



Framtidens kollektivtrafik i Västerås

Delprojekt 3 Elbussar

2018-05-22

Slutrapport

wsp



Framtidens kollektivtrafik i Västerås

Delprojekt 3 Elbussar

Kund

Västerås Stad

Konsult

WSP Analys & Strategi

Box 13033

WSP Sverige AB

402 51 Göteborg

Besök: Ullevigatan 19

Tel: +46 10 7225000

wsp.com

Kontaktpersoner

Region Västmanland, Kollektivtrafikförvaltningen

Annika Kieri, 021-17 69 35

Uppdragsnamn

Framtidens kollektivtrafik Västerås.

Dnr KS 2017/01016

Uppdragsnummer

10256491

Författare

Helen Lindblom

Förord

En väl fungerande kollektivtrafik är en förutsättning för en hållbar framtid. En framtid som vi så småningom kan lämna över till våra barnbarn utan att skämmas och där de kan må bra och känna tillförsikt över att deras barnbarn kommer att få bra förutsättningar för ett gott liv. I en hållbar framtid behöver vi åka mer kollektivt för att värna om vår hälsa, vår miljö och kvalitén på den miljö vi lever i. Det är precis så som en av strategierna i vår översiktsplan säger 'kollektivtrafiken måste vara ryggraden i vårt samhällsbyggande'. En väl fungerande kollektivtrafik är dessutom viktigt för att vi hela vägen från det lokala till det globala ska kunna uppnå flera av de av FN utsedda 17 globala målen eftersom en väl fungerande kollektivtrafik bidrar till människors hälsa, skapar jämlika och jämställda förutsättningar, ger möjlighet till utbildning, bidrar till hållbar energianvändning, skapar hållbar tillväxt för industrin samt är ett medel för att bekämpa klimatförändringarna. En hållbar kollektivtrafik är helt enkelt en avgörande faktor för att vi ska kunna nå hållbara städer och samhällen.

I Västerås och Västmanland är vi många steg på väg i rätt riktning. Vi har en kollektivtrafik som fler och fler använder, som är populär och attraktiv. Men bra är inte 'good enough'. Vi behöver vara 'even better' och redan nu ta ansvar för en framtid där vi är fler som bor i Västerås och Västmanland och där kollektivtrafiken får, kan och måste spela en större roll. Vi ska helt enkelt möjliggöra och påbörja vägen mot framtidens kollektivtrafiksystem!

Maj 2018

Patrizia Strandman
Samhällsbyggnadsstrateg
Västerås Stad

Johanna Olsson
Utvecklingsstrateg
Region Västmanland

Innehåll

1. Inledning.....	7
1.1 Bakgrund och mål.....	7
1.2 Frågeställningar	7
1.3 Metod	8
1.4 Utgångspunkter och avgränsningar.....	8
1.5 Processens steg.....	8
2. Val av teknik.....	9
2.1 Kriterier för val av teknik	9
2.1.1 Viktigaste faktorerna.....	10
2.1.2 Viktiga faktorer	10
2.1.3 Mindre viktiga faktorer	10
2.1.4 Sammanställning.....	11
2.2 Diskussion om olika teknikers lämplighet	11
3. Val av linje	12
3.1 Kriterier för val av linje	12
3.2 Linjevis analys av körsträcka, linjedragning, antal fordon.....	13
3.3 Markfrågor	13
3.4 Framtidsplaner för områdena nära ändhållplatser	14
3.5 Sammantagen analys.....	15
3.6 Trafikupplägg för elektrifiering av linje 5	16
4. Kartläggning och tidplan för infrastrukturåtgärder	17
4.1 Investeringar i depå.....	17
4.2 Snabbbladdning ändhållplatser	17
4.3 Tidplan för åtgärder	18
5. Ansvarsfördelning	19
6. Systemanalys.....	20
6.1 Energianvändning, miljö, hälsa, buller.....	20
6.1.1 Energianvändning och koldioxidutsläpp.....	20
6.1.2 Kväveoxider och partiklar	21
6.1.3 Bullerstörning	22
6.1.4 Samhällsekonomisk kostnad för miljöeffekter	23
6.1.5 Miljöpåverkan från produktion av fordon och batterier	23

