Informationsstöd om elbussupplägg till kollektivtrafikhuvudmän

Åtagande i den strategiska planen för omställning av transportsektorn till fossilfrihet (SOFT)

Framtagen av Energimyndigheten i samverkan med Trafikverket

ER 2019:03

Energimyndighetens publikationer kan beställas eller
laddas ner via www.energimyndigheten.se, eller beställas
via e-post till energimyndigheten@arkitektkopia.se

© Statens energimyndighet

ER 2019:03
ISSN 1403-1892
Mars 2019
Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Regeringen gav 2016 Energimyndigheten ett samordningsuppdrag att tillsammans med Boverket, Naturvårdsverket, Trafikanalys, Trafikverket och Transportstyrelsen ta fram en strategisk plan för omställningen av transportsektorn till fossilfrihet, samordna arbetet för omställning, föra dialog med relevanta aktörer och aktörsgrupper samt verka för synergier med andra nationella satsningar. Syftet med den strategiska planen är att bidra till målet om minst 70 procents minskning av växthusgasutsläppen från transportsektorn mellan 2010 och 2030 samt målet om klimatneutralitet senast 2045.

I den strategiska planen finns ett antal förslag och åtaganden som behöver genomföras för att planens intentioner och resultat ska bli verklighet. Ett av dessa åtaganden är ”Informationsstöd för kollektivtrafikhuvudmän”. De aspekter som belyses i denna rapport kategoriseras i fyra övergripande temaområden: teknik, miljö, kunskapsläge och planering. Rapporten omfattar en kunskapssammanställning kring elbussar samt en presentation av ett antal fallstudier kring erfarenheterna med elbussar i svenska och nordiska städer.

Rapporten vänder sig i första hand till organisationer som upphandlar och bedriver kollektivtrafik, det vill säga kollektivtrafikmyndigheter, kommuner och trafikföretag men riktar sig även till andra som har ett intresse eller är berörda av elektrifierad kollektivtrafik. Förhoppningen är att denna rapport ska bidra till en ökad kunskapsnivå när det gäller elektrifierad kollektivtrafik när valet om drivmedel för kollektivtrafiken ska avgöras.

Denna rapport har tagits fram av Sweco Energuide, Stockholm, på uppdrag av Energimyndigheten och Trafikverket. Ett stort tack riktas till referensgruppen, det vill säga representanter från kollektivtrafikbranschen samt Linköpings universitet, för inspel under arbetets gång.

Anita Aspegren

Avdelningschef Energimyndigheten

Innehåll

Förord 1

Sammanfattning 4

Ordlista 6

1 Bakgrund 7

1.1 Omställning till en fossilfri transportsektor 7
1.2 Syfte 7
1.3 Bussar och drivmedel 8
1.4 Vilken typ av buss är en eldriven buss? 10
1.5 Rapportens disposition 12

2 Fordon 14

2.1 Helelektrisk buss 15
2.2 Laddhybridbuss 16
2.3 Bussar som går på elväg 17
2.4 Uppvärmnings- och kylsystem 18
2.5 Kravställning 19

3 Laddinfrastruktur för elbussdrift 21

3.1 Laddstrategier 21
3.2 Laddtekniker 23
3.3 Laddkoncept 23
3.4 Depåns roll i elbussystemet 23
3.5 Laddsystemets tillförlitlighet och utförande 25

4 Batterier 28

4.1 Teknik- och kostnadsutveckling 29
4.2 Standarder för laddinfrastruktur och batterier 30

5 Säkerhet 33

5.1 Säkerhetskriterier och säkerhetssystem 33
5.2 Batterihaveri 34
5.3 Strömavbrott 35

6 Miljömässiga och sociala aspekter ... 37
6.1 El och bränslen ... 37
6.2 Utsläpp ... 38
6.3 Återvinning och spårbarhet av batterier ... 40
6.4 Buller ... 42
7 Kostnader ... 44
7.1 Kostnader för laddinfrastruktur ... 44
7.2 Elnätsavgifter ... 44
7.3 Drivmedelskostnader ... 47
7.4 Årliga kostnader ... 49
8 Upphandlingar och förvaltning av avtal ... 55
8.1 Allmänt om upphandling ... 55
8.2 Införande av elbussar i trafik ... 56
8.3 Upphandlingsrekommendationer ... 60
9 Erfarenheter av elbussar ... 65
9.1 Internationell utblick ... 65
9.2 Nordiska länder ... 66
9.3 Sverige ... 68
9.4 Forskning ... 74
10 Slutsatser ... 77
Referenser ... 81
Bilaga 1 Intervjuade aktörer ... 85
Bilaga 2 Utblick ... 86
Bilaga 3 Publikationer ... 91
Bilaga 4 Framtagande av rapporten ... 93
Bilaga 5 Urval av forskningsprojekt ... 94

Sammanfattning

Syftet med denna rapport är att öka de regionala kollektivtrafikmyndigheternas, kommunernas och trafikföretagens kunskaper kring elektriskt drivna bussar och dess laddinfrastruktur. Detta för att underlätta beslut kring elbussar och på så vis skapa förutsättningar för att minska klimatpåverkan och lokala emissioner, samt bidra med information om teknik som på sikt sannolikt skulle kunna minska kostnaderna för att minska koldioxidutsläpp och lokala emissioner. Rapporten har tagits fram av Sweco Energuide under hösten 2018 på uppdrag av Energimyndigheten och Trafikverket.

I Sverige som helhet är bussflottan i princip fossilfri, särskilt när det gäller bussar som går i trafik genom ett resultat av offentlig upphandling, och för vissa regioner har fossilfrihet redan uppnåtts. Detta är ett unikt exempel på internationell nivå, som också innebär att avskaffning av fossila drivmedel inte ensamt kan användas som argument för införande av elbussar. Däremot finns det utmaningar som kvarstår när det gäller t.ex. hållbara stadsmiljöer, attraktivare kollektivtrafik, energieffektivisering och övriga samhällsekonomiska effekter som elbussar skulle kunna bidra positivt till. Dessutom spelar kollektivtrafik en viktig roll som föregångare när det gäller hållbara transportlösningar. På sikt uppskattas också att fler elbussar innebär lägre kostnader vilket är mycket viktigt, särskilt med hänsyn till ökande kostnader för kollektivtrafik samt behov av ökat utbud för att skapa tillgänglighet i städer med krav på minskad biltrafik.

Elbussar passar bra till innerstadsmiljöer pga. kortare linjesträckor och sina positiva effekter på luftkvalitet och bullernivåer. Ursprungsmärkt förnybar el bör dock användas för att maximera potentialen för utsläppsminskning från busselektrifiering.

Faktorer såsom linjens topografi, antal stopp, om det är stads- eller landsvägstrafik, genomsnittlig hastighet, trafikmiljön, antal passagerare och busschaufförens körbeteende påverkar den energimängd som krävs för själva framdrivningen av bussen. Även utomhustemperaturen påverkar bussens energianvändning, främst för att bibehålla temperaturen i kupén. Dessa faktorer måste tas till hänsyn när bussens batteri dimensioneras. Även om större batteristorlekar kan möjliggöra elektrifiering av större delar av bussflottan pga. längre räckvidd, leder det inte nödvändigtvis till en lägre miljöpåverkan då större batterier innebär en något högre energianvändning och större miljöpåverkan vid utvinning av materialen. Det batteribyte som bör förväntas genomföras efter en viss period som elbussen varit i drift kan ytterligare påverka miljömässiga och ekonomiska effekter, varför batteriet bör dimensioneras förståndigt.

Elbussarnas minskning av störande bullernivåer är mest påtaglig vid hållplatserna, då bussar med förbränningsmotor låter betydligt mer än elbussar vid acceleration. Vid beräkning av den samhällsekonomiska kostnaden för bussar kan de modeller som endast tar hänsyn till den dygnsekvivalenta ljudnivån bli missvisande då fördelarna med elbussar nattetid riskerar att förbises.

Elbussarnas årliga kostnader är just nu högre än de traditionella alternativen, men stordriftsfördelar kan påverka framtida kostnader positivt. Det bör dock noteras att kostnaderna för elbussar skiljer sig väsentligt beroende på både vilket fall som utvärderas och de lokala förutsättningarna. På systemnivå kan de årliga kostnaderna för investeringar i elbussarnas infrastruktur kompenseras till viss del av de lägre drivmedelskostnaderna.

Efter en initial etablering av infrastruktur underlättas införande av flera elbussar med lägre investeringskostnader. Dock, med ett samhällsekonomiskt perspektiv, där buller och luftföroreningar inkluderas i kalkylen, kan det antagas att elbussar skulle kunna bli samhällsekonomiskt lönsamma.

De mest betydande kostnaderna för elbussar på årsbasis är fordons- och batteripriset, som står för störst andel per år. Även investeringar i laddinfrastruktur kan initialt vara betydande. En annan viktig faktor som påverkar kostnaden för en elbuss på årsbasis är antalet kilometer som elbussarna kör. Vid högre trafikarbete är elbussarna mer lönsamma än andra alternativ pga. de låga elpriserna och hög energieffektivitet. Slutligen kan alternativa drivmedlens priser i framtiden påverka elbussarnas relativa lönsamhet.

Det finns inget koncept med elbussar som passar alla förhållanden. Den mest lämpliga lösningen för varje enskilt fall beror på ett flertal faktorer såsom de lokala förutsättningar (stadens topografi, klimat, busslinjernas egenskaper), förekomsten av en viss typ av infrastruktur (t.ex. för trådbussar), den lokala tillgången till drivmedel, elnätets tillgängliga kapacitet, stadens och regionens utvecklingsplaner, hälsoaspekter (lokal luftkvalitet och bullernivå), tillgängliga finansieringsmedel, utsläpps- och energieffektiviseringsmål osv. Däremot finns det några gemensamma faktorer bland alla elbuss-projekt som har undersökts i denna rapport, bl.a. utmaningar när det gäller utrymmesbrist i depåer och tätorter, effektbehov och potentiell brist på tillgänglig elnätskapacitet samt betydelsen av samarbete mellan aktörer.

Ordlista

BMS	Batteriledningssystem, den huvudsakliga säkerhetsfunktionen i ett elfordons batterisystem (eng. Battery Management System)
CNG	Komprimerad naturgas
FAME	Fettsyrametylestrar, en typ av biodiesel som kan framställas från bland annat oljegrödor, som raps (då ofta kallat RME för rapsmetylestrar).
f-km	Fordons-kilometer, den totala sträckan ett fordon förflyttas
HSP	Högspännings nätanslutning
HVO	Hydrerade vegetabiliska oljor, en typ av biodiesel som kan tillverkas från slaktavfall, tallolja och restprodukter från palmoljeproduktion.
LCA	Livscykelanalys
LSP	Lågspännings nätanslutning
RKM	Regional Kollektivtrafikmyndighet
SKL	Sveriges Kommuner och Landsting
SOFT	Strategisk plan för Omställning till en Fossilfri Transportsektor
TCO	Total ägandekostnad
UITP	Den internationella organisationen för kollektivtrafik
WHO	Världshälsoorganisationen

1 Bakgrund

1.1 Omställning till en fossilfri transportsektor

Regeringen gav år 2016 Energimyndigheten i uppdrag att, tillsammans med Boverket, Naturvårdsverket, Trafikanalys, Trafikverket och Transportstyrelsen, ta fram en strategisk plan för omställning till en fossilfri transportsektor (SOFT). Syftet är att bidra till målet om minst 70 % minskning av växthusgasutsläppen till 2030. I Energimyndighetens SOFT-rapport[1] finns ett antal förslag och åtaganden indelade i områdena samhällsplanering, ekonomiska styrmedel, administrativa styrmedel, forskning och innovation, internationellt arbete samt samordning och samverkan. Inom området ”administrativa styrmedel” finns en åtgärd som handlar om behovet av informationsstöd till Regionala Kollektivtrafikmyndighet (RKM), kommuners och trafikföretags och övriga aktörers kunskap avseende elbussupplägg, vilket denna rapport är en del av.

1.2 Syfte

Syftet är att de Regionala Kollektivtrafikmyndigheternas (RKM), kommunernas, trafikföretagens och övriga involverade aktörers kunskap avseende elektriskt driven kollektivtrafik ökar och därmed underlättar beslut och eventuellt inköp av elbussar om det är samhällsekonomiskt rimligt.

Denna rapport är indirekt kopplad till elbusspremien då rapporten bland annat ska underlätta för berörda aktörer att nyttja stödet. Syftet med premien är att främja elbussarnas introduktion i Sverige, och sedan 2016 har både RKM och kommuner kunnat söka elbusspremien. Sedan 1 februari 2018 kan fler aktörer ansöka om premien. Ansökningstiden för elbusspremien är förlängd till 2023.

Projektet kopplas också till stadsmiljöavtalen. Sedan 2015 har kommuner och landsting kunnat söka stöd för infrastrukturåtgärder gällande både kollektivtrafik och cykel, under förutsättning att de också genomför motprestationer för en hållbar stadsutveckling. Under 2018 startade den andra perioden som omfattar 2018–2029 och totalt 12 miljarder kronor. Laddinfrastruktur till bussar är en del av infrastrukturen som kan sökas för som en del i stadsmiljöavtalen.

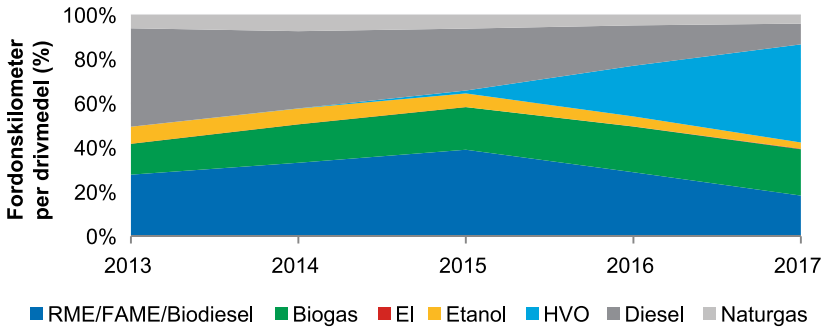
Elektriskt driven kollektivtrafik i städerna är inte något nytt, men har tidigare framförallt handlat om spårvagnstrafik och trådbussar. Elektriskt drivna bussar i ordinarie linjetrafik i Sverige är nytt vilket gör att det finns en hel del frågor som behöver belysas när det gäller helheten kring elektrifiering av busstrafik. Energimyndigheten och Trafikverket tar därför fram detta informationsstöd till beställare och utövare som kan underlätta arbetet med att utreda förutsättningar för att elektrifiera busslinjer och få till stånd laddinfrastruktur, göra kalkyler för olika typer av elbussupplägg samt att genomföra upphandlingar. Kunskapsunderlaget kan även ha betydelse för kollektivtrafikens finansiärer, regioner, landsting och kommuner.

[1] Strategisk plan för omställning av transportsektorn för fossilfrihet, Energimyndigheten, ER 2017:07.

Trafikverket gav 2015 Ecotraffic i uppdrag att ta fram ett kunskapsdokument[2] om stadsbussar i Sverige. Tanken med dokumentet var att det skulle kunna användas som hjälpmedel och stöd vid upphandling av stadsbussar med fokus på avgasemissioner, buller, miljöpåverkan och kostnader. I dokumentet behandlas elbussar marginellt beroende på att det inte fanns några elbussar i kommersiell drift vid dokumentets framtagande. Föreliggande rapport som genomförs på uppdrag av Energimyndigheten av Sweco 2018 har fokus på elbussar för att komplettera den tidigare sammanställda kunskapen om andra busstekniker.

1.3 Bussar och drivmedel

Antalet bussar som trafikeras i upphandlad linjetrafik, och som inte drivs av fossila drivmedel, ökar i antal. 2013 drevs cirka 49 % av fordonskilometrarna på icke-fossil energi medan samma siffra fem år senare ökat till cirka 86 % (se Figur 1). Den största utvecklingen har skett när det gäller HVO[3] som drivmedel, som gått från i princip noll år 2014 till att utgöra nästan hälften av vagnparken 2017 (44 %). Under dessa förutsättningar är målet med 90 % av fordonskilometrarna körda med förnybara drivmedel år 2020 nästan uppnått. Antalet fordonskilometrar som drivs helt eller delvis med el 2017 är få, enbart 0,2 %[4]. År 2017 fanns det 53 helelektriska-, fem tråd- och 133 hybridbussar (inkl. laddhybrider) i upphandlad kollektivtrafik[5,6].



Figur 1 Fordonskilometrar per drivmedel i Svensk upphandlad kollektivtrafiks busspark 2013 till 2017 (gäller upphandlad kollektivtrafik. Källa: Svensk kollektivtrafik, FRIDA).

Det mest troliga är att inget drivmedel kommer att vara helt dominerade under lång tid framöver på samma sätt som dieseln tidigare har varit. En trend som har utvecklats under senare tid är att el som drivmedel framförallt är aktuellt för stadsbussar, vilket är naturligt då några av elbussarnas fördelar är minskade lokala luftemissioner och lägre bullernivåer, som i första hand är en betydande fördel i tätorter eller motsvarande.

[2] Kunskapssammanställning – EURO VI stadsbussar, Rapport 157078 av Ecotraffic för Trafikverket 2015-05-11

[3] Hydrerad vegetabilisk olja som tillverkas av exempelvis tallolja, rapsolja, slakteriavfall, m m. Det som skiljer är tillverkningsprocessen mot FAME-bränslen är att väte skapar kolvätekedjor som är identiska med dieselolja och kan användas i dieselmotorer utan konvertering.

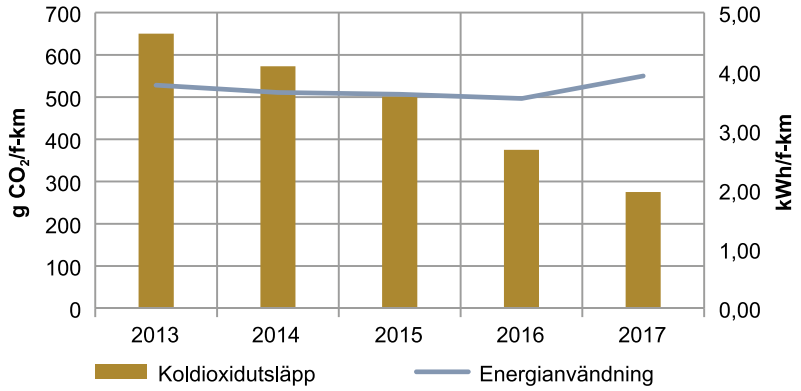
[4] Källa: Svensk kollektivtrafik, FRIDA.

[5] Sveriges Bussföretag, 'Statistik Om Bussbranschen', 2017, 106.

[6] Personlig kommunikation, Lars Annerberg vid Sveriges Bussföretag, 2018-10-09.

En annan aspekt för vilken elbussar kan spela en avgörande roll är energieffektivisering. Övergången till fossilfria bränslen har haft stor påverkan på koldioxidutsläppen, men energianvändningen har varit ganska stabil under åren (se Figur 2). Elbussar (helelektriska eller hybrider) kan minska energianvändningen och bidra till förbättrad resurseffektivitet sett till bränsleanvändningen.

Trendmässigt har kollektivtrafik i stadsmiljö börjat elektrifieras, trots vissa barriärer som högre kapitalkostnader än för konventionell teknik, och komplexitet gällande att införa laddinfrastruktur i städer och i deras befintliga elnät. Trenden är tydligast i Kina och Europa. Ett flertal städer inom Europa har kommit överens att endast upphandla noll-emissionsbussar senast 2025. Bland dessa städer är Barcelona, Köpenhamn, Heidelberg, London, Milano, Paris och Rom[7].



Figur 2 Koldioxidutsläpp och energianvändning per fordonskilometer i Svensk kollektivtrafiks busspark 2013 till 2017, avseende upphandlad kollektivtrafik. (Källa: Svensk kollektivtrafik, FRIDA).

Fördelarna med att kollektivtrafiken är ett av de första transportsätten som elektrifieras är främst att det demonstrerar att teknologin fungerar för allmänheten, samtidigt som det möjliggör för industrin att producera flera enheter vilket medför vissa stordriftsfördelar.[8]

Introduktionen av elektriskt drivna bussar i Sverige är på gång och den framtida utvecklingen beror bland annat på följande:

- Regionala kollektivtrafikmyndigheter har långsiktiga trafikavtal med trafikföretag där förtida utbyte av fordon ofta kan medföra högre kostnader.
- Den framtida utvecklingen av tekniken. Kostnader, batterikapacitet, batteriutbyte, infrastruktur för laddning samt materialtillgång, miljömässiga och sociala utmaningar när det gäller batteritillverkningen.
- Det finns behov av kunskap hos beställarna av kollektivtrafik när det gäller elektriskt drivna fordon och laddinfrastruktur, vilket denna rapport ämnar åtgärda.

[7] https://www.c40.org/other/fossil-fuel-free-streets-declaration

[8] UITP, 'ZeEUS EBus Report #2', 2018, 1–179 <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf>.

1.4 Vilken typ av buss är en eldriven buss?

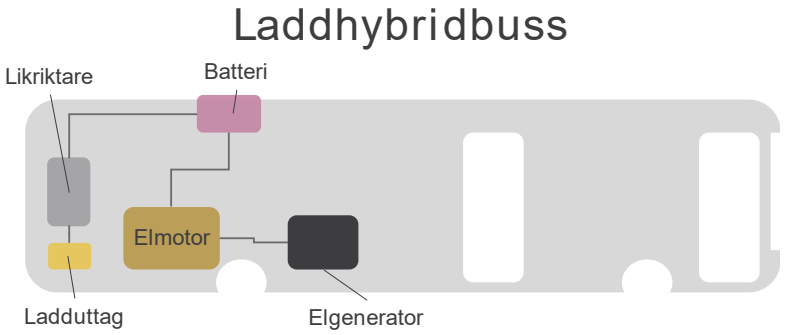
I denna rapport definieras elbussar vilka kan kopplas upp och laddas via en extern elkälla. Däribland inkluderas helelektriska bussar, laddhybridbussar samt bussar som går på elväg. Bränslecellsbussar är en typ av elbuss då de oftast nyttjar vätgas i en bränslecell för att generera el, som sedan driver bussen framåt. Bränslecellsbussar utreds dock inte i denna rapport då de inte anses lika kommersiellt mogna som de andra typerna av elbussar som utreds i denna rapport (se Avsnitt 1.5 för rapportens avgränsningar). Elhybrider inkluderas inte i definitionen elbuss, då de inte går att ladda via en extern elkälla utan nyttjar främst regenererad el för att öka bussens energieffektivitet i komplement till existerande förbränningsmotor[9]. De som då inkluderas i begreppet ”elbuss” och diskuteras i denna rapporten är:

Helelektriska bussar, det vill säga bussar drivna enbart av el via uppladdningsbara batterier, se Figur 3. Busstypen delas vanligtvis även upp baserat på laddstrategin, där bussens batterier antingen laddas i depå nattetid eller att depåladdningen även kompletteras med tilläggsladdning vid laddstationer som finns ute på linjen. Helelektriska bussar har vanligtvis större batterier än laddhybridbussar för att ge dem tillräcklig flexibilitet och räckvidd på endast eldrift. Valet av laddstrategi påverkar valet av batteristorlek då tilläggsladdning möjliggör ett mindre batteri. Det påverkar i sin tur bussens vikt och därmed även dess energianvändning för framdrivning.

Figur 3 Illustration av helelektrisk buss. Batteriets storlek och ladduttagets placering anpassas efter valet av laddstrategi. Bilden visar en exempelbuss, det finns även konfigurationer med en separat navmotor för varje hjul. I varje batteri ingår även ett styrsystem så att batteriet arbetar inom lämpliga spänningsnivåer.

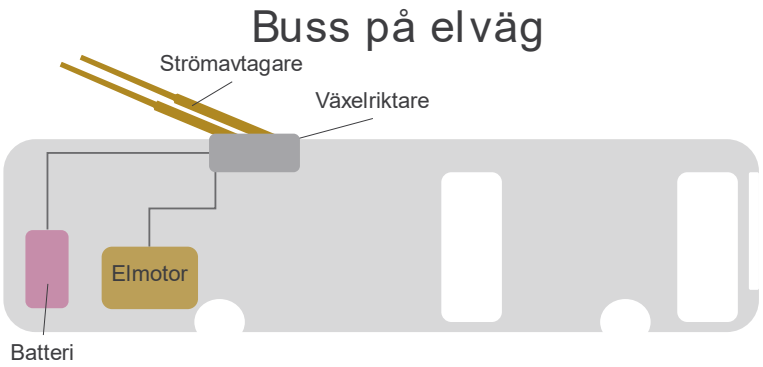
Laddhybridbussar, det vill säga bussar som drivs av el och ett annat bränsle, se Figur 4. Laddhybridbussar (även kallade plug-inhybrider) kan ladda sina batterier från elnätet, och kan drivas av sin förbränningsmotor om eldrift inte är möjligt eller önskvärt.

[9] Moataz Mahmoud and others, ‘Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62 (2016), 673–84 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>.



Figur 4 Illustration av laddhybridbuss i serieutförande. Laddhybridbussen skiljer sig från vanliga hybrider då den oftast har ett större batteri, som också kan laddas från en extern elkälla. I varje batteri ingår även ett styrsystem så att batteriet arbetar inom lämpliga spänningsnivåer. Elgeneratorn är i form av en förbränningsmotor som utökar bussens räckvidd vid behov.

Bussar som går på elväg är ett paraplybegrepp för olika typer av elbussar som kan tillföras el under färd. Konceptet går ut på att bussarna förses med el från ledningar lokaliserade antingen i luften eller i vägbanan med hjälp av strömavtagare. Den här typen av system har funnits länge i form av det som kan kallas för trådbuss, vilket fungerar likt en spårvagn. I Sverige finns i dagsläget enbart sådana bussar i Landskrona. Det finns även busstyper som inkluderar ett batteri, där elvägen möjliggör laddning under färd. Bussen kan därmed lämna infrastrukturen temporärt och köra på el lagrad i batteriet, för att sedan återgå till linjeträckningen med kontaktledning när batteriets lagrade energi börjar ta slut. För illustration, se Figur 5.



Figur 5 Illustration av en buss som går längsmed elväg. Här med strömavtagare mot kontaktledningar ovanför bussen. Det finns även alternativ där kontaktledningen ligger i marken. I varje batteri ingår även ett styrsystem så att batteriet arbetar inom lämpliga spänningsnivåer.

1.5 Rapportens disposition

De aspekter som belyses i denna rapport kategoriseras i fyra övergripande temaområden: teknik, miljö, planering, och kunskapsläge (se Figur 6).

Figur 6 Aspekter som belyses i rapporten.

I **Kapitel 2** diskuteras elbussteknik med särskilt fokus på framdrifts- och värmeanvändning. I **Kapitel 3** presenteras olika tekniker samt koncept gällande laddning av elbussar och jämförs utifrån ett flertal aspekter. I **Kapitel 4** ligger fokus på batterier där olika batterikemier och dess prestanda diskuteras. I slutet av kapitlet presenteras standardiseringsprocessen för laddinfrastruktur och batterier.

I **Kapitel 5** diskuteras säkerhetsaspekter kring elbussar, medan **Kapitel 6** fokuserar på miljöfrågor, inklusive livscykelsutsläpp, batteriåtervinning och buller. **Kapitel 7** presenterar kostnader relaterade till elbussar vilka jämförs med de traditionella bussteknikerna. Även elnätsavgifter samt drivmedelspriser och försörjning diskuteras. I **Kapitel 8** förs ett resonemang om hur ett införande av elbussar skulle kunna påverka befintliga upphandlingsriktlinjer och processer där även kravställning i upphandling med fokus på elbussar beskrivs.

Kapitel 9 presenterar och reflekterar kring erfarenheter av elbussar i Sverige, i de andra nordiska länderna och internationellt. Slutligen presenteras slutsatserna i **Kapitel 10** tillsammans med förslag på framtida projekt som behövs för att ytterligare främja införandet av elbussar i den svenska kollektivtrafiken.

Avgränsningar

I kostnadsbedömningen har eventuella bidrag för elbussar och laddinfrastruktur exkluderats. Redovisningen av kostnader beskrivs transparent för att läsaren själv ska kunna komplettera kalkylen med avdrag för sådant stöd. Rapporten beaktar inte heller skillnader mellan olika bussmärken då rapporten ska vara märkesneutral.

Bussar används till olika ändamål. Klass I avser stadsbussar, medan Klass II avser bussar som kan trafikera sträckor med högre hastighet. Klass III-bussar används ofta som turistbussar och har högt golv och högt insteg. Rapporten avser främst elbussar av stadsbussar Klass I. Då elbussarnas räckvidd begränsas av batteristorleken finns det för tillfället inte några marknadsmogna elbussar i Klass II eller III, vilka därmed exkluderas från den här rapporten[10]. Eftersom de elbusstekniker som undersöks i den här rapporten bör vara beprövade samt finnas på marknaden minst fem år framåt i tiden. När det gäller bränslecellsbussar har dessa bedöms som inte tillräckligt beprövade, vilket gör att dessa även är exkluderade från denna rapport.

[10] Enligt ”BUSS 2014: branschgemensamma funktionskrav på bussar”:

Klass I buss: buss som inrättade för befordran av fler än 22 passagerare utöver föraren och har utrymme för ståplatspassagerare som kan förflyttas frekvent.

Klass II buss: buss som inrättade för befordran av fler än 22 passagerare utöver föraren och har utrymme för ståplatspassagerare och medger befordran av ståplatspassagerare i mittgången och/eller i ett utrymme som inte är större än det utrymme som upptas för två dubbelsätten.

Klass III buss: buss som inrättade för befordran av fler än 22 passagerare utöver föraren och befordran av ståplatspassagerare utesluts.

2 Fordon

Som nämnts i inledningen finns det ett antal olika typer av elbussar beroende på framdrivningssystem och laddinfrastruktur. Även inom dessa kategorier finns det variationer gällande exempelvis bussens eller batteriets storlek, samt passagerarkapaciteten. Det här illustreras övergripande i Tabell 1 nedan.

Tabell 1 Överblick över kommersiellt tillgängliga buss- och batteristorlekar och passagerarkapacitet för olika typer av drivlinor för elbussar.

Drivlina	Busstorlek [m]	Batteristorlek [kWh]	Passagerarkapacitet [antal]
Helelektrisk depåladdad[8]	8–11 12–14 18–24	84–307 132–376 248–414	54–78 70–100 125–145
Helelektrisk tilläggsladdad[8]	8–11 12–14 18–24	30–80 19–105 70–215	65 62–93 104–155
Plug-in-hybrid[8]	10–12	19–132	70–100
Buss på elväg (som kan laddas under färd)[8]	12–25	20–80	83–221[11]
Buss på elväg (trådelektrisk utan batteri)[12]	12–25	–	82–200

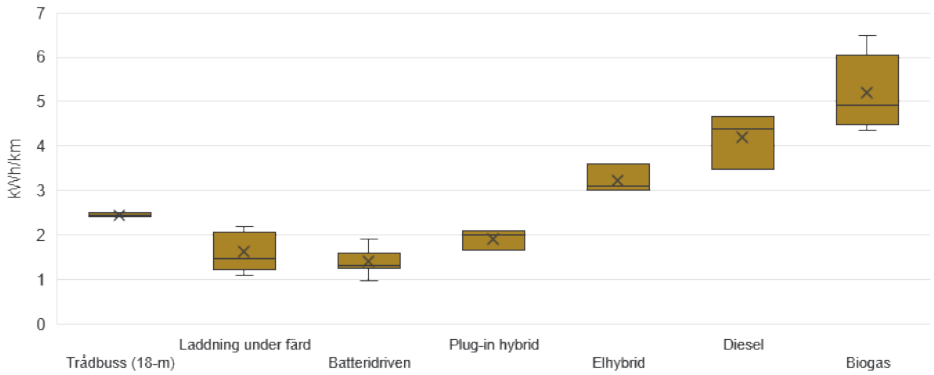
Det finns ett antal faktorer som påverkar energianvändningen i en buss, oavsett drivlina; busslinjens topografi, antal stopp, om det är stads- eller landsvägstrafik, genomsnittlig hastighet, antal passagerare och bussförarens körbeteende påverkar den energimängd som krävs för bussens framdrift[13]. Även utomhustemperaturen påverkar bussens totala energianvändning, särskilt för elbussar[13]. Batterikemins urladdningsförmåga (se kapitel 4), laddinfrastrukturens överföringskapacitet (se kapitel 3) och krav på kupéklimatet (gällande värme-/kylbehov) påverkas av utomhustemperaturen, vilken därmed indirekt påverkar bussens räckvidd, tillgänglighet och energianvändning per kilometer[13].

[11] Antaget 6 personer per kvadratmeter enligt leverantör.

[12] Hess Buses, 'Hess Model Overview', 2018.

[13] Henrik Ny Sven Boren, Lisiana Nurhadi, 'Preference of Electric Buses in Public Transport; Conclution from Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities', 10.3 (2016), 255–64.

En jämförelse mellan olika drivlinors genomsnittliga energianvändning per år illustreras i Figur 7. Varje tekniks energianvändning presenteras som ett spann sammanställt från ett antal olika källor [8, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21] baserat på verkliga erfarenheter gjorda främst i Sverige. Energibehovet varierar över året, där det under de kallare månaderna krävs mer energi per kilometer för att värma de eldrivna bussarna. Energianvändningen för trådelektriska bussar i figuren gäller 18-metersbussar, då det finns relativt få i tolvmeters-utförande. Övriga busstekniker som presenteras avser tolvmetersutförande.



