, som innebærer mer omfattende elektrifisering, er linjene dimensjonert etter hvilken kjøretøytype som har førsteprioritet på den aktuelle linjen. En linje som som regel trafikkeres med standardbusser men som innimellom også trafikkeres med boggibusser, har derfor bare fått trafikk med standardbusser. Dette fordi det ikke har vært mulig å kartlegge i hvilket omfang boggibusser anvendes på linjer som normalt trafikkeres med standardbuss. **Konsekvensen av dette er at antallet boggibusser i alternativscenario 2 er lavere enn i øvrige scenarier.**

Alternativscenario 2 forutsetter at busstrafikken i hele kontraktssområde **Bergen nord** drives med biogass. I tillegg til produksjonen i Rådalen forutsettes det at biogass med tilsvarende klimaegenskaper finnes tilgjengelig for import.

I kontraktssområde **Bergen sentrum** foreslås linje 2 trafikkert med IMC-busser som kan kjøre på batteridrift til Nipedalen/Gravdal (annenhver tur) for å elektrifisere også disse delene av tidligere linje 16 og 17 uten at det er behov for mer infrastruktur. Tiltakene krever imidlertid ombygging av trafikkmiljøet slik at leddbusser kan trafikkeres strekningene i sin helhet (se vedlegg 2). Den noe bratte kjøreveien de siste etappene vurderes ikke å være til hinder for elektriske leddbusser. **Trivector foreslår** i denne forbindelse at linje 2 trafikkeres med 7,5-minutters intervall i høytrafikk slik at Nipedalen/Gravdal får 15-minutters intervall

til disse områdene. I tillegg bør linje 80 trafikkeres med leddbusser, og at annen- hver tur på linje 2 i høytrafikk går over til linje 80 ved Birkelundstoppen. Dette for å optimere systemet og samtidig beholde dagens kapasitet på linjene. Hele trollestrekningen får da 7,5-minutters trafikk med leddbuss. For linje 80 betyr det at 10-minutters trafikk med standardbuss erstattes med 15-minutters trafikk med leddbuss i høytrafikk. I lavtrafikk er turtettheten på linje 80 den samme som i dag, bare med leddbusser. Det betyr at et antall ekstra leddbusser erstatter et større antall standardbusser, og at trafikken på disse linjene totalt sett vurderes til å bli mer effektiv.

I alternativscenario 2 trafikkeres Bergen sentrum bare med elbusser, med unntak av linje 11. Linje 2 erstatter nå linje 16 og 17 fullt ut ved at den kjøres med leddbuss med IMC. Andre linjer som trafikkeres med IMC, er linje 13, 19, 21 og 80. Linje 20, 24, 25, 28, 48 og 55 flyttes til kontraktssområde Bergen sør da disse ikke egner seg for eldrift. Av samme årsak flyttes linje 42 og 43 til kontraktssområde Vest. De øvrige linjene i kontraktssområde Bergen sentrum, dvs. linje 10, 12, 14, 15, 18, 40, 40E, 41, 45, 47 og 81/82, trafikkeres med hurtiglading. Tabellen i slutten av vedlegg 3 gir en oversikt over hvilke holdeplasser som må utstyres med hurtigladeutstyr, og en foreløpig vurdering av hvor lett/vanskelig det vil være å anlegge ladeplasser gitt de fysiske forutsetningene på den enkelte endeholdeplass. Effektene av elektrifisering med hurtiglading er i denne rapporten basert på operatørers og produsenters erfaringer med teknologien så langt. En nærmere tallfesting av effekter må beregnes ved detaljert dimensjonering i samarbeid med leverandører.

Forslaget for kontraktssområde **Vest** er stort sett det samme som i alternativscenario 1. Forskjellen er at linje 42 og 43 flyttes hit fra kontraktssområde Bergen sentrum, noe som endrer kjøretøybehov og årlig antall kilometer.

Til forskjell fra tidligere alternativ inneholder kontraktssområde **Bergen sør** i alternativ 2 en bred satsing på hurtiglading, der de fleste linjene anses å kunne trafikkeres elektrisk som beskrevet. De linjene som er identifisert for hurtiglading, er linje 22, 52, 54, 56, 57, 61, 64, 65, 70, 71, 75 og 76. Samtlige linjer kjøres med standardbusser. I slutten av vedlegg 3 presenteres en tabell som redegjør for hvilke holdeplasser som vil få behov for ladeinfrastruktur, og hvor mange ladeplasser det vil bli snakk om. Dette er basert på opplysninger fra Skyss med hensyn til hvor lett eller vanskelig det kan bli å anlegge ladeplasser. Når det gjelder kjøretøybehovet per linje, anses dette å være det samme som ved konvensjonell dieseldrift, med unntak av linje 22 og 52, som vil trenge en ekstra buss hver ettersom ladetiden ikke er medregnet i de ordinære rutetidene for disse linjene. **Det er imidlertid nødvendig med en mer detaljert prosjektering i samarbeid med leverandører av kjøretøy og infrastruktur samt operatør for å fastsette en endelig systemløsning.** Se vedlegg 2 for en mer inngående beskrivelse av linjene.

De øvrige linjene i kontraktssområde Bergen sør, linje 50E, 51, 53, 60, 62, 67, 73, 74, 83, 90, 600-607, foreslås fortsatt trafikert med konvensjonell dieseldrift, men vil kjøre på biodrivstoff. Det samme gjelder linjene som flyttes fra kontraktssområde Bergen sentrum, nærmere bestemt linje 20, 24, 25, 28, 48 og 55.

Dette gir følgende oppsummering av alternativscenario 2 med hensyn til antall kjøretøy og vognproduksjon:

Kjøretøytype	km/år	Antall kjøretøy
Leddbuss	5 520 000	73
Boggibuss	6 450 000	113
Standardbuss	15 930 000	329
Midibuss	370 000	7
<b>Totalt</b>	<b>28 270 000</b>	<b>526</b>
Sml. referansescenario	-410 000 (-1,4%)	-6 (-1,1%)

Som det framgår av tabellen over, vil alternativscenario 2 gi en effektivisering både med hensyn til vognproduksjon og kjøretøytilgang, noe som er interessant med tanke på at elektrifiseringen (med hurtiglading) enkelte steder vil medføre behov for flere kjøretøy. En av årsakene til at produksjonen og bussbehovet blir lavere, er at den nye linje 2, som skal samkjøres med linje 80, gir en innsparing i antall kjøretøy takket være mer effektiv trafikkering med større kjøretøy.

