

Elbusser



Elektrifisering av busser er et effektivt grep for å fjerne avgassutslipp og klimapåvirkning fra busstrafikken. Innfasing av elektriske busser ved utskifting av bussparken vil med bruk av fornybar norsk elektrisk energi som energikilde gi null utslipp av klimagassen CO₂ og redusere energiforbruket til en tredjedel. Elbusser vil innen kort tid bli praktiske og økonomisk konkurransedyktige i bytrafikk. Kjørelengde, batterier og ladning av batterier gjør at elbusser i første omgang er egnede som bybusser. Utviklingen av batterienes kapasitet, vekt og kostnader vil bestemme om og når elbusser også vil bli egnede som regional- og turbusser. Høyere investeringskostnadene for elbusser og ladeinfrastruktur kan kompenseres av lavere driftskostnader og gevinster i forhold til klimapåvirkning.

Nordiske land med fornybar elektrisk energi, god infrastruktur for strømforsyning og lave strømpriser er godt egnede for elektrifisering av bussdriften.

1. Problem og formål

Det norske stortingets har ambisiøse mål for utslippskutt av klimagasser fra transportsektoren i 2030. På langt sikt (2050) skal alle kjøretøy kjøres uten bruk av fossil energi (Stortinget 2012). Klimapåvirkende utslipp fra transportsektoren er ikke-kvotepliktige utslipp og skal nås med hovedvekt på innenlandske utslippsreduksjoner og med bruk av EU-regelverkets fleksibilitetsmekanismer. Hvordan nødvendige kutt fra transportsektoren best kan oppnås er en utfordring. Problemet er å finne politisk og økonomisk akseptable løsninger.

Vegtrafikk bidrar med ca. 10 mill tonn CO₂ til en vesentlig del av Norges utslipp av klimagasser (53,9 mill tonn CO₂ i 2015) per år (Statistisk sentralbyrå 2015). Hva som skal til for å få til nullutslipp fra tunge kjøretøy og hva som er den mest økonomiske løsningen er en utfordring.

En konvensjonell bybuss med dieselmotor slipper ut 1,1-1,2 kg av klimagassen CO₂ per kilometer. Med en kjørelengde på 80 000 km slipper en bybuss med dieselmotor ut ca. 90 tonn CO₂ per år. Kollektivtrafikk med busser og mange passasjerer er i seg selv en transportform som ved å erstatte biler vil redusere klimapåvirkningen fra transportsektoren. Formålet med elektrifisering av busser er å gjøre busstrafikken helt klimanøytral. Avgassutslipp, spesielt fra eldre busser (busser uten Euro VI-motorer) bidrar også til overskridelse av vedtatte grenseverdier for lokal luftforurensning i byer og tettsteder (Hagman 2016).

Lokalt kan støy fra veitrafikk være et problem. I byer og tettsteder skaper busser med dieselmotorer også ved påbudt lav hastighet sjenerende motorstøy, noe som kan unngås med andre former for transport.

2. Beskrivelse av tiltaket

Å erstatte konvensjonelle busser med forbrenningsmotorer med elbusser går i første omgang ut på å få inn elbusser i bytrafikk ved nye anbudsrunder. Ved en videre utvikling av batteriteknologi og elbussenes økonomiske konkurransedyktighet vil det bli aktuelt med elbusser også i regional- og turtrafikk (Hagman m. fl 2017).

Bybusser egner seg alt ettersom batteriteknologien blir mer økonomisk konkurransedyktig for elektrifisering i Norge. En elektrisk motor har høy energivirkningsgrad sammenlignet med en forbrenningsmotor. Den forsynes med elektrisk strøm, som lagres kjemisk i batterier. Valget av energikilde, materialbruken til batteriene og en eventuell økning av bilbruken er avgjørende for klimaeffekten. I Norge er kilden for produksjon av elektrisk energi ikke et problem. Landet har med en produksjon på ca. 140 TWh/år et overskudd på ren og rimelig elektrisk energi fra vannkraft.

Elbusser - elektriske busser

Elbusser er definert som busser som drives av en elektrisk motor og som har et oppladbart batteri som energikilde. Med fornybar elektrisk energi som energikilde er driften av elbusser klimanøytral og bidrar ikke til negativ klimapåvirkning i form av global oppvarming. En stor fordel med elbusser er at de ikke slipper ut noen lokalt forurensende avgasser. Elbusser kan i prinsippet kjøre innendørs og det er mulig å plassere bussholdeplasser inne i sykehus eller kjøpesentre.

I tillegg er elbusser stillegående, noe man kan merke både inne i og utenfor bussen. Lydnivået er viktig for passasjerenes komfort. Lavt støynivå gjør elbussene egnet for kjøring i sentrum så vel på dagen som om natten.

Elbusser kan deles inn i to kategorier. Busser som har et relativt stort batteri (opp til ca. 300

kWh) og som hovedsakelig lades i et depot om natten og busser som har mindre batterier og derfor må hurtiglades (vedlikeholdsladning) mange ganger om dagen. Dette kan skje på endeholdeplassene og i noen tilfeller kan det også være hensiktsmessig å lade på holdeplasser underveis. For å underlette en forsiktig start og gradvis opptrapping av antall elbusser i norske byer introduserte Volvo høsten 2017 elbusser som kombinerer depotladning og hurtiglading (Volvo 10/16/17 Press information).

Depotladete busser



Bilde: Volvo

Figur 1: Anlegg for depotlading av 46 elbusser ved Waterloo bussdepot i London. Bilde: Zap Map.