	Trådbuss (18 meter)	Laddning under färd	Batteridriven	Plug-in hybrid	Elhybrid	Diesel	Biogas
Medelvärde	2,5	1,6	1,4	1,9	3,2	4,2	5,2

Figur 7 Genomsnittlig energianvändning över året för olika bussdrivlinor i kWh/km, inklusive uppvärmning och tilläggssystem. Energianvändningen för trådelektriska bussar är för 18-metersutförande, resterande för tolvmetersutförande. Boxen i figuren visar skillnaden mellan första och tredje kvartilen, linjen i boxen visar medianen och krysset visar medelvärdet. Linjerna utanför boxen visar högsta och lägsta värdet.

Generellt sett drivs laddhybrider på el en större del av tiden, och har därmed en bättre energieffektivitet relativt elhybrider.

2.1 Helelektrisk buss

I en studie av helelektriska bussar i åtta svenska kommuner (Karlskrona, Kalmar, Jönköping, Borås, Lerum, Falun, Eskilstuna och Orust) som körts i varierande topografi, utomhustemperaturer (–6°C till +12°C), antal passagerare och i stadstrafik krävdes i genomsnitt 0,96 kWh/km för framdrivning av bussen. Tidigare tester genomförda av samma leverantör vid ett stort antal passagerare och temperaturer ner till minus 20°C visade på en maximal energianvändning på cirka 1,2 kWh/km för framdrift, men att det under ideala förhållanden kan krävas så lite som 0,75 kWh/km.[13]

[14] SlideIn-projektet, 'SlideIn-Projektets Hemsida'.

[15] ElectriCity, 'Samarbete För En Hållbar Och Attraktiv Kollektivtrafik', 2016.

[16] Gerfried Jungmeier, 'Battery Electric Buses Project – International Energy Agency – Hybrid and Electric Vehicles Technology Collaboration Programme' (Santiago, 2017).

[17] Volvo Buses, 'Electrified Public Transport 17', 2018.

[18] Skånetrafiken, *Elbuss Ängelholm – Ett Pilotprojekt För En Hållbar Framtid*, 2017.

[19] Skånetrafiken, 'Elbussrapport Ängelholm Jan-Jun 2018', 2018.

[20] WSP, *PM – Kalkyl Över Elbussar i Stockholm*, 2014.

[21] M. Hagberg, A. Roth, and S. Bäckström, 'Analys Av Biogas till El För Bussdrift Och Biogas Som Bränsle till Bussdrift i Stadstrafik', 2016, 23 <https://doi.org/Report C 171>.

Elbuss i Landskrona. Foto: Nobina.

2.2 Laddhybridbuss

För laddhybridbussar kombineras eldriften oftast med någon form av gas- eller dieselmotordrift, vilket möjliggör användning av drivmedel som fordonsgas (fossil eller biogas), konventionell diesel, HVO eller biodiesel. I projekt genomförda i Göteborg användes el i kombination med HVO i laddhybrider, där bussarna drevs med el under cirka 77 % av tiden och resterande tid med HVO[15]. Den totala energianvändningen för bussen var 2,1 kWh/km, vilket kan jämföras med en traditionell dieselbuss som använde 4,4 kWh/km under samma tidsperiod och för liknande sträckning[15].

Fördelningen mellan eldrift och drift med annat drivmedel bestäms främst av laddstrategin, batteriets storlek och linjesträckningens utformning[15]. Ett större batteri, mer frekvent laddning samt en kortare linjesträckning är faktorer som bidrar till en ökad andel eldrift, vilket i förlängningen bestäms vid val av leverantörer av både buss och laddinfrastruktur, samt med hänsyn till hur linjen är dragen. Eftersom helelektriska bussar fortfarande är en relativt ny teknik med vissa begränsningar i räckvidd och relativt hög initial investeringskostnad kan laddhybridbussar i de fall där nollemissionsdrift behövs lokalt samtidigt som längre omlopp också bör tillgodoses[22,23] var lämpliga. Främst då de kombinerar nyttan av att både vara betydligt mer energieffektiva än traditionella dieselbussar, samtidigt som de genererar en mindre mängd emissioner och buller till närmiljön. Laddhybridbussar också vara lämpliga som övergångsalternativ från flytande drivmedel till eldrift om så önskas.

[22] Gwo Hshiung Tzeng, Cheng W. Lin, and Serafim Opricovic, 'Multi-Criteria Analysis of Alternative-Fuel Buses for Public Transportation', *Energy Policy*, 33.11 (2005), 1373–83 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.014>.

[23] Civitas, *Smart Choices for Cities: Alternative Fuel Buses*, 2016 <http://civitas.eu/sites/default/files/civ_pol-08_m_web.pdf>.

2.3 Bussar som går på elväg

De bussar som går på elväg utan batteri, även kallade trådbussar, drivs av el via direktöverföring från ledningar i luften och är en systemlösning som funnits länge. I Stockholm och Göteborg fanns det trådelektriska bussar mellan 1940 och 1964[24], och i Landskrona har det funnits nya trådelektriska bussar sedan 2003[25]. De trådelektriska bussar som finns i Europa är i många fall mellan 18–24 meter långa, med liknande energianvändning för framdrivning som batteridrivna elbussar[8,25] men normalstora trådbussar förekommer också.

För bussar med batteri som går på elväg bedrivs ett antal olika tester runt om i världen[8]. I försök med bussar som möjliggör laddning under färd i Landskrona är energianvändningen uppskattningsvis kring 1,3–2,0 kWh/km, där energianvändningen för framdrivning varierar mellan 0,5–0,8 kWh/km[26]. Den huvudsakliga energianvändningen kommer från uppvärmning och kylning av bussarna, följt av hjälpkraft[26]. Andra tillverkare av dessa system erbjuder bussar som kan laddas under färd med en energianvändning på cirka 1,4–2,4 kWh/km[8]. Tabell 2 jämför driftsegenskaper hos samt för- och nackdelar med olika busstekniker.

Tabell 2 Jämförelse av busstekniker[27]

Teknik	Drift	Fördelar	Nackdelar
Biodiesel	Räckvidd: cirka 500–800 km Tankning: cirka varannan dag Tankningstid: 5–10 minuter	Hög flexibilitet. Lägre utsläpp än fossildrivna dieselbussar. Beprövad teknik.	Begränsad tillförsel av HVO. Utsläpp i närmiljö. Bullerpåverkan.
Biogas	Räckvidd: cirka 350–400 km Tankning: cirka varannan dag Tankningstid: 5–10 minuter	Hög flexibilitet. Lägre buller och lokala utsläpp än dieselbussar.	Generellt sett högre energianvändning per km än dieselbussar.
Helektrisk buss	***Depåladdad buss*** Räckvidd: vanligtvis cirka 200 km. Laddning: vid depå eller reglerplatser om möjlighet finns. Laddningstid: vanligtvis cirka 4–6 timmar. Tilläggsladdad buss Räckvidd: mindre än 100 km. Laddning: vid ändhållplatsen eller längs linjen (och depå) Laddningstid: vanligtvis cirka 5 minuter.	Minimala lokala utsläpp, främst från uppvärmningssystemet. Nästan inga utsläpp om förnybar energi används. Tystare än andra busstekniker.	Höga inköpspriser. Osäkerheter kring livslängd samt kostnader av batterier. Kan kräva tidtabellsjusteringar, alternativt fler bussar per linje. Högre vikt pga. batterier kan påverka passagerarkapacitet.
Hybridbuss (serie eller parallell)	Räckvidd: cirka 500–800 km Tankning: cirka varannan dag Tankningstid: 5–10 minuter Laddningstid vanligtvis cirka 5 minuter (gäller endast seriehybrider)	Lägre energianvändning än bussar som endast har förbränningsmotor särskilt i tät stadstrafik, samt minskat buller och inga lokala utsläpp vid eldrift. Högre flexibilitet än helelektriska bussar.	Kostar mer än bussar med förbränningsmotor. Högre vikt pga. batterier kan påverka passagerarkapacitet.
Buss som går på elväg	Räckvidd: obegränsad vid konstant elförsörjning via trådsystemet. Begränsad räckvidd utanför trådnätverket beroende på batteristorlek. Laddning: under färd, antigen kontinuerligt (trådbuss) eller delvis med tråd och delvis utan tråd (batteridrift)	Inga tidtabellsjusteringar behövs. Samma lokala miljöfördelar som batteridrivna elbussar.	Höga infrastrukturkostnader. Visuell påverkan. Lägre flexibilitet.

[24] Svenska Spårvägssällskapet, 'Trådbuss Stockholm'.

[25] PG Andersson, 'Landskrona Trådbuss', 2012.

[26] SlideIn-projektet.

[27] Baserat på Civitas.

2.4 Uppvärmnings- och kylsystem

Konventionella bussar nyttjar ofta överskottsvärme från motorn till att värma kupén. Då elbussar inte har en förbränningsmotor framställs inte samma mängd överskottsvärme som för konventionella bussar, vilket leder till att det i kallt klimat ofta behövs en uppvärmningsanläggning[8]. Det kan även behövas för andra typer av energieffektiva bussar.

Det finns i dagsläget ett antal alternativ för uppvärmning av elektriskt drivna bussar. Det vanligaste sättet är dieselvärmare, men även gasdrivna värmare, direktverkande elektriska vattenvärmare samt värmepumpar. Vad gäller kylning är det främst eldriven luftkonditionering som används, men det finns alternativ som erbjuder reversibla värmepumpar[8]. Anledningen till att elbussar främst värms av dieseldrivna tilläggsvärmare är att konventionella elvärmare använder energi lagrad i batteriet. Används elektrisk uppvärmning ökar energiuttaget från batteriet betydligt, vilket kan begränsa bussens räckvidd och tillgänglighet under kalla temperaturförhållanden. Det gäller även för elektriska värmepumpar, även om dessa har ett lägre energiuttag från batteriet än konventionella elvärmare[8].

Tilläggsvärmarna drivs vanligtvis av vanlig diesel, HVO eller FAME. En nackdel med dessa är dock att bussen därmed inte blir helt emissionsfri. De är heller inte kravställda enligt Euro-standard som vanliga dieselmotorer, och det finns inte några krav på emissioner från värmarna. Vad gäller val av drivmedel släpper dieselvärmarna ut mindre mängder partiklar om HVO eller FAME nyttjas, jämfört med låginblandad B7 diesel (diesel med en 7-volymprocentig inblandning av FAME). Typen av bränsle påverkar inte koncentrationen av CO (kolmonoxid) och NOx (kväveoxider) i emissionerna nämnvärt[28].

En elbuss med dieselvärmare är inte helt emissionsfri, men minskar utsläppen till den lokala närmiljön relativt en buss som drivs framåt och värms från en dieselmotor[28]. Trots att en elbuss med dieselvärmare inte är helt emissionsfri erbjuder den ett lämpligt övergångsalternativ från en fordonsflotta baserad på förbränningsmotorer medan utvecklingen av eldrivna värmepumpar drivs framåt[29].

Erfarenheter från elhybridbussar i Göteborg visar att en yttertemperatur på 0°C kan skapa ett energibehov på cirka 0,75 kWh/km, endast för att upprätthålla temperaturen i passagerarutrymmet[15]. I detta fall uppskattas årsmedelanvändningen för tillförd värme till bussarna till 0,34 kWh/km[15]. Andelen energi som krävs för uppvärmning varierar mellan 0–50 % av den totala energin per km [13, 14, 18, 19].

Precis som att energianvändningen ökar betydligt vid låg yttertemperatur för att värma kupén krävs även en viss energimängd för att kyla utrymmet under varmare perioder. Det finns emellertid studier i Tyskland som indikerar att det årliga behovet av energitillförsel för uppvärmning är betydligt större än det är för att kyla busskupén[30]. Från simuleringar av vädret i Berlin från 1988 till 2007 är det årliga energibehovet för att kyla busskupén i en elbuss cirka en tiondel av det som krävs för att värma kupén under

[28] Force Technology, *Measurement of Emissions from Diesel Fired Heaters for Buses* (Köpenhamn, 2018).

[29] Y. Chen and others, 'Policy Recommendations', *Ecosystem Services and Management Strategy in China*, 2014 <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38733-3_8>.

samma år, förutsatt att ett traditionellt dieselvärmarsystem används[30]. Bussens totala energianvändning kan öka med 10–27 % om luftkonditioneringssystemet är aktiverat vid temperaturer kring 15–25°C och beroende på antal passagerare[31].

Energibehov i bussar

Energianvändning

Energianvändningen i en buss beror på ett flertal parametrar, och elbussar är bland de mest energieffektiva med en årlig genomsnittlig energianvändning på ca 1,4–1,6 kWh/km, inklusive uppvärmning och tilläggsystem. Det kan jämföras med siffrorna för dieselbussar (4,2 kWh/km) och biogasbussar (5,2 kWh/km).

Värme- och kylbehov

Då elbussar inte tillförs restvärme från en förbränningsmotor (som det fungerar i dieselbussar) krävs tilläggsvärmarsystem för att bibehålla inneklimatet i bussen. Oftast används någon form av dieselvärmare, då det inte påverkar elbussens räckvidd vid kallt klimat vilket ett eldrivet system kopplat till framdrivningsbatteriet gör. Andelen energi som behövs för uppvärmning varierar mellan 0–50% av den totala energin per km. Det årliga energibehovet för kylning är ca en tiondel av det som krävs för att värma kupén samma år.

2.5 Kravställning

För att underlätta kravställning vid upphandling har den svenska bussbranschen tagit fram branschgemensamma krav på bussar sedan år 2000. Den senaste versionen som togs fram inom Sverige är ”Buss 2014 Version 1.4”, som syftar till att utgöra en standard vid upphandlingar av busstrafik i Sverige utöver gällande lagstiftning. Istället för att ställa detaljkrav som kräver en specifik lösning ställs så kallade funktionskrav, där ett flertal olika lösningar kan uppfylla den kravställda funktionen. Funktionskraven i Buss 2014 täcker ett antal områden, bland annat trygghet och säkerhet, på- och avstigning, förarmiljö och övrig komfort. Däremot är kraven inte heltäckande, då det exempelvis inte inkluderas vissa typer av miljökrav för emissioner.[32]

Sedan augusti 2018 ersätts Buss 2014 av Bus Nordic 1.0, vilket är en standardiserad kravställning (likt Buss 2014) vilket tagits fram på nordisk nivå i samarbete med nordiska trafikhuvudmän, nationella kollektivtrafikorganisationer och huvudstadsregionerna. Bus Nordic 1.0 liknar i stort den tidigare standarden, och ska användas på samma sätt. Standarden är ett kontinuerligt arbete, och kommer fortsätta att utvecklas gemensamt i den nordiska partnersammansatta gruppen av representanter från deltagande huvudstäder och nationella branschorganisationer för kollektivtrafik.[33]

---

[30] Dietmar Göhlich and others, ‘Economic Assessment of Different Air-Conditioning and Heating Systems for Electric City Buses Based on Comprehensive Energetic Simulations’, *World Electric Vehicle Journal*, 7.3 (2015), 398–406.

[31] Boya Zhou and others, ‘Real-World Performance of Battery Electric Buses and Their Life-Cycle Benefits with Respect to Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions’, *Energy*, 96 (2016), 603–13 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.041>.

[32] Svensk kollektivtrafik and Sveriges Bussföretag, *Buss2014 – Branschgemensamma Funktionskrav På Bussar Version 1.4*, 2018.

[33] Bus Nordics Styrgrupp, *Bus Nordic – Gemensamma Nordiska Krav Vid Upphandling Av Bussar*, 2018.

”Partnersamverkan för en förbättrad kollektivtrafik”[34] har tagit fram ett branschgemensamt miljöprogram för att minska det svenska samhällets miljöpåverkan från transporter, främst genom ökad övergång till kollektivtrafik från privatbilstrafik[35]. I bilaga till miljöprogrammet finns dokumentet ”Miljökrav vid trafikupphandling – Buss”, som kan ställas gentemot trafikföretag där de får beskriva hur de planerar att uppfylla miljökraven för samtliga år avtalet avser. Exempelvis kravställs andelen fordon i fordonsflottan med utsläppsklass Euro VI, energianvändningen för varje bussklass samt avgasmätning. Det finns även kravställning gällande utsläpp från eventuella tilläggsvärmare.[36]

En branschomspännande standardiserad kravställning vid upphandling underlättar i flera avseenden, särskilt på nordisk nivå. En gemensam standard ökar möjligheten för att bussar kan flyttas mellan olika avtal inom och mellan de ingående länderna, samtidigt som det skapar bättre förutsättningar för att få igenom krav gentemot leverantörerna.

Elbuss med tilläggsladdning, Östersund. Foto: Hans Strömberg, Scania Sverige AB.

[34] ”Partnersamverkan för en förbättrad kollektivtrafik” är en samverkansarena för aktörerna inom kollektivtrafik i Sverige. De nationella branschorganisationerna som deltar i Partnerssamverkan är Svensk Kollektivtrafik, Sveriges Bussföretag, Svenska Taxiförbundet, Branschföreningen Tågoperatörerna, Sveriges Kommuner och Landsting samt Trafikverket och Jernhusen.

[35] ‘Branschgemensamt Miljöprogram’, 2018.

[36] Partnersamverkan för en förbättrad kollektivtrafik, *Miljökrav Vid Trafikupphandling – Buss* (Stockholm: Svensk Kollektivtrafik, Sveriges Bussföretag, 2013) <http://www.svenskkollektivtrafik.se/Global/fordubbling.se/dokument/NY-Avtalsprocessen/Miljökrav_buss_20131218sv.pdf>.

3 Laddinfrastruktur för elbussdrift

Val av laddinfrastruktur är i de flesta fall kopplat till valet av en särskild elbusstyp och -modell, detta då utformning av elbussar och den laddinfrastruktur de ska nyttja är starkt beroende av varandra. Laddning är en av de viktigaste aspekterna vid implementering av elbussar, inte bara ur ett tekniskt perspektiv. Krav på laddinfrastruktur och genomförbarhet påverkas i stor utsträckning av lokala förutsättningar[37]. Då laddinfrastruktur har lång livstid och höga investeringskostnader blir sådana investeringsbeslut dessutom en viktig strategisk fråga, särskilt med hänsyn till vem som blir ägaren.

För att etablera laddinfrastruktur bör följande två aspekter fastställas: (i) strategier för laddning; och (ii) tekniker som möjliggör laddning.

3.1 Laddstrategier

Beroende av lokala förutsättningar och krav kan olika strategier för laddinfrastruktur tillämpas. Exempelvis kräver en buss som är utrustad med ett litet batteri en mer frekvent laddning än en som är utrustad med ett stort batteri, och på så sätt skapas mer flexibilitet med ett stort batteri [38].

I huvudsak finns tre alternativ för hur laddinfrastruktur etableras, vilka är troliga att utvecklas och utnyttjas parallellt i framtiden[38]: (i) depåladdning (kallas även för långsam laddning eller nattladdning); (ii) tilläggsladdning (antingen vid ändhållplatser och terminaler eller vid hållplatser längs busslinjen, s.k. hållplatsladdning); och (iii) elvägssystem som inkluderar trådbussar och laddning under färd (eng. in-motion charging).

Depåladdning

Vid depåladdning laddas bussarna främst under natten på depån, därav krävs stora batterier, det vill säga hög kapacitet, för att täcka dess energibehov under drift. Denna typ av strategi innebär att elbussen kan användas mer flexibelt och det behövs inte någon infrastruktur i stadsmiljöer. Laddningen sker främst under natten då övrig elanvändning är låg.

Laddningen sker under en längre tid vilket ger en lägre effekt (40–150 kW8), men vid en storskalig implementering av elbussar kan det dock krävas att många fordon laddar samtidigt och på samma ställe/samma uttagspunkt. Det kan leda till en hög sammanlagrad laddeffekt och därmed ställa krav på det maximala eleffektuttaget som är tillåtet på depån[38]. Depåladdade bussar kan dock behöva en eller flera snabbladdare på depån i syfte att klara av att ladda snabbt vid situationer då extra bussar behövs eller för snabbt laddtillskott under dagen.

[37] Maria Xylia and Semida Silveira, 'The Role of Charging Technologies in Upscaling the Use of Electric Buses in Public Transport : Experiences from Demonstration Projects', 1–26.

[38] Energiforsk, *Snabbladdning Av Elbussar i Distributionsnät (2017:455)*, 2017.

Tilläggsladdning

Tilläggsladdning av elbussar kan ske antingen vid busslinjens ändhållplatser eller vid hållplatserna längs med busslinjen, men även på terminaler och depåer om det planeras så. Då laddstationer placeras vid ändhållplatserna för en busslinje kan batteristorleken, det vill säga batterikapaciteten, som krävs för bussarna minskas jämfört med den kapacitet som krävs vid depåladdning. Detta samtidigt som laddeffekten ökar betydligt (till 200–700 kW8). Emellertid förloras flexibilitet då bussarna enbart kan användas på linjer där sådan laddinfrastruktur är tillgänglig. I detta fall har laddningen även viss påverkan på bussens utnyttjande då den måste ha tid att ladda batterierna vid ändhållplatserna, utan att restiden påverkas. Flexibilitet är naturligtvis ett större problem i inledningen av denna marknad. Om tekniken blir en vanlig lösning skulle flexibilitetsproblem kunna minska.

Reglerplatsen, där bussen parkeras för att reglera tidtabellen efter att den släppt av passagerare, kan utgöra en möjlig laddningsplats då detta inte hindrar andra bussar från att släppa av passagerare vid den faktiska ändhållplatsen. Det finns risk att i fall då förseningar uppstår på linjen reduceras tid för laddning. Därav behövs noggrann omloppsplanering med hänsyn till det värsta fallet och förarkostnaders påverkan på de totala kostnaderna. På linjer med hög turtäthet kan det också vara nödvändigt med dubbla laddstationer så att två bussar kan ladda samtidigt.

Elvägssystem

Eltillförseln för framdrift av en elbuss kan också direkt överföras från en överliggande kontaktledning längs med busslinjen konduktivt med hjälp av strömavtagare eller induktivt (trådlös), antingen längs med hela busslinjen (trådbuss) eller längs med vissa sträckor av busslinjen (laddning under färd) vid vilka bussen laddar under drift för att under andra sträckor endast drivas av batteri.

Tanken med systemen som använder laddning under färd är att eliminera laddningstiden som en faktor för kollektivtrafiken, samtidigt som den begränsar mängden laddningskablar som behöver installeras och möjliggör en utökad räckvidd i och med batteridriften. För dessa bussar krävs en lägre batterikapacitet än ovan nämnda alternativ, men en storskalig utbyggnad av laddinfrastruktur krävs. Flexibilitet kring bussarnas utnyttjande minskar då dessa bussar endast kan utnyttjas på de linjer som kan tillhandahålla en välutbyggd laddinfrastruktur. Introduktion av induktiva lösningar vore ytterligare fördelaktig då blir visuell påverkan i stadsmiljön minimal. Vid laddning under färd behövs inte någon ytterligare stopptid, men för att undvika att behöva elektrifiera hela busslinjen kan laddeffekten behöva vara relativt hög även här[38].

Det bör noteras att oavsett av laddstrategin som väljs rekommenderas att bussarna laddas med lägre effekter på depån över natten för att balansera batteriet. Det är möjligt att enbart ha laddning med höga effekter (se Avsnitt 3.3) men dess påverkan på batteriets livslängd är inte ännu helt klart.

3.2 Laddtekniker

Laddning kan ske konduktivt genom laddning via plug-in, pantograf eller genom överliggande trådar (trådbuss och laddning under färd) eller trådlöst via induktion, vid hållplatser eller längs med busslinjen (se Tabell 3). Traditionell laddning med plug-in är i dagsläget den mest förekommande och minst kostsamma lösningen sett till laddsystem för elbussar[39]. Överliggande pantograf, som antingen är monterad på laddstolpen (inverterad pantograf) eller monterad ombord på bussen, växer i popularitet i nya elbussflottor i Europa och USA. Med denna teknik är snabbladdning av batterier det lämpligaste. Det är troligt att denna teknik främst kommer att användas av aktörer som överväger elbussar med mindre batterier.

Trådlös laddning är i dagsläget det dyraste alternativet och är inte en lika etablerad laddteknik jämfört med tekniker för konduktiv laddning. Stationär trådlös laddning är kommersiellt tillgängligt, men trådlös laddning under färd, som elvägar, är ännu i demonstrationsfas. I likhet med pantografladdning kan trådlös laddning tillhandahålla ett brett urval av laddeffekter, men det mest lämpliga är att denna typ av laddning används för tilläggsladdning[40].

De olika laddteknikernas fysiska utförande är även av betydelse för investeringens totalkostnad, det vill säga har påverkan på inköps- och installationskostnader, tillgänglighet för underhåll samt driftskompatibilitet med andra fordon (se Tabell 3 på sid 25).

3.3 Laddkoncept

Valet av laddstrategi är kopplat till valet av drivlinan såväl som batteristorlek och tillgänglig budget för infrastrukturinvesteringar[37]. I denna rapport används begreppet *laddkoncept* för att beskriva en helhetslösning som innefattar laddstrategi (en eller flera av typerna depåladdning, tilläggsladdning, laddning under färd) och laddteknik (en eller flera av typerna plug-in, pantograf, induktiv laddning) (se Tabell 4).

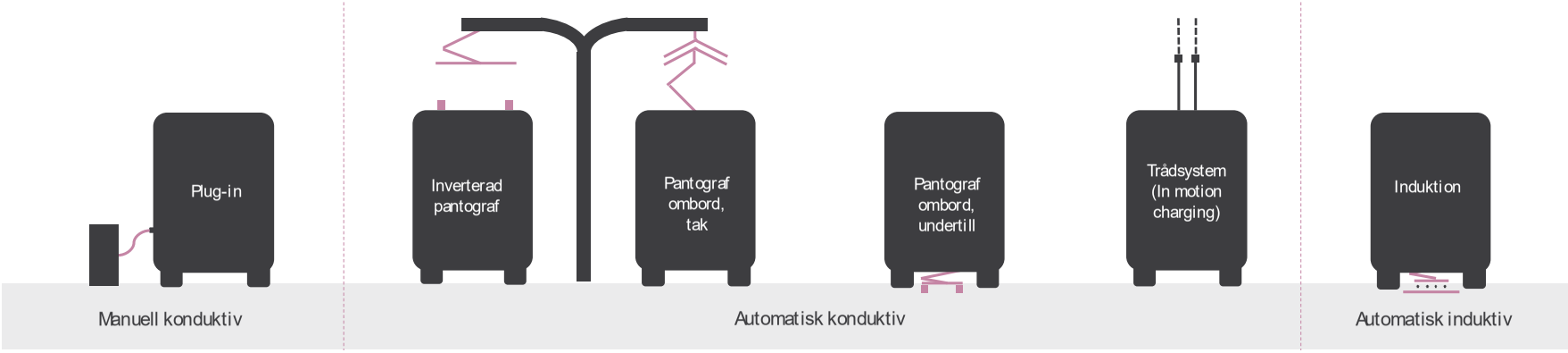
3.4 Depåns roll i elbussystemet

Vid depåladdning laddas ofta flera elbussar samtidigt vid samma laddningspunkt, vilket innebär att krav ställs på den kapacitet som elnätet ska tillhandahålla. Depåladdning ställer inte enbart krav på effektuttag utan även planering för fysiskt utrymme och omloppsplanering. Omloppsplaneringen är viktig då laddningstiden kan begränsas av tidtabellens krav på att fordonen är i drift. Ju större elbussflottan blir, desto mer kritisk blir laddkapaciteten vid depåer och/eller ändhållplatser. Därför är det viktigt att utreda huruvida elnätet kan upprätthålla ett ökande antal elbussar samt om det finns behov av utbyggnad av elnätskapaciteten eller ha ett energilager för att stötta tilläggsladdning. Av samma anledning är det fördelaktigt att undersöka möjligheter för laststyrning på depå i syfte att kapa effekttoppar.

[39] Bloomberg, 'Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2', 2018, 63 <https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1726_BNEF_C40_Electric_buses_in_cities_FINAL_APPROVED_%282%29.original.pdf?1523363881>.

[40] Bloomberg.

Tabell 3 Överblick över laddtekniker



Laddteknik	Typisk effekt (kW)	Installation	Fördelar	Nackdelar
Plug-in	30–150	Elskåp. Gemensam nätstation för depå. Inkoppling med kabel vid varje depåplats.	Mogen teknik Låg driftskostnad och lätt att installera. Lätt att använda vintertid.	Kräver manuell hantering. Extra arbetsmoment att ansluta laddkabeln i bussen, kan vara tungt.
Inverterad pantograf	300–700	Elskåp (LSP-anslutning) eller nätstation (HSP-anslutning). Stolpe/balk/portal antigen vid ändhållplatser/ terminal eller dedikerade laddplats i närhet till ändhållplats.	Förenklad busskonstruktion jämfört med pantograf ombord. Mindre batterier behövs. Tål höga effekter.	Ökar pris per laddstation jämfört med pantograf ombord. Synlig infrastruktur. Rörliga delar kräver underhåll.
Pantograf ombord			Förenklad konstruktion av laddstation jämfört med inverterad pantograf. Minskar kostnader för nätverket av laddstationer.	Större krav på positioneringsnoggrannhet. Mer krävande sett till drift och underhåll. Större utmaning än inverterad pantograf vid snöväder. Synlig infrastruktur.
Induktion	200	Elskåp (LSP-anslutning) eller nätstation (HSP-anslutning) Laddningsplatta under marken	Mindre synlig infrastruktur. Färre rörliga delar.	Omogen teknik. Luftgapet mellan bussen och laddnings-plattan orsakar överföringsförluster. Större krav på positioneringsnoggrannhet
Elväg	Tråd: 50–60 Laddning under färd: upp till 150	Längs med busslinjen behövs anslutnings-punkter med elskåp	Mogen teknik. Betydligt billigare alternativ till spårvagnar och liknande kollektivtrafik. Mindre batterier alternativt inga batterier behövs i bussarna. Moget teknikkoncept.	Synlig infrastruktur. Visuell påverkan i stadsmiljö. Minskad flexibilitet i linjedragning.

Varje depå har en abonnerad effekt, det vill säga den effekt som kan tillhandahållas baserat på depåns elnätsabonnemang. Den abonnerade effekten kan dock vara skild från depåns säkringsstorlek, det vill säga den effekt som är praktiskt möjlig att ta ut i varje tidpunkt. Om depån är försedd med biogasinfrastruktur är det troligt att depån har ett effektabonnemang med en högre abonnerad effekt än om sådan infrastruktur inte är etablerad.

Gällande depåer krävs att ett utredningsarbete genomförs i tidigt skede för att säkerställa att tillräckligt effektuttag kan tillhandahållas. Kostnader för depåanpassning innefattar bland annat kostnader för nyanslutningar till elnätet, ny utrustning samt väderskydd för såväl laddinfrastruktur som elbussar som står utomhus på ramp. Om bussarna står inomhus kan motsvarande anpassningar behöva göras. Därav bör anpassningar av depån till förmån för laddinfrastruktur och elbussar harmoniseras med planerade utökningar av depåkapacitet, så att dessa kostnader sammanfaller.

3.5 Laddsystemets tillförlitlighet och utförande

Hantering av ett ökande antal elbussar som behöver laddning ställer krav på laddsystemets tillförlitlighet. Då kollektivtrafiksystemet ställer krav på både framkomlighet och pålitlighet finns risker med elbussladdning som bör undvikas, såsom[41]:

- Bussförseningar på grund av upptagna laddare
- Bussförseningar på grund av laddare eller gränssnitt som är ur funktion

För att förebygga uppkomsten av sådana risker kan följande övervägas:

- Kan de fordon som väntar på att laddas prioriteras baserat på avgångstider eller hur urladdade dess batterier är?
- Hur skalbart är det tilltänkta laddsystemet? Finns det möjlighet att på ett enkelt sätt öka kapaciteten då elbussflottan ökar?
- Kan kapacitet i elnätet säkerställas genom exempelvis nätinvesteringar eller stationära energilager?
- Kan systemet planeras så att redundans finns, det vill säga införa en N+1-princip (så att trafiken kan fortsätta längs med en linje i händelse att en laddare inte fungerar under linjeträckningen).

Gällande laddutrustningens estetik är denna särskilt viktig då laddutrustning är placerad längs med busslinjen eller vid ändhållplatser. I vissa fall kan det krävas att utrustningen måste passa in i stadens utformning ur ett arkitekturperspektiv.

[41] Mikko Pihlatie, Marko Paakkinen, and Joel Anttila, 'Electric Buses and Recharging Systems' (VTT, 2017).

Lokala förutsättningar avgör lämplig laddinfrastruktur

Vid utformning av laddinfrastruktur bör följande aspekter övervägas:

- Tillgänglig elnätskapacitet kan avgöra var laddinfrastrukturen ska placeras.
- De krav som ställs av berörda intressenter som t.ex. kommun och bussoperatör bör vägas mot kapacitet, tidsplanering och val av busslinjer.
- Utnyttjandegrad av laddinfrastruktur bör vara så hög som möjligt, t.ex. kan detta påverkas genom att placering av en laddare möjliggör laddning av flera bussar eller flera busslinjer.
- Rumsligt utrymme för större fordon där laddinfrastrukturen är tänkt att etableras.