Tabellen gir en oversikt over hvilke linjer som kjøres med hvilken driftstype:

Kontraktssområde	El. (IMC)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Biodrivstoff
Bergen nord	-	-	Alle linjer	
Bergen sentrum	Ny 2, 13, 19, 21, 80	10, 12, 14, 15, 18, 40, 40E, 41, 45, 47, 81/82	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	22, 52, 54, 56, 57, 61, 64, 65, 70, 71, 75, 76	-	Øvrige linjer

Linjer som bytter kontraktssområde i alternativscenario 2:

Linjer	Fra	Til
20, 24, 25, 28, 48 og 55	Bergen sentrum	Bergen sør
42, 43	Bergen sentrum	Vest
21, 80	Bergen sør	Bergen sentrum

### Økt elektrifisering med IMC gjennom omlegging av linjene

I tillegg til de ordinære scenariene er det utarbeidet forslag som viser hvordan elektrifiseringen av kontraktssområde Bergen sentrum kan gjennomføres ved å

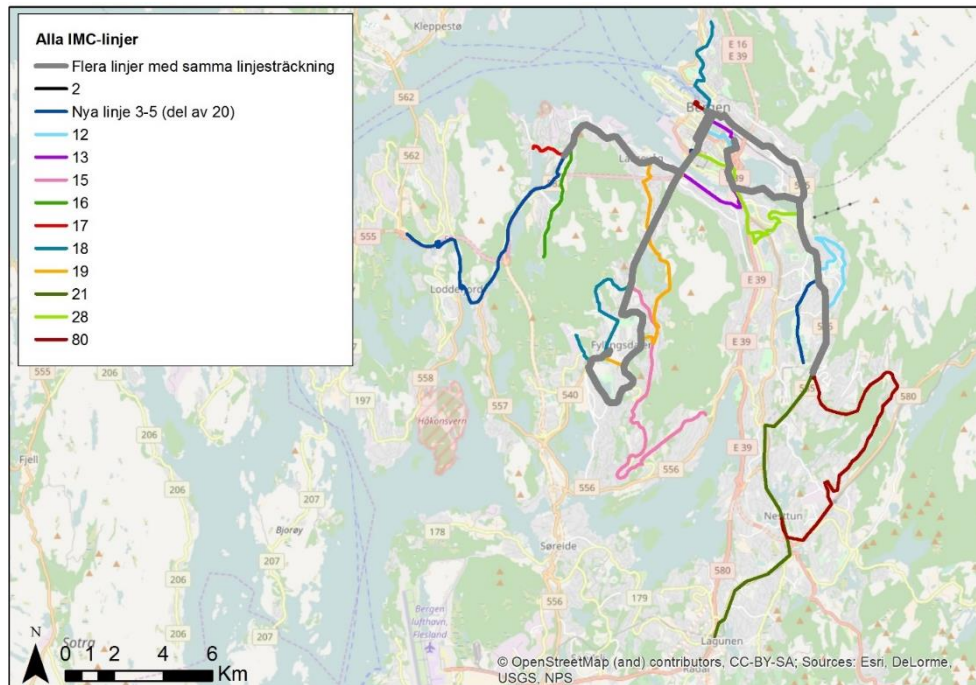


øke bruken av IMC-teknologi og dermed utnytte trolleyinfrastrukturen maksimalt. Forslaget innebærer en delvis omlegging av eksisterende linjenett og er presentert i nærmere detalj i vedlegg 6.

Kort oppsummert innebærer den foreslåtte omleggingen:

- ▶ De søndre delene av linje 3 og linje 5 slås sammen til en ny linje, ”linje 3–5”.
- ▶ I tillegg deles linje 20 der den østre delen slås sammen med linje 25 og den vestre knyttes sammen med nye ”linje 3–5”, som da forlenges til Storavatnet terminal i vest. Linje 3–5, med eller uten sammenslåing med linje 20 (til Storavatnet terminal), anses ikke å kunne trafikkere Damsgårdstunnelen med mindre det bygges trolleyinfrastruktur gjennom sentrum. Alternativet blir da i stedet å legge om linjen langs den nye trolleyetappen over Laksevåg, noe som vil forlenge kjøretiden på linjen.
  - ▶ Sammen med den nye linje 2 og linje 80 kan ny linje 3–5 gjøre det mulig å gjennomføre helelektrisk IMC-trafikk med leddbusser i ulike ruter mellom Loddefjord og Nesttun, via Sædalen, sykehuset og sentrum.
- ▶ Trolleyinfrastruktur anlegges gjennom Løvstakktunnelen, slik at linje 12 burde kunne kjøre på IMC-drift. Da anses også linje 15, 18 og 28 å kunne fungere med IMC-teknologi.

Oppsummert får man følgende IMC-nett:



### 5.3 Miljø- og klimapåvirkning samt energiforbruk

*En mer inngående beskrivelse av miljø- og klimapåvirkning for disse scenariene er gitt i vedlegg 4. Her i hovedrapporten framlegges bare et kortfattet beregningsresultat og de grunnleggende forutsetningene som beregningene er basert på.*

Utslipp av klimagasser og luftforurensende stoffer for alternativscenario 1 og 2 er blitt undersøkt og sammenlignet med referansescenariet. Også en mer direkte sammenligning er tatt med for å belyse forskjeller mellom drift med biodrivstoff og drift med biogass (sammenligningen bruker kontraktsområde Vest som eksempel) for å illustrere at ulike typer fornybare drivstoff gir forskjellige positive effekter.

Beregningene er basert på følgende verdier for karbondioksidutslipp og reduksjon av karbondioksid (sammenlignet med fossil diesel) for de ulike drivstoffene. Verdiene gjelder “Well-to-Wheel” (kilde til hjul), WTW<sup>9</sup>.

CO<sub>2</sub>-utslipp<sup>10</sup>

Energikilde	g CO <sub>2ekv</sub> /kWh	CO <sub>2</sub> -reduksjon Biodrivstoff	CO <sub>2</sub> -reduksjon Biogass
Diesel	271	38–83 <sup>11%</sup>	
Gass	205		90%
Elektrisitet (opphavsgarantert vannkraft)	7		

Ettersom type trafikk og type busser varierer mellom linjene og i de ulike kontraktsområdene i tillegg til at busenes energiforbruk varierer avhengig av faktorer som vær, sjåfør, bussprodusent m.m., er effektene av de ulike driftsteknologiene beregnet ut fra standardverdier. Trivector har i forbindelse med tidligere oppdrag innhentet driftsdata og dokumentasjon av energiforbruk for ulike buss typer og med ulike driftsteknologier. Denne kunnskapsbanken er sammenstilt med driftsdata fra trafikken i Bergen (for å ta hensyn til lokale forutsetninger som f.eks. topografi) til et antall grunnleggende standardverdier for energiforbruk i ulike typer busser. Det er disse standardverdiene som ligger til grunn for vurderingen av de effekter som kan oppnås med lav- og nullutslippsbusser i henhold til scenariene for busstrafikken i de fire kontraktsområdene. Verdiene gjelder Euro VI-busser og Tank-to-Wheel (tank til hjul), TTW<sup>12</sup>. For helelektriske busser omfatter verdiene også tap i strømovertføring til bussen, altså at verdiene vi presenterer, er basert på den strømmen som hentes fra nettet, som man betaler for.

Anvendte verdier for energiforbruk, kWh/km:

<sup>9</sup> WTW betyr at alle utslipp i hele brenselets livssyklus er tatt med i analysen

<sup>10</sup> Verdier fra NVEs varedeklarasjon (<https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/varedeklarasjon/varedeklarasjon-2015/>) samt Produktforskriften ([https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922#KAPITTEL\\_4](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-922#KAPITTEL_4))

<sup>11</sup> 38 % reduksjon med RME og 83 % reduksjon med HVO med gode klimaprestasjoner.

