



Best økonomi og luftkvalitet med elbuss

- en studie om miljøvennlige og lønnsomme bussløsninger for Oslo

SIEMENS





Oppsummering

- Over en periode på ti år kan Oslo spare inntil en milliard kroner på elektriske busser fremfor busser med biodrivstoff.

Busser er i dag et av våre viktigste transportmidler for persontransport, spesielt i og rundt byene. I Oslo og Akershus reiser fire av ti med buss når de reiser kollektivt, og ifølge transportselskapet Ruter har bussene i Oslo-regionen 140 millioner reisende i året.

De fleste av dagens busser går på diesel. Og til tross for økende bruk av miljøvennlig drivstoff, er bussene den største kilden til miljøfarlig utslipp sammenlignet med annen kollektivtransport i byene.

Oslo har tatt mål av seg om å ha en fossilfri kollektivsektor i 2020. Det betyr at samtlige kollektivløsninger må basere seg på fornybar energi i drift og transport. Det vil kreve en omfattende omlegging av dagens bussflåte.

Siemens og Volvo ønsker å bidra til å skape en fossilfri transportsektor, som også gir store effektivitets- og miljøgevinster. Derfor har vi i denne mulighetsstudien evaluert alle tilgjengelige teknologier som kan oppfylle målet om å

FREMTIDENS BUSSE: Oslo planlegger en massiv utskiftning av bussene til fossilfrie og mer miljøvennlige alternativer. Men hvilken teknologi er mest lønnsom?

gjøre bussene i Oslo fossilfrie, og sammenlignet disse teknologiene med dagens tradisjonelle dieselteknologi.

Vi har ønsket å få svar på hvilken teknologi som er mest lønnsom for Oslo. Vi har også studert hvilken effekt de ulike teknologiene har i form av reduserte utslipp og luftkvalitet. Til slutt har vi studert hvor raskt Oslo kan fase inn ny teknologi slik at byen kan nå sine klimamål.

For å avgrense omfanget, har studien tatt for seg bussene som opererer i Oslos bykjerne. Totalt omfatter dette 64 ulike bussruter med til sammen 460 busser.

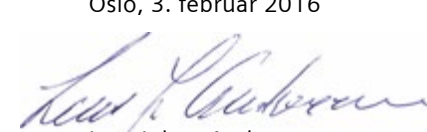
Hovedkonklusjonen fra studien er at ladbare hybride eller helelektriske (batteridrevne) busser er den klart mest lønnsomme teknologien. Samtidig vil løsninger for hurtig-

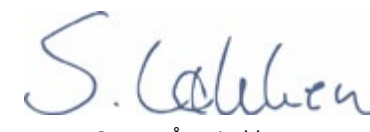
lading på holdeplass bidra til at åtte av ti linjer kan elektrifiseres uten noen endringer i rutetilbudet. På de resterende rutene er det kun behov for mindre justeringer.

Sammenligner vi elektrisk fremdrift med biodrivstoff, vil elektriske busser ha 3-4 ganger høyere energieffektivitet. Det i kombinasjon med at energiprisen på elektrisitet er langt lavere, vil man over en periode på ti år spare inntil en milliard kroner med å fase inn elektriske busser fremfor busser basert på biodrivstoff.

I tillegg til at elektriske busser er det mest lønnsomme alternativet, fremstår også det elektriske alternativet som helt utslippsfritt, og følgelig også det beste miljømessige alternativet for Oslo.

Oslo, 3. februar 2016


Lars Johan Andresen
Siemens


Svenn-Åge Løkken
Volvo



Bakgrunn for mulighetsstudien

Skal Oslo nå målet om å fase inn fossilfrie busser innen 2020, er det flere ulike teknologier som kan benyttes. Dette handler om alt fra ulike typer biodrivstoff til ulike former for elektriske fremdriftsløsninger.

Mulighetsstudien ønsker å vise hvilke teknologier og bussalternativer som er best for Oslo ved å evaluere tre ulike områder:

Lønnsomhet

Avdekke hvilke teknologiske valg som gir best lønnsomhet i Oslo, og følgelig også mest kollektivtrafikk for pengene.

Miljøeffekter

Vise hvordan de forskjellige teknologiene vil gi ulike lokale miljøeffekter i form av bedre luftkvalitet og mindre utslipp.

Innflytelse på rutetider

Analysere om ny teknologi vil kreve endringer i dagens rutene, eller om dagens rutetilbud kan opprettholdes.