Lokalisering av laddstationer kan jämna ut effektuttag samt skapa förutsättningar för en växande elbussflotta

- Distribuerade, mindre depåer kan minska sträckor med tomkörning till depå samt minska höga effektuttag.
- Möjlighet att sprida ut laddningstillfällen rumsligt och tidsmässigt krävs för att skapa förutsättningar för ett ökande antal elbussar.

Att ta hänsyn till vid kravställning:

- Strömavtagarens riktning vid nyttjande av pantograf (upp- eller nedgående).
- Strömavtagarens placering vid nyttjande av plug-in-teknik (fordonets främre eller bakre del).
- Möjlighet till olika kombinationer mellan depå- och tilläggsladdning.
- Livscykelkostnader.
- Räckvidd.
- Tillförlitlighet (riskfördelning).
- Underhållsansvar.
- Utbyte av batteri med vissa intervall och även batterigarantier eller leasing/hyra.

Tabell 4 Överblick över etablerade laddkoncept (Källa: justerat från Bloomberg (2018))

Laddkoncept	Kostnad, infrastruktur	Krav på batterier	Krav på elnät	Systemkostnad	Utvecklingstrend
Långsamladdning med plug-in på depå	**Låg**: Laddinfrastruktur krävs endast på depåer. Varje buss behöver en egen laddare. I det fall där extra bussar behövs, krävs även mer utrymme på depån (risk för utrymmesbrist).	**Hög**: Kräver relativt stora batterier för att klara sina omlopp, vilket innebär högre batterikostnader.	**Medel/hög**: Risk för lokala problem om alla bussar laddar samtidigt på depån. Bussarna klarar sannolikt inte heldagsdrift på en laddning vilket ställer krav på att kunna ladda även dagtid.	**Medel**: Batteripriser är i dagsläget den avgörande komponenten. Nattladdning kan ge betydande elkostnadsbesparingar.	Ett populärt alternativ i dagsläget. Tomkörning från depå bör undvikas, därför blir en effektiv depåplacering prioritet. Stora batterier innebär högre vikt som leder till högre energianvändning per km och i vissa fall något mindre passagerarkapacitet.
Långsamladdning med plug-in på depå och tilläggsladdning vid ändhållplats	**Medel**: Två typer av laddare krävs, och på två platser.	**Medel**: Bussarna kan fylla på batterierna vid ändhållplatserna relativt snabbt, så att de kan ha mindre batterier. Batterikostnader minskar.	**Medel/hög**: Höga effekttoppar undviks på depån under dagtid tack vare tilläggsladdning, däremot skapas effekttoppar lokalt vid ändhållplats.	**Medel**: Den högre kostnaden för tilläggsladdinfrastrukturen skulle kunna balanseras mot kostnadsbesparingarna tack vare ett mindre batteri. Justeringar av tidtabeller kan behövas. Regleringstiden vid ändhållplats kan möjligtvis användas för laddning.	Ett populärt alternativt i dagsläget. Problem kring parkeringsutrymme vid ändhållplatser kan uppstå. Om antalet bussar som krävs för linjen är konstant under dagen, kan en reservbuss ersätta den buss som laddar.
Plug-in vid depå och tilläggsladdning längs med busslinjen	**Hög**: System för tilläggsladdning är i dagsläget kostsamma. Pantografsystem har lägre kostnad än induktiva system.	**Medel**: Då bussar kan fylla på batterierna vid busshållplatser kan de ha mindre batterier. Batterikostnader minskar.	**Hög**: Högt effektbehov i delar av nätet där det redan råder potentiellt effektbrist.	**Medel**: Laddinfrastrukturen är kostsam. Stationära installationer för tilläggsladdning är främst avsedda för en särskild linjesträckning, vilket begränsar systemets flexibilitet.	Ekonomiska fördelar ökar med ökat antal elbussar i flottan, då fler fordon som nyttjar systemet reducerar kostnaden för laddning per fordonskilometer.
Enbart tilläggsladdning	**Hög**: System för tilläggsladdning är i dagsläget kostsamma. Pantografsystem har lägre kostnad än induktiva system.	**Låg**: Det finns inte behov av stora batteripack då bussarna laddar längs med busslinjen vilket minskar batterikostnader.	**Hög**: Högt effektbehov i delar av nätet där det redan råder potentiellt effektbrist.	**Hög**: Laddinfrastrukturen är kostsam. Stationära installationer för tilläggsladdning är främst avsedda för en särskild linjesträckning, vilket begränsar systemets flexibilitet. I detta fall behövs även flera tilläggsladdare på depå, vilket ökar systemkostnaden. Enbart tilläggsladdning kan påverka batteriets livslängd.	Ekonomiska fördelar ökar med ökat antal elbussar i flottan, då fler fordon som nyttjar systemet reducerar kostnaden för laddning per fordonskilometer och per buss.

4 Batterier

I dagsläget används främst litiumjonbatterier (Li-jon-batterier) till fordonsdrift. Fördelarna med Li-jonbatterier innefattar möjligheter till drift inom ett brett temperaturintervall, relativt lång livslängd samt förhållandevis god säkerhet och energitäthet. Dessa faktorer har vidare lett till dess kommersiella mognad inom småelektronik och genombrott i fordonsapplikationer. Däremot är kostnaden för dessa batterier, samt lägre energitäthet i jämförelse med de traditionella drivmedlen, utmaningar som teknikutvecklingen bör åtgärda för att etablera teknikerna på marknaden.

Vilken typ av Li-jonbatteri som avses i ett visst sammanhang definieras oftast baserat på vilken batterikemi som utgör dess aktiva material. Då var och en av batterikemierna innebär avvägningar av olika egenskaper använder busstillverkare olika batterikemier beroende på systemet där elbussen ska användas. Li-jonbatterier uppnår relativt höga verkningsgrader men det finns skillnader beroende på vilken batterikemi som avses. Det bör emellertid noteras att teoretiska verkningsgrader skiljer sig från de verkliga.

Den viktigaste avvägningen är mellan effekt och energi; batterierna kan antingen optimeras för att tillhandahålla ett högt effektuttag, eller för att lagra en stor energimängd – dock inte bådadera. Vid val av bussar med längre räckvidd och få laddningstillfällen under lägre effekt (t.ex. depåladdade bussar) används energioptimerade batterier, medan elbussar med kortare räckvidd som snabbladdas ofta behöver effektoptimerade batterier som har högre tolerans sett till höga laddeffekter. Vanligt förekommande batterikemier i elbussar är NMC[42], LFP[43], NCA[44] och LTO[45].

Livslängd

Ett batteris livslängd definieras av degraderingen av dess kapacitet. Detta innebär batteriets specifika energi- och energilagringskapacitet minskar över tid, vilket minskar fordonets räckvidd. Tidigare studier framhåller att ett batteribyte behövs var femte till var sjunde år[46]. Vidare antas att ett batteri i fordonsapplikationer behöver bytas ut då kapaciteten har nått 70–80 % av dess ursprungliga kapacitet[47]. Uppskattningen av batterilivslängden är dock osäker eftersom det ännu inte finns så många elbussar som har varit i drift under längre tid. Erfarenheter från andra svenska städer och internationellt bör bevakas för att kontinuerligt uppdatera kunskapen kring detta. Inom EU-projektet ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System) testades flera elbussar med olika batterier,

[42] NMC (eng. Lithium manganese cobalt oxide)

[43] LFP (eng. Lithium iron phosphate)

[44] NCA (eng. Lithium nickel cobalt aluminum oxide)

[45] LTO (eng. Lithium titanate)

[46] Kjeld Norregaard, Bjarne Johnsen, and Christian Hedegaard Gravesen, *Battery Degradation in Electric Buses* (Aarhus, 2016); Maria Xylia, Sylvain Leduc, Achille-b Laurent, and others, 'Impact of Bus Electrification on Carbon Emissions: The Case of Stockholm', *Journal of Cleaner Production*, 1990 (2018), 1–21 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.085>.

[47] Samveg Saxena and others, 'Quantifying EV Battery End-of-Life through Analysis of Travel Needs with Vehicle Powertrain Models', *Journal of Power Sources*, 282 (2015), 265–76 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.01.072>.

varav de flesta hade en medföljande batterigaranti om 5 år[8]. Batterihyra (leasing) är en intressant lösning i detta sammanhang som skulle underlätta processerna för batteribyte och efterföljande hantering av batterier som bör återvinnas eller återanvändas.

Batterier degraderas dessutom oavsett hur batteriet används under dess livslängd, då de även påverkas av dess omgivande temperatur vid laddning och under drift. Därför är det avgörande för batteriets hälsa och funktion att ha ett batteriledningssystem (eng. Battery Management System, BMS) som kan kyla ner batteriet. BMS beskrivs närmare i Avsnitt 5.1. Batteriets kapacitet minskas även vid varje laddcykel. Ju djupare batteriet laddas desto mer reduceras dess kapacitet. Ju kortare tid det tar för ett batteri att laddas och laddas ur i förhållande till hur stor ström batteriet kan hantera[48] desto mer degraderar dess kapacitet per laddcykel.

Prestanda vid kall väderlek

Vid låga temperaturer påverkas Li-jonbattericellers prestanda, då de låga temperaturerna saktar ned de kemiska reaktionerna inuti cellen vilket resulterar i att battericellens energi- och effektkapacitet reduceras[49]. I en elbussapplikation behöver emellertid inte påverkan från de låga temperaturerna bli lika framträdande som vid tester av enskilda batterier. Detta då battericellerna påverkas av dess *omgivande temperatur*, vilket i en elbuss-applikation inte är densamma som utomhustemperaturen. I en elbuss bevakas batterisystemet så att det har en högre omgivande temperatur jämfört med utomhustemperaturen vid kall väderlek.

I de fall då batterier utsätts för låga temperaturer minskar dess prestanda vid laddning. Under laddning orsakar cellernas inre resistans en liten temperaturhöjning som kompenserar för en del av kylan, men den inre resistansen i batterier ökar betydligt vid låga omgivande temperaturer och därmed förlängs laddningstiden.

4.1 Teknik- och kostnadsutveckling

Utvecklingen av batteriteknik sker kontinuerligt och Li-jonbatterier kan komma att ersättas av nya tekniker med högre prestanda (t.ex. sett till energitäthet eller livslängd) och/eller lägre kostnader. Det är emellertid inte uppenbart vilken teknik som kommer vara dess ersättare, eller när i tiden detta kommer att ske. Tidigare Sweco-analyser[50] visar att Li-jon batterier sannolikt kommer vara det mest fördelaktiga alternativet minst till år 2025 och möjligtvis även till 2030. Ytterligare indikeras att kostnaderna för batterier per kWh minskar och dessa uppskattas att halveras till år 2025. Det rekommenderas att batterikostnader beräknas separat från fordonskostnaderna för att kunna ta hänsyn till den batteristorlek och den batterikemi som används.

[48] Tiden det tar för ett batteri att laddas och laddas ur i förhållande till hur stor ström det kan hantera är även kallat ”C-rate”.

[49] J. Jaguemont, L. Boulon, and Y. Dubé, ‘A Comprehensive Review of Lithium-Ion Batteries Used in Hybrid and Electric Vehicles at Cold Temperatures’, *Applied Energy*, 164 (2016), 99–114 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.034>.

[50] Sweco-analyser inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik.

Val av batterikemi

Den Li-jon batterikemi som rekommenderas för depåladdade bussar är antigen NMC eller NCA, pga. deras hög energitäthet. De batterikemier som rekommenderas till tilläggsladdade elbussar är LTO eller LFP, eftersom de har längre cykellivslängd och kan vara effektoptimerade, och därmed klarar laddning under högre effekter.

Batteristorlekar i framtiden

Vi högre framtida energitäthet finns det två alternativ för att behandla batteridimensionering: antingen (i) ökas batterikapaciteten och samma batterivikt bibehålls; eller så (ii) bibehålls kapaciteten medan vikten minskas. Det första alternativet innebär längre räckvidd medan det andra alternativet innebär lägre energianvändning pga. lägre total bussvikt.

Livslängd

Kalenderåldring sker oavsett hur batteriet används, medan cykelåldring beror av huruvida batteriet används i linje med tillverkarens specifikationer. De flesta tillverkare erbjuder batterigarantier, oftast om 5 år.

Prestanda vid kall väderlek

I det fall då batterier utsätts för låga temperaturer minskar dess prestanda vid laddning. I fallet där eluppvärmning används minskas den faktiska räckvidden då värmesystemet använder energi från batteriet vilket gör att batteriet bör dimensioneras med hänsyn till detta.

Miljöpåverkan

Beroende av vilken batterikemi som väljs, ges olika höga växthusgasutsläpp och andra faktorer som påverkar miljön, detta då utvinningen av de olika materialen som används i batteriet har påverkan på miljön. Mer information om batteriers miljöpåverkan presenteras i kapitel 6.

4.2 Standarder för laddinfrastruktur och batterier

För att underlätta en övergång till elbussar bör kompatibilitet mellan parallella och/eller konkurrerande tekniska lösningar möjliggöras. Ur ett effektivitetsperspektiv bör det vara möjligt att så många fordon som möjligt ska kunna använda samma laddutrustning och/eller laddstation. Om olika leverantörer efterföljer standardiserade tekniker, skapas valfrihet för städer och bussoperatörer[51]. Den internationella organisationen för kollektivtrafik, UITP (Union Internationale des Transports Publics) erkänner behovet av att standardisera elbussystem och -gränssnitt; detta för att underlätta upphandlingar, möjliggöra kostnadsbesparingar, öka andrahandsvärdet av fordon samt möjliggöra att laddinfrastruktur delas av fler fordonstyper[52]. Standardisering av laddinfrastruktur för elbussar kan även inspirera till förtroende för tekniken och uppmuntra ett snabbare och mer utbrett införande av ett sådant system. Sammanfattningsvis följs standardiserade tekniker av två betydande fördelar; de

- tillhandahåller ett grundläggande ramverk vilket olika organisationer, tillverkare eller kunder kan referera till när de jämför produkter eller lösningar, och
- utgör en grund till kompatibilitet och utbytbarhet av produkter.

I dagsläget finns inte några officiella standarder för laddinfrastruktur för elbussar, men det pågår ett utvecklingsarbete såväl internationellt som inom EU.

[51] ACEA, *Charging of Electric Buses ACEA Recommendations*, 2017.

[52] Yannick Bousse, 'Electric Buses and To Pt & Sustainable Urban Mobility', 2018.

El-ledbuss i Göteborg. @Volvo Bus Corporation. All rights reserved.

Nuvarande rekommendationer

Organisationen ACEA[53] (European Automobile Manufacturers Association) har utfärdat en rekommendation för laddning av elbussar[51]. För depåladdning rekommenderas CCS (Combined Charging System) med en plug-inkontakt av typen Combo 2; och för tilläggsladdning rekommenderas att kontaktskenor placeras på fordonets tak över den främre axeln, att pantografen kommer ner från en överliggande laddningsmast (inverterad pantograf) samt att kommunikation mellan fordonet och laddmasten sker genom wifi-protokoll. ACEA rekommenderar dessa tekniker, men exkluderar inte användandet av andra lösningar för laddning av elbussar. Vidare understryks av ACEA att tillkommande rekommendationer kring detta bör ta hänsyn till att internationella standarder för närvarande är under utveckling.

OppCharge, som står för opportunity charging (sv. tilläggsladdning), är en privatutvecklad standard för automatiserad konduktiv laddning av elbussar och andra tunga fordon. OppCharge uppfyller samtliga ACEA:s rekommendationer kring tilläggsladdning och flera aktörer i branschen är eniga om att denna standard bör användas. Vidare avser OppCharge att överbrygga till pågående arbete kring internationella standarder.

Standarder för elbussladdning under utveckling

EU-kommissionen har utfärdat ett mandat där utskottet för elektroteknisk standardisering CEN/CENELEC ombeds att rekommendera en standard för laddning av elektriska kommersiella fordon före utgången av 2019. Syftet med standardiseringsarbetet är att utveckla standarder för konduktiv och trådlös laddning av elbussar samt elbusskontakter och -uttag. Standardiseringsarbetet inom EU inkluderar även UITP som i samarbete med

[53] ACEA representerar 15 Europabaserade bil-, van-, lastbil- och busstillverkare: BMW Group, DAF Trucks, Daimler, Fiat Chrysler Automobiles, Ford of Europe, Hyundai Motor Europe, Iveco, Jaguar Land Rover, Opel Group, PSA Group, Renault Group, Toyota Motor Europe, Volkswagen Group, Volvo Cars, och Volvo Group.

VDV[54] och EU-projektet ZeEUS har tagit fram dokument som beskriver användningsfall och krav vid tilläggsladdning respektive depåladdning. Dessa dokument syftar till att beskriva operatörernas aktiviteter och behov, och utformades för att utgöra input till CEN/CELELEC.

Inom arbetet identifieras huvudstandarder som berörs av standardiseringen av laddsystem för elbussar – detta för att skapa en ideal färdplan för standarduppdateringar och -utveckling. Vidare inkluderas fyra tekniker för konduktiv laddning: (i) plug-in (manuell); (ii) inverterad pantograf (automatisk); (iii) pantograf ombord/på tak (automatisk); och (iv) pantograf på fordonets undersida (automatisk). Induktiv laddning är i sammanhanget en omogen teknik[55], vilket även innebär att det inte finns någon etablerad teknik eller rekommendation.

Standardisering av batterier

Elfordonsindustrin växer och många företag har målsättningen att utveckla avancerade batterisystem som uppfyller transportsektorns behov sett till effektnivåer, energitäthet, tillförlitlighet och säkerhet. De tester som specificeras i befintliga batteristandarder specificerar även i vilken skala batteriet testas, exempelvis kan en batteristandard vara på cellnivå, modulnivå, packnivå eller omfatta ett helt batterisystem. Ett test kan vidare klassas som ett prestandatest eller ett säkerhetstest.[56]

För att testa ett batteris prestanda i ett elfordon testas dess elektriska beteende under normala driftsförhållanden för fordonet. Sådana tester kan antingen vara sådana som är omfattande nog att karaktärisera nytillverkade celler och batterier, eller livslängdstester, vilka mäter specifika parametrar (t.ex. batterikapacitet) under olika tidsperioder i syfte att förstå hur batteriets prestanda försämras i förhållande till denna parameter (t.ex. kapacitetsförlust eller förändringar i hur mycket energi batteriet kan lagra).[56]

Säkerhetstester är ofta destruktiva test vilka ger insikt kring hur batteriet påverkas av olika typer av fel som provoceras antingen internt eller externt. Baserat på testernas fysiska egenskaper klassas säkerhetstester vanligtvis enligt: elektriska, mekaniska och termiska tester.[56]

Standardisering av samtliga laddtekniker skapar fler möjligheter för elektrifiering

OppCharge används som en standard av flera aktörer, men är begränsad till att enbart omfatta tilläggsladdning med inverterad pantograf. För att möjliggöra att implementering av laddinfrastruktur kan ske i städer med olika lokala förutsättningar finns ett behov av att samtliga laddtekniker standardiseras.

Standardiseringsarbetet inom EU ska slutföras år 2019. Detta kommer att inkludera fyra tekniker för konduktiv laddning: (i) plug-in (manuell); (ii) inverterad pantograf (automatisk); (iii) pantograf ombord/på tak (automatisk); och (iv) pantograf på fordonets undersida (automatisk).

[54] Verband Deutcher Verkehrsunternehmenden (VDV) är en intresseorganisation och en standardorganisation för de tyska transportföretagen.

[55] Bloomberg.

[56] E Cabrera Castillo, *Standards for Electric Vehicle Batteries and Associated Testin Procedures*, 2015.

5 Säkerhet

5.1 Säkerhetskriterier och säkerhetssystem

En ny fordonsmodell som lanseras inom fordonsindustrin ska uppfylla säkerhetskriterier vilka är definierade av globala lagkrav. Detta för att garantera att fordonet, oavsett om ett konventionellt fordon eller ett elfordon avses, är lämpligt att ta i drift ur trafiksäkerhetsperspektiv. Säkerheten verifieras genom tydligt reglerade krock- och säkerhetstest, där såväl komplett fordon som kritiska komponenter som exempelvis framdrivningsbatterier testas[57].

Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) menar att det är omöjligt att bedöma sannolikheten och risken för att mekaniskt våld orsakar deformering av ett elfordon så att exempelvis brand uppstår[58]. MSB framhåller att ”*antalet nivåer och typer av kollisionsvåld som kan leda till skador på fordonets inre delar kan sägas vara lika många som antalet olika fordon och fordonsmodeller*”. Fordonstillverkare bör garantera att batteriet är väl skyddat och att elfordonet är minst lika säkert som ett konventionellt fordon.

Etablerade fordonstillverkare avser att såväl vanliga fordon som elfordon levereras utifrån likvärdiga säkerhetsstandarder samt menar att säkerhetssystem i serietillverkade fordon gör fordonen mycket säkra[59]. Elfordonet utmärker sig med dess framdrivningsbatteri och eldrivlina, där den lagrade energin frigörs under drift vid högre spänningsnivåer än fordonsbatterier använda i konventionella fordon. I syfte att anpassa den nya batteritekniken har elfordonstillverkare introducerat flera nya integrerade säkerhetssystem som kan agera i förebyggande syfte och sänka potentiella risknivåer.

Det säkerhetssystem som inkluderas i ett batteripack är ett så kallat batteriledningssystem (BMS). Ett BMS är den huvudsakliga säkerhetsfunktionen i ett elfordons batterisystem, efter battericellernas egna säkerhetsfunktioner. Målet med BMS är att: (i) öka säkerheten och tillförlitligheten hos batterisystemet; (ii) skydda individuella celler och batterisystemet från att skadas; (iii) förbättra effektiviteten hos batteriets energianvändning; samt (iv) förlänga batteriets livstid.

Den huvudsakliga uppgiften för elfordonets BMS är att säkerställa en tillförlitlig och säker drift av batteriet så att dess energi används på ett optimalt sätt vid fordonsdrift samt att förebygga risken för batteriskador. Termen BMS syftar generellt till ett system som skyddar och hanterar övervakning och styrning av battericellerna.

---

[57] David White, ‘Safety and Preventing Thermal Run Away in Large Li-Ion Batteries’, *Battery Power*, 2011 <http://www.batterypoweronline.com/markets/testingservices/safety-and-preventing-thermal-run-away-in-large-li-ion-batteries/>.

[58] MSB, ‘Fragor Och Svar Om Raddningsarbete Och E-Fordon’, 2018 <https://www.msb.se/sv/Insats--beredskap/Brand--raddning/Trafikolycka/Raddning-e-fordon/Fragor-och-svar-om-raddning-sarbete-och-e-fordon/> [accessed 10 October 2018].

[59] David Sturk and Lars Hoffmann, *E-Fordons Potentiella Riskfaktorer Vid Trafikskadehändelse e-Fordons Potentiella Riskfaktorer Vid Trafikskadehändelse* (Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2013).

I händelse av att våld, statiskt eller dynamiskt, skadar batteriet finns risk att kortslutning och eventuellt att en intern ljusbåge kan uppstå, vilken snabbt kan skada batteriet och även orsaka brand. Elfordonets BMS ämnar således minimera risken för att ljusbågar uppstår. MSB konstaterar att olycksstatistik visar att fordonsbrand utan föregående kollision kan ske i såväl konventionella fordon som elfordon. I elfordon kan sådan brand orsakas av elfel; i värsta fall kan dessa fel orsaka upphettning av batteriet som är svår att kontrollera. I ett sådant skede riskerar batteriet att drivas in i ett tillstånd där dess aktiva material bryts ned genom en kedjereaktion, så kallad termisk propagering (se avsnitt 5.2). För att säkerställa att detta inte sker varnar elfordonets BMS för sådan upphettning och kan stänga av batteriet så att upphettningen från elfelet kan elimineras. Om en extern brandkälla riskerar orsaka en fordonsbrand kan säkerhetssystemet vidta en liknande åtgärd.

5.2 Batterihaveri

Termisk propagering

Då Li-jonbatterier utsätts för ovanligt hög värme, internt eller externt, kan deras battericeller drabbas av termisk propagering (eng. thermal runway). Detta tillstånd föranleds av höga temperaturer vid vilka det sker en komplex kombination av kemiska reaktioner inuti battericellen som genererar ytterligare värme. Denna kedjereaktion gör att värmen intensifieras tills battericellen inte längre innehåller några reaktiva medel. Temperaturer om 200–250°C kan driva in batteriet i termisk propagering vilket vidare innebär risk för antändning. I fall då termisk propagering resulterar i antändning förbränns organiska material. De organiska materialens förbränningsenergi står vidare för majoriteten av den värme som alstras. Olika batterikemier kan ha olika hög risk för termisk propagering, men att modifiera en batterikemi till förmån för motståndskraft mot termisk propagering är emellertid en avvägning mot andra parametrar vilket innebär att sådana batterikemier har lägre cellkapacitet och/eller högre kostnad.

Gaser som frigörs vid brand

Generellt gäller att brandrökgaser, oavsett typ, alltid är giftiga. Då ett konventionellt fordon brinner och dess plaster förbränns bildas giftiga gaser som kolmonoxid och vätefluorid. Vid brand i ett elfordon genereras liknande gaser som vid brand i ett konventionellt fordon, med skillnaden att framdrivningsbatteriet kan bidra till branden och gaserna. Det krävs emellertid mer kunskap kring huruvida en konventionell bilbrand redan orsakar så mycket giftiga gaser att tillskottet av gaser från ett brinnande framdrivningsbatteri inte är betydelsefullt, eller motsatsen.

Elfordon i vatten

Elfordon kan vid trafikolyckor riskera att hamna i vatten. I syfte att undersöka risker för räddningstjänst att exempelvis dyka ner eller vada till ett elfordon som hamnat i ett vattendrag har prov genomförts med vattendränkning av Li-jonbatterier i färskvatten respektive saltvatten med 3 % salthalt. Baserat på dessa konstateras att det ur ett elsäkerhets- och tekniskt perspektiv är ofarligt att vada eller dyka till ett elfordon, vars batteri är vatten-

begjutet, för att göra en livräddande insats[60]. Aktiviteten i batteriet ökar emellertid ju högre vattnets salthalt är. När ett elfordon hamnar i vatten med tillräckligt hög salthalt kan gaser som vanligen klassas som farliga produceras. Vid prov av vattendränkning av ett batteri i 3 % salthalt sker en stor värmeutveckling och vid battericellernas poler bildas klorgas och vätgas. Av dessa ämnen bildas ett antal olika produkter, men det mesta försvinner ut i atmosfären. Det är emellertid viktigt att känna till att gaser av klor eller klorväteföreningar kan ansamlas i fordonets luftfickor.

Riskhantering av brand hos elfordon

Att introducera en ny teknik innebär att nya risker uppstår. Att helt eliminera dessa risker är dock inte möjligt, inte ens för de etablerade teknikerna. Det är snarare avgörande att i ett tidigt skede skapa förståelse kring möjliga risker och sedan skapa rutiner för hantering av dessa risker. Det är viktigt att minska sannolikheten att en cell felar, och i händelse att ett sådant fel uppstår bör konsekvenserna begränsas i så stor utsträckning som möjligt. Detta kan säkerställas genom exempelvis tidig varningsdetektering, tidig hantering av följdföreteelser såsom frigöring av gaser, preventiv design på cell- och packnivå som begränsar sannolikheten för termisk propagering samt att fordonet har ett välintegrerat batterisystem. Då antalet elfordon i drift är relativt lågt, finns ännu inte några robusta statistiska analyser av olyckor och händelser, vilket innebär att övergripande slutsatser inte kan dras när det gäller säkerhet för elfordon i jämförelse med andra fordonstyper. Det finns vissa indikationer på att elfordon är mindre utsatta för brandolyckor än fordon med förbränningsmotorer [61].

5.3 Strömavbrott

Beroende på omfattning och längd av ett strömavbrott har detta olika påverkan på ett elbussystem. Kortare avbrott om cirka en timme skulle troligtvis inte vara kritiska då bussarnas batterier tillhandahåller en buffert i termer av att alla bussarna inte kommer att ha tomt batteri vid tidpunkten då strömavbrottet sker och på så sätt inte heller behöva ladda samtidigt. Om avbrottet däremot pågår i flera timmar, kan det bli ett större problem för trafikföretagen då bussarnas batterier laddas ur utan möjlighet till laddning. Det rekommenderas därav att utreda vilka möjliga strategier som finns kring alternativ laddning vid lokala strömavbrott, så som att exempelvis utnyttja eventuella närliggande tilläggsladdare eller depåer. Lokala förutsättningar och busstyper avgör vilka möjligheter som tillåts.

Att ha tillgång till reservkraft och batterilagring kan vara ett alternativ till att ladda vid andra depåer eller tilläggsladdare. Både mobila och stationära reservaggregat kan användas vid strömavbrott. Tillgång till reservkraft innebär dock en extra investerings- och underhållskostnad vilken måste bedömas i förhållande till tillgängligheten till el. Exempelvis kan ett alternativ vara att ha mobila reservaggregat som i händelse av ett

[60] Lars Hoffmann, *Vattenbegjutning Av 400 Volt Traktionsbatteri i Färskvatten Och Saltvatten* (Borås, 2013).

[61] Fredrik Larsson, Petra Andersson, and Bengt-Erik Mellander, 'Are Electric Vehicles Safer than Combustion Engines?', in *Systems Perspectives on Electromobility*, ed. by B. Sandén and K. Pettersson (Göteborg: Chalmers University of Technology, 2017) <https://doi.org/10.1063/1.4861115>.

långvarigt strömavbrott kan transporteras ut till drabbade depåer. Batterilagring vore en utmärkt möjlighet för återanvändning av batterier som kan inte längre användas till elbussar.

Säkerhetsaspekter att beakta:

- **Samarbete och rutiner**
- Samarbete mellan trafikbeställaren, trafikföretagen och räddningstjänsten bör etableras för att skapa rutiner i händelse av haveri när bussen är i trafik eller är parkerad i depå. Realtidsövervakning, regelbundet underhåll som genomförs av utbildad personal samt standardisering av säkerhetsrutiner är viktigt i detta sammanhang. Internationellt samarbete skulle kunna underlätta införande av standarder som behövs samt erfarenhetsutbyte.
- **Utbildning**
- Trafikoperatörer, inklusive bussförare samt räddningspersonal bör utbildas om risker och säkerhetsrutiner.
- **Garantier**
- Generellt erbjuder busstillverkare olika garantier för säker drift under en viss livslängd.

6 Miljömässiga och sociala aspekter

6.1 El och bränslen

För att uppnå förnybar kollektivtrafik med minimala emissioner är det möjligt att ladda elbussar med förnybar el, det vill säga el som är producerad från sol, vind-, vattenkraft och/eller andra förnybara energikällor[62]. Det finns ett antal olika verifikationer på att den el som handlas är förnybar[63]:

- **Ursprungsgarantier:** Denna garanti är ett elektroniskt certifikat som utfärdas av Energimyndigheten vilket visar hur elen är producerad, och ger elanvändarna möjlighet att påverka och med konsumentmakt bidra till en mer klimat- och miljövänlig elproduktion i Sverige.
- **Naturskyddsföreningens märkning ”Bra Miljöval”[64]:** Då el märks med ”Bra miljöval” gäller att elen ska vara förnybar, men det ställs även andra krav på den förnybara elproduktionen[64]. Naturskyddsföreningen har rätt att genomföra stickprov på anläggningar som ingår i licenserna, och följer upp licensen varje år[63]. Det finns även ett flertal andra miljömärkningssystem i Europa, där många är samlade under paraplyorganisationen EUGENE vilket underlättar internationell handel[63].
- **RECS-certifikat:** RECS står för ”Renewable Energy Certificate System” och är ett frivilligt certifikatsystem för europeiska kraftföretag med mål att etablera en trovärdig och kostnadseffektiv europeisk certifikatmarknad för el från förnybara energikällor. Certifikaten utfärdas och övervakas av en oberoende organisation och förnybara energikällor avser vind, våg, tidvatten, sol, biomassa och all vattenkraft.[63]
- **SERO-licens:** SERO-licensierad el produceras genom vindkraft och småskalig vattenkraft av medlemmar i SERO, där det kravställs att en del av mervärdet ska gå till stöd för ny förnybar elproduktion.[63]

Om alternativet att köpa ursprungsmärkt el inte väljs, handlas per automatik den så kallade ”residualmixen”, vilken utgörs av resterande elproduktion exklusive netto importerade/exporterade ursprungsgarantier. Residualmixen bestod år 2017 av 16,68% förnybart, 40,55% kärnkraft samt 42,77% fossil energitillförsel. Miljöpåverkan från residualmixen var under samma år uppskattad till 329,19 g CO_2/kWh[62]. Det rekommenderas att i alla fall ursprungsmärkt förnybar el väljs, baserat på dess fördelar relaterat till emissionsekvivalenter jämfört med nordisk elmix.

I Svenska Kraftnäts rapport ”Systemutvecklingsplan 2018–2027”[65] bedöms kärnkraftens roll i det svenska elsystemet minska, främst genom att gamla reaktorer tas ur bruk från

[62] Energimarknadsinspektionen, ‘Ursprungsmärkning Av El’.

[63] Miljöstyrningsrådet, *Miljömässiga Förutsättningar Vid Upphandling Av Elektricitet Från Förnybara Energikällor*, 2008.

[64] Naturskyddsföreningen, ‘El Märkt Med Bra Miljöval’.