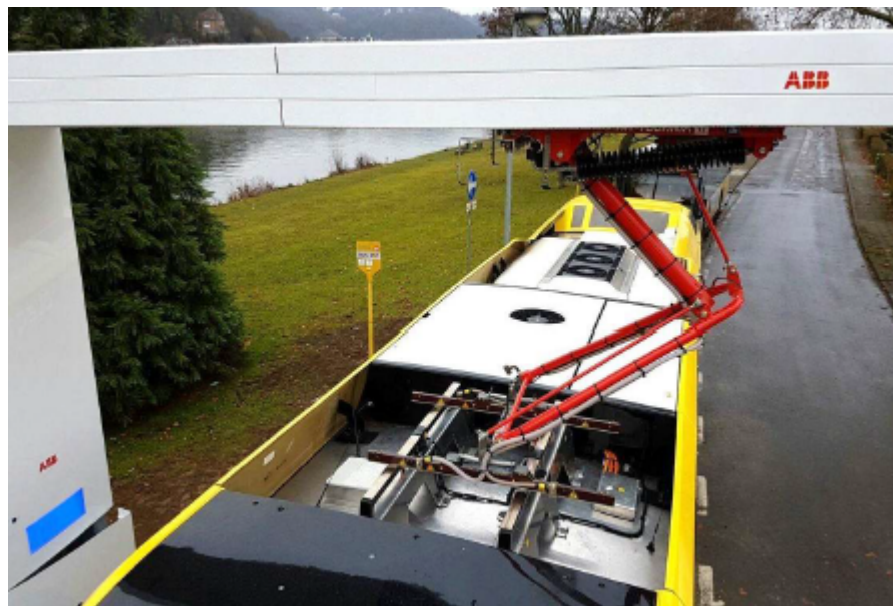
Depotladete busser er enkle å sette i drift og å bruke for operatørene. Bruken skiller seg ikke vesentlig fra dieselbusser. De lades i løpet av natten og kan siden brukes fritt i løpet av dagen så lenge batteriet rekker.

Waterloo depot i London har et opplegg med depotlading for 46 elbusser. Erfaringene fra Waterloo er at intelligent datastyrt kontroll av alle bussers ladning ble nødvendig og var en løsning for ikke å overbelaste det lokale strømnettet, med mørklegging av bydelen som følge (Baguette 2017).

Hurtigladete busser

Busser som hurtiglades på endeholdeplassene i løpet av dagen trenger et vesentlig mindre batteri enn de depotladete bussene. Dette gjør at bussen vil vege mindre og at batteriet tar mindre plass, noe som i sin tur betyr at passasjerkapasiteten blir større. Mindre vekt medfører også at energiforbruket blir mindre. Hurtigladete busser krever tilgang til ladestasjoner under hele driftsdøgnet. For å unngå at trafikken blir forstyrret av tilfeldige feil på ladestasjonen anbefales det at hver buss minst har tilgang til to forskjellige stasjoner.

Ladestasjonene kan med fordel plasseres på endeholdeplasser der bussen uansett står stille i noen minutter. Det er ved behov også mulig å plassere ladestasjoner mellom endeholdeplassene.



Figur 2: Hurtiglading av elbuss ved hjelp av nedsenkbar pantograf

Ladeinfrastrukturen må planlegges for hver enkelt busslinje. Beroende på lokale forhold kan det i enkelte tilfeller bli vanskelig å finne tilstrekkelig med plass til ladestasjoner med transformatorstasjon og strømvaktaker. Også arkitektoniske krav bør vurderes ved planleggingen av hurtigladestasjoner. Hurtiglading av busser i løpet av dagen krever god planlegging. Rutetabellene bør utformes slik at det blir nok tid for ladning. Man bør også forsikre seg om at bussene greier forsinkelser eller andre eventuelle forstyrrelser i trafikken.

Fra operatørens perspektiv er det viktig med samordning av ladningen av bussene og sjåførenes pauser mellom hver tur. Ideelt sett bør det finnes så mange ladestasjoner og ladetidene bør være så korte at bussen kan lades i løpet av de ordinære reguleringstidene (tid for pause og innhenting av eventuell forsinkelse) ved endeholdeplassene.

Hurtiglading innebærer i praksis at bussene lades ved endestasjonene for en eller flere busslinjer. Infrastruktur for strømforsyning og hurtigladestasjoner for elbusser er mulig å kombinere med eksisterende elkraftnett i norske byer. Hurtigladestasjoner spredt i et byområde vil kun belaste en lokal del av strømmettet med ladning av en buss av gangen. Strømmettet vil også få belastningen av å lade elbusser spredt relativt jevnt over driftsdøgnet.

Standardisering

Både internasjonalt og på europeisk nivå pågår arbeid med standardisering av systemer og løsninger for hurtiglading. En vanlig løsning er en pantograf (strømvaktaker) montert på bussens tak. Tre europeiske produsenter har blitt enige om et system for hurtiglading av elbusser med et konsept hvor den rørlige delen senkes ned fra den stasjonære delen av hurtigladesystemet.

Konseptet 'Opportunity charging' med nedsenkbar rørlig pantograf som vises i figur 2 og er blant annet en del av Volvos strategi for elbusser. Innen standardiseringsorganisasjonen CENELEC foregår et aktivt arbeid med målsetting om å kunne presentere en standard eller en anbefaling til standard for ladning av elbusser i 2019.

En fordel med en standard for tilkobling og hurtiglading er at elektrisk bussdrift kan settes ut på anbud og utsettes for konkurranse uten at infrastruktur for ladning er en del av anbudet. Infrastruktur for ladning kan bygges opp og driftes av en lokal aktør samtidig som operatørene av elbusser kan vinne eller tape anbud. Vinnere av anbud for bussdrift vil komme og gå, men ladestasjonene i en by vil stå der de står og kunne brukes uansett hvilken operatør som vinner anbudet.