Mulighetsstudien om busser i Oslo evaluerer teknologi innen tre områder:

- Lønnsomhet
- Miljøeffekter
- Innflytelse på rutetider

Metode og omfang

Mulighetsstudien har analysert de røde bussene som går i daglig drift i Oslos bykjerne. Dette omfatter 64 busslinjer og 460 busser.

Studiens analyseperiode er over 10 år. Det er beregnet en levetid på bussene på 10 år og 20 års levetid på elektriske ladestasjoner. For å vurdere energikostnadene til bussene

er det brukt en pris på 1 krone per kWh for elektrisitet og erfaringstall på drivstofforbruk på øvrig drivstoff fra Ruters rapporter.

For å beregne kapitalkostnader for investeringer i buss og infrastruktur, har studien lagt til grunn en kalkulasjonsrente på fem prosent.

Studien tar for seg kjent teknologi for fremdriftssystem for busser. Enkelte teknologier som fuel cell/hydrogen, har kommet kortere enn for eksempel utbredelse av biogass

som benyttes av noen titalls busser i Oslo i dag. Dette er teknologiene som er evaluert i studien:

64 ulike bussruter: Mange innbyggere i Oslo reiser daglig med buss. Her er bussrutene som er evaluert i studien.

20	Skøyen – Galgeberg	64 B	Furuset – Stovner o/Haugenstua
21	Aker Brygge – Helsfyr	65	Furuset – Stovner o/Smedstua
22	Majorstuen – Ellingsrudåsen	66	Helsfyr – Grorud o/IKEA
23	Lysaker – Simensbråten	67	Økern – Lørenskog o/ Stovner
24	Fornebu – Brynseng	68	Helsfyr T – Grorud T o/Alfaset
25	Majorstuen – Lørenskog	69	Tveita – Lutvann
28	Helsfyr – Fornebu	69 B	Tveita ring
30	Bygdøy – Nydalen	70	Vika – Skullerud
31	Fornebu – Tonsenhagen	71	Bjørndal – Mortensrud
31 E	Fornebu – Tonsenhagen	71 E	Bjørndal – Jernbanetorget
32	Voksenkog – Kværnerbyen	72 A	Mortensrud T – Dal
33	Fillipstad – Ellingsrudåsen	72 B	Mortensrud T – Brenna
34	Tåsen – Ekeberg hageby	72 C	Mortensrud T – Marikollen
36 E	Fornebu – Oslo Bussterminal	74	Vika – Mortensrud T
37	Helsfyr – Nydalen T	75 A	Lambertseter – Nordseter – Sæter
41	Røa T – Skansebakken	75 B	Lambertseter ring
45	Majorstuen – Voksen skog	76	Helsfyr – Hauketo
46	Majorstuen – Ullerntoppen	76 X	Helsfyr T – Bøler
47 A	Røa T – Voksen skole	77	Bjørndal – Holmlia
47 B	Røa T – Bogstad	77 B	Holmlia – Asperudåsen – Krummedike
51	Maridalen – Nydalen	78	Østensjø ring
54	Kjelsås – Aker Brygge	79	Grorud – Holmlia
56	Solemskogen – Nydalen	80	Holmlia – Åsbråten
56 B	Grefsenkollen – Nydalen	80 E	Åsbråten – Jernbanetorget
57	Carl Berner – Løren	81 A	Greverud – Tårnåsen – Solli
58	Nydalen – Tveita	81 B	Greverud – Kolbotn – Solli
60	Vippetangen – Tonsenhagen	82 E	Tårnåsen – Jernbanetorget
61 A	Tveita – Solfjellet	84 E	Sofiemyr – Jernbanetorget
61 B	Tveita – Bøler	83	Tårnåsen – Solli o/Mastemyr
62	Grorud T – Ammerud ring	85	Jernbanetorget – Ulvøya
63	Grorud T – Romsås ring	86	Ingierstrand – Kolbotn
64 A	Furuset – Stovner o/Høybråten	87	Hauketo – Ingierstrand

NI ULIKE TEKNOLOGIER: Mulighetsstudien har vurdert fremtidig lønnsomhet med ni ulike fremdriftsteknologier for busser i Oslo.

Diesel

Biodiesel

Bioetanol

Biogass

Standard hybrid (uten lading)

Ladbar hybrid

El-lading over natten

El-hurtiglading på holdeplass

Fuel cell/hydrogen

To ulike ladekonsepter

For å drive en ren batteridrevet buss med elektromotor, må bussen lades. Det foreligger i dag to ulike konsepter for å lade slike busser.