[65] Svenska Kraftnät, *Systemutvecklingsplan 2018-2027*, 2017.

och med år 2020. I scenariot som tagits fram antas att kärnkraften är helt avvecklad till år 2040, och att den då har ersatts med el främst från vindkraft, solceller och kraftvärme.

En fördel vid användning av el inom kollektivtrafiken, istället för andra drivmedel, är försörjningstryggheten, detta eftersom elbussar (liksom biogasbussar) i Sverige kan använda lokalt producerad förnybar energi istället för vissa importerade drivmedel (exempelvis HVO). En annan effekt av elektrifiering av den upphandlade bussflottan är att en viss mängd biodrivmedel frigörs till andra tillämpningar, exempelvis personbilar och lastbilar. Dessutom beräknas biobränslebehovet för personbilar och lastbilar öka i linje med de mål som finns för fossiloberoende vägtransporter år 2030, vilket ställer ökade krav på drivmedelsförsörjningen[66].

6.2 Utsläpp

I Figur 8 exemplifieras årliga livscykelsutsläpp för en tolvmetersbuss med olika bussteknikker. Fokus ligger på batteri- samt bränslerelaterade utsläpp då utsläpp från fordons- och laddinfrastrukturtillverkning bedöms vara relativt låga i förhållande till batteri- och bränslerelaterade utsläpp[67] åtminstone för depåladdade och tilläggsladdade bussar. Generellt finns det brist på livscykelanalyser av laddinfrastruktur som bör adresseras, särskilt när det gäller elvägssystem där utsläpp som kan kopplas till infrastrukturtillverkning kan vara betydande.

Figuren visar att elbussar som kör på ursprungsmärkt förnybar el har lägst utsläpp av de olika teknikalternativen. Om svensk elmix används i beräkningen, istället för ursprungsmärkt förnybar el, blir utsläppen något högre. Utsläppen från en elbuss kan vara lägre än för en HVO-buss om en tilläggsladdad buss avses, och de kan vara något högre än för en HVO-buss om en depåladdad buss avses. Detta kan hänföras till att tilläggsladdade och depåladdade bussar har olika stora batterier.

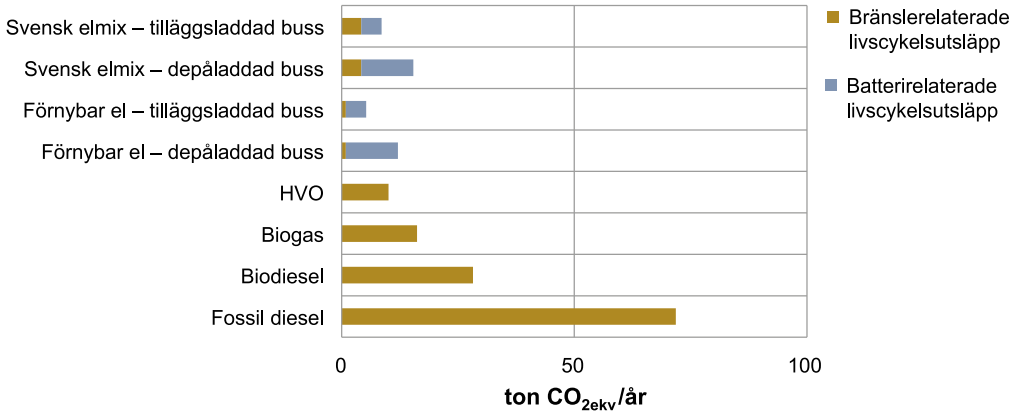
Beslutet om en ändring av förordningen (2011:1088) om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och flytande biobränslen, som träder i kraft den 1 juli 2019 innebär ökade hållbarhetskrav för vissa råvaror[68]. Dessa råvaror inkluderar PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) som utgör en stor del av HVO-mixen.

Energimyndigheten bedömer om en råvara ska anses vara en restprodukt eller inte. PFAD klassades tidigare som restprodukt vilket innebär noll livscykelsutsläpp. Enligt regeringens beslut ska PFAD inte längre anses vara en restprodukt och ska därför kunna spåras tillbaka ända till odlingsmark. Bränslets växthusgasprestanda måste också redovisas. Detta kan påverka HVO:s utsläppsfaktor, vilket påverkar både hur mycket PFAD som kommer att kunna nyttjas och också dess pris.

[66] Energimyndigheten, 'Kortsiktsprognos Sommaren 2018 Energianvändning Och Energitillförsel', 2018.

[67] Xylia, Leduc, Laurent, and others.

[68] https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/11/okade-hallbarhetskrav-for-biodrivmedel-och-flytande-biobranslen/



Figur 8 Jämförelse av livscykelsutsläpp för olika busstekniker.

Tabell 5 Antaganden till utsläppsskalkyl

Antal körda kilometrar	60 000 km/år
Batteristorlek – depåladdad buss	320 kWh
Batteristorlek – tillägsladdad buss	125 kWh
Livslängd, batteri	5 år
Utsläpp	
Batteri (genomsnittligt värde, ospecificerad kemi)	175 000 gr CO_{2eq}/kWh[71]
Fossil diesel	285 gr CO_{2eq}/kWh[69]
FAME	112 gr CO_{2eq}/kWh[69]
Biogas	52 gr CO_{2eq}/kWh [69]
HVO	40 gr CO_{2eq}/kWh[69]
Svensk elmix	47 gr CO_{2eq}/kWh[69]
Ursprungsmärkt förnybar el	10 gr CO_{2eq}/kWh[70]
Energianvändning, tolvmetersbuss (genomsnittligt värde, se Figur 7)	
Biodiesel	4,2 kWh/km
Biogas	5,2 kWh/km
El	1,5 kWh/km

Detta visar att elens ursprung samt batteristorlek har en signifikant påverkan på utsläpps-estimat. I Tabell 5 visas antaganden för den utsläppskalkyl som ligger till grund för Figur 8. Det bör noteras att beroende på vilken batterikemi som används kan även batterirelaterade utsläpp variera väsentligt. Den el som används till batteritillverkning har även stor påverkan på livscykelsutsläpp. Här har ett genomsnittligt värde antagits för batteriutsläpp enligt en tidigare studie[71] som sammanställt information från ett

[69] Energimyndigheten, *Drivmedel 2017: Redovisning Av Uppgifter Enligt Drivmedelslagen Och Hållbarhetslagen (ER 2018:17)* (Eskilstuna, 2018) <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=5753>.

[70] Indikativt värde. Livscykelsutsläppen varierar från fall till fall beroende på de förnybara energislagen som inkluderas i den ursprungsmärkta elmixen.

[71] Medelvärde av interval uppskattat av Mia Romare and Lisbeth Dahllöf, *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries and Batteries for Light-Duty Vehicles*, 2017.

flertal livscykelanalyser av Li-jonbatterier som används i elfordon. Studien framhåller att det finns stora osäkerheter när det gäller livscykelsutsläpp från batterier och ytterligare forskning behövs.

Andra faktorer som kan påverka utsläppsberäkningar inkluderar batteriets kemi och livslängd samt bussens energianvändning. Energianvändningen varierar beroende på batteriets vikt vilket innebär att en något högre energianvändning kan förväntas för depåladdade bussar jämfört med tilläggsladdade bussar på grund av deras tyngre batterier[67]. Det bör noteras att ju fler körda kilometrar under året desto mer fördelaktigt är det att använda elbussar utifrån ett livscykelsutsläppsperspektiv då bränslerelaterade utsläpp utgör en större del av totala utsläpp, jämfört med batterirelaterade utsläpp.

Batteriets livslängd och batterikemi

Under en tioårig avtalstid är det rimligt att förvänta sig ett batteribyte, vilket bör inkluderas i livscykelsutsläppsberäkningarna. Olika batterikemier innebär olika livslängder och utsläpp.

Batteristorlek

Ju större batteriet är, desto högre är dess livscykelsutsläpp. Dessutom innebär större batterier högre energianvändning på grund av bussens högre bruttovikt.

Elens ursprung

De positiva effekterna gällande utsläppsnivåer för elbussar kontra konventionella busstekniker är som mest betydande om ursprungsmärkt förnybar el används. Avtal som säkerställer försörjning av ursprungsmärkt förnybar el till elbussar bör därför tecknas.

6.3 Återvinning och spårbarhet av batterier

Det finns ett flertal material som används vid batteritillverkning vilka bedöms som kritiska av EU gällande deras ekonomiska betydelse och tillgänglighet. Kobolt och grafit är exempel på dessa material[72]. EU:s definition av ett kritiskt material innefattar bland annat huruvida utvinningen innebär allvarliga sociala brister, såsom barnarbete och bristfälliga arbetsmiljövillkor. Dessutom finns risker angående tillgång till material såsom litium och nickel då dessa är icke-utspridda tillgångar, det vill säga utvinningen av dessa material är koncentrerade till vissa länder, samtidigt som det finns begränsade möjligheter till återvinning.

Dessa negativa sociala och miljömässiga konsekvenser kan minimeras med utökad kravställning och uppföljning, samt tillverkning av nya batterikemier som använder en mindre mängd av de tidigare nämnda kritiska materialen, alternativt andra, mindre riskfyllda material. Dessutom kan återvinning minska jungfrulig brytning av materialen, vilket minskar de negativa konsekvenserna ytterligare.

[72] SGU, 'Kritiska Material', 2018 <https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-material/> [accessed 19 October 2018].

När EU:s Batteridirektiv ("Direktiv 2006/66/EC om batterier och ackumulatorer och förbrukade batterier och ackumulatorer"[73]) trädde i kraft var användningen av Li-jonbatterier till elfordonsapplikationer begränsad, varför det saknas ett särskilt fokus på denna typ av batterier. Enligt Batteridirektivet skrevs 2006 borde följande vara uppfyllda[74]:

1. en återvinningsgrad på 25 % för bärbara batterier ska vara uppfylld senast september 2012 och 45 % september 2016;
2. förbud mot bortskaffande genom deponering eller förbränning av batterier i industriella- och/eller fordonstillämpningar (vilket i praktiken sätter in ett 100 % insamlings- och återvinningsmål); och
3. införande av krav på återvinningseffektivitet för att säkerställa att en stor andel av avfallet från återanvända batterier återvinns (65 % för blybatterier, 75 % för nickelkadmiumbatterier och för 50 % andra batterier).

Li-jonbatterier som används i fordonstillämpningar relaterar till det andra och tredje målet. Återvinningseffektiviteten är massbaserad, det vill säga 50 % av batteriets vikt måste återvinnas. Det garanterar inte att särskilda material ska återvinnas, det vill säga målet kring återvinning skiljer inte mellan kritiska och icke-kritiska material[75]. Kommande uppdateringar av direktivet kommer troligtvis att förklara definitioner angående återvinning av Li-jonbatterier[76]. En märkning av miljömässigt bättre batterier på ett sätt liknande det som infördes av ekodesign- och energimärkningsdirektiven vore fördelaktigt. För att bidra till att skapa en cirkulär ekonomi bör samtliga tre hållbarhetsaspekter (miljömässig, social och ekonomisk hållbarhet) vägas in och inte enbart den ekonomiska, som det primärt är fallet idag.

OECD:s "*Due Diligence Guidance for Responsible Supply Chains of Minerals from Conflict-Affected and High-Risk Areas*" är den standard som i dagsläget används för spårbarhet av kritiska material. Det bör noteras att batterimaterialens försörjningskedjor är långa och innebär att många aktörer och länder involveras, varför det är en utmaning att nå 100 % spårbarhet. Inhemsk utvinning och tillverkning av batterier i Sverige skulle givetvis underlätta spårbarheten, samt sannolikt minska sociala och miljömässiga konsekvenser av batteritillverkningen.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) har tidigare undersökt utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar och har kommit fram till att det finns en viss potential för utvinning av metaller i den svenska berggrunden som gäller framförallt material som järn, koppar, bly, zink, guld och silver, men även nickel som kan användas till batterikatodtillverkning. Dessutom finns stor potential med återvinning och den s.k. "*urban mining*" av material som är inbyggd i infrastruktur[77].

---

[73] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0066&from=En

[74] Eurostat, 'Batteries', 2018 <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/batteries > [accessed 25 September 2018].

[75] Jan Tytgat, 'The Recycling Efficiency of Li-Ion EV Batteries According to the European Commission Regulation, and the Relation with the End-of-Life Vehicles Directive Recycling Rate', *World Electric Vehicle Journal*, 6.4 (2013), 1039–47 <https://doi.org/10.1109/EVS.2013.6914885>; Vasileios Drabik, Eleanor Rizos, 'Prospects for Electric Vehicle Batteries in a Circular Economy', 2018, 43.

[76] Personlig kommunikation Claude Chansson, RECHARGE, inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik.

[77] SGU, *Uppdrag Att Utföra En Kartläggning Och Analys Av Utvinnings- Och Återvinningspotential För Svenska Metall- Och Mineraltillgångar*, 2014.

Materialens spårbarhet

Leverantörer bör kunna uppvisa intyg som certifierar att OECD:s riktlinjer kring materialutvinning följs.

Kritiska material vid batteritillverkning

Hög återvinningseffektivitet bör efterfrågas för kritiska material såsom kobolt och nickel.

Återvinning

EU:s Batteridirektiv introducerar en ”**producentansvarsprincip**” angående insamling, återvinning och återanvändning av batterier. Enligt denna princip är organisationen som inför batteriet på den europeiska marknaden ansvarig för att anordna insamlingen, samt återvinningen eller återanvändningen av batteriet.

Social hållbarhet

Material som används till batteriproduktion utvinns ofta i länder med otydliga eller bristfälliga regler kring dessa aktiviteters miljöpåverkan samt hälsa, säkerhet, och arbetsmiljö [78]. Utvinning inom Europa samt återvinning är fördelaktigt, men exploatering av dessa material kan inte ramas in geografiskt på ett sådant sätt då dessa material handlas på en global marknad. Pågående arbete inom bl.a. internationella organisationer såsom EU-kommissionen och OECD syftar till att tydliggöra regelverket och underlätta spårbarhet av material. Social påverkan till följd av batterianvändning bör vidare analyseras i jämförelse med drivmedel (fossila och biodrivmedel) och för hela dess livscykel, från utvinning till återvinning.

6.4 Buller

Olika busstyper genererar olika mängd ljud, inom olika frekvensområden. Vanliga personbilar genererar mer högfrekvent ljud jämfört med tung trafik såsom bussar och lastbilar. Bussar genererar ett lågfrekvent ljud, vilket anses som det jämförelsevis mest störande ljudet. Generellt orsakar dieselbussar mer ljud än andra busstyper, och det innehåller betydligt mer lågfrekvent ljud än elbussar. Gas- och hybridbussar hamnar i spannet mellan elbussar och dieselbussar vad gäller lågfrekvent ljud. WHO[79] anser att buller är den miljöfaktor som orsakar den näst högsta sjukdomsbördan i Europa, endast överträffad av luftföroreningar[80].

Den största skillnaden sett till störande bullernivåer hos olika busstyper är främst vid hållplatser, då bussar drivna av diesel, hybrider i dieseldrift och gasbussar har betydligt högre ljudnivå jämfört med elbussar vid acceleration. Vid mätningar för endast buss-trafik nära bostäder, eller för buss- och biltrafik nattetid är elbussen den busstyp som

[78] Science for Environment Policy, ‘Towards the Battery of the Future. Future Brief 20. Brief Produced for the European Commission DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol’, 2018 <https://doi.org/10.2779/503230>.

[79] World Health Organization, Världshälsoorganisationen.

[80] H Ljungblad and T Renhammar, ‘Tystare Stadsbussar – Kravställning Vid Upphandling För Minskat Källbuller’, 2013.

minst bidrar till ökad störning då den avger en mindre mängd lågfrekvent ljud[81]. Detta synliggörs i varierande grad beroende på val av modell för beräkning av samhällsekonomiska kostnader associerade med buller.

De modeller som endast tar hänsyn till den dygnsekvivalenta ljudnivån riskerar bli missvisande då fördelarna med elbussar vid accelerationer, maximala ljudnivåer och innehållet av låga frekvenser kan komma att förbises[80]. I och med de minskade bullernivåerna relativt dieselbussar ökar exploateringspotentialen i nya fastighetsområden, då de bidrar till en mer störningsfri kollektivtrafik. Kostnader associerade med bullerreducerande byggnadsåtgärder kan potentiellt minska vid en ökad implementering av eldriven kollektivtrafik[79].

Trafikverkets ”Analysmetod Och Samhällsekonomiska Kalkylvärden för Transportsektorn” (senaste versionen är ASEK 6.1) innehåller en kvantifiering av hur bullernivåer påverkar närmiljön[82] och bör efterföljas. I den nämns att buller kan beskrivas med både ekvivalent- och/eller maximalnivåer men att enstaka, maximala bullertoppar inte värderas i dagsläget[81]. Det bör förslagsvis justeras i framtida kalkyler så att hänsyn tas till nyckeltal som kan lyfta fördelar med elbussar, exempelvis vid accelerationer eller drift nattetid. Elbussar kan med andra ord anses samhällsekonomiskt lönsamma om buller och luftföroreningar inkluderas, vilket styrks av kalkyler genomförda på uppdrag av Trafikverket. I kalkylerna påvisas en betydande samhällsekonomisk besparing relativt dieselbussar per kilometer, vilket indikerar att elektrifierade fordon är de mest kostnadseffektiva i stadsmiljöer ur ett samhällsperspektiv[79].

Enligt EU kan eldrivna fordon vara farliga för blinda och synskadade, då ljudnivån minskar betydligt i jämförelse med fordon drivna av förbränningsmotorer. Från och med år 2019 krävs att alla nya el- och hybridfordon modifieras så att de avger en specifik lägsta ljudnivå, och år 2021 gäller det alla registrerade el- och hybridfordon[83]. Det har implementerats för att följa en standard framtagen på EU-nivå för system kallade ”Acoustic Vehicle Alerting System” (AVAS)[82].

---

[81] Krister Larsson and Maria Holmes, *Nyttoberäkningar Av Minskat Buller Från Elbusstrafik i Göteborg*, 2016.

[82] Trafikverket, *Analysmetod Och Samhällsekonomiska Kalkylvärden För Transportsektorn: ASEK 6.1*, 2018.

[83] The European Parliment and the Council of the European Union, ‘REGULATION (EU) No 540/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 – On the Sound Level of Motor Vehicles and of Replacement Silencing Systems, and Amending Directive 2007/46/EC and Repealing Directive 70/157/EEC’, *Official Journal of the European Union*, 158.540 (2014), 131–95.

7 Kostnader

7.1 Kostnader för laddinfrastruktur

Kostnaderna för olika laddkoncept kan variera avsevärt. När kostnader för konduktiva respektive induktiva system jämförs beror kostnaderna inte endast av teknikval utan även av lokala förutsättningar för varje specifikt fall. Den tillgängliga ytan och installationens grad av komplexitet, men även den lokala elnätskapaciteten och behovet av nya anslutningar bör utvärderas[37]. I Tabell 6 visas indikativa infrastrukturkostnader för olika laddkoncept.

De kostnader som redovisas i uträkningar och tabeller är den kostnadsbild som gällde när denna rapport författades, det vill säga under hösten 2018.

Tabell 6 Indikativa investerings- och underhållskostnader för laddinfrastruktur (uppgifter avser år 2018. Källa: Sweco-analyser inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik om inget annat anges)

Laddstrategi	Laddteknik	Indikativ investeringskostnad (inkl. installation)	Underhåll (SEK/år)
Tilläggsladdning	Konduktiv	5 000 SEK/kW	3–5 % av laddarens kostnad
	Induktiv	20 000 SEK/kW	
Depåladdning	Konduktiv	2 500 SEK/kW	
Elväg	Tråd (konduktiv)	10 MSEK/ km [84]	100 000 / km[85]

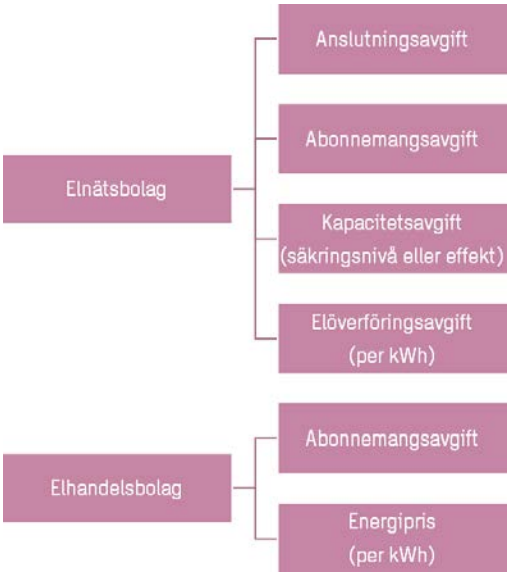
7.2 Elnätsavgifter

Installation och användning av laddinfrastruktur medför ett antal olika kostnader, främst för laddningsutrustningen, dess underhåll, elanslutningen och den el som överförs. En mer detaljerad överblick av kostnaderna kopplade till elanvändning finns i Figur 9. Elnätsanslutningens kostnad beror på ett antal faktorer, bland annat effektuttag. Ju högre effekt som krävs, desto dyrare blir anslutningsavgiften och nättariffer.

Både anslutningsavgiften och nättarifferna beror även på vilket elnätsföretag som är aktuellt, och därmed var laddinfrastrukturen är placerad rent geografiskt. Skatt tillkommer utöver samtliga nedan givna kostnader, där el för spårtrafik och trådbuss har en lägre beskattning.

[84] Lars Lindgren, *Electrification of City Bus Traffic- a Simulation Study Based on Data from Linköping* (Lund, 2017).

[85] Andersson.



Figur 9 Exempel på kostnadsposter för elförsörjning.

Anslutningsavgiften är en engångskostnad för att möjliggöra ökat effektuttag vid en befintlig anslutning, eller för att sätta upp en ny anslutning till elnätet. Avgiften avspeglar investeringskostnaden som anslutningen innebär för elnätsföretaget, och kan ske antingen till lågspänningsnätet eller till högspänningsnätet (om effektuttag över 500–1000 kW). Avgiften varierar beroende på storlek och elnätsföretag, men ett schablonmässigt nyckeltal är mellan 600 och 1 000 kr/kW[86].

Nättariffer/nätavgifter är de löpande elnätskostnaderna för elbussladdning som elnätsföretagen själva kan välja att utforma, vilket medför att kundens kostnader varierar beroende på nätområde. Skillnaderna i avgift ska vara skäliga och Energimarknadsinspektionen är den övervakande myndigheten. Nättarifferna består vanligtvis av tre delar:

- Abonnemangsavgift (från elnätsföretagen) – Den avgift som ska motsvara de fasta kostnader som elnätsbolaget har för mätning och debitering av kund. Den ska också täcka kostnader för fortlöpande förnyelse av elnätet.
- Kapacitetsavgift – Den avgift som utgörs av effektavgift eller säkringstariff, där effektavgift normalt används för större kunder. Effektavgiften kan bestå av olika komponenter och variera över tid, där den ofta är högre under vinterhalvåret.
- Överföringsavgift – Kostnaden för överföring av el. Den kan variera över dygnet och året. Beroende på kundens kapacitet brukar denna kostnad vara lägre per kWh vid högre köpt kapacitet. Högspänningskunder betalar en betydligt lägre kostnad än lågspänningskunder per överförd kWh.

Under de senaste fem åren har nättarifferna ökat i en rask takt, i snitt 5 % årligen där de större nätbolagens höjningar varit mer omfattande jämfört med de mindre nätbolagens.

[86] Swecos analys inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik, jämförelse mellan anslutningskostnader hos olika elnätsbolag i Stockholm.

Det är en prisökning som kommit till följd av ökade investeringar i åldrande elnät samt ökade avkastningskrav från ägarna av nätbolagen. Hur utvecklingen följer beror på hur Energimarknadsinspektionen (Ei) utformar elnätsregleringen. Ei strävar efter ett effektivt nätutnyttjande, med relativt jämn belastning på nätet över dygnet. För att uppnå en jämnare belastning kan effekttariffer införas, där högt effektuttag som belastar nätet beläggs med högre avgifter än vid låg last. Det kan medföra att laddning av elbussar nattetid blir mer ekonomiskt fördelaktigt än tex ändhållplatsladdning vid höglasttid. Nättariffers struktur kommer utredas 2019 och Ei ”*kommer meddela föreskrifter om hur nättariffer ska utformas för att främja ett effektivt utnyttjande av elnätet*”[87].

Idag används timvärden som bas för effekttariffberäkningen. Detta innebär att mätning sker av medeleffektuttaget per timme och att detta värde därefter ligger till grund för avgiften på månads- eller årsbasis. Det innebär att en snabbladdare som använder hög effekt under ett fåtal minuter per timme kräver hög kapacitet, men får ett lågt medelvärde och därmed låg effekttariff. Effekttarifferna kan därför sannolikt ändras, möjligtvis med krav på en minsta abonnerad effekt och/eller en direkt koppling till anslutningseffekten. Att införa kortare tariffgrundande mätintervall än en timme, exempelvis 15 minuter eller 6 minuter är också ett alternativ.

[87] https://www.xn--svenskfrfattningssamling-roc.se/sites/default/files/sfs/2018-09/SFS2018-1585.pdf

Anslutningsavgift

Oftast aktuellt vid effektuttag över 500–1000 kW. Exempel nedan visar hur kan anslutningsavgifterna variera beroende på applikation:

- För en *ensam anslutning för snabbladdning* på 300 kW skulle anslutningsavgiften kunna hamna på omkring 300 000 kr.
- För en *terminalanläggning* där 10 bussar laddar samtidigt på 150 kW (totalt 1 500 kW) skulle anslutningsavgiften kunna hamna på omkring 1 200 000 kr.
- För en *depå* där 50 bussar laddar samtidigt på 75 kW (totalt 3 750 kW) skulle anslutningsavgiften kunna hamna på omkring 2 250 000 kr.

Nättariffer

Nättarifferna varierar mellan de olika elnätsbolagen och därför bör kostnader beräknas för varje enskilt fall. Generellt gäller de följande:

- Kapacitetsavgiften är högre under vinterhalvåret
- Lägre kostnader per överförd kWh tillkommer för högspänningskunder än lågspänningskunder.

Exempel nedan visar hur kan anslutningsavgifterna variera[88] beroende på applikation:

- Abonnemangsavgift
  LSP – effekt 80 kW: 30 000 SEK/år
  HSP – effekt 450 kW: 18 000 SEK/år
- Kapacitetsavgift
  LSP – effekt 80 kW: 4 000 SEK/år
  HSP – effekt 450 kW: 45 000 SEK/år (tilläggsladdning används 20 minuter under en timme)
- Elöverföringsavgift (årlig energianvändning 90 000 kWh)
  LSP – effekt 80 kW: 7 000 SEK/år
  HSP – effekt 450 kW: 3 000 SEK/år

Dessutom finns höglasteffektsavgifter som gäller för vissa timmar under dagtid och en viss del av året (t.ex. november till mars) där elnätets belastning är hög. Dessa avgifter beror på antal laddningstillfälle i timmen.

7.3 Drivmedelskostnader

Sverige importerar idag en majoritet av sina biodrivmedel, vilket innebär att tillgång, efterfrågan och prissättningen på drivmedel idag påverkas till stor del av internationella trender, regelverk och målsättningar. Styrmedel på svensk nivå påverkar också prissättningen på drivmedel. Exempelvis ställer reduktionsplikten krav på minskade växthusgasutsläpp från bensin och diesel[89], vilket leder till ökade inblandningsnivåer av biokomponenter i diesel och skapar ett stort behov av främst HVO för inblandning[90]. Då efterfrågan på biodiesel förväntas öka framöver, med ökad svårighet att få tillgång

[88] Indikativt exempel som baseras på Ellevios tariffer för Stockholm (https://www.ellevio.se/foretag/elnatspriser-och-avtal/Elnatspriser/).

[89] Energimyndigheten, 'Reduktionsplikt'.

[90] Swecos egen analys.

till råvaror för produktion som följd[66] riskerar ökade inblandningsnivåer leda till ökade priser för de som vill köra med ren HVO i sina fordon. Priset för HVO kan även påverkas av nya bestämmelser kopplat till råvarans ursprung[66]. Idag klassas viss råvara för HVO som en restprodukt från palmoljeproduktion, där det bedöms ha relativt låga växthusgasutsläpp ur ett livscykelperspektiv[66]. Med nya bestämmelser kan råvaran omklassificeras som ”samprodukt”, med sämre växthusgasreduktion[66]. För att minska priskänsligheten kan investering göras i fordon som även går att driva på FAME, och byta mellan HVO och FAME beroende på vilket som är billigast för tillfället att driva bussen på.

Efterfrågan på biodrivmedel är dessutom relativt låg utanför Norden idag, men med ökade krav på lägre fossila koldioxidutsläpp i transportsektorn kan det förändras. Det kan i sin tur leda till ökad konkurrens om de drivmedel som Sverige till stor del importerar och är beroende av idag, exempelvis HVO som år 2017 stod för över 70 % av de biodrivmedel som används i transportsektorn sett till energiinnehåll[66]. Ett minskat beroende av importerat biodrivmedel kan därmed vara eftersträvansvärt, där biogas och el lyfts som viktiga alternativ.

Biogas erbjuder idag ett kretsloppssystem som hjälper till med behandling av organiskt avfall, skapar förnybart drivmedel och biogödsel vilket därmed möjliggör ekologisk odling och livsmedelsproduktion[91]. Med det som bakgrund, inkluderat att den ofta är lokalt producerad och lämplig som drivmedel finns det fördelar gentemot andra drivmedel till förbränningsmotorer. Hur priset sätts beror till stor del på lokala förhållanden i produktionen, styrmedel för biogas både i Sverige och i våra grannländer (främst Danmark som har ett produktionsstöd[92]) samt rådande skattelättnader vad gäller energi- och koldioxidskatt[92]. Då skattelättnaderna är ett undantag från EU:s regler fram till och med utgången av år 2020[93] är prissättningen på biogas framöver osäker. Hur skattenivån sätts efter år 2020 utreds för närvarande av en statlig biogasutredning som tillsattes under sommaren 2018[94].

För el prognostiseras årsmedelvärdet av systempriset på Nordpool enligt Energimyndighetens korttidsprognos öka från 301 SEK/MWh år 2017 till 407 SEK/MWh år 201866. Därefter bedöms elpriset sjunka mot år 2021 till 321 SEK/MWh[66]. Hur det ser ut på lång sikt är svårt att bedöma, framför allt beroende av ett antal faktorer som exempelvis oljepriset, nationell- och internationell energipolitik. Den pågående strukturomvandlingen på elmarknaden mot ökad andel icke-planerbar produktion (främst vind och sol) samt mindre basproduktion (kärnkraft) och annan planerbar produktion gör att det skulle kunna bli effektbrist i det svenska elnätet framöver, vilket kan ge större variationer på elpriset över dygn och säsong[65]. Energipriset för el är en relativt liten del i den totala livscykelkostnaden för en elbuss (se avsnitt 7.4). Det krävs kraftiga förändringar i elpriset för att påverka lönsamhetskalkylen för en elektrifiering av kollektivtrafiken, sett till drivmedelspriser[95]. Istället är det ett antal andra faktorer som påverkar de årliga kostnaderna betydligt mer, se avsnitt 7.4.

---

[91] Biogas Öst, ‘Strategisk Innovationsagenda: Det Svenska Biogassystemet – Nyckeln till Cirkulär Ekonomi’, 2017.

[92] Regeringen, ‘Bättre Stöd till Svensk Biogas’, 2018.

[93] Skatteverket, ‘Energi- Och Koldioxidskatt För Bränsle’.

[94] Sami Mashial, ‘Regeringen Tillsätter Utredning Om Svensk Biogas Framtid’, 2018.

[95] Maria Xylia, Sylvain Leduc, Piera Patrizio, and others, ‘Locating Charging Infrastructure for Electric Buses in Stockholm’, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78 (2017), 183–200 <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.005>.

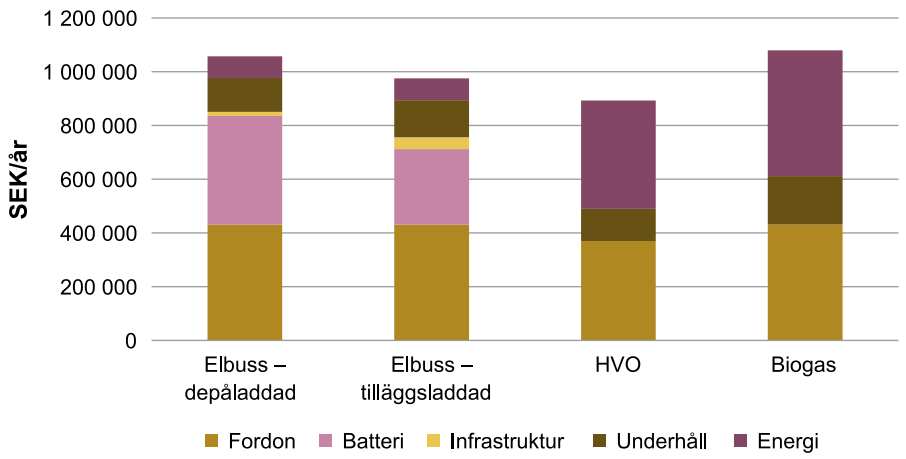
Från 1 januari 2018 är energiskatten på el 33,1 öre/kWh[96], där tåg- och annan spårbunden trafik endast betalar 0,5 öre/kWh. Denna skattelättnad gäller inte för elbussar i dagsläget, vilket innebär att skatten står för cirka en tredjedel av det totala elpriset. En skattelättnad på el till elbussar avvisades 2017 av regeringen med hänvisning till elbusspremien och EU-rätten[97].