3. Supplerende tiltak

Håndtering av transportens miljø- og klimavirkninger krever tiltak innenfor alle innsatsområder i tiltak.no. Å begrense biltransport blir gjort med diverse tiltak som bompenger og avgifter ved kjøp av biler og drivstoff. Kapasiteten på kollektivtransport og bussruter må økes når mange reisende forventes å ønske alternativer til en alt mer kostbar biltransport.

Elbusser trenger en infrastruktur for oppladning av batteriene med elektrisitet fra kraftnettet. Oppbygging av en standardisert infrastruktur er en forutsetning for gradvis innfasing og langsiktig satsing på elbusser. Oppbygging, eierskap og drift av ladeinfrastruktur er et nytt område og trenger nytenkning i forhold til tradisjonell bussdrift med fyllestasjoner for dieseldrivstoff.

Med fåtall elbusser er ladning i depot ofte mulig med den allerede eksisterende strømforsyningen i depotanlegget. Med større antall elbusser må det planlegges hvor og når elbussene skal lades og tilstrekkelig elektrisk effekt må være tilgjengelig til enhver tid. En infrastruktur for ladning av elbusser som er standardisert og installert uavhengig av bussoperatøren, vil kunne gjøre det lettere å skifte operatør for bussdriften ved nye anbudsrunder.

Incentiver for innfasing av elbusser

Investeringskostnadene for elbusser og ladestasjoner for hurtig/vedlikeholdsladning er nå høye i forhold til kjøp av busser med forbrenningsmotorer og i Norge er støtte fra ENOVA til investeringene et viktig incentiv. At investeringskostnadene for elektrisk bussdrift vil synke og at totalkostnadene takket være lave driftskostnader sannsynlig vil bli meget konkurransedyktige kan uten dette incentivet overskygges av de høye investeringskostnadene.

Ladeinfrastruktur for hurtigladete elbusser

Det er utviklet forskjellige løsninger for hurtiglading av elbusser. Da man bare har noen få minutter til rådighet for ladningen, bør den automatiseres så langt som mulig. De fleste hurtigladete elbusser som er tatt i bruk i trafikken lades via taket ved hjelp av en

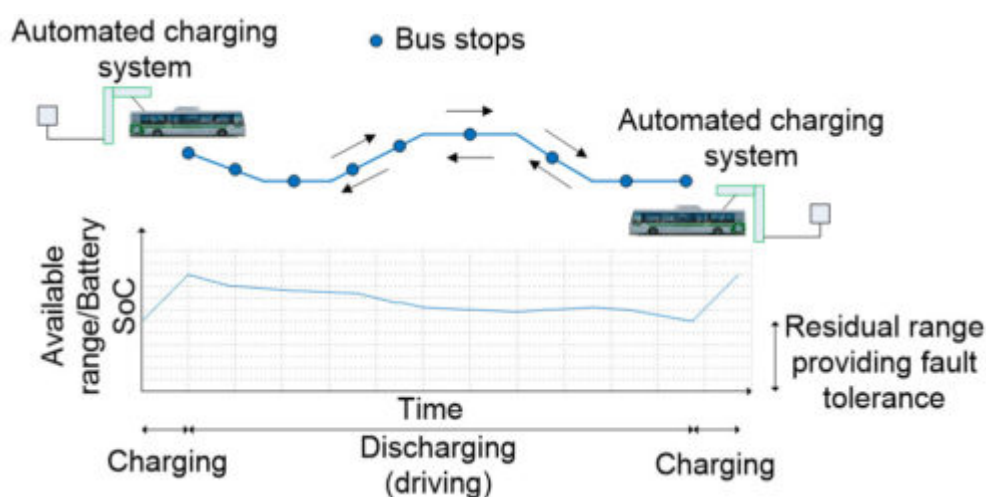
konvensjonell pantograf eller en nedsenkbar pantograf. Pantografen er en arm som installeres på bussens tak og løftes opp når bussen befinner seg under ladeordningen. Alternativt kan man benytte en nedsenkbar pantograf. Med denne modellen installeres den rørlige delen på selve ladeordningen og senkes ned for å få kontakt med strømskinnene på bussens tak. Å bruke en pantograf er relativt enkelt for sjåføren siden det finns en viss toleranse for hvordan bussen kan plasseres.

En nedsenkbar pantograf krever trådløs kommunikasjon mellom bussen og basestasjonen for at ladningen skal gå greit. Nedsenkbare pantografer medfører dog større risiko når det gjelder operasjonell sikkerhet, siden en feil i pantografen gjør at hele ladestasjonen blir ubrukelig. Dette vil påvirke alle busser som bruker samme stasjon. Eventuelle feil i pantografer på bussens tak påvirker bare den aktuelle bussen, men installasjonen krever plass på taket. Pantografens innvirkning på bussens vekt vurderes som lav. Ved bruk av pantografer kan ladningen begynne og avsluttes i løpet av ca. 15 sekunder, avhengig av den tekniske løsningen, og en ladeeffekt på opptil ca. 600 kW kan oppnås.

I enkelte byer har man også testet automatisk ladning av bussen via en sidekontakt. Man kan også bruke helt kontaktløs ladning via induksjon. Dette krever at det er installert en ladeordning under vegoverflaten. Energitapet ved induksjonsladning er høyere og overføringseffekten lavere enn ved bruk av pantografer og ladning med elektrisk støpsel. Foreløpig finnes det ikke induktive ladeløsninger for buss som går høyere enn 200 kW, noe som gjør ladetiden lengre enn for pantograf. Men det finnes løsninger som går helt opp til 1000 kW for ferger, og det kan etter hvert utvikles løsninger på mer enn 200 kW for buss.