Det ene konseptet er en buss med en stor batteripakke som lades i løpet av natten på et bussdepot eller verksted. Lading vil da skje ved en manuell tilkobling til bussens ladepunkt. En slik løsning krever middels stor ladeeffekt, og bussen vil ha begrenset rekkevidde, - alt avhengig av størrelsen på batteripakken. Med en bussrute som går fra tidlig morgen til sen kveld, vil en operatør ha behov for å sette inn nye busser på ruta når bussene går tom for strøm. Lading på bussdepot over natten, vil også sette krav til kraftforsyningen i området da et større antall busser vil ha behov for å lade samtidig.

En annen løsning for lading av elektriske busser, er såkalt hurtiglading på endeholdeplassen. Da vil bussene kunne kjøres med en betydelig mindre batteripakke som reduserer vekten og øker plassen til blant annet passasjerer. Et slikt konsept med hurtiglading vil kreve en infrastruktur på holdeplassene og lading med høy effekt. Fordelen er at en buss vil få tilført tilstrekkelig med energi jevnlig gjennom dagen slik at man kan gjennomføre rutene selv med relativt små batteripakker.

Begge konseptene er tilgjengelig på markedet i dag. I Sverige har man to pilotprosjekter der man tester ut elektriske busser med hurtiglading på holdeplass. Disse bussene går i daglig drift i på to ruter i Göteborg og Stockholm.

TO ULIKE LADEKONSEPTER: I dag finnes det to ulike ladekonsepter for helelektriske busser. Dette er lading over natten og hurtiglading på holdeplassen.

Hurtiglading på holdeplass
(automatisk tilkobling)



Lading over natten
(manuell tilkobling)





Følgende kostnader er medberegnet i studien

- Innkjøp av nye busser
- Driftskostnader
- Infrastruktur

Kostnadsberegninger i studien

Hensikten med mulighetsstudien er å vise hvilken av fremdriftsteknologiene som er mest lønnsom. Med andre ord, hvilken teknologi gir mest kollektivtrafikk for pengene.

Følgende kostnader er inkludert i analysen:

Investeringer i busser

Studien tar utgangspunkt i markedsprisen på bussene basert på opplysninger fra kjente bussleverandører. Markedsprisen på bussene varierer fra teknologi til teknologi. For eksempel er batteridrevne busser dyrere i innkjøp enn busser på biodiesel. På den annen side er prisen på elektrisitet langt lavere enn biodrivstoff. I tillegg er virkningsgraden på en elektromotor 3-4 ganger mer effektiv enn tradisjonelle brenselmotorer. Det er beregnet 10 års levetid på bussene.

Driftskostnader

Det er kalkulert med alle normale driftskostnader i bussens levetid. Dette inkluderer normal service og vedlikehold. I tillegg er det kalkulert med kjente markedspriser på driv-

stoff. For elektriske busser er det beregnet en pris på strøm på 1 krone per kWh.

I tillegg vil det i løpet av en 10-års periode være behov for å skifte eller oppgradere batteripakken i de elektriske bussene. Kostnader knyttet til dette er medberegnet i studien.

I dag betales det utslippsavgifter på CO2 og NOx. Kostnader knyttet til dette er medberegnet for de drivstofftypene dette er relevant for.

Infrastruktur

Ved innfasing av ny fremdriftsteknologi er det behov for nye påfyllingsanlegg for ulike typer drivstoff. Kostnader knyttet til slike anlegg er inkludert.

For elektrisk fremdrift må bussene lades. Da vil det flere steder være behov for oppgradering av nettkapasitet, nye ladestasjoner. Kostnader for slik oppgradering og ny infrastruktur er medtatt i studien, inkludert nødvendige grunnarbeider. Det er lagt til grunn 20 års levetid på slik infrastruktur.

Elektriske busser er mest lønnsomt

Når vi har beregnet lønnsomheten, har vi forutsatt at man velger en teknologi for de 64 busslinjene i studien. Det er naturlig at man i en overgangsfase vurderer flere ulike teknologier, men beregningen gir likevel gode indikasjoner på hvilken teknologi som over tid vil gi den beste lønnsomheten for bussene i Oslos bykjerne.

Hovedkonklusjonen er at elektriske busser kommer vesentlig bedre ut lønnsomhetsmessig sammenlignet med alle andre fremdriftsteknologier. Sammenlignet med dagens tradisjonelle dieselbusser, vil man med en ladbar hybrid spare 750 millioner kroner på de 64 busslinjene i studien.