7.4 Årliga kostnader

Figur 10 visar en jämförelse av de årliga kostnader som förekommer för olika typer av tolvmetersbussar. Kalkylen inkluderar kapitalkostnader för fordonsinköp, ladd-infrastruktur och dylikt, men inkluderar inte förarkostnader. I Tabell 7 visas antaganden som ligger till grund för kalkylen. Det bör noteras att en så kallad ”*delningsfaktor*” appliceras på tilläggsladdade bussar eftersom infrastrukturen bör delas mellan flera bussar och busslinjer. Kostnader för batterier och fordon uppskattas med hänsyn till teknikutveckling och stordriftsfördelar.

Den HVO-drivna bussen har de lägsta årliga kostnaderna. Den depåladdade och den tilläggsladdade bussen har ungefär samma kostnad med biogas. Skillnaden mellan de årliga kostnaderna för en HVO-buss (cirka 900 000 SEK enligt kalkylen) och en depå-laddad buss är cirka 150 000 SEK. Skillnaden mellan en HVO-buss och en tilläggs-laddad buss är cirka 100 000 SEK. Effektavgifterna som kan påverka den totala årliga kostnaden inkluderas inte, men ett exempel av hur dessa kan räknas visas i avsnitt 7.2. Dock, med ett samhällsekonomiskt perspektiv, där buller och luftföroreningar inkluderas i kalkylen, kan det antagas att elbussar skulle kunna bli samhällsekonomiskt lönsamma.

Figuren visar även att elbussar har betydligt lägre energikostnader på grund av effektivare energianvändning och lägre elpriser i jämförelse med traditionella drivmedelspriser. Underhållskostnaden för laddarna och batterikostnaden utgör den största kostnads-skillnaden mellan elbussar och traditionella bussar.



Figur 10 Årliga kostnader inkl. avskrivning och exkl. förarkostnader för en tolvmetersbuss.

[96] Energiföretagen, ‘Skatter Och Avgifter’.

[97] https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/interpellation/beskattning-av-elbussar-_H410542

Tabell 7 Antaganden för kostnadskalkyl

Parameter	Enhet	Elbuss – depåladdad	Elbuss – tilläggsladdad	HVO	Biogas
Kostnad per buss (exkl. batteri)	SEK	3 500 000[98]	3 500 000[99]	3 000 000[100]	3 500 000[101]
Restvärde buss	SEK	0	0	0	0
Underhåll buss[102]	SEK/km	2	2	2	3
Underhåll laddare[103] (procent av investering)	SEK/år	3%	3%	–	–
Storlek batteri	kWh	300	125	–	–
Kostnad batteri [104]	SEK/kWh	3 000	5 000	–	–
Kostnad drivmedel [105]	SEK/kWh	0,9	0,9	1,6	1,5
Kostnad depåladdare (inkl. anslutning)[106]	SEK	200 000	0	–	–
Kostnad tilläggsladdare (inkl. anslutning)[107]	SEK	0	3 000 000	–	–
Infrastruktursdelning (laddare per buss)		1	0,2	–	–
Avskrivningstid buss	år	10	10	10	10
Avskrivningstid laddinfrastruktur	år	20	20	–	–
Avskrivningstid batteri	år	5	5	–	–
Antal körda kilometrar	km/år	60 000	60 000	60 000	60 000
Ränta	%	4	4	4	4
Antal batterier under 10-års avtalsperiod		2	2	0	0
Energianvändning[108]	kWh/km	1,5	1,5	4,2	5,2

[98] Antti Lajunen, 'Lifecycle Costs and Charging Requirements of Electric Buses with Different Charging Methods', *Journal of Cleaner Production*, 172 (2018), 56–67 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.066>.

[99] Lajunen, 'Lifecycle Costs and Charging Requirements of Electric Buses with Different Charging Methods'.

[100] Helen Lindblom, Claes af Burén, and Michael Forss, *Elektrifiering Busstrafik Linköping – Utredning Kring Förutsättningar*, 2018.

[101] Lindblom, af Burén, and Forss.

[102] Lindblom, af Burén, and Forss; Antti Lajunen, 'Lifecycle Costs and Charging Requirements of Electric Buses with Different Charging Methods', *Journal of Cleaner Production*, 172 (2018), 56–67 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.066>.

[103] Sweco-analyser inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik.

[104] Sweco-analyser inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik.

[105] Exempel marknadskostnader oktober 2018 (utan hänsyn till rabatter pga.avtal).

[106] Sweco-analyser inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik.

[107] Sweco-analyser inom SLL Trafikförvaltningens utredning om övergång till eldriven busstrafik.

[108] Se Figur 7.

Kalkylen inkluderar inte förarkostnader, men det bör noteras att dessa står för den största andelen av de totala årliga kostnaderna. En tidigare studie av elbussar i kollektivtrafik har bedömt att dessa kostnader var upp till 60 % av de totala kostnaderna[94]. Förarkostnaders betydelse i kollektivtrafiken har tidigare även diskuterats av SKL (Sveriges Kommuner och Landsting)[109]. Med ett indikativt antagande av förarkostnader på 15 SEK/km och 60 000 körda kilometrar per år blir de totala årliga förarkostnaderna 900 000 SEK, vilket är nästan lika högt som summan av alla de andra kostnadsposterna som visas i Figur 10.

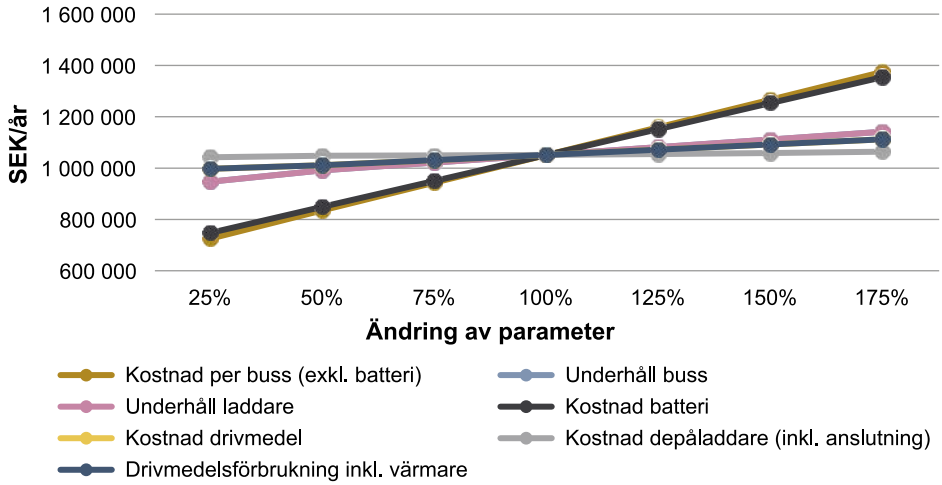
Diesel, HVO-eller fordonsgasdrivna bussar har oftast en räckvidd som täcker bussens energibehov hela trafikdygnet, det vill säga från det att bussen lämnar depån på morgonen tills den återvänder till depån på kvällen. En depåladdad- eller depå- och tilläggsladdad elbuss har ofta en begränsning vad gäller bussens möjlighet att trafikera hela trafikdygnet vilket gör att bussarna kan behöva bytas in under dagen, vilket kan leda till höga förarkostnader. Det är därför viktigt att en elektrifiering av busstrafiken sker på ett sätt som begränsar kostnadsökningar. Uppkommer behov av extra fordon påverkar det förarkostnaden, men även extra förartid som behövs i det fallet där bussar tilläggsladdas kan förändra kalkylen. En minimering av kostnaderna kan göras med strategisk elektrifiering av linjerna som inte behöver extra fordon för att trafikeras (det vill säga omloppen klaras med samma antal bussar som i nuläge) eller behöver så korta laddningstider som möjligt.

Det är viktigt i detta sammanhang att inte ”tvinga” elektrifiering av linjer oavsett av kostnader, utan att utvärdera valet av laddkonceptet så att balansen mellan batteristorlek, räckvidd, och förarkostnader optimeras. Alla dessa tre aspekter är sammankopplade, då den framtida utvecklingen av batteritekniken kan påverka elbussars räckvidd samt laddningstider och det skulle innebära i sin tur minde risk för ökade förarkostnader. En aspekt som bör också tas hänsyn till är att extra fordon behöver plats på depåer som kan kräva betydande investeringar om det redan finns platsbrist (som ofta är en utmaning i nuläget, se kapitel 9). **Det viktiga i detta sammanhang är att se till de lokala förutsättningarna då dessa kan skilja sig åt i de olika städerna.**

Figur 11 och Figur 12 presenterar känslighetsanalyserna av de årliga kostnaderna för depå- och tilläggsladdade bussar. En parameter ändras med mellan –75 % och +75 % av originalvärdet per körning för att observera dess påverkan på de totala kostnaderna. Känslighetsanalysen visar att för både depå- och tilläggsladdade bussar är fordons- och batterikostnader de parametrar som har störst påverkan. Kostnaden för en elbuss exklusive batteri bedöms dock inte sjunka nämnvärt framöver[110], men ett inköpspris som liknar biodieselbussars pris kan förväntas i framtiden med hänsyn till stordriftsfördelar.

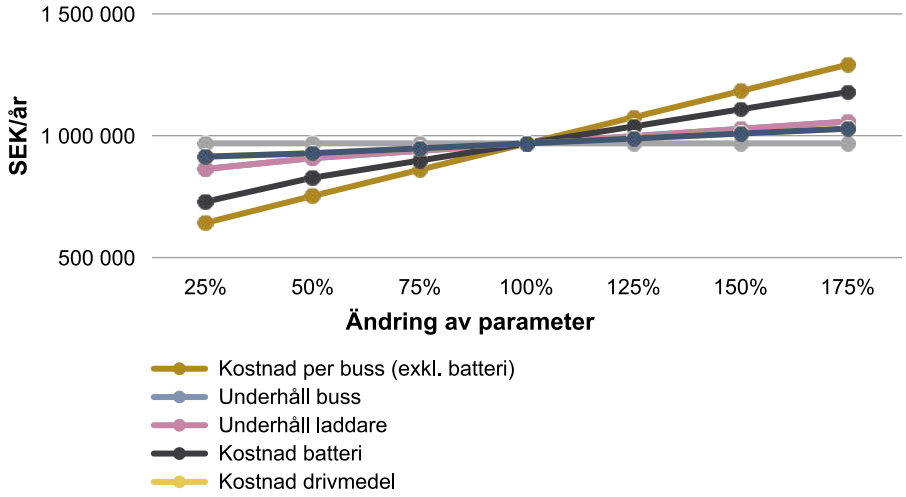
[109] SKL, *Vad Förklarar Kollektiv- Trafikens Snabba Kostnadsökning ?* (Stockholm: Sveriges Kommuner och Landsting, 2014) <http://webbutik.skl.se/bilder/artiklar/pdf/7585-037-5.pdf>.

[110] Bloomberg.



Figur 11 Känslighetsanalys – årliga kostnader för depåladdad buss.

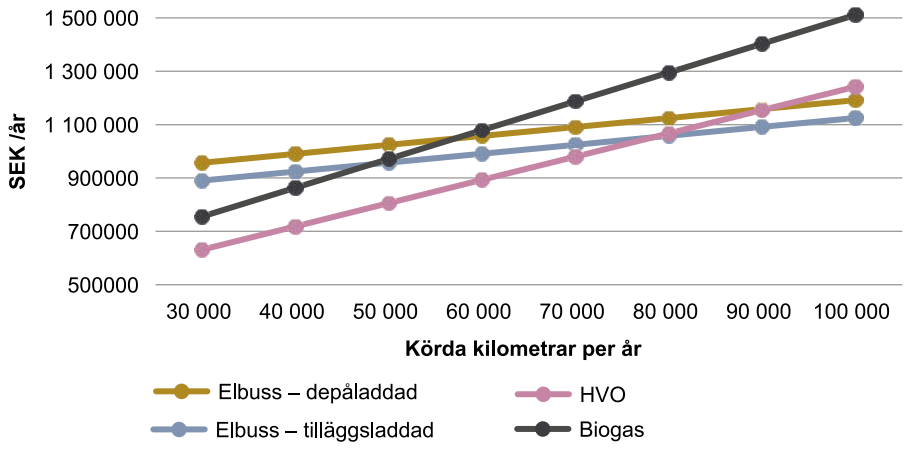
Istället är det sjunkande batteripriser, drivet av batteriutveckling och ökad efterfrågan på elbussar, som bedöms vara det som förändrar prissättningen på tekniken de kommande tio åren[111]. Det bör noteras att om batterikostnaderna halverades så skulle båda elbussteknikerna kosta mindre än en HVO-buss.



Figur 12 Känslighetsanalys – årliga kostnader för tilläggsladdad buss.

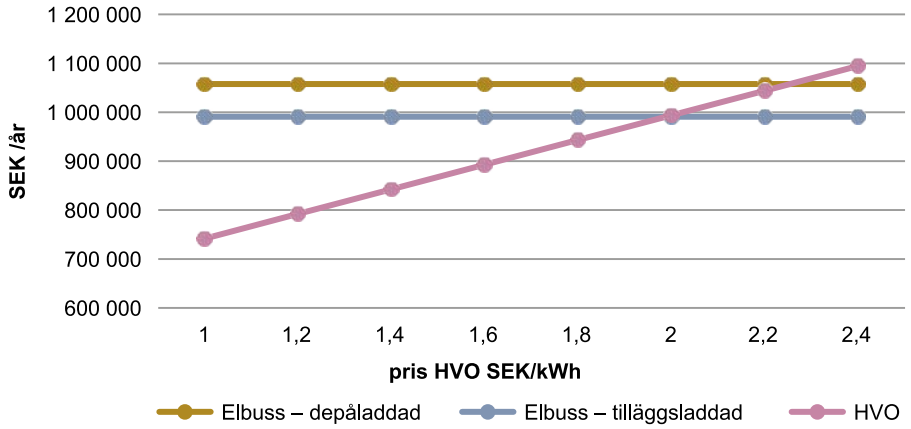
Figurerna nedan visar hur ett antal faktorer skulle kunna påverka elbussarnas lönsamhet ytterligare. En av dessa faktorer är antalet körda kilometrar per år. Figur 13 visar känslighetsanalys av körda kilometrar. Elbussarna visar lägre kostnader på årsbasis än HVO-bussar när antalet körda kilometrar överstiger 80 000. Detta sker eftersom det finns betydande skillnader i energikostnader mellan el- och HVO-bussar och en sådan skillnad blir mer framträdande vid ett högre antal körda kilometrar.

[111] Bloomberg.



Figur 13 Känslighetsanalys – årliga kostnader med hänsyn till körda kilometrar.

Figur 14 visar påverkan av ett förändrat pris på HVO på de totala årliga kostnaderna i jämförelse med elbussar. I det fall där priset på HVO stiger med 25 % blir kostnaden för elbuss lägre relativt en buss som drivs av HVO. Förändringar i elpris påverkar inte de totala kostnaderna i samma utsträckning som priset på HVO, eftersom det i elbussarnas fall inte är energikostnaden som är en styrande andel av de totala kostnaderna.



Figur 14 Känslighetsanalys – årliga kostnader med hänsyn till priset på HVO.

Ovan nämnda faktorer visar på hur en elbuss kan värderas främst utifrån ett företags-perspektiv. Sett ur ett samhällsekonomiskt perspektiv, där aspekter kring exempelvis buller och luftföroreningar värderas, kan bilden vara annorlunda. Som nämnt i Avsnitt 6.4 kan elbussar redan idag anses mer kostnadseffektiva ur ett samhällsperspektiv[79]. Dock beror detta på ett flertal faktorer, bland annat var elbussarna används och under vilka trafikförhållanden.

Hur mycket kostar en elbuss i jämförelse med andra teknikval?

De årliga kostnaderna (inkl. avskrivningskostnaderna) för en elbuss är något högre än för HVO- eller biogasbussar. Skillnaden mellan en elbuss och HVO-buss i den indikativa kalkylen som presenterades i detta kapitel är cirka 150 000 SEK/år. Det bör dock noteras att enskilda linjers kalkyler kan ligga långt från den verkliga processen vid trafikplanering. Synergier mellan olika busslinjer inom systemet erbjuder möjligheter till kostnadsoptimeringar. Dessutom kan elbussarnas kostnadseffektivitet påverkas av de årliga sträckorna (ju högre desto bättre) och den framtida utvecklingen av HVO priser. Därför är det viktigt att elektrifiering av elbussar utvärderas utifrån ett systemperspektiv.

Förarkostnaden står för en mycket stor del av kollektivtrafikens kostnader. Detta ställer krav på en effektiva vagnomlopp i förhållande till elbussarnas räckvidd. Därför är elbussarnas räckvidd, det vill säga den sträcka som bussen kan trafikera utan att batterierna behöver laddas, så småningom motsvarar exempelvis räckvidden för en HVO-driven buss. Alternativet är att tilläggsladdning kan ske utmed linjen utan att omloppens effektivitet blir lidande.

Vilka poster påverkar de totala kostnaderna mest?

Fordonsinköp, samt batteri- och underhållskostnader spelar en stor roll i de ekonomiska beräkningarna. Optimerad batteristorlek är fördelaktigt kostnadsmässigt. Underhållskostnader kan t.ex. minimeras med hjälp av storskaliga avtal med leverantörer. Energikostnaderna minskar betydligt när elbussar används och infrastrukturkostnaderna för elbussar representerar en liten andel av de totala kostnaderna eftersom avskrivningstiderna är långa. Det bör dock noteras att det är oklart hur länge utrustningen kan användas eftersom teknikerna är nya och har inte varit i drift tillräckligt länge.

Vid kostnadsberäkningar är det viktigt att ta hänsyn till följande:

- Ett batteribyte under en 10-års avtalsperiod.
- En laddare behövs per depåladdad buss, medan delningsfaktorn är mindre för tilläggsladdade bussar som förväntas dela infrastrukturen i stadsmiljön.

Under vilka förhållande kan elbusskostnaderna minska?

Baserat på ytterligare analyser av kalkylen som visas i detta kapitel kan kostnaderna associerade med elbussar minska till följd av:

- *Billigare utbytesbatterier* – Om utbytesbatteriet kostar 30 % mindre minskar de årliga kostnaderna för en depåladdad och tilläggsladdad buss med 6 % respektive 4 %.
- *Billigare fordonsinköpspriser* – Om elbussens inköpspris sjunker med 17 % (motsvarande antagna inköpspriset för en biodiesel buss) sjunker de årliga kostnaderna med cirka 6% för depåladdade bussar och 7 % för tilläggsladdade bussar.
- *Billigare batterier* – Om batteripriset sjunker med 25 % sjunker de årliga kostnaderna med cirka 10% för både depå- och tilläggsladdade bussar. Batteripriset kommer sannolikt minska de kommande 5–10 åren, men det är viktigt att ta hänsyn till att elbussbatterier används oftare och under mer krävande förutsättningar än elbilsbatterier, varför högre prestanda behövs som i sin tur leder till generellt högre kostnader än vad som avses för elbilar.
- *Längre avskrivningstider* – Om avskrivningstiden för elbussar var 15 år istället för 10 år skulle de årliga kostnaderna minska mellan cirka 10 % (depåladdad buss) till 12 % (tilläggsladdad buss).

8 Upphandlingar och förvaltning av avtal

8.1 Allmänt om upphandling

Regelverk

Kollektivtrafiklagstiftningen (Kollektivtrafiklag 2010:1065, prop. 2009/10:200)[112] innehåller krav på att de regionala kollektivtrafikmyndigheterna (RKM) ska besluta om allmän trafikplikt för den trafik som RKM avser ta ansvar för och upprätta avtal om. Alla beslut om allmän trafikplikt ska kunna härledas till regionala trafikförsörjningsprogram. Enligt Europaparlamentets förordning[113] ska löptiden för avtalen om allmän trafik vara begränsad och inte överstiga 10 år för bussavtal.

Bussavtal i Sverige

Majoriteten av bussutbudet i Sverige körs enligt avtal med bussföretag som handlas upp i offentliga upphandlingar. Det finns ett fåtal kommunala- och landstingsägda bolag som tillhandahåller busstjänster och har avtal med RKM. År 2015 reglerades den upphandlade trafiken av 304 avtal mellan RKM och 68 olika operatörer. Samverkansarenan "Partnersamverkan för en förbättrad kollektivtrafik" har tagit fram ett mallavtal som de upphandlande organisationerna kan använda som stöd i upphandlingar, men många RKM använder egenkonstruerade upphandlingar och avtal.

Ansvarsfördelning mellan trafikaffärens olika parter (RKM, region, kommun, bussoperatör, fastighetsägare) skiljer sig mycket exempelvis gällande ägande av bussfordon, ansvar för depåer och hållplatser, ansvar för trafikutbud, tidtabeller och trafikinformation. Detta varierar dessutom inom samma RKMs olika avtal, det vill säga ett avtal som gäller busstrafiken i en kommun i regionen kan ha en ansvarsfördelning medan en annan kommun i samma region har en annorlunda ansvarsfördelning. Likaså är avtalens omfattning olika, allt från en buss på en linje till ett helt läns trafik med 350 bussar. En annan faktor att ha i beaktan är att avtalen ofta löper på 10 år, och att de förutsättningar och krav för upphandlingen som gällde då avtalen tecknades lever kvar i 10 år, såvida inte avtalen innehåller regleringar gällande teknikutveckling eller om det sker en omförhandling.

Sammantaget är det svårt att jämföra busstrafikupphandlingar och busstrafikavtal, eftersom de skiljer sig avseende många olika faktorer som påverkar förutsättningar för såväl den ansvarige RKM, som för kommuner, trafikföretag och andra involverade parter. Även om den generella upphandlingslagstiftningen är liknande inom EU är det svårt att jämföra Sverige med andra länder då exempelvis skatte- och marknadsregler skiljer. I många europeiska länder har regioner eller kommuner ett stort ansvar för allt som rör kollektivtrafiken, och ansvarar även för mål och kostnadsramar.

[112] Prop. 2009/10:200, Lag (2010:1065) om kollektivtrafik. (2016-06-03)

[113] https://transportstyrelsen.se/globalassets/global/vag/rena-transporter/forordningeg1370_2007.pdf

8.2 Införande av elbussar i trafik

Fram till nyligen var det vanligt i Sverige och i andra länder att införande av eldrivna bussar drevs som relativt småskaliga projekt med en eller ett fåtal elbussar, där projektet satt förutsättningarna för införandet och där kommuner, myndigheter eller andra parter bidrog för att täcka merkostnaderna. Ofta skedde dessa införanden inom ett befintligt avtal. I några städer har trafikdriften handlats upp i konkurrens, men RKM (eller kommunen) finansierat fordonen och/eller laddningsinfrastruktur. I andra upphandlingar har trafikföretagen köpt fordonen till trafikdriften, men avtalet innehåller en garanti om återköp av fordon från upphandlaren i syfte att minska risk och kostnad för trafikföretagen.

Under 2018 har flera nya avtal handlats upp där införande av ett flertal eldrivna bussar ingått som grundkrav (tex. Helsingborg, Hässleholm och Sigtuna/Upplands-Väsby/Vallentuna) eller blivit en följd av de energieffektiviseringskrav eller andra miljökrav som RKM ställt (tex, Flen, Katrineholm, Nyköping). Dessa avtal har trafikstart 2019 och i samtliga avtalen äger trafikföretagen fordonen, men i några avtal finns en återköpsklausul.

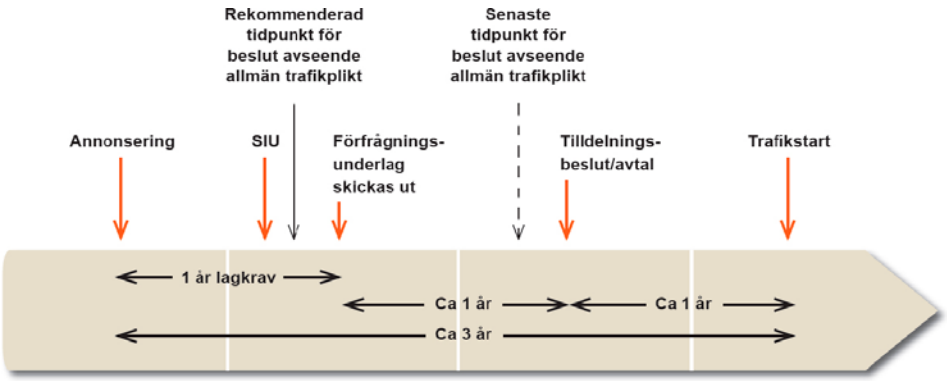
Vilka är lärdomarna av elbussinförande?

Det är generellt svårt att jämföra busstrafikupphandlingar och avtal eftersom dess förutsättningar är mycket olika. Än så länge har införande av elbussar skett i liten skala, och de har inte pågått tillräckligt länge för att det ska gå att dra några konkreta och allmängiltiga slutsatser.

Införande av elbussar i nya trafikavtal

Samverkansarenan "Partnersamverkan för en förbättrad kollektivtrafik" använder nedanstående bild för att beskriva processen kring upphandlad trafik och tidsintervall för de ingående delarna. Många RKM har en längre process, bortåt 4 år.

Det finns många fördelar med att införa elbussar i samband med ett nytt trafikavtal. Fördelarna är bland annat att priset konkurrensutsätts, och att genom inledande dialog kan krav anpassas och riskerna för samtliga parter minska.



Figur 15 Trafikupphandlingsprocessen, SIU=Samråd Inför Upphandling (se Svensk Kollektivtrafik (2018)[114])

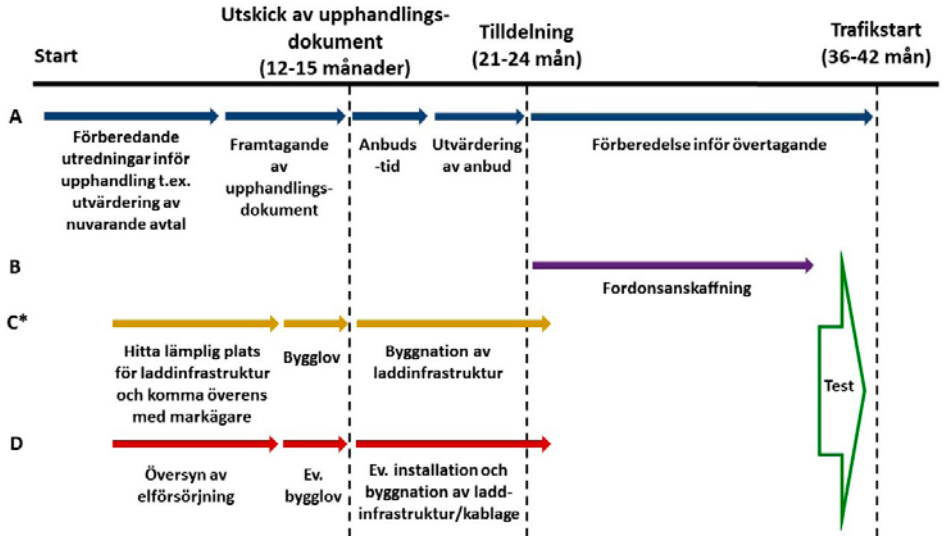
[114] Svensk Kollektivtrafik, 'Upphandling Och Avtal', 2018 <https://www.svenskkollektivtrafik.se/verktyg-och-system/upphandling-och-avtal/)> [accessed 8 October 2018].

Vid införande av eldrivna bussar kan upphandlingsprocessen samt tillhörande processer beskrivas i nedanstående bild. Där process A är en översiktlig beskrivning av den ordinarie upphandlingsprocessen av busstrafikdrift (se Figur 15). De förberedande delarna i upphandlingen kan vara kortare beroende på hur mycket förarbete, såsom exempelvis dialog med marknaden och kommuner, och beslut som är genomförda innan upphandlingsprocessen formellt startar. Alla centrala förutsättningar i kommande trafikavtal bör vara bestämda när förfrågningsunderlaget skickas ut (cirka 2 år innan trafikstart), så att potentiella anbudsgivare kan förstå affärsupplägget och kunna lämna pris utifrån omfattning och risker i affären. Anbudstid och tid för utvärdering av anbud sätts i förhållande till hur komplext och omfattande upphandlingen är.

I de inledande analyserna bör det noga studeras hur trafikdriften med elbussar påverkar fordonsflottan, vilket i sin tur ställer krav på antal depåplatser och/eller depåplatsernas utformning (beroende på fordonens storlek och hur de ska laddas vid depån). Ut- eller ombyggnad av depåer är ett arbetsmoment som ligger utanför processbilden, men är ofta en svår, kostsam och tidskrävande process i synnerhet i tätbebyggda städer.

Det kan argumenteras att det krävs fler elbussar än exempelvis dieselbussar för att täcka samma linjesträckning med samma turtäthet, främst beroende på tiden det tar att ladda en elbuss kontra tanka en dieselbuss. Så kan vara fallet om bussarna exempelvis måste depåladdas och köra till depån någon gång under dagen, och en annan buss då måste ersätta den under en viss tid per dag. Detta varierar från fall till fall, där valet av laddstrategi, tidtabellplanering och vilka linjer som ska elektrifieras påverkar antalet elbussar som krävs för att möta trafikbehovet. Även vid tillläggsladdade bussar kan det krävas fler fordon för att klara nuvarande trafik beroende på tidtabellen. Genom att exempelvis placera laddare vid regleringsplatser (eller vid pauslokaler) i stället för påstigningsplatser kan laddtiden öka utan att påverka tidtabellen. En annan lösning för att minska stillastående bussar kan vara att överväga möjligheten att ladda under färd (konduktivt eller induktivt) när tekniken har utvecklats ytterligare. Å ena sidan är en sådan lösning dyrare än stationär laddning och inte lika flexibel gällande linjedragning, men å andra sidan mer fördelaktigt när det gäller utrymmes- och laddtidskrav.

Genom en tidig analys av busstrafiksystemet som helhet, och med beaktan av kort- och långsiktiga investerings- och driftskostnader, förbättras förutsättningarna att välja en lösning som fungerar över tid. Detta görs genom att analysera linjenätet, tidtabellen, omloppsplanering och placering av laddinfrastruktur som en integrerad lösning i syfte att möjliggöra en hög andel av elektrifierade busslinjer och optimal användning av laddinfrastruktur.



Figur 16 Parallella processer vid införande av eldrivna bussar. * Process C utgår vid införande av enbart depåladdade elbussar (bildkälla Sweco).

Om elbussarna ska ägas av RKM eller kommun kan fordonsanskaffning (process B) starta innan tilldelning av kontrakt. Enligt uppgifter från genomförda upphandlingar samt trafikföretag och fordonsleverantörer är anskaffningstiden idag mellan 14 och 18 månader för elbussar. Om anskaffningstiden framöver kommer att förkortas i och med att produktion av elbussar ökar, eller förlängas på grund av ökad efterfrågan är inte känt.

Om de elbussar som ska användas för den upphandlade trafiken ska laddas i gaturummet vid ändhållplatser eller under färd, kräver detta kalendertid för att föra en dialog med markägare och elnätsägare/elleverantör om lämpliga platser för anläggning av tillhörande laddningsinfrastruktur (process C). Vid införande av eldrivna bussar är tillgång till mark för laddningsinfrastruktur en utmaning, eftersom det i städer ofta saknas tillgängliga ytor såväl ovan som under[115] mark. I samtliga svenska städer som infört laddningsinfrastruktur i gaturummet har kommunen varit en deltagande part och därmed har denna process sannolikt varit enklare. Process C beror på antalet platser där laddningsinfrastruktur ska anläggas, vilket i sin tur beror på antalet linjer som ska elektrifieras.

Tillstånd för laddningsinfrastruktur varierar beroende på teknisk lösning och var laddningsinfrastrukturen ska anläggas. Extra komplicerat är det om gällande detaljplan behöver ändras. För laddning längs linje, vid ändhållplats eller annan plats (terminal, reglerplats mm) krävs bygglov. En laddningsstolpe (pantograf) kräver inte bygglov om den inte har tak, men transformatorstationen kräver bygglov. Enligt uppgift från kommuner tar bygglovsprocessen cirka 10–20 veckor.

Oavsett teknisk lösning för laddning, ska elbussarna kunna laddas vid depån. Ström-försörjningen i depån måste vara tillräcklig för att kunna ladda bussarna i den takt som trafikdriften kräver. Det kan krävas bygglov för laddningsinfrastruktur i depå, exempel-vis om laddningsplatserna ska förses med en enklare takkonstruktion eller om det krävs en ny eller ombyggd transformatorstation.

[115] Både i Stockholm och Oslo har planerad laddinfrastruktur i gaturummet behövt att hitta annan plats pga. av fjärrvärmerör och vattenledningsrör.

Om det saknas tillräcklig strömförsörjning till laddningsplatserna (gäller både depå och i gaturummet) som medför att nya elledningar krävs, och det inte går att hitta lämpliga områden för detta i gällande detaljplan, behöver detaljplanen ändras. Även i fall då det inte krävs detaljplaneändring så kan tiden för elnätsägaren att säkra strömförsörjning vid nya laddningsplatser vara uppemot 2 år. Tid för test av systemet som helhet beror på komplexitet och omfattning. Tiden kan vara kortare än de 2 månader som bilden ovan visar, men en viss testtid bör inkluderas för att resenärerna inte ska påverkas och att trafikstarten som helhet ska upplevas som lyckad.