<sup>12</sup> Med “Tank-to-Wheel” menes utslippene fra driften (fra kjøretøyets tank til hjulene), og tar ikke hensyn til utslipp fra produksjon og distribusjon av brenselet.

Driftsteknologi / Busstype	Standardbuss	Boggibuss	Leddbuss
Diesel	3,8	4,2	5,2
Gass	5,1	5,7	7,0
Helelektrisk	1,5	1,7	2,1

Den tredje vurderingsrunden er lokale utslipp. Verdiene for NO<sub>x</sub> og partikler framgår av tabellen<sup>13</sup> under.

Driftsteknologi	NO <sub>x</sub> (mg/kWh)	PM (mg/kWh)
Diesel	340	3,2
Gass	240	5,5
Helelektrisk	0	0

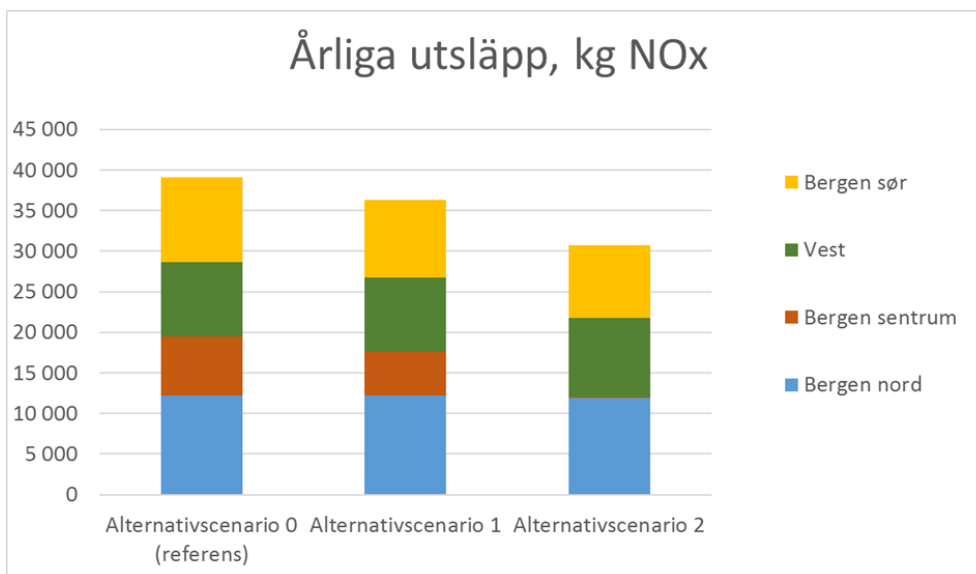
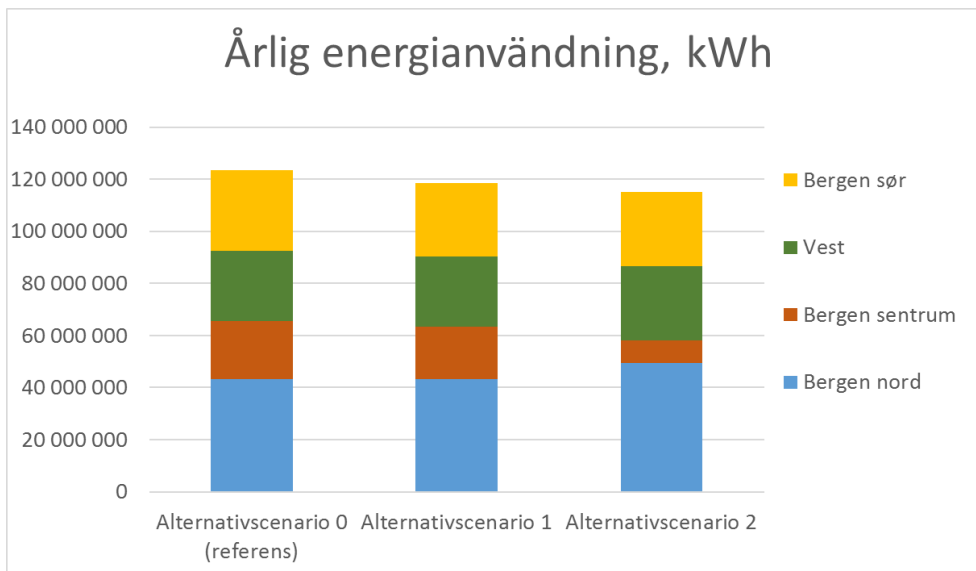
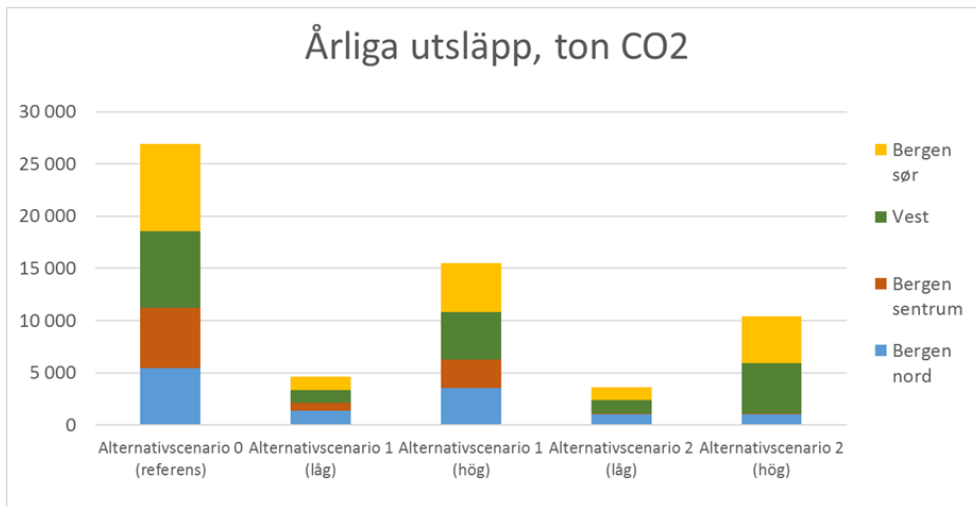
Beregningene av utslipp og energiforbruk i de ulike scenariene er nærmere beskrevet i vedlegg 4. På de neste to sidene vises de sammenstilte beregnede effektene i diagramform.