4. Hvor tiltaket er egnet

Tiltaket med elbusser i stedet for konvensjonelle busser med forbrenningsmotorer går i første omgang ut på å få inn elbusser i bytrafikk. Figur 3 viser en skjematisk bybussrute med elbusser som har hurtigladning ved endestasjonene.



Figur 3: Skjematisk bybussrute med elbusser og hurtigladning ved endestasjonene og mulig kjørelengde/batteristatus underveis i bussruten. Kilde: Pihlatie m. fl. 2014.

På den vertikale aksene vises mulig kjørelengde/batterienes ladetilstand (SoC). På en enkel tur brukes kun en del av den i batteriene opplagrede elektriske energien. Ved stopp på

endestasjonene tilføres batteriene den samme mengde energi som ble brukt på en enkel tur. Hele tiden finnes det reserver av elektrisk energi lagret i batteriene slik at uforutsette hendelser som forsinkelser ikke vil skape driftsproblemer.

Hvis det ved enkelte reguleringsstopp ikke er tid til ladning av batteriene grunnet en forsinkelse kan batterikapasiteten dimensjoneres slik at det er mulig å kjøre en eller flere turer med den energi som finnes i batteriene.

Flere strategier for hurtigladning er mulige. Et viktig aspekt er at hurtigladningen skal kunne skje innenfor normal reguleringstid slik at behovet for antall elbusser ikke overstiger behovet for antall konvensjonelle busser. I den skjematiske bybussruten i figur 3 lades batteriene opp så mye ved endeholdeplassene at den tilførte energien dekker behovet tilbake til ladestasjonen ved den andre endeholdeplassen. En annen mulig strategi er å gi elbussene så høy batterikapasitet i forhold til rutelengden at det er mulig med en gradvis utladning under driftsdøgnet. Batteriene kan så lades opp til full kapasitet under den tid av døgnet som bussen ikke er i drift.

5. Bruk av tiltaket - eksempler

Tilbudet på elbusser øker. Selv om en meget stor del av elbussproduksjonen skjer i Asia, så er også de europeiske bussprodusentene i ferd med å utvikle elbusser. Det finnes i dag 30 forskjellige merker tilgjengelig på markedet (ZeEUS 2016). De fleste elbussene er 12 meter lange, men det finnes også leddbusser og dobbeltdekkere fra flere produsenter på markedet.

Internasjonale erfaringer

Utviklingen av elbusser har gått svært raskt de siste årene. Full-elektriske 12-meters busser ble tatt i bruk for første gang i Kina i forbindelse med OL i Beijing 2008. Bussenes rekkevidde var da bare 75 km, men allerede i 2010 hadde Kina busser med en rekkevidde på 250 – 300 km. Siden den gang har antallet busser økt kraftig, spesielt i kinesiske storbyer. Disse byene hadde i 2015 hele 98 prosent av det totale antallet på 173 000 elbusser i verden (ZeEUS 2016). Utviklingen i Europa har gått tregere. Mye av forskningen på elbusser foregår i Europa, og alle de store bussprodusentene i Europa utvikler eller tilbyr elbusser. I mange tilfeller kan de europeiske elbussene fortsatt sies å være pre-kommersielle modeller.

I Europa er markedet for elbusser nå i sterk vekst. Det engelske selskapet Alexander Dennis oppgir at det i Europa i januar 2017 er levert ca. 800 elbusser og at ytterligere ca. 600 elbusser er i bestilling (Baguette 2017).

I de europeiske landene er det Storbritannia som har flest elbusser, men også Nederland, Sveits, Polen og Tyskland har en betydelig del av de elbusser som er tatt i bruk. Mange pilotprosjekter er for tiden på gang i Europa, hvorav flere er tilknyttet det EU-finansierte forskningsprosjektet ZeEUS (ZeEUS 2016). Karakteristisk for bruken av elbusser i Europa er at det hovedsakelig dreier seg om tester i liten skala med forskjellige busstyper og ladeløsninger.

Depotladede elbusser har i Europa ofte blitt foretrukket fremfor hurtigladete elbusser.

Depotladete elbusser, som er relativt enkle å ta i bruk da de ikke trenger en geografisk spredt infrastruktur, trenger meget store batterier. Batteriet må dimensjoneres slik at bussen kan kjøre en hel dag selv under de vanskeligst tenkbare forhold. Alternativt kan bussen tas ut av tjeneste et par timer om dagen for ladning. Ladeinfrastrukturen for depotladete busser kan være relativt billig gitt at det er snakk om et begrenset antall elbusser, og at depotet har en stabil og godt dimensjonert strømforsyning. Da bussene bare lades en gang per døgn, kreves ingen automatikk, og man kan bruke faste standard kontakter og kabler. Selv om effektuttaket fra en enkelt buss er lavt blir den samlede effekten høy når mange busser skal lades samtidig i et depot i løpet av noen få nattetimer der bussene ikke er i bruk. Man bør derfor forsikre seg om at strømnettet kan håndtere belastningen når et større antall busser skal lades samtidig eller når man øker antallet busser i et depot.

Norske erfaringer

I Norge ble de første anbudskonkurransene med elbusser vunnet av de tilbydere som hadde lavest pris. Rogaland var med Boreal Transport som operatør det første fylke i Norge som satte inn elbusser i ordinær trafikk. Fem elbusser er våren 2017 i trafikk på strekningen Stavanger-Sandnes (med Norgesbuss som driftsoperatør). Disse elbussene er produsert av EBUSCO og har store batterier (300 kWh). Bussene i Stavanger lades i depot hvor bussene vanligvis er parkert og kompletteringslades i Sandnes for å klare hele driftsdøgnet.