Løsninger som bioetanol eller biogass fremstår som dyrere enn busser på diesel. Velger man disse løsningene vil kostnadene øke med henholdsvis 250 millioner for bioetanol og 200 millioner kroner for biogass. Med andre ord; dersom Oslo velger det mest gunstige elektriske alternativet, ladbar hybrid, vil man over en tiårs periode spare en milliard kroner fremfor biodrivstoffet som kommer dårligst ut, nemlig bioetanol.

Det er verdt å merke seg at løsninger for biodiesel er det eneste biodrivstoffet som fremstår som billigere enn dagens dieselløsninger.

Hydrogenløsningen er en fordel ved at den gir null utslipp, men her er fortsatt kostnadene til infrastruktur og produksjon av hydrogen store sammenlignet med alternative teknologier. Derfor fremstår hydrogenløsningen som for kostbar i dag.

Elektriske busser fremstår altså som det mest lønnsomme alternativet, og kan over tid gi vesentlig mer kollektivtrafikk for pengene. Det til tross for at de elektriske bussene er dyrere i innkjøp enn busser med biodrivstoff. Hovedgrunnen til at elektrisk fremstår gunstigere, er at energiprisen er vesentlig lavere. I tillegg har elektriske busser vesentlig bedre virkningsgrad/energieffektivitet. Med samme energimengde vil en elektrisitetsmotor kunne gå 3-4 ganger lenger enn en brenselmotor.

Ved å velge elektriske busser fremfor busser med biodrivstoff kan Oslo spare opptil en milliard kroner

Besparelse over ti år med de ulike teknologiene

Fuel cell*	Bioetanol	Biogass	Diesel	Biodiesel	El-lading over natten	Standard hybrid	Hurtiglading på holdeplass	Ladbar hybrid**
								
-5000 millioner	-250 millioner	-200 millioner	0 millioner	+150 millioner	+160 millioner	+230 millioner	+630 millioner	+750 millioner



* En foreløpig lite utviklet teknologi og derfor noe usikre tall
** Ladbar hybrid forutsetter hurtiglading på holdeplass



Ny teknologi gir bedre lokal luftkvalitet

Byene i Norge har store problemer med helseskadelig luft. Nå i vinter har mange byer hatt perioder med svært helseskadelig luft, noe som også har fått stor oppmerksomhet. Kollektivløsninger for redusert bilbruk er en del av løsningen på lokal luftforurensing, men også utslippene fra busser bidrar til lokale luftforurensningsproblemer i dag.

Årsrapporten til Ruter viser et utslipp på 264 tonn NOx og 1,9 tonn PM10 eksos i 2014¹. Utslippene har gått betydelig ned de siste årene igjennom bedre motorløsninger med nyere busser. Ruter skriver at det imidlertid er en utfordring at NO2-utslippene i liten grad er blitt redusert selv om NOx-utslippene har gått ned. NO2-utslippene er den del av NOx-utslippene som er hovedårsaken til helseproblemer.

Fra 2014 er det krav til at alle nye busser følger motorstandarden Euro VI, som setter strengere krav til utslipp for alle nye tyngre kjøretøy. Kravene til NOx-utslipp går fra 2 gram

til 0,4 gram per kWh, en reduksjon på 80 prosent. I tillegg skjerpes grensene for partikkelutslipp. Dette reduserer de lokale utslippene fra dieselmotorene fra tyngre kjøretøy betraktelig, men det vil fortsatt være vesentlige utslipp av både NOx og CO2 fra bussene.

Elektriske busser har elektromotor og ikke forbrenningsmotor som dagens busser. Det gjør at elektriske busser ikke har noe utslipp av hverken klimagasser eller gasser som skaper lokal luftforurensing. Overgang til elektriske busser vil derfor fjerne utslippene av NOx og PM fra eksos helt. Det vil være et godt bidrag til reduserte lokale helseskadelige utslipp i forurensede områder. I tillegg er det et lavere støynivå fra bussen, som er positivt for passasjerer og for omgivelsene.