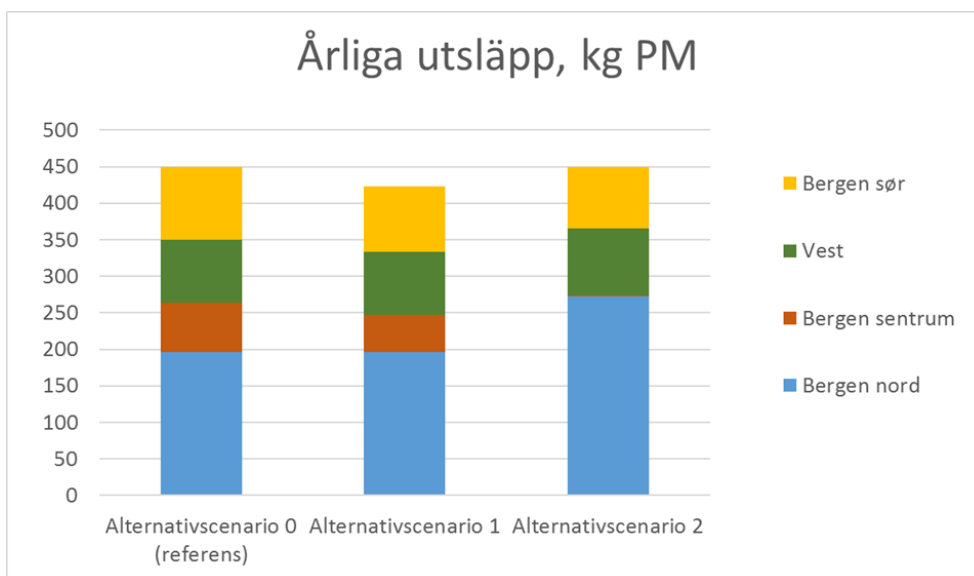
Som vi ser vil både alternativscenario 1 og 2 gi store reduksjoner av fossil CO<sub>2</sub>, noe som forutsetter både økt elektrifisering og innføring av biodrivstoff. Når det gjelder CO<sub>2</sub>-utslipp, vises både et nivå med høyt utslipp (høy) og et nivå med lavt utslipp (lav). Dette vil avhenge av klimaegenskapene ved det biodrivstoff som blir brukt. I alternativscenario 2 er forskjellene mindre enn i alternativscenario 1 ettersom biogass og elektrisitet vil stå for en større andel av trafikken. Tilgang til biodrivstoff med høy klimaprestasjon er som tidligere nevnt en usikkerhet som det er viktig å ta hensyn til. I praksis kan resultatene forventes å havne mellom høy- og lavnivåene i diagrammet. Med elektrifisering kan reduksjonene bli enda større, men elektrifisering har større betydning for energiforbruket og for lokale utslipp.

Det er verdt å merke seg at alternativscenario 1 og 2 gir en viss reduksjon i kjørte kjøretøykilometer, noe som har en viss betydning for resultatene. Man bør imidlertid merke seg at en satsing på lav- og nullutslippsteknologi sammen med en mer gjennomgående effektivisering av linjenettet vil kunne gi en enda større forbedring av kollektivtilbudet i Bergen, noe som vil være til fordel både for byens innbyggere og de fleste kollektivpassasjerene.

Når det gjelder partikler, er forskjellen mellom alternativscenario 2 og referansescenariet på grunnlag av foreliggende dokumentasjon ubetydelig ettersom en større andel elbusser (reduisert mengde partikler) vil bli motvirket av en større andel gasskjøretøy (økt andel partikler).

<sup>13</sup> Beregnede standardverdier ut fra dokumentasjonen:  
*Kunnskapssammenstilling - EURO VI stadsbussar*. Ecotrafic/Trafikverket Rapport 157078. 11.05.2015  
*Busser, Euro VI og avgassutslipp, status 2016/2017*. TØI-rapport 1540/2016.





### Biodiesel eller biogass?

Diesel- og gasskjøretøy har i dag ulike ytelser ettersom driftssystemene er bygget forskjellig med ulike typer motorer. Dette har stor betydning for energiforbruk og utslipp. I tillegg er også produksjonsmetode og opprinnelse for de ulike typene biodrivstoff av stor betydning for CO<sub>2</sub>-utslippene. For å belyse beregnede forskjeller mellom ulike biodrivstoff sammenlignes effektene fra drift med HVO, RME og biogass i kontraktssområde **Vest i henhold til alternativscenarior 1**. Når det gjelder HVO og biogass, skal det understrekes at alternativene som sammenlignes, er produsert på en måte som gir en svært høy reduksjon av CO<sub>2</sub>; samme produksjonsmetode er lagt til grunn i tidligere beregninger. Andre produksjonsmetoder kan dermed gi en lavere reduksjon av CO<sub>2</sub>, og for å få et rimelig bilde av effekten er det viktig for eksempel å vite hvilken type HVO som er brukt.

Beregningene vi har gjort, som er gjengitt i tabellform i vedlegg 4, tilsier at biogass kan gi stor klimaeffekt, forutsatt at det er tilstrekkelig tilgang til biogass med gode nok klimaegenskaper. Dette er høyst usikkert ettersom denne typen biogass sannsynligvis kommer til å bli brukt der den produseres, og ikke vil være tilgjengelig for import. Biogass vil gi høye lokale utslipp, relativt sett, men utslippsmengdene vil fortsatt være små som følge av Euro VI. Lokale utslipp vurderes heller ikke som noe stort problem i kontraktssområde Vest. Det er svært vanskelig å si noe om den faktiske tilgangen på bærekraftig biodrivstoff, men generelt vurderes tilgangen på biodiesel å være høyere enn tilgangen på importert biogass. Dieselkjøretøy er det som anbefales for kontraktssområde Vest ettersom det hefter størst usikkerhet ved tilgangen på biogass, og fordi det vil gi en mer energieffektiv løsning med bedre ytelser for bussene.

## 5.4 Økonomi

Her følger en redegjørelse over kostnadsanslaget for de ulike scenariene sammenlignet med referansescenariet. Andre aspekter som presenteres, er:

- ▶ Forskjeller mellom diesel-, HVO-, RME- og biogassdrift i kontraktsområde Vest
- ▶ Valg av drivstoff og innvirkning på årlig kostnad per kontraktsområde
- ▶ Betydningen av støtte/finansiering fra ENOVA til infrastrukturinvesteringene per kontraktsområde.

Kostnadsberegningene i dette dokumentet er basert på standardverdiene Trivector har utarbeidet på grunnlag av dokumentasjon og innspill fra tidligere oppdrag og undersøkelser. Verdiene er justert og tilpasset norske forhold. Det hefter imidlertid en del usikkerhet ved tallene. Resultatene gir ingen nøyaktige svar men tydelige indikasjoner på hvilke økonomiske virkninger som vil oppnås ved valg av ulike driftsteknologier og drivstoff. Alle kostnader er oppgitt i norske kroner etter dagens kroneverdi (2017).

En oversikt over hvilke typer kostnader som er inkludert i kostnadsberegningene, er angitt under:

- ▶ investeringskostnad for kjøretøy, inndelt etter kjøretøytype og driftsteknologi
- ▶ reinvesteringsbehov (gjelder elbusser, som har lengre levetid enn konvensjonelle dieselbusser)
- ▶ investeringskostnad for el-infrastruktur
- ▶ servicekostnad for kjøretøy og infrastruktur
- ▶ sjåførkostnad
- ▶ opplæring som følge av innføringen av elbusser
- ▶ drivstoff
- ▶ avskrivning av kjøretøy og infrastruktur

Øvrige kostnader, som administrasjonskostnader, indirekte kostnader, fortjenestemargin for operatør m.m., er ikke tatt med i beregningene. Disse kostnadene antas å være de samme uansett valg av teknologi. **Dette betyr at beregnet total-kostnad er lavere enn den kostnad Skyss i praksis kan forvente seg. Kostnadene som her er beregnet, illustrerer hvilke forskjeller som kan forventes avhengig av valg av teknologi.**

Følgende inngangsverdier er lagt til grunn:

Investeringskostnad kjøretøy, kr

	Diesel	Gass	Trolley	IMC	batteri
Midibuss	2 200 000	2 700 000			
Standardbuss	2 100 000	2 600 000	4 800 000	5 000 000	4 800 000
Boggibuss	2 500 000	3 000 000	5 200 000	5 600 000	5 400 000
Leddbuss	2 900 000	3 400 000	5 600 000	6 200 000	6 000 000

Beregningene er basert på følgende priser<sup>14</sup>, eks. mva:

Energikilde		
Diesel	10 kr/liter	1 kr/kWh
HVO	12 kr/liter	1,2 kr/kWh
RME	10 kr/liter	1,1 kr/kWh
Biogass	11 kr/Sm <sup>3</sup>	0,9 kr/kWh
Elektrisitet		0,8 kr/kWh

#### Investeringskostnad infrastruktur

- ▶ Trolley 10 000 000 kr/km
- ▶ Hurtigladdestolpe 3 000 000 kr/stk., inkl. etablering

#### Servicekostnad kjøretøy

- ▶ Diesel/HVO 0,45 kr/km
- ▶ RME 0,54 kr/km
- ▶ Gass 0,50 kr/km
- ▶ Trolley 0,35 kr/km
- ▶ Batteri 0,35 kr/km

For trolley- og IMC-busser kommer i tillegg utskifting av kullsløpestykkene på strømvaktakeren til en kostnad av 10 000 kr per år og buss.

#### Servicekostnad infrastruktur

- ▶ Trolley 70 000 kr/km og år
- ▶ Hurtigladdestolpe 20 000 kr per år

#### Sjåførkostnad

- ▶ 270 kr/arbeidet time, tilsvarende 410 kr/rutetime etter dagens opplegg.

#### Opplæring

- ▶ Til sammen 2 millioner kroner per kontraktsområde i løpet av kontraktsperioden 2020–2030.

#### Drivstoff

- ▶ Diesel/HVO 10,0 kWh/liter
- ▶ RME 9,15 kWh/liter

<sup>14</sup> Drivstoffkostnader er beregnet på grunnlag av dagens drivstoff- og energipriser i Norge, også ut fra historisk prisutvikling. Dokumentasjon er innhentet fra CircleK, AGA og SSB med støtte fra Skyss. Framtidige drivstoffkostnader vil delvis avhenge av hva som eller skjer i verden og kommende politiske vedtak, og antas derfor å være beregnet på et rimelig grunnlag.

- ▶ Gass 11,7 kWh/Sm<sup>3</sup>

Avskrivning (rente 4 %)

- ▶ Helelektrisk kjøretøy<sup>15</sup> 20 år  
 ▶ Konvensjonelt kjøretøy 10 år  
 ▶ Trolleyinfrastruktur 40 år  
 ▶ Hurtiglådestolpe 20 år

Ut fra disse beregningene skulle årlige kostnader bli som følger:

Kontraksområde	Referansescenario	Alternativscenario 1	Alternativscenario 2
Bergen nord	183 520 000	185 210 000– 187 170 000	193 670 000
Bergen sentrum	148 910 000	173 840 000– 175 550 000	144 840 000
Vest	141 910 000	145 040 000– 147 320 000	154 120 000– 157 200 000
Bergen sør	165 270 000	149 530 000– 152 550 000	179 830 000– 182 680 000
<b>Totalt:</b>	<b>639 610 000</b>	<b>653 620 000– 662 590 000</b>	<b>672 460 000– 678 390 000</b>
<i>Sml. referansescenario</i>		+14 010 000– 22 980 000 (+2–4 %)	+32 850 000– 38 780 000 (+5–6 %)
<i>Mulig besparing med full støtte fra ENOVA</i>	<i>Investeringskostnad:</i> <i>Årlig kostnad:</i>	4 800 000– 350 000	38 400 000 2 820 000

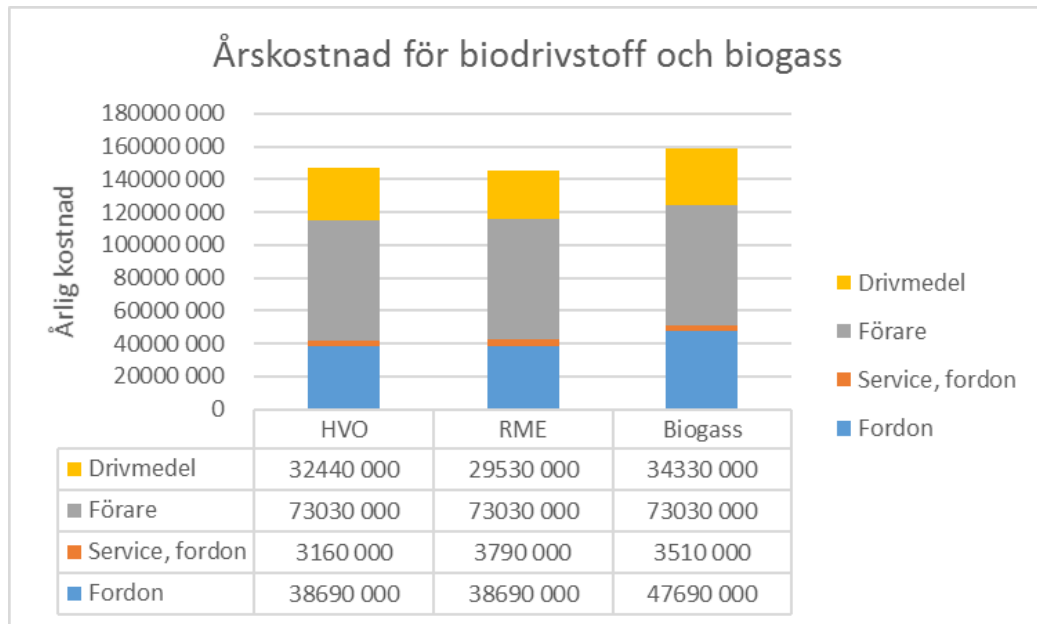
Kostnaden for utbygging av trolleyinfrastruktur til Laksevåg/gjennom sentrum inngår ikke i ovenstående kostnadsoversikter, men vil komme i tillegg dersom alternativscenario 1 eller 2 gjennomføres. Investeringskostnadene for ledningsnettets antas å beløpe seg til totalt 90 millioner kroner i henhold til beregningene i Teknisk forprosjekt for trolleybuss til Laksevåg, utarbeidet av Bybanen Utbygging. Av denne kostnaden vil utbyggingen av ledningsnettets til Laksevåg utgjøre 60 millioner kroner.

<sup>15</sup> Gjelder også reinvesteringkostnad.



## Sammenligning av kostnader for HVO-, RME- og biogassdrift for kontraktsområde Vest

Vedlegg 5 gir en utførlig oversikt over kostnadsforskjellene fordelt på kostnadspostene kjøretøy, service og drivstoff avhengig av om trafikken kjøres med HVO, RME eller biogass. Beregningen er gjort for kontraktsområde Vest i samsvarende med opplegget foreslått i alternativscenarion 1 og viser at biogass er det drivstoffet som vil gi høyest årskostnad mens RME vil gi lavest. Dette kan man også se av diagrammet under.