Att tänka på inför upphandlingsprocessen

I upphandlingsprocessen är det viktigt att tidigt föra en konstruktiv dialog och bestämma förutsättningar och krav för kommande avtal eftersom flera parallella och av varandra beroende processer måste samordnas, där många processteg tar lång tid. Dessutom är det många involverade parter (RKM, kommun, markägare, elnätsägare, elleverantör samt leverantör av laddutrustning och fordon) och ansvarsgränssnitt mellan dessa parter måste bestämmas för att få en bra upphandling och ett avtal som fungerar över tid.

Införande av elbussar inom befintligt avtal

Att genomföra större förändringar under ett gällande avtal är inte alltid tillåtet, och medför ofta kostnader och risker för de ingående parterna, och brukar därför undvikas i möjligaste mån. Genomförande av mindre ändringar eller ändringar som ingår i grundkraven för avtalen (tex mål om löpande energieffektivisering) under avtalsperioden är tillåtet och enklare, men kan vara förhållandevis kostsamma. Avtalen innehåller skrivningar som reglerar hur parterna ska komma överens vid exempelvis lagändringar eller externa förutsättningar som medför förändringar i gällande avtal. Om avtalen även innehåller skrivningar om hur teknisk utveckling ska hanteras, kan det vara enklare att införa exempelvis elbussar i gällande avtal.

Möjligheten att byta ut fordon under en avtalsperiod beror på vem som äger fordonen och hur trafikavtalets miljö- och fordonskrav är formulerade. Om kommun eller RKM äger fordon är möjligheten att byta fordon under pågående avtal större, jämfört om trafikföretagen äger fordonen. Detta gäller oavsett vilket bränsle som används för framdrift. Det är vanligt att ett avtal innehåller en fordonsförsörjningsplan det vill säga att i gällande avtal finns beskrivet när vilka bussar ska bytas ut och när i syfte att kunna följa att avtalets övergripande miljö- och fordonskrav uppnås. I exempelvis Ängelholm, Eskilstuna och Norrtälje har introduktion av elbussar skett i samband med ett planerat fordonsutbyte.

Reglerandet av eventuella merkostnader för införande av elbussar under pågående avtal kan ske på olika sätt. Det är relativt vanligt att de ingående parterna delar på faktiska kostnader, eller bidrar i form av ändade villkor och förutsättningar som indirekt påverkar kostnaderna (exempelvis via återköpsgaranti av fordon och laddningsinfrastruktur).

Införande av elbussar i befintligt avtal beror på avtalskrav och ägande av fordon

Möjligheten och kostnaden för att införa elbussar i befintliga avtal beror hur miljö- och fordonskraven i avtalet är formulerade. Det är oftast enklare att byta fordon under gällande avtal om kommun eller RKM äger fordonen, jämfört med om trafikföretagen äger fordonen.

8.3 Upphandlingsrekommendationer

Allmänt

Förfrågningsunderlag vid busstrafikupphandlingar innehåller vissa absoluta och tydliga angivna krav som anbudsgivarna måste klara för att deras anbud ska tas i beaktan, dessutom innehåller förfrågan ofta ett antal funktionskrav det vill säga upphandlaren beskriver vilken funktion som efterfrågan och anbudsgivaren får beskriva sin lösning för att uppnå efterfrågan funktion. Utvärdering av anbud sker ofta på basis av både pris och kvalité, vilket ger möjlighet att premiera mervärden eller kvalitet.

Det är generellt viktigt att trafikavtal ger flexibilitet på längre sikt för att undvika ineffektiva inlåsningseffekter. Varje upphandling av avtal måste föregås av dialog med marknaden och en noggrann utredning av gällande förutsättningar för att få en lösning med hög trafikantnytta såväl som kostnadseffektivitet. Kostnadseffektiviteten måste ses i ett längre perspektiv än just det kommande avtalet för att säkerhetsställa god konkurrens även i nästa upphandling. Vid införande av elbussar ska detta tas i beaktan vid exempelvis var laddningsinfrastruktur installeras så att dessa platser är lämpliga för laddning även om linjedragningar delvis förändras över tid.

Ägande av elbussar och specialkrav

Vid tidigare teknikskiften, såsom övergång till biogas och etanol, har kommuner eller RKM tagit ett större ansvar för fordon och tankningsutrustning. Detta har skett genom exempelvis att kommunen eller RKM har köpt in fordonen eller att i avtalen ingår en återköpsgaranti för bussarna. Detta har varit ett framgångsrikt sätt att minska risker för trafikföretagen och bidragit till teknikutvecklingen.

På samma sätt har många RKM och kommuner sannolikt tänkt vid införande av elbussar, och därför ägs en del av elbussar i Sverige av RKM, kommun eller fordonsleverantören. I och med att antalet elbussar i ordinarie trafikdrift ökar, kommer sannolikt risker förknippade med elbussägande minska och det blir mer vanligt att trafikföretagen äger elbussarna på samma sätt som för bussar med andra drivmedel.

Ställs många specialkrav på fordon kan det bli svårt för trafikföretagen att använda dessa fordon när det cirka 10-åriga kontraktet är slut vilket i sin tur påverkar trafikkostnaden för RKM[116]. Detta gäller i synnerhet elbussar där andrahandsmarknaden än så längre är begränsad. I dag saknas erfarenheter av vilken livslängd som elbussar och dess laddningsinfrastruktur har.

[116] Camén och Lidestam, Dominating factors contributing to the high(er) costs for public bus transports in Sweden, Research in Transportation Economics

Än så länge är det enbart i Landskrona som har infört elbussar som laddar under färd (trådbussar med batteri). Denna trafik och fordon påminner mycket om spårburen trafik, och frågan är om RKM ska hantera upphandling, ansvar och avtal för trådbussar, mer som spårtrafik än busstrafik.

Vilken organisation skulle kunna äga elbussar och varför?

Elbussar, liksom övriga bussar, kan ägas av RKM (eller kommun) eller av trafikföretagen beroende på vad som passar utifrån övriga ansvarsgränssnitt för trafiken. För att minska kostnaden och undvika inlåsningseffekter i trafiken är det viktigt att undvika särkrav på fordon och laddningsutrustning.

Medfinansiering

För att främja införande av hållbara och förnyelsebara transporter finns idag ett antal olika bidrag som RKM och/eller andra parter kan utnyttja. Dessa möjligheter bör tillvaratas vid införande av eldriven busstrafik, men inte utgöra en förutsättning eftersom dessa förändras över tid.

Samtliga svenska städer som infört ändhållplatsladdade elbussar har RKM och/eller annan part, erhållit extern medfinansiering för byggande av laddningsinfrastrukturen. Den vanligaste finansieringen är Stadsmiljöavtal[117], alternativt medel via Klimatklivet[118] eller bidrag via olika EU-projekt samt elbusspremien.

Elbusspremien[119]

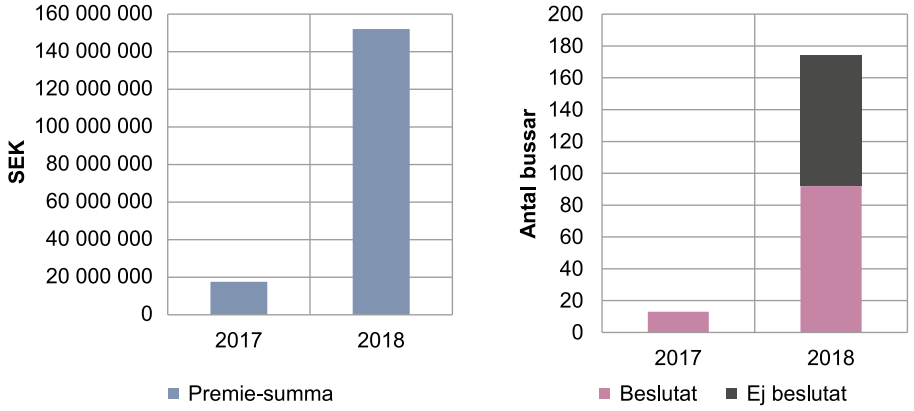
Syftet med elbusspremien är att främja introduktionen av elbussar på marknaden och premien utgör maximalt 20 % av elbussens inköpspris. Energimyndigheten ansvarar för utbetalning och 100 miljoner kronor per år är avsatt till och med år 2023. År 2018 är första året då hela Energimyndighetens budgetram kommer sannolikt att ha utnyttjats.

I Figur 17 visas en sammanställning av utnyttjande av elbusspremiens budget år 2017 och år 2018 (t.o.m. november 2018). År 2017 var premiesumman cirka 12 miljoner SEK medan summan ökade betydligt upp till cirka 170 miljoner SEK år 2018. År 2017 tillhandahölls premien till 13 elbussar. Antalet elbussar vilka beslutades få premien år 2018 är 92, och för 82 elbussar har Energimyndligheten ännu inte fattat beslut.

[117] https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Finansieringsmetoder/statligt-stod-for-hallbara-stadsmiljoer---stadsmiljoavtal/

[118] https://www.naturvardsverket.se/klimatklivet

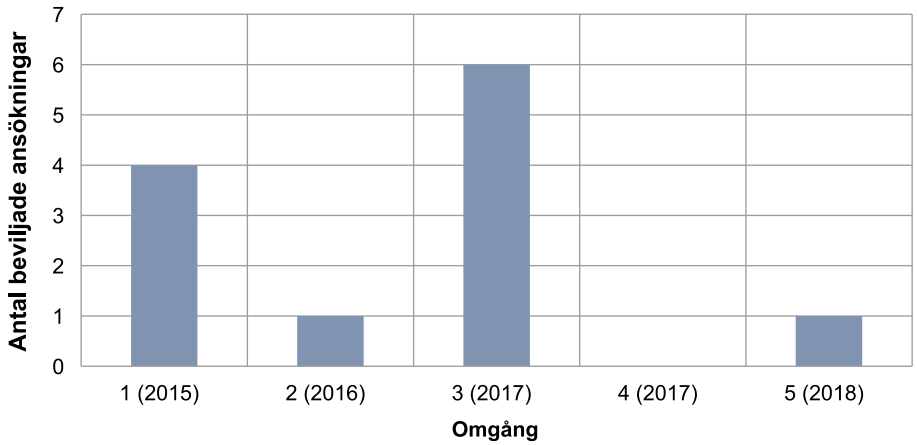
[119] http://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/fossilfria-transporter/elbusspremie/



Figur 17 Sammanställning av elbusspremiesumma (vänster) och antal elbussar vilka beslutades få premien (höger) år 2017 och 2018 (Källa: Energimyndigheten).

Stadsmiljöavtal[116]

Kommuner, regioner och landsting kan söka stöd för att främja hållbara stadsmiljöer genom så kallat stadsmiljöavtal. Medfinansieringen via stadsmiljöavtalet kan vara högst 50 % av åtgärdernas kostnad. Laddinfrastruktur för elbussar kan ingå i stadsmiljöavtalen om de ingår i en större paketlösning med andra åtgärder som stöd för, samt motprestation för en hållbar stadsutveckling. Stöd kan även sökas till infrastruktur till trådbussar. För bidrag till enbart depåladdare hänvisas till Naturvårdsverkets stöd till lokala klimatinvesteringar, Klimatklivet (se nedan). I Figur 18 visas en sammanställning av ansökningar gällande elbussar inom ramen av stadsmiljöavtal. Totalt har 12 projekt med elbussar omfattas av stadsmiljöavtal och de flesta ansökningar gällande elbussar beviljades i den tredje omgången av programmet (år 2017).



Figur 18 Beviljade ansökningar gällande elbuss under stadsmiljöavtalsprogrammet (Källa: Trafikverket).

Klimatklivet[117]

Naturvårdsverkets Klimatklivet är ett stöd till lokala och regionala klimatinvesteringar som minskar utsläppen. Stöd till laddningsstationer får ges med högst 50 % av investeringskostnaden. Ansökningar till Klimatklivet stängdes 2018 och kommande regeringsbeslut avgör om det blir fler ansökningsomgångar.

Medfinansiering

Det finns idag flera olika former av medfinansiering för introduktion av elbussar, vilket snabbar på införandetakten. Ansvarig RKM och kommun kan utnyttja detta, men bör beakta kostnader även i ett längre perspektiv vid beslut om införande av elbussar.

Miljö- och energieffektiviseringskrav

Samverkansarenan "Partnersamverkan för en förbättrad kollektivtrafik" har utarbetat ett mallavtal med ingående kravbilagor som kan användas i trafikupphandlingar. Miljöbilagan[120] innehåller förslag på kravställning för exempelvis utsläpp, energi och buller. Det finns i bilagan tre nivåer (mini, bas och utökade krav) där den upphandlande parten kan välja olika nivåer för olika kravområden. Gällande energianvändning finns SORT-krav som är en internationell benämning av energianvändning mätt i liter diesel/100 km eller kWh/10 km. Genom höga krav på energianvändning i upphandling kan införande av elbussar vara en lösning.

Upphandlingskrav elbussar

När det gäller upphandling av trafik med elbussar har majoriteten av upphandlingarna i Sverige innehållit tydliga krav på elbussarna både gällande teknikval, storlek och antal. Sörmlands kollektivtrafikmyndighet ställde funktionskrav gällande energianvändning och i vinnande anbudsgivarens lösning ingick en andel elbussar.

Införande av elbussar i ett avtal kan ske vid trafikstart och/eller gradvis under avtalsperioden. Ett senare införande kan vara lämpligt om införande av elbussar kräver anläggning eller anpassningar av depåer och/eller laddningsplatser som inte har hunnits med under upphandlingsprocessen.

Ställs specifika upphandlingskrav på både omfattning och prestanda (exempelvis tio depåladdade tolvmetersbussar) blir det tydligt för anbudslämnaren vad som ska ingå i anbudet och det blir enklare för upphandlande part att utvärdera inkomna anbud.

Ställs krav på exempelvis nollemission eller energieffektivisering måste avtalet även innehålla skrivningar av hur detta ska mätas, av vem och hur samt eventuella viten eller liknande om kraven inte uppnås. Detta ställer krav på såväl utvärdering av anbudens lösningsförslag som avtalsförvaltningen hos RKM. Krav om enbart energieffektivisering i en upphandling kan resultera att trafikföretagerna enbart inkluderar hybridbussar och inga helelektriska bussar, beroende på hur höga krav som ställs, och hur energieffektiviseringen ska mätas.

Det finns internationella exempel på där utvärderingsmodellen har innehållit mervärdespoäng om elbussar ingår i anbudet. Om en sådan lösning väljs så är det viktigt för RKM att noga utreda och bestämma hur stort mervärdet ska vara kontra andra kvalitetskrav för trafiken.

[120] https://www.svenskkollektivtrafik.se/globalassets/partnersamverkan/dokument/miljo-och-sakerhet/miljoprogrammet/miljokrav_buss_2018-08-14.pdf

Införande av elbussar i ett nytt avtal

Det finns flera sätt att införa elbussar i ett nytt avtal, där den enklaste och tydligaste metoden är att ställa fasta krav på teknik och antal. En annan metod är att ställa funktionskrav, vilken kan medföra helelekriska bussar, men kanske även någon annan lösning för att uppnå funktionskraven. Även via inkluderande av mervärdespoäng i anbudsutvärderingen kan elbussar erhållas beroende på mervärdets storlek.

Ansvarsgränssnitt

Vidare är det i upphandlingen och kommande avtal mycket viktigt att klargöra vilken part som har ansvar för drift och underhåll av laddningsinfrastruktur. Det finns en mängd olika varianter på vilken part som ska ha olika delar av ansvaret och detta måste vara tydligt beskrivet i upphandlingsunderlaget för att trafikföretagen ska kunna lämna anbud. Då laddningsinfrastrukturen måste anpassas till elbussarna finns det många fördelar att den som äger elbussarna har stort ansvar för att finansiera och ansvar för driften av laddningsinfrastrukturen. Även här behövs regleringar i avtalet vad som händer om någon part brister i sitt ansvarsområde.

Vikten av ansvarsgränssnitt

Ansvarsgränssnitt är en mycket central del i ett busstrafikavtal med elbussar. Detta gäller i synnerhet där bussarna ska laddas i gaturummet, där de olika parterna måste ha rutiner och regler för exempelvis snöröjning vid laddinfrastruktur.

9 Erfarenheter av elbussar

De uppgifter som finns under detta kapitel är det som gällde när rapporten skrevs under hösten 2018. Utvecklingen när det gäller elbussar går fort vilket gör att vissa uppgifter redan kan vara inaktuella.

9.1 Internationell utblick

Satsningar på elektrifierad busstrafik pågår i många länder. I 2016 uppskattades antalet elbussar globalt sett till 370 000, enligt IEA:s rapport ”Global EV Outlook 2018”. De flesta av dessa finns i Kina. Antalet elbussar i Kina uppskattas till cirka 340 000 vid första halvåret av 2018[121]. Kina har tagit ledning på denna marknad främst av följande anledningar[122]:

- Subventioner till elbussar: nationella och regionala subventionsprogram har införts för att minska investeringskostnaden, vilket bidrog till att elbussar ses som en konkurrenskraftigt alternativ till andra busstekniker.
- Luftkvalitet och trygg energiförsörjning: allvarliga problem som har uppstått i kinesiska städer gällande luftkvalitet har gjort att omställningen till utsläppsfria transporter prioriteras högt. Dessutom är det nuvarande oljeimportberoendet en viktig faktor som driver en elektrifiering av transportsektorn.
- Stadsplanering: Kina utvecklar ett antal nya städer parallellt. Det ger möjlighet till att testa nya, innovativa lösningar och tekniker samtidigt som kollektiv-trafiksystemet byggs upp.
- Industriell politik: ett flertal buss- och batteritillverkare har sin utgångspunkt i Kina. Utveckling av varumärken som kan konkurrera på både den inhemska och den internationella bussmarknaden är av hög prioritet för landets industriella politik.

Införande av elbussar i Kina fördröjdes år 2017 och 2018 pga. en planerad minskning av subventionsstöd samt debatt kring subventionssystemets styrning efter undersökningar av påståenden om bedrägeri i detta marknadssegment [123].

Vid mitten av 2018 uppskattades antalet elbussar i Europa till 1 273, vilket motsvarar en ökning med 100 % sedan 2015. Marknaden växer snabbare än förväntat då de aktuella beställningarna redan har nått de nivåer som uppskattades att nås år 2025 [124].

Enligt Bloombergs sammanställning av elbussflottor i Europa har Storbritannien den största med totalt 344 elbussar år 2017. Ungefär hälften var helektriska (191). Nederländerna har störst antal helektriska elbussar (296 år 2017) i Europa. Tyskland, Litauen och Österrike är också bland de länder med de största antalen elbussar. År 2017 fanns 43 helelektiska elbussar

[121] World Bank and UITP, *Electric Mobility & Development*, 2018.

[122] Bloomberg.

[123] World Bank and UITP.

[124] World Bank and UITP.

och 93 laddhybridbussar i Sverige[125]. Tabell 8 sammanställer några internationella elbussprojekt samt olika städers mål om elektrifiering av bussflottor.

Tabell 8 Urval av internationella elbussprojekt[126,127]

Stad	Land	Antal elbussar	År	Mål
Shenzhen	Kina	3 600	2016	100 % elbussar (16 500 bussar) år 2017
Los Angeles	USA	–	–	Endast elbussar köps efter 2025
Amsterdam	Nederländerna	118	2018	100% elbussar år 2025 (gäller trafikutövaren GVB)
London	Storbritannien	36 56	2018 2019	Endast elbussar köps efter 2025
Paris	Frankrike	23	2016	Endast elbussar köps efter 2025

Kommande avsnitt fokuserar på erfarenheter av elbussar från nordiska länder, presenterade i följande ordning: pågående projekt, planerade projekt, huvudsakliga erfarenheter samt övriga kommentarer om implementeringen. Materialet baseras på intervjuer med representanter från kollektivtrafikmyndigheter. En lista med samtliga intervjuade aktörer finns i Bilaga 1. Mer erfarenheter från städerna som presenteras i avsnitt 9.2 och 9.3 presenteras i Bilaga 2.

9.2 Nordiska länder

Oslo

RKM	Ruter
Pågående elbussprojekt	2 st 18 m, depåladdade 80 kW 2 st 12 m, tilläggsladdade 400 kW (bussmonterad pantograf) 2 st 12 m, tillägsladdade 300 kW (inverterad pantograf) 5 st bränslecellsbussar (vätgas, sedan 2012)
Planerade elbussprojekt	Sommaren 2019 – tillskott av 70 elbussar i Oslo. – 42 st snabbladdade på depå 300 kW (bussmonterad pantograf)[128] Juli 2019 Akershus, preliminärt: – 22 st depåsnabbladdade och 17 st 12 m, plug-inladdning.

Huvudsakliga erfarenheter

- Centrala linjer är bra att elektrifiera först, för utökad synlighet.
- Ruter anser att det var för tidigt att implementera endast elvärme i bussarna, och kör därför på hybridlösning i dagsläget. Krav i upphandlingen ställdes så att det ska gå att ställa om till helelektriskt.
- Utrymmet som krävs för laddinfrastruktur i innerstaden får inte underskattas, och den måste förläggas så den inte stör annan infrastruktur (exempelvis fjärrvärmerör).
- Både investeringskostnad och tidsåtgång för att få elbussar på plats var mer omfattande än för vanliga bussar i Oslos fall, exempelvis tiden för att få bygglov.

[125] Bloomberg.

[126] Bloomberg.

[127] World Bank and UITP.

[128] Busworld, 'Heliox Wins Order for Charging Infrastructure in Oslo', 2018.

- Det är viktigt att se elbussen och laddtekniken som ett system, där laddkonceptet bör väljas av den som ska köra trafiken.

Köpenhamn

RKM	Movia
Pågående elbussprojekt	2 st tilläggsladdade elbussar (från 2017)
Planerade elbussprojekt	April 2019 – 20 st depåladdade elbussar i avtalsområde A16 December 2019 – 3 paket: – 5 st 12 m, depåladdade (förortslinjer) – 27 st 12 m, depåladdade (centrala linjer) – 20 st 18 m, (varav 4 st snabbladdade) Vätgasbussar (obestämd tidslinje)

Huvudsakliga erfarenheter

- Erbjud trafikoperatörerna att presentera egna lösningar, och utvärdera sedan baserat på pris och hur lämplig den anses för föreslagna linjer.
- Viktigt att ha en bra dialog med operatörerna under planeringsfasen för att identifiera risker tidigt och arbeta tillsammans för att lösa dem.
- Tillgängligt utrymme för elbussarna och deras laddinfrastruktur kan bli problematiskt om det inte planeras för.
- Elbussarnas räckvidd beror till stor del på förarnas körstil, och det kan krävas en hel del utbildning för att möta problematiken.
- Investeringskostnaden är omfattande och en betydande barriär för elbussar i dagsläget. Tekniken fungerar bra men priset, särskilt för batterierna, behöver sjunka.
- Vem som är ansvarig för vad när det gäller elbussarna och tillhörande laddinfrastruktur bör tydliggöras, för att undvika missförstånd.
- I Köpenhamn dimensioneras laddinfrastrukturen enligt N+1 princip så att trafiken kan fortsätta längs med en linje i de fall då en laddare inte fungerar under linjesträckningen.
- Movia har ramavtal med en leverantör av laddinfrastruktur för att försörja stadens snabbladdningssystem vilket anses också varit en välfungerad del i arbetet med elbussarna.

Helsingfors

RKM	HSL
Pågående elbussprojekt	10 st ändhållplatsladdade elbussar.
Planerade elbussprojekt[129]	Hösten 2019 – 30 st nya elbussar. Februari 2020 – 5 st nya elbussar.

[129] HSL, 'Clean and Quiet – 35 New Electric Buses to Enter Service', 2018.

Elbussar anses vara ett ekonomiskt smartare val, och dessutom tystare samt mer bekväma än traditionella bussar. Kommunerna och HSL som är regionens RKM köper laddningen som en tjänst. HSL har tidigare erfarenhet av depåladdning från ett annat projekt. De främsta anledningarna till att elbussar infördes är miljö- och hälsorelaterade.

Upphandlingen av tolv elbussar för elbussprojektet var ett speciellt fall, eftersom HSL normalt inte upphandlar bussar direkt utan upphandlar vanligtvis endast transporttjänster. För detta fall använde HSL en s.k. direktupphandling, vilken är tillåtet enligt EU-lagstiftningen för vissa speciella fall. HSL mottog finansiering för detta projekt från Business Finland (som bildades genom sammanslagningen av Tekes och Finpro) och från arbets- och näringsministeriet. HSL köpte bussarna och kommunerna (Helsingfors och Esbo) investerade i laddstationerna för detta projekt.

De sträckor som valts för att elektrifieras är centralt belägna, men även linjelängden och linjens lokalisering togs hänsyn till i urvalsprocessen. Under driftsfasen var det initialt problem med kommunikationen mellan bussen och laddstationen, vilket störde laddningen. Problemet har åtgärdats.

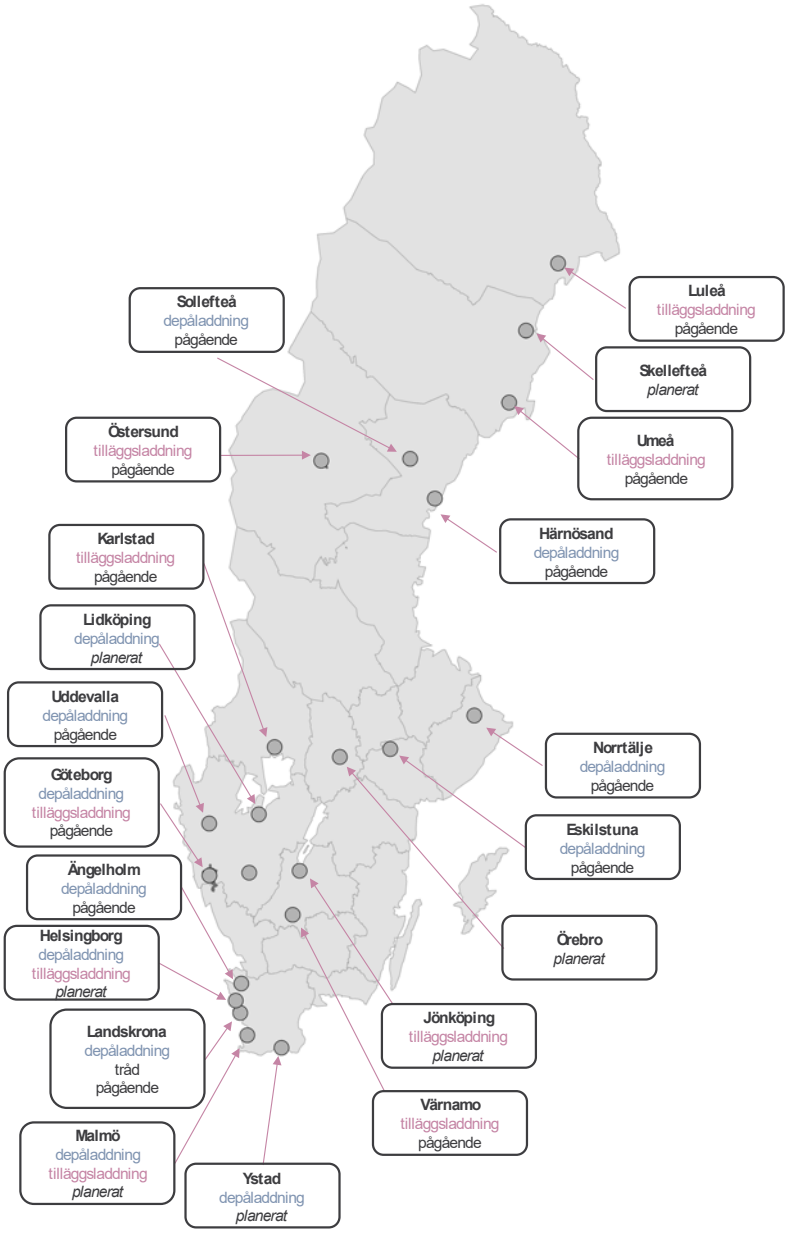
Reykjavik

RKM	Straeto (är även trafikoperatör)
Pågående elbussprojekt	9 st depåladdade elbussar.
Planerade elbussprojekt	November 2018 – 5 st depåladdade elbussar (med möjlighet att införa tilläggsladdning senare) 2020 – 5 st vätgasbussar inom ramen för EU-projektet JIVE2.

Elbussarna är resultatet av en upphandlingsprocess och kommer därmed inte vara del av ett demonstrationsprojekt, utan kommer köras inom den vanliga trafiken. De inköpta bussarna har uppfyllt alla förväntningar, trots att räckvidden är något kortare i praktiken jämfört med det som uppnås under SORT-körcykler. Både bussarna och laddinfrastrukturen ägs av Straeto och köptes som ett paket, inklusive garanti. Straeto vill inte ha skräddarsydda bussar för varje rutt, utan påpekar att flexibiliteten behövs i verksamheten.

9.3 Sverige

Figur 19 visar ett urval av pågående samt planerade elbussprojekt i Sverige, inklusive valet av laddstrategi. Åtta städer testar depåladdning, medan tilläggsladdning har valts av sex städer. Trådbussar testas i nuläge endast i Landskrona.



Figur 19 Urval av pågående samt planerade elbussprojekt i Sverige (Källa: kommunikation med Sveriges Bussföretag).

Eskilstuna

RKM	Sörmlandstrafiken
Pågående elbussprojekt	2 st depåladdade elbussar (från december 2015) 10 st depåladdade elbussar (från 2017)
Planerade elbussprojekt	

Huvudsakliga erfarenheter

- Samtliga bussförare har genomgått utbildningar om elbussar, och det anses vara ett attraktivt uppdrag att köra dem. Trafikföretagen har inte rapporterat om några störningar på grund av eldriften.
- Sörmlandstrafiken har erfarit skillnader i ljudnivå i stadsdelar där fler bussar körs på el, jämfört med stadsdelar där fler biogasbussar används. I vissa fall har trafiken varit så pass tyst att spårvagnsljud har tillförts.
- En fältstudie som genomförts tillsammans med trafikföretaget visat att det finns arbete kvar med kommunikationen kring driften av elbussar gentemot resenärerna. I september 2018 markerades därför elbussarna med en elsladd baktill.
- Batteriräckvidden har i vissa fall påverkats något vid kall väderlek, vilket inte har påverkat uppfattningen om att satsningen varit mycket lyckad.
- Den största utmaningen anses vara de anpassningar på depå som behövs, för att säkerställa tillräckligt med utrymme samt att det finns tillräckligt med kapacitet för att kunna hantera laddning.
- Viktigt att göra denna satsning tillsammans med trafikföretaget, något som sker naturligt i en upphandlingsprocess där parterna tillsammans startar upp trafiken. Att regionens kollektivtrafikmyndighet, kommunen och trafikföretaget har samarbetat ses som ett vinnande koncept.

Skåne

RKM	Skånetrafiken
Pågående elbussprojekt	5 st trådbussar i Landskrona (varav 1 st laddning under färd) 5 st depåladdade bussar i Ängelholm.
Planerade elbussprojekt	December 2018 – 13 st 12 m, ändhållplatsladdning (Malmö) Januari 2019 – 14 st 12 m, depåladdning (Landskrona) Sommar 2019 – 5 st 12 m, depåladdning (Ystad) 2019 – Helsingborgsexpressen 1 (Helsingborg)

Huvudsakliga erfarenheter

- Bussarna i Malmö måste kunna gå 18 timmar per dygn, varpå ändhållplatsladdad trafik ansågs som det mest lämpliga alternativet. Valet av linjer som skulle elektrifieras gjordes då de ansågs vara de linjer som kommer fortsätta köras även i framtiden.
- Skånetrafiken poängterade att det alltid är dyrt att testa nya system, men att det är viktigt att våga och vara beredd på att det kanske blir mer rimligt i det långa loppet.
- Bussarna i Landskrona har levererat enligt förväntan, och den som möjliggör laddning under färd ha endast krävt en mindre batterijustering efter 4 år.
- Bussarna i Ängelholm levde inte upp till leverantörens löfte om räckvidd, vilket har lett till att operatören har fått sänka bussarnas planerade distans. Vintertid minskar bussarnas räckvidd ytterligare.
- Det har även krävts en balansering av batteriet, vilket tar 48 h, var sjätte månad för att bibehålla dess energikapacitet. Förklaringen från leverantören var att det svenska klimatet påverkade batteriets drift och att de aldrig haft detta problem tidigare.
- De fördelar som Skånetrafiken erfarit från sitt projekt med elbussar i Ängelholm är lägre buller, emissioner, energianvändning och driftkostnad jämfört med gasbussarna. Nackdelarna är en sämre tillgänglighet och högre investerings- och etableringskostnad jämfört med gasbussarna.
- Det är viktigt att göra en egen studie på vad som är det bästa systemet för varje region/stad att använda. Det varierar från fall till fall om det är mest lämpligt med depåladdning, trådbussar eller ändhållplattsladdade elbussar.
- Det är viktigt att utbilda förarna om skillnaderna mellan en vanlig buss och en elbuss, då det ändå är en viss skillnad. Det här går att kravställa gentemot operatören, vilket också borde göras då det påverkar hur väl projektet implementeras.