¹ <https://ruter.no/globalassets/dokumenter/aarsrapporter/ruter-aarsrapport-2014.pdf>

Krever små endringer i rutetilbudet

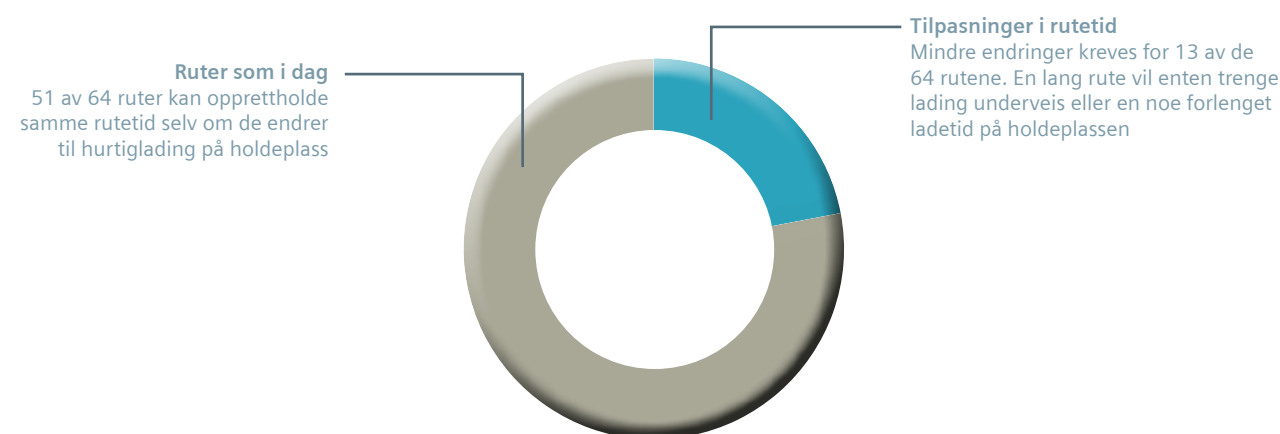
I motsetning til biodrivstoff, vil elektriske busser kreve oppladning. Konseptet for hurtiglading på endeholdeplass, vil kreve tilstrekkelig stopp for å fylle opp batteriet med elektrisitet. De løsningene som finnes for hurtiglading i dag, vil bruke mellom seks og åtte minutter på lading av batteriet før bussen kan starte på ny rute.

Blant de 64 rutene som er analysert i denne studien, vil 51 av rutene kunne opprettholde sine ruter slik det er i dag. Det betyr at ladetiden på endeholdeplassen ikke vil kreve

noen endringer i rutetiden. Med andre ord kan 80 prosent av rutene kjøres som i dag med konsept for hurtiglading på endeholdeplass.

På de resterende 13 rutene kreves mindre endringer i rutetilbudet, blant annet for eksempel rute nr 31 mellom Fornebu og Tonsenhagen. Dette er en lang rute som enten trenger å lade underveis, eller at man forlenger ladetiden på endeholdeplassen med noen minutter.

ÅTTE AV TI RUTER SOM I DAG: En omlegging til elektriske busser med hurtiglading kan gjøres på åtte av ti ruter uten at det er behov for å endre rutetiden.



Elektrisk i Gøteborg:

Bussrute nummer 55 i Gøteborg har fått et eget ladehus på endeholdeplassen og de elektriske bussene frakter daglig passasjerer mellom Lindholmen og Johanneberg.



Elektriske busser er i daglig drift

Elektriske busser med hurtiglading er i daglig drift i flere byer allerede, blant annet i Hamburg, Stockholm og Göteborg.

I Göteborg kjøres det nå en testlinje med tre fullelektriske busser og syv ladbare hybridbusser. Disse går i trafikk på linje 55 mellom Lindholmen og Johanneberg. Alle bussene er utstyrt med batteripakker som lades på endeholdeplassen. Ladestasjonene har en effekt opp mot 450 kW, og de fullelektriske bussene lades i dag med en effekt på 300 kW. De ladbare hybridbussene lades med 150 kW. Bussene i Göteborg har vært i drift siden juni 2015 og erfaringene er gode.

Bussleverandører som Volvo planlegger også storstilt satsning på elektriske busser. De starter masseproduksjon av de første 12 meter ladbare hybridbusser høsten 2016 og vil kunne levere i begynnelsen av 2017. Masselevering av helelektriske busser vil kunne skje i begynnelsen av 2018.

Leddbusser over 18 meter vil også komme med elektrisk motor og batteridrift. De første masseleveransene av slike busser vil kunne skje i begynnelsen av 2019.

Hovedkonklusjoner

Resultatene fra studien gir en tydelig støtte for elektriske løsninger for bussene i Oslo. Både økonomisk og miljømessig er elektrisitet en åpenbar vinner, og oppsummert kan vi slå fast at fremtiden helt klart er elektrisk.