7. Riskanalys och konsekvensbedömning	24
7.1 Kollektivtrafiksystemets robusthet.....	24
7.2 Regionens vilja och förmåga att bära utgifter.....	24
7.3 Teknisk robusthet.....	24
7.4 Trafiksäkerhet.....	25
7.5 Konsekvenser för biogasproduktion	25
7.6 Andra konsekvenser.....	25
8. Ekonomisk kalkyl och finansiering för linje 5	26
8.1 Utgångspunkter och antaganden.....	26
8.1.1 Om kostnadskalkylen.....	26
8.1.2 Trafikupplägg.....	26
8.1.3 Fordon.....	26
8.1.4 Infrastruktur och elnätsanslutning.....	27
8.2 Investeringskostnader	28
8.3 Kostnad per år	28
8.4 Diskussion om resultatet.....	29
9. Fortsatt elektrifiering efter linje 5	30
9.1 Framtida investeringsbehov i fordon.....	30
9.2 Framtidssäkra hållplatser.....	30
9.3 Kostnad för elektrifiering av hela flottan	31
9.3.1 Antaganden	31
9.3.2 Initiala investeringar.....	31
9.3.3 Årlig kostnad	32
9.3.4 Diskussion om resultaten.....	32
10. Slutsatser	33

Sammanfattning

Denna rapport är slutprodukten för delprojekt 3 inom paraplyprojektet Framtidens kollektivtrafik i Västerås. Delprojekt 3 har haft som övergripande mål att klargöra faktorer för en eventuell övergång till elbussar med tillhörande laddinfrastruktur för Västerås stadstrafik.

Delprojektet har landat i att ändhållplatsladdning sannolikt är det mest fördelaktiga för Västerås utifrån det teknikläge och den kunskap som råder idag. Eftersom det är en relativt ny bransch som är snabbväxande bör man dock kontinuerligt uppdatera sig om tekniken och ompröva över tid. Detta bör dock inte hindra att Västerås börjar med elektrifiering nu.

Vidare har delprojektet haft i uppgift att peka ut vilken linje som ska elektrifieras först. Linje 5 lämpar sig väl eftersom ändhållplatserna bedöms vara relativt enkla att anpassa för eldrift samtidigt som det finns god kapacitet i elnätet på dessa platser. Vidare har Linje 5 en hög kilometerproduktion per buss, vilket är en kostnadsmässig fördel.

Delprojektet föreslår att trafikupplägget justeras för att anpassas dels till längre fordon än i dag (idag körs korta fordon på linjen) och dels till elektrifiering. Huvudalternativet för framtida trafikupplägg föreslås vara:

- Samma turtäthet som idag
- Ledvagnar istället för dagens korta fordon
- 7 istället för dagens 6 fordon

Vad gäller ansvarsfördelning har delprojektet tagit fram ett förslag som innebär att fordonen, på uppdrag av Kollektivtrafikförvaltningen, upphandlas och ägs av Svealandstrafiken AB, i likhet med nuvarande situation. Kollektivtrafikförvaltningen ställer krav på energiprestanda, miljö m.m. På uppdrag av Kollektivtrafikförvaltningen föreslås vidare att Svealandstrafiken AB äger laddinfrastruktur i depån. För infrastruktur utanför depå kan Kollektivtrafikförvaltningen ge Svealandstrafiken AB i uppdrag att ansvara för denna. I ansvaret ingår upphandling, ägande, finansiering samt drift av laddinfrastrukturen.

Elektrifiering av linje 5 kommer innebära en betydande energieffektivisering på linjen, ca 70 % lägre energianvändning jämfört med biogasdrift. Ur miljösynpunkt är buller den miljöeffekt som starkast talar till eldriftens fördel jämfört med biogas. Minskade koldioxidutsläpp är en annan vinst vid övergång till el, även om dagens biogasdrivna flotta är betydligt bättre än diesel. Även utsläpp av kväveoxider och partiklar (från avgaser) minskar med eldrift jämfört med biogasdrift.