Det som gjør biogassen til det dyreste alternativet, er at både kjøretøy og brenselkostnader blir høyest med biogass, samtidig som servicekostnadene er høyere for gassbusser enn for dieselbusser, selv om RME har en enda høyere servicekostnad. Totalt sett er biogassdrift åtte prosent dyrere enn HVO-drift og ni prosent dyrere enn RME.

I vedlegg 4 anbefales ikke biogassdrift i kontraktsområde Vest med hensyn til ytelse og utslipp. Heller ikke i et økonomisk perspektiv foretrekkes biogassdrift, da det vil innebære en merkostnad sammenlignet med biodiesel. Det skal samtidig understrekes at tilgangen på biodrivstoff er usikker, og med en forventet stigende etterspørsel kan prisen komme til å øke. Den største fordelen med biogass er den gode klimaprestasjonen.

## 5.5 Trafikken 2030

*Først følger et resonnement og en vurdering av hvilke konsekvenser den økende passasjertrafikken kan få for kollektivtrafikken i Bergen som helhet. Dette knyttes så til hvilke forutsetninger som ligger til grunn for innføring av lav- og nullutslippsteknologi.*

Som allerede beskrevet i kapittel 3.5, er prognosene at antall kollektivreisende i Bergen og omegn vil fortsette å øke, for busstrafikkens del med ca. 1,75 %. Allerede i dag er det trangt om plassen på en del av busslinjene i rushtiden, og denne situasjonen vil bare bli verre, med behov for hyppigere avganger som følge. Da det allerede i dag er en svært stor belastning på de sentrale gatene i Bergen, er det ønskelig at de linjene som allerede har hyppige avganger, i fremtiden kan kjøres med større kjøretøy. Mange linjer kjøres i dag med standardbusser, og med den forventede passasjerøkningen kan dette føre til at det blir nødvendig med hyppigere avganger, som igjen vil gi høyere trafikkeringskostnader og økt belastning på veinettet. Den økte busstrafikken kommer også til å aktualisere behovet for framkommelighetstiltak, som i sin tur kan føre til at linjenettet må legges om for å konsentrere busstrafikken til de strekningene der framkommelighetstiltakene vurderes å få størst nytte.

Det mangler opplysninger om hvor passasjertrafikken kommer til å øke, men som beskrevet i kapittel 3.5, vil en stor del av økningen sannsynligvis komme på de linjene som allerede i dag har et høyt antall passasjerer. Som en måte å vurdere hvilke konsekvenser det økte passasjerantallet kan forventes å få på behovet for hyppigere avganger og rutekilometer, er det gjennomført en enkel beregning med utgangspunkt i antakelsen om at det først og fremst er de 20 sterkeste busslinjene som vil få behov for et utvidet transporttilbud. Erfaring fra flere svenske byer, blant annet Jönköping, viser at passasjerantallet øker hele døgnet, men ikke minst øker det i perioder med lavtrafikk. Flere avganger i rushtiden vil medføre økt behov for kjøretøy. Med støtte i opplysninger fra Helsingborg i Skåne i Sverige, der man opplevde en fordobling i passasjerantallet fra 2005 til 2015, er det rimelig å anta at produksjonen ikke behøver å øke like mye som passasjerøkningen. I tilfellet Helsingborg måtte kjøretøyparken bare økes med ca. 45 % samtidig som passasjerantallet ble fordoblet, noe som tyder på at det var ledig kapasitet i den eksisterende bussparken. Dette tallet gjelder kjøretøyparken, men ut fra antakelsen om at gjennomsnittsbussen ruller omtrent like mange kilometer i dag som tidligere, kan sammenligningen også anvendes på vognproduksjonen. I Bergen synes de tyngste linjene å ha en høy belastning, og da det er få av linjene som har ledig kapasitet i makstimene, benytter vi en høyere produksjonsøkning. For de 20 tyngste linjene antas en produksjonsøkning på gjennomsnittlig 38 %<sup>16</sup>. Dersom produksjonsøkningen knyttes til vognproduksjonen i samtlige fire kontraktområder, tilsvarer det en produksjonsøkning i perioden 2016–2030 på 17 %, tilsvarende 1,2 % årlig.

Utgangspunktet for beregningen er at driften skjer med samme kjøretøytyper som i dag. En måte å begrense trafikkproduksjonsøkningen på, er å kjøre med store busser på flere steder enn i dag.

### **Betydningen av teknologivalg**

I takt med at kollektivtilbudet vil bli utbygd som følge av flere passasjerer, vil fortsatt trafikk med dieselbusser, framfor alt i Bergen men også på andre tettsteder, medføre lokale utslipp og fortsatt problemer med støy, også om de lokale utslippene blir lavere med Euro VI-busser sammenlignet med dagens bussflåte. Dersom enkelte/flere busslinjer elektrifiseres (linje 2, 13, 19, 21 og 80) med IMC,

<sup>16</sup> Det vil naturligvis være forskjeller mellom linjene; noen linjer vil øke mer mens linjer med ledig kapasitet kan få en mindre økning i antall vognkilometer.

mens linje 10, 12, 14, 15, 18, 22, 40, 40E, 41, 45, 47, 52, 54, 56, 57, 61, 64, 65, 70, 71, 75, 76, 81/82 kjøres med hurtigladi (OC) (gjelder alternativscenarior 2), vil kollektivtrafikken bidra til å dempe lokale utslipp og støy, noe som vil være gunstig for alle som bor eller oppholder seg i nærheten av en busslinje. I overkant av halvparten av de tyngste linjene i dag (linje 2, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 40, 80) vil bli elektrifisert. I alternativscenarior 1 er det færre tunge linjer som blir elektrifisert; linje 2, 10, 15 og 80. Elektrifisering har positiv effekt på utslippene av CO<sub>2</sub> (gjelder også biogassdrift og biodrivstoff med gode klimaegenskaper), støy og lokale utslipp.

Behovet for å trafikere med større kjøretøy og/eller hyppigere avganger kan avhjelpest i og med at trolleybusser leveres i lengder opptil 24 meter, og busser med OC-drift vil gi enda bedre økonomi ettersom ladeinfrastrukturen vil være i bruk en større del av tiden. Med hyppigere avganger øker generelt muligheten for å effektivisere rutetidene og få bedre kjøretøyutnyttelse. Det vil bli behov for en del nye kjøretøy, men det er vanskelig å beregne nøyaktig hvor mange som må kjøpes inn. I tillegg foreligger det prognoser fra flere kilder om at kjøretøy med elektrisk drift og konvensjonelle kjøretøy kommer til å nærme seg hverandre i innkjøpspris i løpet av perioden 2020–2030. En del mener også at elektriske kjøretøy kommer til å bli rimeligere enn konvensjonelle kjøretøy som følge av økt kommersialisering av elektrisk driftsteknologi, samtidig som strengere krav til utslippsreduksjon vil gjøre konvensjonelle kjøretøy dyrere. Det er derfor vanskelig å beregne kostnader for framtidig innkjøp av kjøretøy. Når det gjelder driftskostnader, gir elektrisk drift allerede i dag betydelige besparelser, noe som kan forventes også i framtiden.