Studien viser at teknologien for dette skiftet finnes og bussleverandørene satser på elektriske modeller i stor skala. Derfor kan omstillingen mot elektriske busser skje raskt, og for nesten hele bussnettet. Hele åtte av ti busslinjer i Oslo kan elektrifiseres umiddelbart, noe som tilsvarer 51 av de 64 busslinjene. Disse rutene egner seg for elektrisk drift uten behov for å endre på rutetabellen. Studien stadfester samtidig at med små justeringer på rutene kan også de gjenværende linjene elektrifiseres.

Dersom alle aktuelle busser i Oslo blir elektrifisert med hurtiglading på holdeplass, vil Oslo kunne spare 750 millioner kroner over ti år sammenlignet med dagens dieselbusser. Sammenlignet med ulike former for biodrivstoff, er besparelsen mellom 600 millioner og en milliard, - alt avhengig av hvilket biodrivstoff som benyttes.

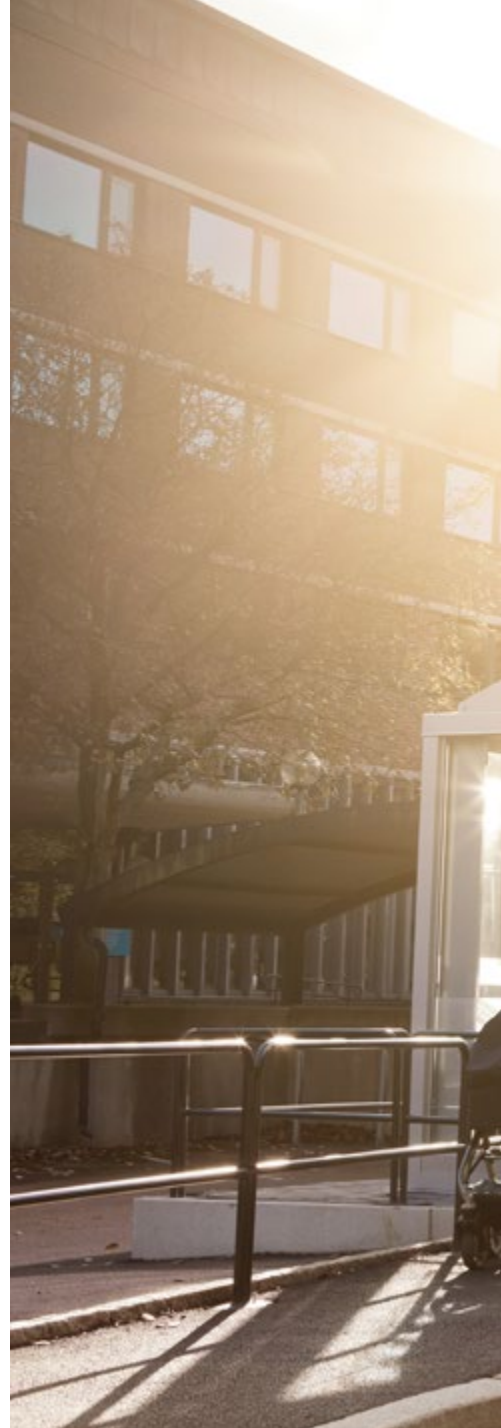
Med andre ord vil Oslo med elektriske busser både få mer kollektivtrafikk for pengene og løsninger som bidrar til en bedre luftkvalitet i byen.

Kilder

Det er benyttet flere ulike kilder i arbeidet med mulighetsstudien. Her er en oversikt over de viktigste:

- Busspriser er veiledende fra ulike bussleverandører
- Oppgradering av kraftnett fra Hafslund
- Infrastruktur for biogass/bioethanol/hydrogen fra Miljødirektoratet
- Vedlikeholdskostnader fra rapport fra Blekinge Tekniske Høgskola (2013) og konseptvalgrapport fra Rogaland (2011)
- Erfaringstall fra pilotprosjekter i Göteborg og Stockholm
- Utslippsdata fra Ruters strategi om fossilfri 2020, Statens Vegvesen, TØI og Zero





Siemens AS

Østre Aker vei 88
0596 Oslo

Postadresse
Postboks 1 Alnabru
0613 Oslo

Telefon: 22 63 30 00

Volvo Norge AS

Strømsveien 314
1081 Oslo

Postadresse
Postboks 103 Alnabru
0614 Oslo

Telefon sentralbord: 23 17 66 00

www.siemens.no

www.volvobuses.com