I Buskerud er det bestilt seks elbusser fra EBUSCO som skal driftes ved hjelp av hurtig-/vedlikeholdsladning. I Oslo skal til sammen seks elbusser fra Solaris og EBUSCO (i tre forskjellige utgaver for depotlading og hurtiglading) testes med hensikt å høste erfaring fra både depot-nattlading og vedlikeholds-hurtiglading.

For Troms fylke har VTT med bidrag fra TØI gjennomført en mulighetsstudie for innfasing av elbusser i Tromsø by (Philatie m. fl. 2016).

I Hamar og Lillehammer planlegges prøvedrift med 2 elbusser i hver og en av byene.

Trondheim blir den første byen i Norge som satser på elbusser i stor skala. AtB og operatørselskapet Tide bestilte i september 2017 35 elbusser til bytrafikken i Trondheim. Fra 2019 er planen at 25 elbusser fra Volvo (12 m) og 10 elbusser fra Iveco (Iris el-leddbuss) skal sørge for klima- og miljøvennlig bytrafikk i Trondheim (Volvo 2017).

ENOVA bevilget i 2016 15 millioner kroner i støtte til ladestasjoner for elbusser i Trondheim. Ladestasjonene som ENOVA støtter i Trondheim med 15 millioner er tenkt å bli hurtiglادestasjoner i hver ende av bybusslinjer. Støtten fra ENOVA var viktig for den videre utviklingen av elbussprosjektet i Trondheim. Nå viser Trondheim vei med den foreløpig største elbuss-satsingen i Norge, og det er vi glade for å kunne bidra til, utalte administrerende direktør Nils Kristian Nakstad i ENOVA i 2016.

6. Miljø- og klimavirkninger

Elbusser med nullutslipp kan sies å være et supplerende og på flere måter klimaeffektivt tiltak i forhold til flere dieselbusser og restriksjoner mot bilkjøring i byer.

Miljøteknologi for å nå utslippsmål

Flere beregninger viser at det vil være vanskelig å nå de klimapolitiske målene for transportsektoren uten å satse på miljøteknologi. I 2014 viste TEMPO-prosjektet (Fridstrøm og Alfsen 2015) at elektrifisering er den mest miljø- og kostnadseffektive veien til et lavutslippssamfunn.

Miljø- og klimavirkningene av elektriske kjøretøy avhenger av fremdriftssystem og energiforbruk, hvilke kilder strømmen og batteriene kommer fra og eventuelle endringer i transportarbeidet.

Ettersom den elektriske motoren er opp til fire ganger så energieffektiv som en forbrenningsmotor, vil den samlede totale klimapåvirkningen fra energikilde til hjul («Well to wheel», WTW) være lavere enn for kjøretøy med forbrenningsmotorer selv om strømmen produseres med en gjennomsnittlig europeisk mix av elkraft. I Norge vil klimagevinsten kunne være opp mot 95 % gitt vår tilgang på fornybar vannkraft. (Ressursgruppe 2009, Statens vegvesen 2010, Miljødirektoratet 2015).

Ulempen med depotladede elbusser er at de krever et meget stort batteri for å kunne oppnå en tilstrekkelig rekkevidde. Dette medfører at bussene blir tyngre og forbruker mer energi.

Lavere motorstøy

Elektriske kjøretøy bidrar på samme måte som dieselbusser med svevestøv fra asfalt og dekk men kan ved lave hastigheter og lite trafikk redusere støyplagen i byer og tettsteder (Skov og Iversen 2015). Ved hastigheter under 50 km/h er ofte motorstøy den dominerende støykilden og ved lave hastigheter vil elektrisk fremdrift kunne bidra til lavt støynivå i byer og tettsteder.

Ved hastigheter over ca. 60 km i timen vil likevel dekkstøy være den dominerende støykilden uansett hvilke fremdriftssystemer en buss har.

7. Andre virkninger

Potensiale for overbelastning av strømmettet

Ved hurtiglading blir belastningen på el-nettet forskjellig fra depot- og nattlading. De to løsningene er forskjellige med hensyn til hvordan ladningen blir startet og hvordan kommunikasjon foregår mellom bussen og ladestasjonen. Effekttoppene forårsaket av en enkelt hurtigladet elbuss blir høyere ved hurtiglading, men mer kortvarige enn med en depotladet buss. For en hel bussflåte blir belastningen mer utjevnet både over døgnet og geografisk over en by, siden bussene lades på ulike tider og ved flere ulike ladepunkter.

Økte investeringskostnader til flere busser

I en stor by med mange busser i hvert depot trengs som regel kostbare investeringer i ny kraftforsyning ved overgang til elbusser med depotlading.

Med depotladete elbusser kan man bli tvunget til å øke selskapets totale antall busser for å sikre en tilstrekkelig transportkapasitet.