Eventuelle ulemper med elektrisk drift og økt passasjertrafikk kan være at antallet passasjerer på en enkelt linje øker så mye at økt hyppighet vil føre til at det må installeres mer hurtigladeutstyr. I de tilfeller der det ikke er mulig å anlegge flere ladestolper på en endeholdeplass, kan det oppstå behov for omlegging av linjer.

For linjer som fortsatt skal kjøres med dieselbusser men kjører på biodiesel, kan den økte busstrafikken i kombinasjon med økt etterspørsel etter HVO globalt føre til økte drivstoffkostnader og følgelig økte driftskostnader. Det er derfor viktig at man i samsvar med forslaget i denne utredningen setter dieselbusser inn på de linjene der andre teknologivalg ikke lønner seg eller i det hele tatt er mulig.

Dieselbusser og også gassbusser leveres i alle størrelser, og forutsatt at infrastruktur og topografi tillater det, er det ingenting i veien for å kjøre med større kjøretøy. Med økende passasjertrafikk på linjer med biogassdrift kan det bli behov for trafikk med større kjøretøy. Ettersom all biogassproduksjon fra Rådalen kommer til å medgå til eksisterende trafikk, vil økt trafikk i framtiden gi et økt behov for import av biogass utenfra. Forutsetningene for biogassimport er i dag ikke kjent.

### **Beregnet effekt av elektrifisering med hensyn til passasjerutviklingen**

De tunge linjene (med hensyn til antall passasjerer) som elektrifiseres i alternativscenarior 2, nemlig linje 2, 10, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 40, 80, står også for en relativt stor andel av totale kjøretøykilometer – ca. 4 593 000 kjøretøykilometer per år, noe som tilsvarer 16 % av samlet antall kjøretøykilometre for samtlige

kontraksområder. I tillegg går de gjennom tettbebygde områder, og de fleste passerer gjennom sentrum. Effektene av lavere støy, nullutslipp og lav klimapåvirkning vil dermed øke etter hvert som disse linjene tar sin del av passasjer- og vognproduksjonsøkningen. Det er vanskelig å tallfeste effekten ettersom usikkerhetene er store og det er uklart hvordan passasjerøkningen kommer til å arte seg. Når trafikken øker, kan det bli nødvendig med hyppigere avganger og/eller større kjøretøy samt eventuelle infrastrukturiltak for å sikre framkommeligheten.

Med hensyn til CO<sub>2</sub>-utslipp kan man slå fast at det vil være positivt om en større del av passasjerøkningen og eventuelt den medfølgende trafikkøkningen havner på elektrifiserte linjer. Dette ettersom fornybar elektrisitet fra vannkraft har de laveste utslippene av fossil CO<sub>2</sub> for de alternativene som er undersøkt. Dokumentasjonen som ligger til grunn for miljøberegningene, viser at elektrisitet fra vannkraft gir en reduksjon på ca. 97 % per kWh sammenlignet med fossil diesel. I tillegg gir elektrisk drift en energibesparelse på ca. 60 %. Oppsummert får man en reduksjon i fossil CO<sub>2</sub> på over 99 % med helelektrisk busstrafikk og elektrisitet fra vannkraft sammenlignet med konvensjonelle kjøretøy med fossil diesel-drift. Å elektrifisere linjer med en forventet høy passasjerutvikling er altså å anbefale, men det er vanskelig å vurdere konkrete effekter ut fra scenariene og innhentet dokumentasjon, og en beregning vurderes ikke å være relevant ettersom de store usikkerhetsfaktorene vil gjøre det vanskelig å få et relevant resultat.

## 6. Konklusjoner og anbefalinger

### 6.1 Teknologivalg i de aktuelle scenariene

#### Alternativscenario 0 (referanse)

Kontraktssområde	El. (trolley)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Diesel
Bergen nord	-	-	3, 3E, 4, 4E	Øvrige linjer
Bergen sentrum	2	-	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	-	-	Alle linjer

#### Alternativscenario 1

Kontraktssområde	El. (IMC)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Biodrivstoff
Bergen nord	-	-	3, 3E, 4, 4E	Øvrige linjer
Bergen sentrum	Ny 2, 21*, 80*	10, 15	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	-	-	Alle linjer

\*Linjene flyttes fra kontraktssområde Bergen sør

#### Alternativscenario 2

Kontraktssområde	El. (IMC)	El. (hurtiglading (OC))	Biogass	Biodrivstoff
Bergen nord	-	-	Alle linjer	
Bergen sentrum	Ny 2, 13, 19, 21, 80	10, 12, 14, 15, 18, 40, 40E, 41, 45, 47, 81/82	-	Øvrige linjer
Vest	-	-	-	Alle linjer
Bergen sør	-	22, 52, 54, 56, 57, 61, 64, 65, 70, 71, 75, 76	-	Øvrige linjer

Linjer som bytter kontraktssområde i alternativscenario 2:

Linjer	Fra	Til
20, 24, 25, 28, 48 og 55	Bergen sentrum	Bergen sør

42, 43	Bergen sentrum	Vest
21, 80	Bergen sør	Bergen sentrum

## 6.2 Samlet effektvurdering

Kapittel 5.3 og 5.4 inneholder en oversikt over hvilke miljømessige og økonomiske virkninger de ulike scenariene vil gi. Diagrammene i kapittel 5.3 viser at elektrifisering og innføring av drift med biodrivstoff vil gi store forbedringer når det gjelder miljøprestasjon. Analysene av miljøvirkninger viser videre at alternativscenario 2, som er det scenariet som inneholder størst innslag av elektrifisering, vil gi de største positive miljøvirkningene. Samtidig som alternativscenario 2 gir de største positive miljøvirkningene, er det også det alternativet som gir høyest kostnader, totalt ca. 5–6 % dyrere enn referansealternativet, og da er kostnader som beror på valg av teknologi, ikke medregnet.

Alternativscenario 0 (referanse):

Kontraktssområde	km	kWh	CO <sub>2</sub> , tonn	NO <sub>x</sub> , kg	PM, kg	Beregnet årlig kostnad, kr
Bergen nord	8 100 000	43 207 000	5 449	12 191	196	183 520 000
Bergen sentrum	5 860 000	22 251 000	5 786	7 251	68	148 910 000
Vest	7 020 000	27 024 000	7 324	9 188	86	141 910 000
Bergen sør	7 700 000	30 864 000	8 364	10 494	99	165 270 000
<b>Totalt</b>	<b>28 680 000</b>	<b>123 346 000</b>	<b>26 923</b>	<b>39 124</b>	<b>449</b>	<b>639 610 000</b>

Alternativscenario 1:

Kontraktssområde	km	kWh	CO <sub>2</sub> , tonn	NO <sub>x</sub> , kg	PM, kg	Beregnet årlig kostnad, kr
Bergen nord	8 100 000	43 207 000	1 352-3 573	12 191	196	185 210 000-187 170 000
Bergen sentrum	6 490 000	20 156 000	762-2 700	5 404	51	173 840 000-175 550 000
Vest	7 020 000	27 024 000	1 245-4 541	9 188	86	145 040 000-147 320 000
Bergen sør	6 960 000	28 052 000	1 292-4 713	9 538	90	149 530 000-152 550 000
<b>Totalt</b>	<b>28 570 000</b>	<b>118 439 000</b>	<b>4 651-15 527</b>	<b>36 321</b>	<b>423</b>	<b>653 620 000-662 590 000</b>
sml. referanse	0%	-4%	-42-83%	-7%	-6%	2-4%