Stockholm

RKM	Stockholms Läns Landsting (Trafikförvaltningen)
Pågående elbussprojekt	5 st depåladdade elbussar (Norrtälje) Tidigare projekt – 1 st laddhybrid, induktiv laddning (Södertälje) – 8 st 12 m, laddhybrid (Ropsten – Karolinska)
Planerade elbussprojekt	Oktober 2018 – Autonoma Klass A bussar (Barkarby) [130] Sommar 2019 – 5 st 12 m, depåladdade (Sigtuna) 2019 – ledbussar, BRT-liknande linje (Barkarby)

[130] Enligt ”BUSS 2014: Branschgemensamma funktionskrav på bussar”: Det här är hämtat till Buss 2014 och kommer från UN-ECE R107. Klass A buss – buss som inrättade för befordran av högst 22 passagerare utöver föraren och är utformade för ståplatspassagerare.

Huvudsakliga erfarenheter

- Generellt rekommenderas att kombinera investeringar till elbussar med andra investeringstillfällen, t.ex. vid byggande av nya depåer osv.
- En utmaning som Trafikförvaltningen stötte på under förberedelser för projekten på linje 73 (Ropsten – Karolinska) och 755 (Södertälje) var valet av linje som skulle elektrifieras. Det var även en hel del samarbete som krävdes med exempelvis kommunen kring bygglov och enskilda aktörer som äger mark.
- I kommande upphandlingar kommer det först utredas från ett elektrifieringsperspektiv, vilket är ett beslut enligt landstingets målsättningar. En stor utmaning för elektrifiering av bussar utanför stadstrafik är den bristande tillgången på elektriska klass II bussar.
- Det är även oklart vem som tar infrastrukturinvesteringen, vilket tillsammans med den höga kostnaden och ofta bristen på utrymme i depåer är de främsta utmaningarna.
- Planera så att satsningen blir som kostnadsneutral som möjligt så att det finns möjlighet att samtidigt satsa på att göra kollektivtrafik mer attraktivt. Med andra ord bör satsningen till elektrifiering samexistera och främja kollektivtrafikens attraktivitet, och inte äventyra trafikutbudet och kvalitet.
- Se till så att elbussarna inte påverkar turtätheten och tidhållningen, vilket handlar om att välja rätt teknik till det rätta förhållandet.
- För att öka kollektivtrafikens andel måste en samsyn finnas kring hur systemet önskas utformas, och hur alla aktörer ska inkluderas för att tillsammans hitta hållbara och konkreta lösningar. I detta sammanhang bör också styrmedel som främjar framkomlighet i stadsmiljöer införas.

Umeå

RKM	Umeås Lokaltafik
Pågående elbussprojekt	9 st ändhållplatsladdade elbussar (sedan 2014)
Planerade elbussprojekt	2019 – 25 st elbussar.

Huvudsakliga erfarenheter

- Med tanke på att laddinfrastrukturen kräver omfattande investeringar så måste elbussarna gå på de linjer som har mycket resor med många resenärer. Elektrifiering av kollektivtrafiken kräver med andra ord täta turer med hög belastning i dagsläget.
- Kommunen anser att en av de största barriärerna för elbussar är att det är kostsamt. Rent tekniskt fungerar det, och i Umeå var det inga problem med energiförsörjningen. Istället är det den marknadsmässiga omogenheten som är den främsta barriären för elbussar idag.
- Samordning av projektet blir tidsintensiv, pga många involverade aktörer (exempelvis leverantör av laddinfrastruktur, byggentreprenörer, bygglovshandläggare och andra tjänstemän på kommunen). Även operatören är viktig att involvera, så att de är med i projektet från början för en lyckad implementering.

- Erfarenheterna från driften av bussarna i Umeås klimat är mestadels positiva. Batterikapaciteten räcker för bussarnas linjesträckning, trots att uppvärmning sker främst med hjälp av el. Dock har kommunen varit tvungna att byta hjulmotorerna på alla de 9 nuvarande elbussarna.
- En stor utmaning med bussarna har varit att säkerställa en bra laddning vid dåligt väder, exempelvis snö, då laddinfrastrukturen har låg tolerans för bland annat lutning eller bussens placering (vilket lösts efterhand).
- Kommunen arbetar i dagsläget med att framtidssäkra bussdepån genom att höja effekten. En problematik de tror sig stöta på i framtiden är effektbrist. Effektavgiften anses vara hög, vilket tillsammans med skatterna inte får tappas bort när ekonomin för att driva en elbuss beräknas.
- Umeå kommun anser att det fungerar bra att ha elbussar i kollektivtrafiken, om de anpassas efter de lokala förutsättningarna. Det går att göra mycket om viljan finns.

Värnamo

RKM	Jönköpings Länstrafik
Pågående elbussprojekt Planerade elbussprojekt	4 st 12 m, laddhybrid (inverterad pantograf, HVO)

Huvudsakliga erfarenheter

- För att öka säkerheten utbildades brandmän i hur elbussar fungerar och hur ett eventuellt räddningsarbete påverkas av eldriften.
- Värmarna i bussarna förbrukar mer HVO än förväntat.
- Ett resultat av projektet är en stor ökning i antal resande, 200 % fler Värnamobor väljer att åka buss till följd av satsningen. Den höga procentsatsen är delvis ett resultat av en tidigare låg siffra, men att satsningen har påverkat antalet resande är ett faktum.
- Såväl resenärer som bussförare uppskattar att bussarna är tysta – resenärerna upplever en behagligare resa och bussförarna upplever en mer rofylld arbetsmiljö.
- Den största utmaningen med en omställning till eldriven busstrafik anses vara planering av laddinfrastruktur. Bussen i sig är billig i drift, men planeringen av var infrastruktur bör placeras i en förtätad stad är en komplex utmaning.
- Samarbetet mellan länstrafiken och kommunen beskrivs som nyckeln till projektets framgång. Lägre utsläpp, tystare fordon och en stolthet i förnybar drift är stora drivkrafter. Det understryks att det är viktigt att de inblandade parterna länstrafiken och kommunen delar viljan om projektets genomförande.

Västra Götaland

RKM	Västtrafik
Pågående elbussprojekt	2 st ändhållplatsladdade (18m, linje 16, Göteborg) 10 st ändhållplatsladdade (linje 55, Göteborg)
Planerade elbussprojekt	Ale – 4 elbussar Kungsbacka – 3 elbussar Göteborg – 30 elbussar (linje 60) Fler till Eketrägatan och Lidköping i juni 2019. Totalt 60 nya elbussar inom befintliga avtal, fler planeras i nya avtal 2020–2023.

Huvudsakliga erfarenheter

- Erfarenheterna har varit positiva, särskilt då både resenärer och förare är nöjda med linjen då den är tystare.
- Västtrafik anser att det inte går att köra på exakt samma sätt som innan, utan att turerna bör optimeras för den elektrifierade trafiken vilket också är ett lärandetillfälle för de inblandade aktörerna.
- Det kan bli problem med tillgång på depåyta för elbussar. Även ytbehovet för laddinfrastruktur i staden är en utmaning. Västtrafik samarbetar nära med nätbolagen samt kommunens fastighets- och trafikkontor för att inkludera laddplatserna i detaljplaner.
- Lokaliseringen av depåerna i förhållande till linjedragningen kan vara problematiskt om elbussen måste köra långa tomkörningssträckor mellan linjen och depån.
- För att underlätta implementeringen av elbussar i framtida projekt behöver elbusspremien säkerställas. Elbussar är idag dyrare än konventionella bussar, och denna tröskel behöver överkommas för att tekniken ska få genomslag.
- Den befintliga strukturen av kollektivtrafik i Sverige gör att ingen kan driva frågan om elektrifiering själv. Elektrifiering kräver ett samarbete mellan flera olika parter, där kollektivtrafiken är en del, kommunen en annan och nätbolagen en tredje Därför är det av stor vikt att börja tidigt med planering.

9.4 Forskning

Forskningsinsatser sker från tekniska studier som undersöker t.ex. hur batteri- eller fordonsteknik kan utvecklas till studier som utvärderar politiska, ekonomiska, och miljömässiga effekterna av storskalig elektrifiering av elbussar. Fokus ligger på utveckling av olika modeller som kan underlätta beslutsfattande när det gäller valet av buss- och laddteknik samt identifiera de kostnader som tillhör olika valen. Ett annat aktuellt forskningsområde handlar om utvärdering av demonstrationsprojekt där de praktiska erfarenheterna sammanställs för att öka kunskap hos olika intressenter.

De flesta studier påpekar vikten av känslighetsanalyser för att identifiera de faktorerna som mest påverkar kostnader, samt förhållandet mellan infrastrukturs- och driftkostnader (driftkostnader är betydligt större). En annan viktig aspekt som belysas i olika forskningsprojekt är effekterna av elbussladdning på elnätet vilka bör beaktas. Angående planering för busselektrifiering visar olika studier att riskreducering genom ansvarsfördelning och konflikthantering, kunskapsutbyte, standardisering och hänsyn till det lokala sammanhanget är viktiga faktorer att ta hänsyn till för att öka antalet elbussar i framtiden. Bilaga 3 visar ett urval av relevanta vetenskapliga studier och rapporter som handlar om elbussar. Studierna är organiserade per ämne (elbussprojekt, modeller, sammanställningar). I Bilaga 4 sammanställas olika projekt som finansierades av Energimyndigheten och handlar om elbussar.

Vilka är lärdomarna av elbussprojekten?

Olika buss- och laddtekniker har testats i elbussprojekt i de nordiska länderna och det är i dagsläget inte möjligt att dra någon slutsats om vilken teknik som kan komma att dominera i framtiden, då den troligaste vägen framåt ska främja kombinationer mellan de olika teknikerna. Teknikerna har valts utifrån och anpassats till de lokala förutsättningarna, vilket ses som ett viktigt tillvägagångssätt för att nå en välfungerande implementering av elbussar.

Generellt anses elbussar som attraktiva att köra och åka med. En gemensam lärdom utifrån alla projekt som undersöktes var att tidigt och nära samarbete mellan de olika inblandade aktörerna är ett vinnande koncept. Utbildningsbehov kring de nya teknikerna hos personalen bör täckas noggrant och kan säkerställa smidigare drift. Erfarenheterna är mestadels positiva och aktörerna vill fortsätta satsa på elbussar.

I de flesta fall har tilläggsladdade bussar valts där hög turtäthet behövs, men nätavgifterna kan bli kostsamma. Det är fördelaktig att etablera infrastruktur för tilläggsladdning vid terminaler eller stora bytespunkter där utrymme redan finns. Depåladdade bussar ibland föredras pga. det inte behövs etablering av laddinfrastruktur i stadsmiljöer. Drift med depåladdade bussar anses likna drift av konventionella bussar eftersom laddningen sker i depån och påverkar inte omloppstider eller resenärernas upplevelse. Däremot beroende på bussens räckvidd och linjens egenskaper ytterligare laddning under dagen behövs vilket leder till tomkörning till depån och i vissa fall extra fordon som ersätter bussen som laddas.

En utmaning som nämnts av de flesta aktörerna, särskilt de som representerar de regionala kollektivtrafikmyndigheterna (RKM) i större städer, är platsbristen för laddinfrastruktur i både depåer och innerstadsmiljöer. Dialog med kommunerna vore fördelaktigt för att adressera dessa utmaningar. På grund av utrymmesbehoven för infrastruktur till elbussarna är det viktigt att planera så tidigt som möjligt för införande av elbussar, samt involvera samtliga berörda aktörer i en aktiv dialog.

Valet av linjerna som ska elektrifieras görs i de flesta fallen av operatörerna då de är ansvariga för den dagliga driften. Däremot har RKM det övergripande perspektivet på systemet och bör skapa grundläggande förutsättningar för en elektrifiering i framtiden. Detta kan, till exempel, göras via förberedelse med bygglov för möjliga laddningspunkter eller ramavtal med tillverkare av laddinfrastruktur. Angående drift har de intervjuade aktörerna i vissa fall noterat problem som främst gäller batteriprestanda och minskad räckvidd pga. högre värmebehov vintertid. Erfarenheter visar på att det är viktigt att ta hänsyn till behovet av värme/kyla och inte bara se till körsträckan för en specifik linje när teknikval av buss görs.

Slutligen pekar erfarenheterna från olika städer på att även om det finns vissa gemensamma faktorer finns det ingen lösning som kan passa alla miljöer, utan det bör utredas vilken som är den mest lämpliga lösningen för varje specifikt fall. Elektrifiering av bussar bör införas på ett sätt som inte äventyrar kollektivtrafikens attraktivitet, utan snarare bidrar till att öka attraktiviteten.

10 Slutsatser

Varför bör bussflottan elektrifieras?

I Sverige är bussflottan nästan fossilfri, och för vissa regioner har fossilfrihet redan uppnåtts. Detta är ett unikt exempel på internationell nivå, som också innebär att avskaffning av fossila drivmedel inte kan användas som argument för införande av elbussar. Däremot finns det utmaningar som kvarstår när det gäller t.ex. hållbara stadsmiljöer, attraktivare kollektivtrafik, energieffektivisering och andra samhällsekonomiska effekter som elbussar skulle kunna bidra positivt till. Dessutom kan elektrifiering av bussar frigöra biodrivmedel för andra syften i klimatomställningen. På långt sikt kan elektrifiering av busstrafik minska kostnader, efter att infrastrukturen etablerats och stordriftsfördelar åstadkommits.

Vad påverkar valet av buss- och laddteknik?

Helektriska elbussar passar bra till tätortsmiljöer pga. kortare linjesträckor och elbussarnas positiva effekter på luftkvalitet och bullernivåer. Det bör noteras att beslut om linjer som elektrifieras ska tas med hänsyn till linjesträckningens lokalisering relativt depån, för att minska mängden tomkörning vilket laddar ur batteriet i onödan.

Laddhybrider kan tillämpas som övergångsteknik från traditionell drift, samt till regionala linjer med längre sträckor som inte kan täckas av helektriska elbussar med kortare räckvidd. Dock innebär det eventuellt att en viss mängd av transportkilometrarna sker med hjälp av en förbränningsmotor. Trådbussar kan potentiellt används till linjer med hög turtäthet där tilläggs- och depåladdning inte är lämpligt.

Ett flertal aspekter påverkar valet av laddningsteknik, inte enbart kostnader. Kompatibilitet, tillförlitlighet, framkomlighet samt väderförhållanden och visuell påverkan är några av de frågor som intressenterna tar upp när det gäller valet av teknik. Alla dessa aspekter bör utvärderas och beaktas i framtida beslutsfattande.

Det finns ett antal aspekter som lyfts vad gäller hur laddningen ska se ut, var i elnätet man lämpligast gör sådana uttag, vilka linjer som ska elektrifieras och liknande för att skapa ett optimalt system. Det är viktigt att göra enskilda fallstudier för varje enskild stad för att säkerställa en lämplig implementering som är kostnadseffektiv och välfungerande över ett längre tidsperspektiv, då det inte finns en enskild lösning som passar alla.

Vem ska vara ägare till och ansvara för driften av laddinfrastrukturen?

Då laddningsinfrastrukturen måste anpassas till elbussarna finns det många fördelar med att den som äger elbussarna har ansvar för att finansiera och drifta laddningsinfrastrukturen. Kollektivtrafikmyndigheter (RKM) eller kommuner kan förbereda vissa platser för installation av laddinfrastruktur för att underlätta införande av elbussar. Genom att ta ett initialt ägaransvar för laddningsinfrastruktur och elbussar kan RKM och kommunen påskynda införande av elbussar ytterligare genom minskade risker för trafikoperatörer.

Vilken är elbussarnas miljönytta jämfört med andra busstyper?

El från förnybara källor (exempelvis ursprungsmärkt förnybar el) bör användas för att maximera potentialen för utsläppsminskning från busselektrifiering. Ursprungsmärkt förnybar el har obestridligt den största potentialen för utsläppsminskning i jämförelse med de andra alternativen sett till drivmedel. Elbussarna minskar även utsläpp i den lokala närmiljön, och bidrar därmed till ökad luftkvalitet samt lägre bullernivåer.

Fungerar alla typer av elbussar och eltekniker i det svenska vinterklimatet?

Kallare temperaturer kan påverka laddningstider och batteriets prestanda, vilket gör att bra funktion av utrustning under kallare klimat bör kravställas vid upphandling. Leverantören bör om möjligt också visa på referensprojekt inom den nordiska regionen. Det kalla klimatet påverkar inte möjligheten att ha bussarna i drift, utan snarare deras möjlighet att leverera den nominala räckvidden. Därför bör dimensionering av bussarnas batterier och linjeval ske med hänsyn till det ”värsta fallet” sett till lokala förutsättningar för exempelvis utomhustemperatur. Det finns ett ytterligare antal faktorer som påverkar energibehovet i en elektrisk buss. Topografi, antal stopp, om det är stads-/ eller landsvägstrafik, genomsnittlig hastighet, antal passagerare och busschaufförens körbeteende påverkar den energimängd som krävs för själva framdrivningen av bussen. Angående laddinfrastrukturens prestanda vid kallare väder är de flesta modeller utrustat så att de kan vara i drift utan problem även utomhus.

Kan elbussars livscykelkostnader jämföras med bussar som drivs med andra drivmedel?

En indikativ kalkyl visar att elbussarnas livscykelkostnader är högre jämfört med de andra alternativen. Det bör dock noteras att kostnaderna skiljer sig väsentligt beroende på både vilket fall som utvärderas och de lokala förutsättningarna. På systemnivå kan de årliga kostnaderna för investeringar i elbussarnas infrastruktur kompenseras till viss del av de lägre bränslekostnaderna. Det är då fördelaktigt att den aktören som investerar på infrastrukturen är den som också gynnas av elbussarnas positiva effekter på bränslekostnader, fordonsunderhåll osv.

De mest betydande kostnaderna på årsbasis är fordons- och batteripriset, som står för störst andel per år. Priset per fordon bedöms inte förändras betydligt i framtiden, däremot förväntas bättre förutsättningar med hänsyn till stordriftsfördelar. Batteripriserna förväntas sjunka till följd av teknikutveckling och ökad efterfrågan på elbussar. En annan viktig faktor som påverkar kostnaden för en elbuss på årsbasis är antal kilometrar som elbussarna kör under året. Vid högre trafikarbete blir elbussarna mer lönsamma än andra alternativ pga. de låga elpriserna och hög energieffektivitet. Elbussarna blir också mer lönsamma än andra alternativ vid högre biodrivmedelspriser. Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv kan elbussar anses vara det mest kostnadseffektiva alternativet redan idag, men denna typ av kalkyl är komplex och starkt beroende av lokala förutsättningar exempelvis vad gäller bullerstörning och partikelutsläpp. Det går därmed inte att på ett enkelt sätt göra en generell analys, utan det bör analyseras i varje enskilt fall.

Ett effektivt utnyttjande av laddningsinfrastrukturen är av hög prioritet för att motivera kostnaden för de investeringar som krävs. Angående tilläggsladdning bör en delningsfaktor introduceras i kostnadsberäkningarna, eftersom flera bussar delar på infrastrukturen. Infrastruktur för depåladdning är den lättaste att förvalta och kostar betydligt mindre än tilläggsladdningsinfrastruktur, vilket underlättar införande av depåladdade elbussar i kollektivtrafikavtal.

Det är viktigt att ta hänsyn till de längre avskrivningstiderna för laddinfrastruktur i jämförelse med avskrivningstider för fordonsinköp samt batterier. Kostnaderna för laddinfrastruktur på årsbasis gör en relativt liten skillnad i de totala årliga kostnaderna, oavsett laddteknik. Detsamma gäller för investeringar i elnätet, vilka är betydligt mindre på årsbasis än t.ex. underhållskostnader eller nätavgifter.

Hur elbussar påverkar bullernivåer?

Elbussarnas minskning av störande bullernivåer är mest påtaglig vid hållplatserna, då bussar med förbränningsmotorer låter betydligt mer än elbussar vid acceleration. Vid mätningar för endast busstrafik nära bostäder, eller för buss- och biltrafik nattetid bidrar elbussen minst till ökad störning då den avger en mindre mängd lågfrekvent ljud vilket anses var det mest störande. Vid beräkning av den samhällsekonomiska kostnaden för buss kan de modeller som endast tar hänsyn till den dygnsekvivalenta ljudnivån bli missvisande då fördelarna med elbussar nattetid riskerar att förbises. I och med de minskade bullernivåerna från elbussar relativt dieselbussar ökar exploateringspotentialen i nya fastighetsområden, då de bidrar till en mer störningsfri kollektivtrafik. Kalkyler för buller bör integrera dessa aspekter så att de samhällsekonomiska effekterna med elbussarna lyftas fram.

Vad finns för alternativ till värmning respektive kylning av elektriskt drivna bussar?

Konventionella bussar nyttjar ofta överskottsvärme från motorn till att värma kupén. Men då elbussar inte har en förbränningsmotor genereras inte samma mängd överskottsvärme som för konventionella bussar, vilket leder till att man i kalla klimat ofta installerar en tilläggsvärmare. Det finns i dagsläget ett antal alternativ för värmning av elektriskt drivna bussar. Det vanligaste sättet är en dieseldriven tilläggsvärmare, men även gasdrivna värmare, direktverkande elektriska vattenvärmare och värmepumpar finns som alternativ. Vad gäller kylning är det främst eldriven luftkonditionering som används, men det finns alternativ som erbjuder reversibla värmepumpar.

Anledningen till att elbussar främst värms av dieselvärmare är att konventionella elvärmare är energikrävande. Används elektrisk uppvärmning ökar energiuttaget från batteriet, vilket kan minska bussens räckvidd och tillgänglighet under kalla förhållanden. Hybrid lösningar som kombinerar dieselvärmare och luftvärmepumpar kan rekommenderas för att öka andelen av emissionsfri uppvärmning.

Hur bör batterierna dimensioneras?

Även om större batteristorlekar kan möjliggöra elektrifiering av större delar av bussflottan pga. längre räckvidd, leder det inte nödvändigtvis till en lägre miljöpåverkan då större batterier innebär högre vikt och därför något högre energianvändning. Dessutom uppkommer miljöpåverkan vid utvinning av materialen, vilket bör inkluderas i miljökalkylerna. Ett batteribyte under en tio-års avtalsperiod bör förväntas och eftersom större batterier innebär högre priser, bör dimensioneringen av batteristorleken bestämmas med en noggrann utvärdering av de möjliga lösningarna.

Vad har man lärt sig av elbussprojekt i olika svenska städer och andra länder?

Det finns i dagsläget inget koncept som passar alla förhållanden, vilket inte heller är nödvändigt då olika lösningar kan samexistera och adressera olika utmaningar. Den mest lämpliga lösningen för varje enskilt fall beror på ett flertal faktorer såsom de lokala

förutsättningar (stadens topografi, klimat, busslinjernas egenskaper), förekomsten av en viss typ av infrastruktur (t.ex. för trådbussar), den lokala tillgången till drivmedel såsom biogas, stadens och regionens utvecklingsplaner, hälsoaspekter (lokal luftkvalitet och bullernivå), tillgängliga finansieringsmedel, utsläpps- och energieffektiviserings-mål osv.

Generellt anses elbussar attraktiva att köra och åka med. En gemensam lärdom utifrån alla projekt som undersöktes var att tidigt och nära samarbete mellan de olika inblandade aktörerna är ett vinnande koncept. Utbildningsbehov kring skillnaderna och rutinerna med de nya teknikerna hos personalen bör täckas noggrant och kan säkerställa smidigare drift. Erfarenheterna är mestadels positiva och aktörerna vill fortsätta satsa på elbussar. Det finns utmaningar när det gäller utrymmesbrist i depåer och innerstaden, effektbehov och potentiell brist på tillgänglig elnätskapacitet, tidskrävande processer för att få bygglov och betydelsen av samarbete mellan aktörer.

Hur ser framtiden ut för elektriskt driven kollektivtrafik?

Elbussar ökar enormt globalt sett och troligen måste man utgå från att elbussen kommer ha en roll i framtidens kollektivtrafik. Trots de utmaningar som alltid finns med införande av en ny teknik är engagemanget hos de inblandade aktörerna högt, och samtidigt i linje med ambitiösa mål för fossilfri kollektivtrafik och attraktivare stadsmiljöer. Stor-driftsfördelarna skulle kunna minska kostnaderna på långt sikt och vid initial etablering av den infrastrukturen som behövs kan flera bussar elektrifieras med mindre investerings-behov. De positiva effekterna på luftkvalitet och tystare trafik bör ej förbises, samt potentialen att använda busstrafik som ett gott exempel som kan följas av andra delar av transportsektorn.

Förslag till framtida projekt

Framtida projekt för ökad förståelse/bättre implementering av elbussar i kollektivtrafiken skulle kunna fokusera på följande aspekter: noggrannare insamling av statistik, personal-utbildningsbehovet, omvärldsbevakning av elbussprojekt och teknikutveckling, samt detaljerade studier kring systemanapassningar som behövs vid storskalig elektrifiering. Några exempel visas nedan:

- Mer detaljerad statistik på laddhybrider och andelen framdrift på el.
- Kontinuerlig kartläggning av pågående elbussprojekt och deras resultat.
- Stöd till nya utbildningar för underhåll av elbussar då ny kompetens behövs.
- Detaljerade studier om utrymmesbehov med laddinfrastruktur för elbussar samt depåanpassningar som behövs.
- Utredning av möjligheter med laststyrning av laddning vid depåer.
- Utvärdering av sociala konsekvenser vid batteritillverkning i jämförelse med andra drivmedel.

Referenser

ACEA, *Charging of Electric Buses ACEA Recommendations*, 2017

Andersson, PG, 'Landskrona Trådbuss', 2012

Biogas Öst, 'Strategisk Innovationsagenda: Det Svenska Biogassystemet – Nyckeln till Cirkulär Ekonomi', 2017

Bloomberg, 'Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2', 2018, 63 <https://c40-production-images.s3.amazonaws.com/other_uploads/images/1726_BNEF_C40_Electric_buses_in_cities_FINAL_APPROVED_%282%29.original.pdf?1523363881>

Bousse, Yannick, 'Electric Buses and To Pt & Sustainable Urban Mobility', 2018

'Branschgemensamt Miljöprogram', 2018

Bus Nordics Styrgrupp, *Bus Nordic – Gemensamma Nordiska Krav Vid Upphandling Av Bussar*, 2018

Busworld, 'Heliox Wins Order for Charging Infrastructure in Oslo', 2018

Cabrera Castillo, E, *Standards for Electric Vehicle Batteries and Associated Testin Procedures*, 2015

Chen, Y., B. Jessel, B. Fu, X. Yu, and J. Pittock, 'Policy Recommendations', *Ecosystem Services and Management Strategy in China*, 2014 <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38733-3_8>

Civitas, *Smart Choices for Cities: Alternative Fuel Buses*, 2016 <http://civitas.eu/sites/default/files/civ_pol-08_m_web.pdf>

Drabik, Eleanor Rizos, Vasileios, 'Prospects for Electric Vehicle Batteries in a Circular Economy', 2018, 43

ElectriCity, 'Samarbete För En Hållbar Och Attraktiv Kollektivtrafik', 2016

Energiföretagen, 'Skatter Och Avgifter'

Energiforsk, *Snabbladdning Av Elbussar i Distributionsnät (2017:455)*, 2017

Energimarknadsinspektionen, 'Ursprungsmärkning Av El'

Energimyndigheten, *Drivmedel 2017: Redovisning Av Uppgifter Enligt Drivmedelslagen Och Hållbarhetslagen (ER 2018:17)* (Eskilstuna, 2018) <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=5753>, 'Kortsiktsprognos Sommaren 2018 Energianvändning Och Energitillförsel', 2018, 'Reduktionsplikt'

Eurostat, 'Batteries', 2018 <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/batteries> [accessed 25 September 2018]

Force Technology, *Measurement of Emissions from Diesel Fired Heaters for Buses* (Köpenhamn, 2018)

Göhlich, Dietmar, Tu Anh Ly, Alexander Kunith, and Dominic Jefferies, 'Economic Assessment of Different Air-Conditioning and Heating Systems for Electric City Buses Based on Comprehensive Energetic Simulations', *World Electric Vehicle Journal*, 7 (2015), 398–406

Hagberg, M., A. Roth, and S. Bäckström, ‘Analys Av Biogas till El För Bussdrift Och Biogas Som Bränsle till Bussdrift i Stadstrafik’, 2016, 23 <https://doi.org/Report C 171>

Hess Buses, ‘Hess Model Overview’, 2018

Hoffmann, Lars, *Vattenbegjutning Av 400 Volt Traktionsbatteri i Färskvatten Och Saltvatten* (Borås, 2013)

HSL, ‘Clean and Quiet – 35 New Electric Buses to Enter Service’, 2018

Jaguemont, J., L. Boulon, and Y. Dubé, ‘A Comprehensive Review of Lithium-Ion Batteries Used in Hybrid and Electric Vehicles at Cold Temperatures’, *Applied Energy*, 164 (2016), 99–114 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.034>

Jungmeier, Gerfried, ‘Battery Electric Buses Project – International Energy Agency – Hybrid and Electric Vehicles Technology Collaboration Programme’ (Santiago, 2017)

Lajunen, Antti, ‘Lifecycle Costs and Charging Requirements of Electric Buses with Different Charging Methods’, *Journal of Cleaner Production*, 172 (2018), 56–67 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.066>, ‘Lifecycle Costs and Charging Requirements of Electric Buses with Different Charging Methods’, *Journal of Cleaner Production*, 172 (2018), 56–67 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.066>

Larsson, Fredrik, Petra Andersson, and Bengt-Erik Mellander, ‘Are Electric Vehicles Safer than Combustion Engines?’, in *Systems Perspectives on Electromobility*, ed. by B. Sandén and K. Pettersson (Göteborg: Chalmers University of Technology, 2017) <https://doi.org/10.1063/1.4861115>

Larsson, Krister, and Maria Holmes, *Nyttoberäkningar Av Minskat Buller Från Elbusstrafik i Göteborg*, 2016

Lindblom, Helen, Claes af Burén, and Michael Forss, *Elektrifiering Busstrafik Linköping – Utredning Kring Förutsättningar*, 2018

Lindgren, Lars, *Electrification of City Bus Traffic- a Simulation Study Based on Data from Linköping* (Lund, 2017)

Ljungblad, H, and T Renhammar, ‘Tystare Stadsbussar – Kravställning Vid Upphandling För Minskat Källbuller’, 2013

Mahmoud, Moataz, Ryan Garnett, Mark Ferguson, and Pavlos Kanaroglou, ‘Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62 (2016), 673–84 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>

Mashial, Sami, ‘Regeringen Tillsätter Utredning Om Svensk Biogas Framtid’, 2018

Miljöstyrningsrådet, *Miljömässiga Förutsättningar Vid Upphandling Av Elektricitet Från Förnybara Energikällor*, 2008

MSB, ‘Fragor Och Svar Om Raddningsarbete Och E-Fordon’, 2018 <https://www.msb.se/sv/Insats--beredskap/Brand--raddning/Trafikolycka/Raddning-e-fordon/Fragor-och-svar-om-raddningsarbete-och-e-fordon/> [accessed 10 October 2018]

Naturskyddsföreningen, ‘El Märkt Med Bra Miljöval’

Norregaard, Kjeld, Bjarne Johnsen, and Christian Hedegaard Gravesen, *Battery Degradation in Electric Buses* (Aarhus, 2016)

Östgötatrafiken, and WSP, *Elektrifiering Busstrafik Linköping – Utredning Kring Förutsättningar*, 2018

Partnersamverkan för en förbättrad kollektivtrafik, *Miljökrav Vid Trafikupphandling – Buss* (Stockholm: Svensk Kollektivtrafik, Sveriges Bussföretag, 2013) <http://www.svenskkollektivtrafik.se/Global/fordubbling.se/dokument/NY-Avtalsprocessen/Miljökrav_buss_20131218sv.pdf>

Pihlatie, Mikko, Marko Paakkinen, and Joel Anttila, 'Electric Buses and Recharging Systems' (VTT, 2017)

Regeringen, 'Bättre Stöd till Svensk Biogas', 2018

Romare, Mia, and Lisbeth Dahllöf, *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries and Batteries for Light-Duty Vehicles*, 2017

Saxena, Samveg, Caroline Le Floch, Jason MacDonald, and Scott Moura, 'Quantifying EV Battery End-of-Life through Analysis of Travel Needs with Vehicle Powertrain Models', *Journal of Power Sources*, 282 (2015), 265–76 <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.01.072>

Science for Environment Policy, 'Towards the Battery of the Future. Future Brief 20. Brief Produced for the European Commission DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol', 2018 <https://doi.org/10.2779/503230>

SGU, 'Kritiska Material', 2018 <https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-material/> [accessed 19 October 2018], *Uppdrag Att Utföra En Kartläggning Och Analys Av Utvinnings- Och Återvinningspotential För Svenska Metall- Och Mineraltillgångar*, 2014

Skånetrafiken, *Elbuss Ängelholm – Ett Pilotprojekt För En Hållbar Framtid*, 2017, 'Elbussrapport Ängelholm Jan-Jun 2018', 2018

Skatteverket, 'Energi- Och Koldioxidskatt För Bränsle'

SKL, *Vad Förklarar Kollektiv- Trafikens Snabba Kostnadsökning ?* (Stockholm: Sveriges Kommuner och Landsting, 2014) <http://webbutik.skl.se/bilder/artiklar/pdf/7585-037-5.pdf>