Trafikksikkerhet

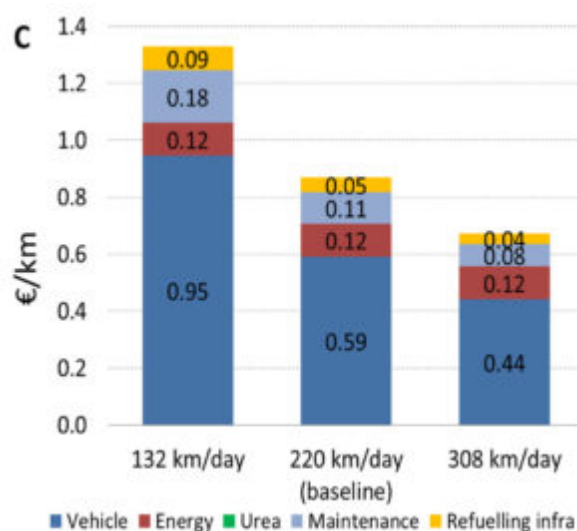
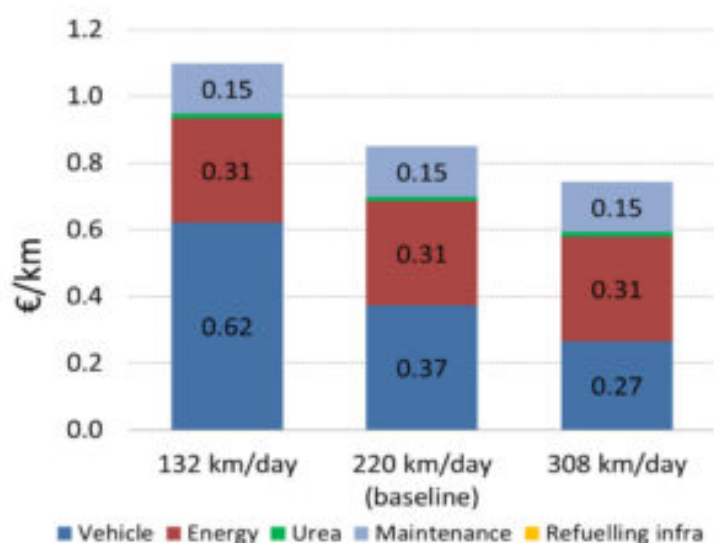
Elbusser er foreløpig i liten grad brukt i kaldt nordisk klima. Vi vet lite om trafikksikkerheten ved kjøring i kulde og på snø og is. Det finnes dog ingen grunn til å tro at elbusser ikke skal kunne få samme sikkerhet og de samme kjøreegenskaper som konvensjonelle busser med forbrenningsmotor. Da elbusser og drift av elbusser er nytt i Norge anbefales en grundig opplæringsperiode og en mer forsiktig introduksjonsfase enn hva som er vanlig for dieselbusser.

8. Kostnader for tiltaket

Kostnader for samfunnet

Elbusser har en annen kostnadsprofil enn konvensjonelle dieselbusser og det er derfor viktig å vurdere kostnadene for hele livstiden ved sammenlikninger mellom de ulike busstypenes samlede kostnader. Innkjøpsprisen for en elbuss er i 2017 omtrent det dobbelte av prisen for en dieselbuss med tilsvarende kapasitet. Kostnaden for batteriene, som utgjør en stor del av elbussens pris, er sterkt avhengig av batterikapasiteten. Elbusser krever også investeringer i infrastruktur for ladning. Hurtiglading av elbusser kan avhengig av den ledige lokale kapasiteten på elkraftnettet, gi større eller mindre investeringskostnader enn depotladning. Men etterhvert som elbusstrafikken øker og bruksfrekvensen på hurtigladestasjonene stiger, så synker kostnadene for infrastruktur per buss.

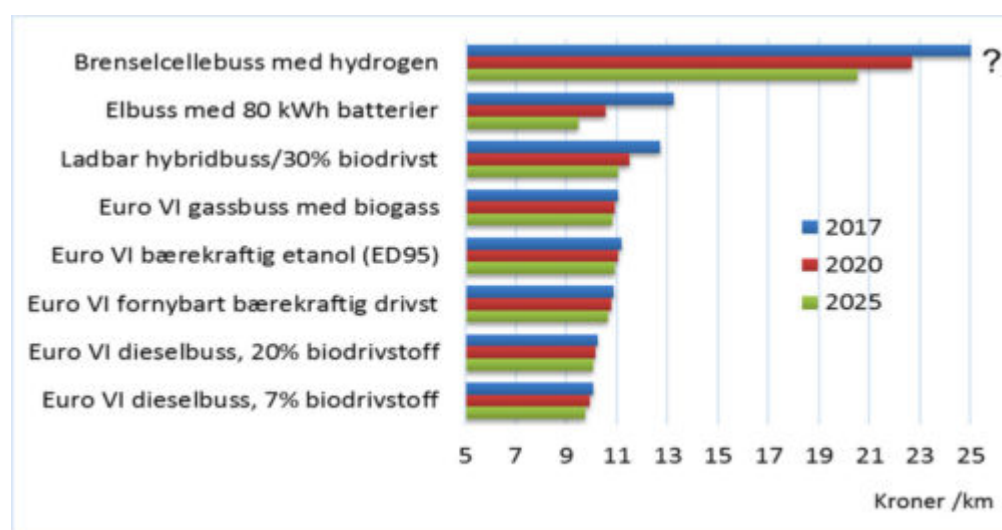
Som en følge av kostnadene for drivstoff får elbussenes utnyttelsesgrad stor innflytelse på de samlede kostnadene for bussdriften. Hvis en elbuss bare brukes en del av dagen blir kapitalkostnadenes andel av de totale kostnadene stor, noe som betyr at dieselbussen totalt sett blir rimeligere. Jo høyere utnyttelsesgraden blir, desto lavere blir de samlede kostnadene for elbussene sammenlignet med dieselbusser.



Figur 4: Et eksempel på samlede kostnader per km for dieselbusser (til venstre) og elbusser (til høyre) ved ulike kjørelengde per dag. Kilde: Pihlatie m. fl. 2014.