Alternativscenario 2:

Kontraktssområde	km	kWh	CO <sub>2</sub> , tonn	NO <sub>x</sub> , kg	PM, kg	Beregnet årlig kostnad, kr
Bergen nord	8 100 000	49 552 000	1 016	11 892	273	193 670 000
Bergen sentrum	4 800 000	8 410 000	71-109	105	1	144 840 000
Vest	7 430 000	28 618 000	1 318-4 808	9 730	92	154 120 000-157 200 000
Bergen sør	7 940 000	28 615 000	1 234-4 461	8 996	85	179 830 000-182 680 000
<b>Totalt</b>	<b>28 270 000</b>	<b>115 195 000</b>	<b>3 639-10 393</b>	<b>30 723</b>	<b>450</b>	<b>672 460 000-678 390 000</b>

sml. referanse	-1%	-7%	-61-86%	-21%	0%	5-6%
----------------	-----	-----	---------	------	----	------

Ved innføring av ny teknologi kan det i begynnelsen oppstå usikkerheter og forstyrrelser i trafikken, noe det er viktig å være forberedt på. For å få et så robust bussystem som mulig, er det en god idé å begrense antallet driftsteknologier i ett og samme kontraktsonne da dette vil legge til rette for at reservedelslager, opplæring av sjåfører og behovet for spesialister for teknisk vedlikehold blir så effektivt som mulig. Med få drivteknologier får man også flere busser av samme type og dermed større mulighet for full utnyttelse av teknisk personell. Effektivt vedlikeholdsarbeid gir lavere kostnader. Færre kjøretøytyper gir bedre kunnskap hos førerne om kjøretøyene som er i bruk, så det ved eventuelle feil på kjøretøyet er større sannsynlighet for at føreren selv kan løse problemet basert på tidligere erfaring. Også dette vil gi en mer effektiv trafikk med lavere kostnader, men det vil også bidra til et mer pålitelig tilbud.

### **Innføringstakt med hensyn til teknologisk utvikling og kostnad**

Utviklingen innenfor batteriteknologi har gått fort de siste årene, og da NASA 2013 lanserte litium-titanat-teknologien for kommersiell bruk, fikk batteridrevne busser atskillig bedre ytelser. Det neste skrittet i utviklingen er ny batterikjemi, noe forskerne mener ligger 10–15 år fram i tid.

Teknologien er i stadig utvikling, men for batteribusser regner man ikke med noen dramatisk utvikling i batteriteknologien de første 10 årene. Det som forventes, er mindre ytelsesforbedringer og at prisene på batterier kommer til å falle.

Per i dag synes det ikke å være noen grunn til å vente med å innføre elbusser på grunn av teknologiutviklingen. Det finnes elbusser både med hurtiglading og saktelading flere steder, og de fungerer bra i ordinær trafikk selv om disse bussene foreløpig inngår i prøveprosjekter. I Eindhoven i Nederland i desember 2016 rullet 43 busser med hurtigladeutstyr ut på veiene, og på høsten 2017 får Amsterdam 100 elbusser.

Kostnadmessig er det nok en fordel å kjøpe inn større serier av elbusser, på samme måte som det bør være en fordel å kjøpe inn og bygge ladeinfrastrukturen i én omgang. Tillatelser og forhandlinger med el-leverandøren kan da gjøres samtidig for hele anlegget.

Alternativet, gradvis innføring, innebærer dessuten at det i overgangsperioden må være busser som kjører på annet drivstoff. Disse bussene kan ikke anvendes i hele kontraktperioden og må derfor inngå i et eget system. En batteribuss som kjøpes inn etter 5 år, vil bare være 5 år når kontrakten går ut, og har da en levetid på ytterligere 10–15 år. Også kontraktmessig vil det bli en utfordring.

Vår anbefaling er at hele elbussatsingen starter når kontrakten begynner, og fortsetter i hele kontraktstiden. En strategi for hvem som skal eie infrastruktur og kjøretøy, må utarbeides før anbudsrunder innledes.

### *En første elbusspilot*

For å skaffe seg egne erfaringer med hurtiglading (OC) kan for eksempel linje 40E fungere som en egnet testlinje. Med OC-teknologi vil det trenge fem busser for å trafikere linjen, og hurtigladeutstyr må da utplasseres på Bergen busstasjon (her bør ladestasjonen kunne plasseres i taket og dermed være beskyttet mot været) og på Olsvikmarken snuplass. Dersom dette er vellykket, kan teknologien anvendes også på linje 40, selv om linjelengden er på grensen til å være for lang for hurtiglading.

### **Anbefaling om ytterligere utredninger**

Denne studien viser hvilke effekter en storsatsing på lav- og nullutslippsteknologi i form av elektrifisering, satsing på biogass og drift med biodrivstoff kan få for miljø og trafikkostnader. I løpet av arbeidet med utredningen har det imidlertid blitt klart at flere av parametrene bør utredes nærmere for å sikre at det er mulig å gjennomføre de foreslåtte alternative scenariene.

### *Muligheter for elinfrastruktur*

Muligheten til å utstyre sentrumstunnelene med trolleyinfrastruktur er et aspekt som bør undersøkes nærmere. Dette har vært en forutsetning for alternativscenario 2. I tillegg bør muligheten for og kostnadene ved å få fram strøm til de endeholdeplassene/terminalene som i de alternativscenariene forslås utstyrt med hurtigladeutstyr, undersøkes nærmere. Dessverre har BKK ikke kunnet komme med innspill angående dette før denne rapporten ble ferdigstilt. Mulighetene for å anlegge hurtigladeutstyr på endeholdeplassene bør også undersøkes nærmere

### *Ytterligere effektiviseringer av linjenettet*

I denne utredningen har hovedfokus vært å få plass et så godt trafikksystem som mulig ut fra de forutsetningene som de ulike framdriftsteknologiene innebærer, i hovedsak ut fra det eksisterende linjenettet. I forbindelse med oppdraget har det ikke vært anledning til å se nærmere på effektiviseringer av linjenettet ut fra et passasjerperspektiv. Dagens linjestruktur har et stort antall linjer der flere linjer har relativt lav turtetthet, og det bør derfor være mulig å effektivisere linjenettet i Bergen og omegn for å konsentrere kollektivtrafikkens ressurser til de reiselasjoner der muligheten for å nå flere passasjerer er størst. En forenkling av linjenettet kan også legge til rette for at flere begynner å reise kollektivt. For linjer som i dag trafikkeres med standardbuss, bør det også være av interesse å se nærmere på hvilke tiltak som må gjennomføres for å legge til rette for trafikk med større kjøretøy, da dette kan bidra til å holde nede belastningen på veinett og holdeplasser i sentrale deler av Bergen. Med økt kollektivtrafikk følger også behovet for å se nærmere på framkommeligheten for busstrafikken og vurdere kollektivfelt og signalprioritet. Slike utredninger har imidlertid ligget utenfor dette oppdraget.