SlideIn-projektet, 'SlideIn-Projektets Hemsida'

Sturk, David, and Lars Hoffmann, *E-Fordons Potentiella Riskfaktorer Vid Trafik-skadehändelse e-Fordons Potentiella Riskfaktorer Vid Trafikskadehändelse* (Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2013)

Sven Boren, Lisiana Nurhadi, Henrik Ny, 'Preference of Electric Buses in Public Transport; Conclution from Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities', 10 (2016), 255–64

Svensk Kollektivtrafik, 'Upphandling Och Avtal', 2018 <https://www.svenskkollektiv-trafik.se/verktyg-och-system/upphandling-och-avtal/)> [accessed 8 October 2018]

Svensk kollektivtrafik, and Sveriges Bussföretag, *Buss2014 – Branschgemensamma Funktionskrav På Bussar Version 1.4*, 2018

Svenska Kraftnät, *Systemutvecklingsplan 2018-2027*, 2017

Svenska Spårvägssällskapet, 'Trådbuss Stockholm'

Sveriges Bussföretag, 'Statistik Om Bussbranschen', 2017, 106

The European Parliment and the Council of the European Union, 'REGULATION (EU) No 540/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 – On the Sound Level of Motor Vehicles and of Replacement Silencing Systems, and Amending Directive 2007/46/EC and Repealing Directive 70/157/EEC', *Official Journal of the European Union*, 158 (2014), 131–95

Trafikverket, *Analysmetod Och Samhällsekonomiska Kalkylvärden För Transport-sektorn: ASEK 6.1*, 2018

Tytgat, Jan, 'The Recycling Efficiency of Li-Ion EV Batteries According to the European Commission Regulation, and the Relation with the End-of-Life Vehicles Directive Recycling Rate', *World Electric Vehicle Journal*, 6 (2013), 1039–47 <https://doi.org/10.1109/EVS.2013.6914885>

Tzeng, Gwo Hshiung, Cheng W. Lin, and Serafim Opricovic, 'Multi-Criteria Analysis of Alternative-Fuel Buses for Public Transportation', *Energy Policy*, 33 (2005), 1373–83 <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.014>

UITP, 'ZeEUS EBus Report #2', 2018, 1–179 <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf>

Volvo Buses, 'Electrified Public Transport 17', 2018

White, David, 'Safety and Preventing Thermal Run Away in Large Li-Ion Batteries', *Battery Power*, 2011 <http://www.batterypoweronline.com/markets/testingservices/safety-and-preventing-thermal-run-away-in-large-li-ion-batteries/>

World Bank, and UITP, *Electric Mobility & Development*, 2018

WSP, *PM – Kalkyl Över Elbussar i Stockholm*, 2014

Xylia, Maria, Sylvain Leduc, Achille-b Laurent, Piera Patrizio, Yvonne van der Meer, Florian Kraxner, and others, 'Impact of Bus Electrification on Carbon Emissions: The Case of Stockholm', *Journal of Cleaner Production*, 1990 (2018), 1–21 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.085>

Xylia, Maria, Sylvain Leduc, Piera Patrizio, Florian Kraxner, and Semida Silveira, 'Locating Charging Infrastructure for Electric Buses in Stockholm', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78 (2017), 183–200 <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.005>

Xylia, Maria, and Semida Silveira, 'The Role of Charging Technologies in Upscaling the Use of Electric Buses in Public Transport : Experiences from Demonstration Projects', 1–26

Zhou, Boya, Ye Wu, Bin Zhou, Renjie Wang, Wenwei Ke, Shaojun Zhang, and others, 'Real-World Performance of Battery Electric Buses and Their Life-Cycle Benefits with Respect to Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions', *Energy*, 96 (2016), 603–13 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.041>

Bilaga 1 Intervjuade aktörer

Tabell 9 Intervjuade aktörer

Stad/region	Datum	Kontaktperson	Intervjusätt
Skåne	2018-09-27	Klas Sörensson, Fordonsspecialist Skånetrafiken	Telefon
Umeå	2018-09-27	Fredrik Forsell, Kollektivtrafikchef UKF	Skype
Västra Götaland	2018-10-03	Hanna Björk, Hållbarhetschef Västtrafik	Telefon
Värnamo	2018-10-04	Charles Tholin, affärsutvecklare Jönköpings Länstrafik	Telefon
Oslo	2018-10-04	Jon Stenslet, Ruter	Skype
Stockholm	2018-10-08	Maria Övergaard, Busstrateg Trafikförvaltningen Johan Böhlin, Drivemdelstrateg Trafikförvaltningen Kenneth Domeij, Depåstrateg Trafikförvaltningen	Möte
Köpenhamn	2018-10-08	Joachim Reinhard Danchell, Movia	Telefon
Eskilstuna	2018-10-15	Hanna Bergström, Trafikchef Sörmlandstrafiken Malin Landin, Kvalitetsutvecklare Sörmlandstrafiken	Telefon
Helsingfors		Petri Saari, HSL	Skrivna svar
Reykjavik		Ingvar H. Jóhannesson, Straeto Jóhannes Svavar Rúnarsson, Straeto	Skrivna svar

Bilaga 2 Utblick

Oslo

I dagsläget äger operatörerna både elbussarna och laddinfrastrukturen. Drivkraften för att påbörja en elektrifiering av kollektivtrafiken var att både Ruter och trafikoperatörerna ville få erfarenhet med införande och drift av elbussar. Projekten har stödfinansierats från det statliga företaget ENOVA, men driften finansieras till 80 % av Ruter och 20 % av trafikoperatören. Kostnaderna associerade med att dra fram ström till laddpunkterna täcktes av Ruter. Ruter räknar med en merkostnad på 10 till 20 %för elbussarna relativt vanlig drift.

Valet av buss- och laddteknik gjordes helt av operatörerna. De linjer som elektrifierats valdes främst baserat på att det var lokaliserade i innerstaden, där elbussarna syns mer och möjliggör många resenärer. Hög topografi var även en önskvärd parameter vid valet av linjer, främst för att testa driftsprestandan på bussarna.

Erfarenheten under driftsfasen har varit som väntat för pilotprojektet. Det har varit viss problematik med driftstabiliteten, främst vad gäller laddningen och batterierna. Det har lett till att batterierna undersökts och fått bytas för fem av sex bussar. När laddningen har fungerat väl har driften fungerat bra såväl sommartid som vintertid. Ruter anser att antalet elbussar per operatör (två per operatör) är för lågt för att kunna applicera alla gjorda erfarenheter på ett större antal elbussar i ett kontrakt. Övergripande är både Ruter och trafikoperatören nöjda med projektet, då de lärt sig mycket. Innan upphandlingsprocessen startar måste Ruter fastställa vilka platser som anses lämpliga att bygga laddare på, så att bussarna kan stå där och ladda. Om bussarna får mycket bättre räckvidd innan nästa upphandling, typiskt inom tio år, så finns det en risk för att laddinfrastrukturen inte längre behövs i nästa kontrakt. Ruter planerar att endast ha utsläppsfria bussar vid slutet av 2028.

Köpenhamn

Andra erfarenheter

I dagsläget äger trafikoperatören både depåinfrastrukturen och bussarna, medan den publika snabbladdarinfrastrukturen ägs av antingen Movia eller kommunen. Movia har det huvudsakliga ansvaret för laddstationernas konstruktion. Ingen finansiering har tillkommit från externt håll men kommunen tar hand om de extra kostnader som uppkommer i samband med kollektivtrafiken, där Movia agerar mellanhand mellan de olika kommunerna. Upphandlingen av laddinfrastrukturen skedde i samverkan med de berörda kommunerna.

Movia lyfter att en inbjudan till trafikoperatörerna om att presentera egna lösningar är en viktig lärdom från den här processen, då ingen enskild aktör kan veta helt säkert vilken lösning som är den mest lämpliga. Sedan får varje lösning utvärderas baserat på pris och typ av lösning. I avtalsområde A16 bedömdes priset för elbussarna vara 2,4 % högre än vanliga dieselbussar. Movia poängterar dock att det här endast är ett kontrakt, och ytterligare kunskap och erfarenhet med teknikens förvaltning behövs för att utvärdera de ekonomiska effekterna.

De krav som just nu har färdigställts inför upphandlingen av A17-avtalet är utsläppsnivåer, där operatörerna själva får välja vilka tekniker som ska användas. Movia ställer inga krav på energieffektivisering, men däremot kravställs nollutsläpp av NO_x, partiklar, koldioxidutsläpp och lägre bullernivåer. Dessutom är det operatörens ansvar att de kan uppfylla rutten med bussar. För att säkerställa planeringsflexibilitet för Movia bör bussarna klara den längsta rutten fram och tillbaka, utan laddning. Movia kommer inte betala för ett batteribyte och andra särskilda elbusspecifika kostnader. Baserat på kostnaderna för A16 och A17 uppskattar Movia att det finns en extra kostnad på 3 till 11%, jämfört med diesel, baserat på en timkostnadsuppskattning.

I dagsläget har Movia ramavtal med en leverantör av laddinfrastruktur för att försörja stadens snabbladdningssystem. Ramavtalet innefattar etablering av snabbladdningsstationer med effekter av 150, 300, eller 450 kW. Operatörerna får välja bland ett antal förberedda platser vad de behöver, som Movia sedan stöttar med att få till. Ramavtalet för laddinfrastruktur anses också varit en välfungerad del i arbetet med elbussarna. Under driftsfasen har Movia inte upplevt några problem med själva laddningen, utan endast med batterierna i bussarna.

En huvudsaklig motivation till elektrifieringen av busstrafiken i Köpenhamn är att de har en målsättning om att endast använda nollemissionbussar år 2025. Movias mål är i nuläget fossilfrihet år 2030.

Eskilstuna

Att elbussflottan utökades med samma typ av elbuss år 2017 som tidigare var ett resultat av goda erfarenheter från satsningens första fas. Trafikföretaget valde och äger både laddteknik och elbussar. Satsningen har fullföljts genom ett samarbete mellan Eskilstuna kommun, Sörmlandstrafiken samt trafikföretaget.

I dagsläget består Eskilstunas bussflotta av en blandning av el-, biogas- samt biodieselbussar. De huvudsakliga anledningarna till att en satsning på elbussar har gjorts är att minska bullernivåer och utsläpp i stadstrafiken. Att funktionsupphandla med miljön i fokus är ett sätt att vara i framkant, menar Sörmlandstrafiken. Det finns planer på fortsatt funktionsupphandling. Funktionskrav som specificerar att andel av kilometerproduktion ska utföras emissionsfritt samt utökade krav för att styra mot hög energieffektivitet i stadstrafiken. Expansionen sker genom upphandling vilket innebär att ansvaret för att kravställningen uppfylls läggs på trafikföretagen. I Eskilstunas fall ingår finansieringen av elbusstrafiken i den vanliga taxan och bidrag har erhållits i form av elbusspremie från Energimyndigheten.

I Eskilstuna planerar trafikföretaget omloppen. Det finns inte några specifika linjer som körs på el, utan det alterneras mellan linjerna i stadstrafiken. Det krävs emellertid att omloppen för dessa busslinjer klarar att bussen drivs på el. Generellt planeras omloppen så att elbussarna laddas på depån på natten, går ut i trafik tidigt på morgonen, kommer tillbaka för att ladda ett par timmar på depån för att sedan återigen gå ut i trafik mitt på dagen.

Skåne

När elbussarna till Ängelholm beställdes var Skånetrafiken i huvudsak intresserade av att testa teknik för att minska utsläpp från kollektivtrafiken. De som äger elbussarna idag är de trafikoperatörer som kör busstrafiken. Vad gäller laddinfrastrukturen är det

trafikoperatörerna som äger systemet i både Ängelholm och i Ystad, men i Malmö är det Malmö Stad som äger laddinfrastrukturen då kommunen vill ha rådighet över systemet. De aktörer som var involverade vid byggfasen i Malmö var främst operatörerna, kommunen och kommunens eget energiföretag. Under driftsfasen sköter trafikoperatörerna den dagliga verksamheten.

Trådbussarna i Landskrona som infördes 2003 ingick i ett EU-projekt för Landskrona Stad, där Landskrona även fick ett statligt bidrag på 50 % för investeringen. Skånetrafiken fick EU-stöd för den senaste trådbussen som tillkom år 2013, vilket var en batteribuss som möjliggjorde laddning från tråden under färd. Bussen kan sedan köra 20 km utan tråd på batteriet. Skånetrafiken har ansökt om busspremie för elbussarna i Landskrona och Ystad. Internt så skrev Skånetrafiken ett tilläggsavtal med trafikoperatören i Ystad, Landskrona och Ängelholm, där Skånetrafiken åtog sig att täcka vissa av de merkostnader som krävdes för övergången från biogas till elbussar.

När det gäller val av teknik och vilka linjer som skulle elektrifieras i Malmö genomförde Skånetrafiken en omfattande utredning tillsammans med Malmö Stad, för att undersöka vilka förutsättningar som fanns. Eftersom Skånetrafiken inte har någon erfarenhet av den här laddstrategin sedan tidigare har det samlats erfarenheter från andra större städer för att skapa lämpliga förutsättningar, bland annat att det fanns tillräcklig effektkapacitet i elnätet.

Elbussarna bedöms ha en livslängd på 15 år, inklusive ett batteribyte som hanteras inom ramarna för garanti från leverantören. Det gör att bussarna även kan rulla under nästa avtalsperiod.

Skånetrafiken är nöjda med hur testprojekten fortgår, och anser sig ha fått många bra erfarenheter för vidare projekt med elbussar. Energianvändningen i de helelektriska bussarna är cirka 1 kWh/km sommartid, och närmare 2 kWh/km vintertid (inklusive dieselvärmaren som använder cirka 40% av energin). Uppvärmningen i bussen skötts med el ner till + 5 grader, och därefter med en dieselvärmare.

Målsättningen inom Skånetrafiken är att alla 10 kommuner som har stadstrafik ska framföra den med eldrift och resterande delar av fordonsflottan ska gå på biogas. Denna målsättning är inte möjlig att uppnå i dagsläget av ett antal olika skäl. Avsaknaden på fordon som kan gå på gasdrift (exempelvis dubbeldäckare), brist på gasinfrastruktur i Östra Skåne samt en önskan om att bevara biogasbussarna i stadstrafiken i vissa städer, då avsättningen av biogasen annars blir en problematisk fråga är några exempel. Det är viktigt i detta sammanhang att ha ett bra samarbete på regional och lokal nivå kring bland annat kollektivtrafiken.

Stockholm

En utredning pågår för att undersöka potentialen av elektrifiering inom Stockholms innerstad/Lidingö-avtalet (E22). Drivkraften för att satsa på elbussar är bland annat för att nå energieffektiviseringsmålet, då SL redan har uppnått sitt mål om fossilfri kollektivtrafik. Trafik med elbussar är också positivt på grund av deras attraktivitet samt att de minskar lokala utsläpp i närmiljön.

Vad gäller finansiering har EU-bidrag erhållits från ZeEUS-projektet för linje 73 (Ropsten – Karolinska), från Energimyndigheten för linje 755 (Södertälje) och elbusspremie för bussarna i Norrtälje och Sigtuna. Valet av depåladdning som laddinfrastruktur i Norrtäljes bussar gjordes av operatören som var den som föreslog införandet av

elbussarna. För att de skulle kunna ta in elbussarna behövde de extra investeringarna vara så låga som möjligt. Skulle det bli aktuellt med laddning på gatumiljö så behöver Trafikförvaltningen involveras mer.

För demonstrationsprojekten på linje 73 och Linje 755 var det Vattenfall som ägde laddinfrastrukturen. Trafikförvaltningen täckte operatörernas merkostnader samt kostnader för depåanpassning i dessa projekt. Dessutom byggdes en takkonstruktion över depåladdarna för Linje 73:s bussar som en trygghetsskapande åtgärd för förare och annan personal som var ansvarig för laddning och drift av elbussar. För Norrtäljebussarna är det trafikoperatören som äger laddinfrastrukturen i depån i nuläget.

Umeå

Intresset hos kommunen för elbussar började med att en lokal teknikleverantör ville konvertera två bussar till eldrift. Kommunen hade vissa målsättningar, och ur det perspektivet var eldrift mer lämpligt än bussar med förbränningsmotorer. Eldrivna bussar sänker bullernivåerna, vilket kan öka exploateringsutrymmet i staden och därmed blir en fråga om hållbar stadsplanering.

Umeå kommun äger både laddinfrastrukturen och elbussarna, eftersom kommunen bedömde tekniken som relativt omogen då de började med projektet och ville minimerar riskuppfattningen. På sikt ser kommunen att de vill fortsätta äga laddinfrastrukturen, men kanske inte elbussarna då de anser att trafikoperatörerna kan ha bättre kompetens inom det området.

Vad gäller finansieringen har kommunen fått bidrag från Energimyndigheten för de nuvarande 9 bussarna. För de bussar som kommer under nästa år har kommunen fått pengar för laddinfrastruktur från Klimatklivet, och de planerar att söka pengar från elbusspremien.

Valet av vilka linjer som skulle elektrifieras gjorde med bakgrund i kostnaden för laddinfrastrukturen. Teknikvalet för laddinfrastruktur gjordes eftersom bussarna behöver gå under så pass lång tid, varför ändhållplatsladdade bussar ansågs vara mest lämpliga. Hybridlösningar tittades på, men bedömdes som oattraktiva ur kostnadssynpunkt. Leverantören av laddinfrastrukturen för de kommande elektrifierade linjerna valdes genom upphandling.

Framöver hoppas Umeå på att batteritekniken ska utvecklas mycket och sjunka i pris så att kommunen kan använda depåladdade bussar på linjer med lägre turtäthet. En annan fråga är hur de uttjänta batterierna ska hanteras, om trafikoperatören ska sälja dem som stationära lager och om exempelvis energibolagen skulle vara intresserade.

Ungefär 50 % av energianvändningen i bussen går till framdrivning under kalla förhållanden. Kommunen har inte ställt krav på emissionerna från dieselvärmarna, utöver att det ska vara fossilfria system.

Värnamo

I planeringsfasen ansåg de båda parterna att tekniken var tillräckligt intressant för att testa, men att ha helelektriska bussr ansågs vid denna tidpunkt (2014-2015) inte vara helt riskfritt. Anledningen till satsningen var att Jönköpings länstrafik och kommunen ville erhålla erfarenhet inför framtiden genom att testa och se om det fungerar samt är en hållbar lösning. Jönköpings länstrafik är mycket nöjda med bussarna som har fungerat

väl och enligt förväntningar. Det har emellertid inte skett några incidenter mer än att ett batteri vid ett tillfälle gick sönder under en nattladdning; detta täcktes av garantin och under tiden då bussen var ur drift kunde reservbussen användas. I Värnamo har det inte heller inte uppstått några problem relaterat till laddning eller drift under kallare temperaturer. I och med att elen inte används till uppvärmning är det nu lättare att följa värmarens bränsleförbrukning. Laddinfrastrukturen ägs av kommunen medan bussarna ägs av operatören.

Jönköpings länstrafik är emellertid allvarliga med sina planer på att utöka antalet elbussar, helelektriska sådana. Det framhålls att det i dagsläget finns förbättrade förutsättningar och möjligheter för helelektriska bussar, jämfört med när satsningen på laddhybrider planerades. Omställningen till eldriven busstrafik inom Jönköpings län kommer att ske löpande genom upphandlingar. I sammanhanget föredras pantografladdade bussar, detta då kostnaden för de stora batterier som krävs i depåladdade bussar är hög. Vid tidpunkten för projektets start var det inte heller möjligt för operatörer att söka statliga stöd, som exempelvis elbusspremien. Under 2016 beviljades Värnamo kommun emellertid stöd från Klimatklivet om 1,25 miljoner kronor, motsvarande 50 % av investeringen, för en laddstation för hybridbussar.

Jönköpings länstrafik menar att de borde ha gjort detta för längesen; att det inte finns tid att vänta och att det inte finns tid att använda förbränningsmotorer i fordon. Det lyfts att en god solcellsutbyggnad är på gång och att bussarna körs då solen skiner. Vidare framhålls att det är viktigt att komma ihåg att Sverige är minst lika duktig på detta som andra länder.

Västra Götaland

Den huvudsakliga drivkraften till att testa elbussar var enligt Västtrafik att bussarna hade bäring på satta miljömål inom klimat och energieffektivisering, samt att de är tystare än konventionella bussar. Det finns ett mål om att 100 % av stads- och tätortstrafiken ska vara elektrifierad till år 2035, samt ett mål om en utsläppsminskning med 90 % till år 2035. För att klara målen behövs en kraftig elektrifiering av kollektivtrafiken nu, men inte till vilket pris som helst då kostnaderna för en elektrifiering fortfarande styr beslutsfattandet.

Gällande finansiering har visst kapital tillkommit från Klimatklivet och elbusspremien. Utöver Västtrafik och trafikoperatörerna har nätbolagen och kommunen varit involverade i processerna för elbussarna.

Under driften av elbussarna har Västtrafik inte stött på några betydande problem, utan endast mindre problem med laddarna vilket varit förväntat. Ett styrmedel som Klimatklivet bör också kunna anpassas så att det endast är för kollektivtrafik, så att den här typen av system inte konkurrerar om finansiering mot privatladdning samt för att minska tidsåtgången till beslut.

Bilaga 3 Publikationer

Urval av publikationer kring elbussar med fokus på svenska studier och internationella sammanställningar

Fokus	Publikations titel	Nyckelord
Elbussprojekt	ElectriCity, 2016. Samarbete för en hållbar och attraktiv kollektivtrafik.	projektutvärdering energianvändning
	Miles, John, and Stephen Potter, 'Developing a Viable Electric Bus Service: The Milton Keynes Demonstration Project', Research in Transportation Economics, 48 (2014), 357–63 <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.063>	projektutvärdering laddteknik
	Sven Borén, Lisiana Nurhadi, Ny, H.., 2016. Preference of Electric Buses in Public Transport; Conclusions from Real Life Testing in Eight Swedish Municipalities 10, 255–264.	jämförelse olika städer datautvärdering
Kalkyl Modell	Energiforsk, 2017. Snabbladdning av elbussar i distributionsnät (2017:455).	energiförsörjning elnät
	Grauers, A., Olsson, O., Carlsson, N., Ohlin, G., Rosenaren, L.-G., 2016. Analys av energiförsörjning för elektrifierade bussystem. Göteborg.	energiförsörjning kostnader
	Larsson, K., Holmes, M., 2016. Nyttoberäkningar av minskat buller från elbusstrafik i Göteborg.	buller samhällsekonomiska effekter
	Lindgren, L., 2015. Full Electrification of Lund City Bus Traffic A Simulation Study. Lund University.	simulering kostnadsoptimering
	Lindgren, L., 2017. Electrification of city bus traffic: – a simulation study based on data from Linköping. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation, Lund University,	simulering kostnadsoptimering
	Karlsson, E., 2016. Charging infrastructure for electric city buses. KTH Royal Institute of Technology.	kostnader elnät
	Lopez de Briñas Gorosabel, O., 2017. Assessing the Construction of Charging Stations for Electric Buses: A Case Study for Stockholm Inner City. KTH Royal Institute of Technology.	laddinfrastruktur utrymmesbehov
	Lajunen, A., 2018. Lifecycle costs and charging requirements of electric buses with different charging methods. J. Clean. Prod. 172, 56–67. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.066	livcykelskostnader energiförsörjning
	Nurhadi, L., Borén, S., Ny, H., 2014. A Sensitivity Analysis of Total Cost of Ownership for Electric Public Bus Transport Systems in Swedish Medium Sized Cities. Transp. Res. Procedia 3, 818–827. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.058	datautvärdering olika städer kostnadskalkyl
	Olsson, O., Grauers, A., Pettersson, S., 2016. Method to analyze cost effectiveness of different electric bus systems, in: EVS29 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium. Montreal, pp. 1–12.	infrastruktursplacering kostnadskalkyl
	Xylia, M., Leduc, S., Patrizio, P., Kraxner, F., Silveira, S., 2017. Locating charging infrastructure for electric buses in Stockholm. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 78, 183–200. https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.03.005	infrastruktursplacering kostnadsoptimering

Fokus	Publikations titel	Nyckelord
Litteraturstudie Samman-ställning Styrmedel	Aldenius, M., Forsström, E., Khan, J., Nikoleris, A., 2016. Elektrifiering av stadsbussar: En genomgång av erfarenheter i Sverige och Europa (No. K2 Working Papers 2016:12). Lund.	erfarenheter EU och Sverige laddinfrastruktur
	Aldenius, Malin, and Jamil Khan, 'Strategic Use of Green Public Procurement in the Bus Sector: Challenges and Opportunities', Journal of Cleaner Production, 164 (2017), 250–57 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.196>	styremedel erfarenheter Sverige
	Bakker, Sjoerd, and Rob Konings, 'The Transition to Zero-Emission Buses in Public Transport – The Need for Institutional Innovation', Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 0–1 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.08.023>	styrmedel erfarenheter EU
	Civitas, 2016. Smart Choices for cities: Alternative Fuel Buses.	ekonomisk sammanställning policyrekommendationer
	Corazza, Maria Vittoria, Umberto Guida, Antonio Musso, and Michele Tozzi, 'A European Vision for More Environmentally Friendly Buses', Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2014, 1–16 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.001>	indikatorer erfarenheter EU
	IEA, 2018. Global EV Outlook 2018: Towards cross-modal electrification.	erfarenheter globalt statistik
	IEA, 2018. Nordic EV Outlook 2018.	erfarenheter nordiska länder statistik
	Magnusson, Thomas, and Christian Berggren, 'Competing Innovation Systems and the Need for Redeployment in Sustainability Transitions', Technological Forecasting and Social Change, 126 (2018), 217–30 <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.08.014>	erfarenheter Sverige tekniska innovationssystem
	Mahmoud, Moataz, Ryan Garnett, Mark Ferguson, and Pavlos Kanaroglou, 'Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62 (2016), 673–84 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>	överblick olika drivlinor teknisk sammanställning
	UITP, 2017. ZeEUS eBus Report.	demonstrationsprojekt EU kunskapssammanställning
	Xylia, M., Silveira, S., 2018. The role of charging technologies in upscaling the use of electric buses in public transport: experiences from demonstration projects. Transp. Res. Part A 118, 1–26. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.09.011	demonstrationsprojekt laddinfrastruktur

Bilaga 4 Framtagande av rapporten

Framtagande av rapporten

Projektägare	**Tore Carlsson**	**Energimyndigheten**
Projektledare	Peter Dädeby Håkan Johansson	Energimyndigheten Trafikverket
Huvudförfattare	Maria Xylia	Sweco energuide, Stockholm
Medförfattare	Anton Sjögren, Marie Swenman, Jenny Widell, också Sweco.	Sweco energuide, Stockholm
Referensgrupp	Anna Forsmark Dennis Solid Hanna Björk Iris Rehnström Katja Uusitalo Strömberg Patrik Tidåsen Lars Annerberg Mattias Adell Thomas Magnusson	Trafikförvaltningen, Stockholms läns landsting Upplands Lokaltrafik Västtrafik AB Skånetrafiken Luleå Lokaltrafik Länstrafiken Kronoberg Sveriges bussföretag Svensk kollektivtrafik Linköpings Universitet
Övriga på Energimyndigheten som lämnat synpunkter	Anders Levald Rebecka Marklund Martina Wikström Peter Kashe Olov Åslund	Energimyndigheten, Avd. för forskning och innovation Energimyndigheten, Avd. för energieffektivisering Energimyndigheten, Avd. för forskning och innovation Energimyndigheten, Avd. för forskning och innovation Energimyndigheten, Avd. för energieffektivisering

Bilaga 5 Urval av forskningsprojekt

Urval av forskningsprojekt som finansierats av Energimyndigheten med fokus på elbussar (Källa: Energimyndighetens projektdatabas)

Projekttitel	Ansökande organisation	Sammanfattning (framtagen av projektdatabas)	Status
Optimal energihantering för nätverk av elektrifierade bussar(OPNET)	Chalmers Tekniska Högskola AB	Syftet med projektet är att utveckla nya metoder för energioptimering av flottor av hybridiserade och helelektrifierade fordon, och då i synnerhet kommersiella fordon som bussar.	Pågående
COSTART	Lunds Universitet	COSTART – a Comprehensive strategy to accelerate the integration of electric-buses into existing public transport systems – är ett europeiskt forskningsprojekt som syftar till att påskynda introduktionen av elbussar genom att utveckla och testa ett besluts-stödsverktyg.	Pågående
Demonstrationsplattform för elektrifierade transportsystem med lastbilar och högkapacitetsbussar	Volvo Powertrain AB	Demonstrationen är en utvidgning av det pågående ElectriCity-samarbetet. Inom projektet kommer helelektriska högkapacitetsbussar att utvecklas och testas i linjetrafik i kombination med helelektriska lastbilar för distribution och sophämtning i verklig driftmiljö.	Pågående
Nästa generations distributionselnät – Demonstration	Mälarenergi Elnät	Projektet syftade till att etablera en demonstration för energilagring i kombination med förnyelsebar energi; öka integrationen av elfordonsanvändare (avser lättare elfordon, elbussar, samt fartyg) genom utökning av infrastruktur; samt utreda ytterligare mätarfunktionalitet.	Avslutat
Energiförsörjningsalternativ för elektrifierade bussystem	Rise Viktoria AB	Syftet med projektet var att genom forskning vidareutveckla en metod som används för robust och ekonomiskt fördelaktig dimensionering av energiförsörjningssystem för elektrifierad busstrafik i ett komplext linjenät med variation i bussflöden.	Avslutat
Laddsträcka i Lund – En studie av busslinje i körsimulator	Statens väg- & transportforskningsinstitut VTI	Syftet med projektet var att demonstrera en elektrifierad busslinje i Lund i en kör-simulator. Projektet avser att bidra till att användarperspektivet beaktas i projekteringen och beslutsfattandet vid en eventuell elektrifiering av busslinjer.	Avslutat
Utveckling av en driv och laddsystem för elektrisk buss och elektrisk lastbil	Lunds Universitet	Syftet med projektet var att utveckla, installera och driftsätta två driv- och laddnings-system för helt eldrivna bussar och lastbilar. Projektet syfte var att visa att det med begränsade kostnader går att elektrifiera person- och godstransporter i närmiljöer.	Pågående
Beslutsstöd för införandet av elbussar i linjetrafik	Bleking Tekniska Högskola	Syftet med projektet var att utveckla och testa ett nytt hållbarhetsinriktat beslutsstöd för upphandling av kollektivtrafik med elbussar. Affärsmodeller samt systemvals-metodik var två av huvudfrågorna som studerades i projektet.	Avslutat

Projekttitel	Ansökande organisation	Sammanfattning (framtagen av projektdatabas)	Status
Snabbladdning av elbussar i distributionsnät	Chalmers Tekniska Högskola	Projektet utvärderar hur en storskalig utbyggnad av snabbladdare för elbussar i kollektivtrafik kan påverka distributionsnätet. De huvudsakliga målen var att utveckla en modell för att avgöra denna påverkan, samt att ta fram riktlinjer för hur och till vilken kostnad påverkan kan mildras.	Avslutat
Trådlös hållplatsladdning	Scania AB	Projektet syftade till att demonstrera induktiv laddning av en stadsbuss som ska köras i ordinarie trafik i Södertälje. Såväl teknisk prestanda hos buss och laddsystem samt förares, resenärers och andra relevanta aktörers synpunkter samlades in, analyserades och utvärderades.	Avslutat
Demonstration av induktivladdning av små elbussar i matartrafik i Ale kommun	Ale kommun	Projektet syftade till att bygga kunskap om drift av en mindre elbuss i en kortare matarslinga med avseende på parametrar som laddningsmönster, körsträckor, teknisk tillförlitlighet och servicebehov.	Avslutat
GreenCharge – Demotest i fält med elbussar	Blekinge Tekniska Högskola	Projektet avsåg att demonstrera bussar med 100 % eldrift. Syftet var att visa upp tekniken för lokaltrafikens kunder och operatörer för en ökad kunskapsspridning.	Avslutat
ElectriCity	Volvo Bussar AB	Syftet med projektet var att demonstrera ett hållbart och attraktivt transportsystem för kollektivtrafik i Göteborg med laddbara hybridbussar (plug-in) och fullt elektrifierade bussar.	Avslutat
GreenCharge Sydost	Blekinge tekniska högskola	Projektet var en förstudie för att öka kunskaperna om hur långt ifrån urban miljö som laddhybridbussar kan introduceras. Kunskapen kan användas av många mindre städer till bedömningar inför investeringar i bussflottor.	Avslutat
Demoprojekt och utvärdering av snabb-laddningsbara hybridbussar med slide in teknologi i kallt klimat.	Hybricon AB	Bussarna var, vad gäller drivlinan, färdigutvecklade och efter mindre kompletteringar suttades i trafik.	Avslutat
Laddhybridbuss	Volvo Bussar AB	Projektet mål var att utveckla och utvärdera tekniken i en laddhybridbuss. Projektet var ett samarbete mellan Volvo bussar, Göteborgs Energi AB och Svensk Hybrid-fordons Centrum (SHC).	Avslutat

Energimyndigheten driver på energiomställningen in i ett modernt och hållbart fossilfritt välfärdssamhälle – med hjälp av trovärdighet, helhetssyn och mod.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället.

Forskning om förnybara energikällor, smarta elnät och framtidens fordon och bränslen får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter.

Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

Energimyndigheten

Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se