Elbusser for bytrafikk kan fra 2020 gi mest klima- og miljø for pengene. Elbusser er energieffektive og kan bruke norsk fornybar elektrisk energi fra vannkraft. For innfasing av elbusser i Norge kan en anbefale å begynne med en bybusslinje, og med tanke på fremtidig elektrifisering av bussflåten frem mot 2025 gradvis bygge opp et nett med hurtigladestasjoner. For elbusser forventes frem mot 2025 en rask teknologisk utvikling, lavere priser og høyere driftssikkerhet. Figur 5 viser de samlede kostnadene for aktuelle alternativer med klima- og miljøvennlige bybusser i Norge.

Alternativene med elbusser forutsetter gradvis større innkjøp av elbusser i 2020 og 2025. Videre forutsettes færre antall hurtigladestasjoner per buss etter hvert som antallet elbusser øker.



Figur 5: Beregnede samlede kostnader (kr/km) for bussdrift på en 10 km bybusslinje med aktuelle alternativene for fremdriftsteknologier og drivstoffer. Kilde: Hagman m. fl. 2017.

9. Formelt ansvar

Innfasing av elbusser i Norge er avhengig av at Fylkeskommuner og fylkeskommunale kollektivtrafikkselskaper ønsker å legge til rette for elbusser ved utlysning av anbud for busstrafikk. En politisk vilje og signaler om kostnadseffektiv busstrafikk med nullutslippsteknologi til de fylkeskommunale kollektivtrafikkselskapene vil kunne gi en rask utvikling med elbusser som vil bli økonomisk lønnsom i et tidsperspektiv på 5-10 år.

ENOVA har et stort ansvar for å bidra til innfasing av elbusser ved hjelp av støtteordninger for kapitalinvesteringer i ladeinfrastruktur og elbusser i en fase hvor elbusser og drift av elbusser er i ferd med å bli konkurransedyktige på alle plan (Hagman m. fl. 2017).

10 Utfordringer og muligheter

Interessen for elbusser er stor og antallet elbusser i Europa er ventet å øke kraftig de nærmeste årene. Myndigheter og operatører i Europa har i ca. 25 byer satt opp som mål å ha

en elbussflåte på 6 prosent av den totale bussflåten i 2020. Innen år 2025 ønsker ca. 18 byer å oppnå en elbussandel på 43 prosent. Enkelte bussprodusenter hevder at elbussene er modne for å ta over for konvensjonelle busser allerede i 2018-2020. Flere europeiske bussprodusenter mener at elbussene vil bli teknologisk og økonomisk modne for masseproduksjon i løpet av årene 2020-2025.

Teknisk sett er elbusser modne for å tas i bruk i mer omfattende grad enn vi har sett så langt og de utgjør et klimavennlig alternativ. Å øke antallet elbusser og flytte fokus fra pilotprosjekt til et større antall busser i vanlig trafikk er likevel ikke helt uten problemer. Investeringskostnadene for elbusser og ladestasjoner er fortsatt høye selv om prisen på batterier har sunket kraftig de seineste årene og forventes å synke ytterligere. Også prisen på bussene og på ladestasjonene forventes å gå ned.

En og samme løsning med elbusser er ikke nødvendigvis egnet for alle applikasjoner og steder. Lokale forhold og krav bør tas i betraktning i valget mellom ulike typer elbusser og mer konvensjonelle busser. Rutiner for anbud, innkjøp og kontrakter for busstrafikken kan trenge å justeres eller endres.

Ladning av elbusser er helt forskjellig fra påfylling av drivstoff til konvensjonelle busser. Investeringer og drift av ladestasjoner og infrastruktur for strømforsyning krever nytenkning og stiller nye krav. Et nært samarbeid med produsentene og distributører av elektrisk kraft må utvikles. Forskning og praktiske prøveprosjekt er i gang og utfordringene blir forhåpentlig løst i nær framtid.

I Norge ligger forholdene godt til rette for elbusser. Norge har rimelig strøm produsert av vannkraft og et sterkt og godt utbygget elkraftnett. Med planlegging og en gjennomtenkt strategi kan elbusser relativt raskt tas i bruk og bidra til redusert klimapåvirkning.

For demonstrasjon og kjøp av en eller to elbusser vil det være hensiktsmessig med depotladning. Med en planlagt fremtidig satsing på elektrifisering av bussdriften kan en by starte med innkjøp av et mindre antall elbusser og investering i en eller to hurtiglادestasjoner. En eller to ladestasjoner ved endeholdeplassene og lademuligheter i depotet vil dekke behovet for en bussrute. Et slikt opplegg vil gi nyttige erfaringer og kunnskap for en senere videreføring av elektrifiseringsprosessen.

Hvor mange elbusser som i en introduksjonsfase vil gjøre en anbudskonkurranse interessant for leverandører av elbusser er et vanskelig spørsmål. Å legge til rette for god service og støtte er nødvendig i en krevende overgang fra tradisjonell drift med dieselbusser. Etter noen år med erfaring med et mindre antall elbusser og en bussrute kan det forventes at kostnadene både for elbusser og ladestasjoner om noen år er lavere enn de nå er i 2017. Kvalitet og driftssikkerhet kan for de første elbussene være viktigere enn lavest mulig pris. I en overgangsfase vil det uansett komme utfordringer med blant annet elbussenes driftsegenskaper, kulde og vinterforhold.

Utfordringene med hensyn til bruk av ny teknologi ligger dels i selve teknologiutviklingen, som kan gi en del ulemper for brukerne, dels i kostnadene. I tillegg ligger det store utfordringer i å sikre at miljøgevinstene ikke blir spist opp av uønskede sideeffekter av tiltakene og at det blir en balanse mellom de samfunnsmessige kostnadene for

støtteordninger og miljøgevinstene (Fridstrøm og Østli 2014).

Satsingen på elbusser i Trondheim vil bli en interessant, nyttig og lærerik demonstrasjon for øvrige fylkeskommuner og byer i Norge og Norden. Markedet for nye busser i Norge er nå rundt 550 busser/år og ventes å bli betydelig større i 2019 (Løkken 2017).

Erfaringene fra prosessen med å begynne med elbusser i Trondheim vil bety mye for innfasingen av elbusser i andre byer og tettsteder i Norge. I Trondheim vil det bli mulig å høste erfaring ikke bare med elbusser men også med både depotladning og hurtig/vedlikeholdsladning av elbusser.

Tabell 1 viser en vurdering av egnethet for ulike teknologier for busser frem mot 2025, når alle faktorer er tatt med (Hagman m. fl 2017).

Tabell.1: Egnethet for ulike teknologier og drivstoff for busser i perioden frem til 2025, (grønn farge angir velegnet og olivengrønn farge angir egnet).

Fremdrift	Bybuss	Regional- og turbuss
Elektrisk med batterier	Velegnet Moden teknologi fra ca. 2020. Klimavennlig med norsk elektrisitet. Hurtiglading krever noe areal til ladestasjoner. Konkurransedyktig på pris.	Foreløpig lite egnet. Dyrt med store nok batterier. Kan bli problematisk med rekkevidde.
Hybrid/ ladbar el-hybrid	Egnet Elektrisk fremdrift i kombinasjon med Euro VI forbrenningsmotor med biodrivstoff eller med brenselcelle og hydrogen kan gi lav klimapåvirkning. Kan bli mer kostbar enn helelektrisk drift med batterier. Hydrogen krever ny infrastruktur.	Velegnet Elektrisk fremdrift i kombinasjon med Euro VI forbrenningsmotor med biodrivstoff eller med brenselcelle og hydrogen kan gi lav klimapåvirkning. Dyrt med to motorteknologier. Hydrogen krever ny infrastruktur.
Dieselmotor med biodrivstoff	Egnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Særlig de avanserte biodrivstoffene gir mye lavere klimapåvirkning enn fossilt drivstoff. Begrenset tilgang på avansert biodrivstoff til akseptabel kostnad.	Velegnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Særlig de avanserte biodrivstoffene gir mye lavere klimapåvirkning enn fossilt drivstoff. Begrenset tilgang på avansert biodrivstoff til akseptabel kostnad

Gassmotor og biogass	Egnet Kan bruke forbrenningsmotorer med Euro VI teknologi som gir svært lave utslipp av NOx og PM. Gassmotorer har lav energivirkningsgrad. Krever egnet infrastruktur for lagring og transport.	Lite egnet Avhengig av utstrakt utbygging av infrastruktur. Gassmotorer har lav energivirkningsgrad.
Brenselcelle-buss Hydrogen	Kan bli egnet på sikt Sannsynligvis kommersielt konkurransedyktig først etter 2025. Klima- og miljøvennlig med norsk vannkraft. Foreløpig kostbar teknologi. Krever utbygging av fyllestasjoner.	Kan bli velegnet på sikt Sannsynligvis kommersielt konkurransedyktig først etter 2025. Klima- og miljøvennlig med norsk vannkraft Foreløpig kostbar teknologi. Krever utbygging av fyllestasjoner.
Dieselmotor med fossil diesel	Egnet Med Euro VI motorer lave utslipp av PM og NOx, men fortsatt høy klimapåvirkning. Potensial for lave samlede kostnader.	Egnet Med Euro VI motorer lave utslipp av PM og NOx, men fortsatt høy klimapåvirkning utslipp. Potensial for lave samlede kostnader.

11 Referanser

Baguette, S. 2017

Kollektivtrafikkforeningens Anskaffelsesseminar, Tromsø 1. februar 2017.

Fridstrøm, L., Alfsen, K. H. Red. 2014

Vegen mot klimavennlig transport. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 1312/2013.

Fridstrøm L., Østli, V. 2014.

[Ressurøkonomisk regnskap før elektrifisering av bilparken](#). Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI-rapport 1350/2014.

Hagman, R. 2016

[Busser, Euro VI og avgassutslipp Status 2016/2017](#). Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI-rapport 1540/2016.

Hagman, R. Amundsen, A med flere 2017.

[Klima-og miljøvennlig transport frem mot 2025 - vurderinger av mulige teknologiske løsninger for buss](#), Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapporter 1571/2017.

Stortinget 2012

Klimaforliket 2012. Innst. 390 S (2011-2012), Innstilling til Stortinget fra energi- og miljøkomiteen.

Løkken 2017

Intervju med markedsdirektør Svenn Åge Løkken i Volvo Busser Norge 13.11 2017

Pihlatie et al. 2014

"Fully electric city buses - The viable option", IEEE International electric Vehicle Conference, IEVC 2014, 17-19 Dec. Florence, Italy

Pihlatie et al. 2016

Feasibility of electric buses in Troms fylkeskommune, VTT customer report

Ressursgruppe 2009

Handlingsplan for elektrifisering av veitransport. Rapport fra ressursgruppe nedsatt av Samferdselsdepartementet.

Skov, R.H., Rasmussen, L.M. 2015

Measurement of noise from electrical vehicles and internal combustion engine vehicles under urban driving conditions. Paper at Euronoise 2015.

Statistisk sentralbyrå 2015

Utslipp av klimagasser, 1990-2015, endelige tall

Volvo 2017

Media Relations, Volvo Buses

Volvo 10/16/17 Press information

New Volvo 7900 Electric offers greater range and flexibility

ZeEUS 2016

eBus Report - An overview of electric buses in Europe,

<http://zeeus.eu/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>.