En analys av de sammanlagda kostnaderna fördelade över hela livslängden ger att en elektrifiering av linje 5 är kostnadsmässigt jämförbar med en investering i nya biogasfordon. Elbussar är dyrare i inköp och kräver investering i infrastruktur vilket leder till höga kostnader initialt, men eftersom driften är så mycket billigare än biogas går det ungefär jämnt upp sett till hela livslängden. Om regionen och/eller staden dessutom söker och erhåller stöd för investeringar i fordon och/eller infrastruktur blir elektrifieringsalternativet ännu mer fördelaktigt.

1. Inledning

Västerås växer som stad och transportbehovet likaså. För att möta utmaningarna i linje med att staden växer, och för att ligga i framkant för att skapa en attraktiv stad, har Kommunstyrelsen gett Västerås Stad ett helhetsuppdrag att genomföra ett strategiarbete för att utveckla kollektivtrafiken med utblick mot år 2050. Syftet är att säkerställa kollektivtrafikens roll och funktion för att kunna möta framtidens resandebehov med en hållbar kollektivtrafik. Helhetsuppdraget, som är ett gemensamt arbete mellan Västerås Stad och Region Västmanland, benämns *"Framtidens kollektivtrafik i Västerås"* och är uppdelat i följande fyra deluppdrag:

- **Delprojekt 1:** Framtidens kollektivtrafik – Övergripande utredning med syfte att tydliggöra vilka behov det regionala och lokala trafiksystemet kommer möta år 2050.
- **Delprojekt 2:** Framkomlighet – Kartläggning av faktorer och upprättande av åtgärdsplan för att säkerställa framkomlighet i kollektivtrafikkorridorerna.
- **Delprojekt 3:** Förutsättningar för elbuss – Utredning med syfte att se över förutsättningarna och möjligheterna för en eventuell övergång till elbussar med tillhörande laddinfrastruktur.
- **Delprojekt 4:** Bussdepå – Utredning för att kartlägga effekter och konsekvenser av olika lokaliseringar av en ny bussdepå.

Denna rapport är slutprodukten för deluppdrag 3, som genomfördes under hösten 2017 och våren 2018. Helhetsuppdraget/deluppdrag 1 slutredovisas sommaren 2019.

1.1 Bakgrund och mål

Svealandstrafiken (tidigare ABVL) har sedan 2004 gått över till biogas som idag står för över 90 % av den totala bränsleförbrukningen. Sedan 2014 körs en elbuss i Västerås där all drivning sker med el men där värmen produceras med hjälp av biogas. Under 2015 genomförde ABVL en förstudie med syfte att utreda om det finns förutsättningar för att övergå till bussar som drivs enbart med elektricitet samt att presentera en grov kalkyl för en sådan transformering.

Förstudien lade grunden för en bredare utredning av förutsättningarna för en övergång till eldrift som genomfördes av WSP på uppdrag av Region Västmanland och Kollektivtrafikförvaltningen under år 2016¹. Utredningen hade en övergripande ansats och syftade till att utreda frågan om elektrifiering av bussar med hänsyn till tekniska, organisatoriska, miljömässiga och samhällsekonomiska perspektiv.

Utredningen ledde till ett inriktningsbeslut under våren 2017 om att gå vidare med frågan om övergång till eldrift inom kollektivtrafiken. En utredning initierades för att konkretisera arbetet.

1.2 Frågeställningar

Projektet syftade till att besvara följande frågeställningar:

- Vilken stadslinje i Västerås bör övergå till elektrifierade bussar?
- Vilken typ av laddinfrastruktur bör användas?
- Vem ska äga och drifta laddinfrastrukturen?

- Kartlägg aktörer och ansvarsfördelning dem emellan.
- Kartlägg ekonomiska konsekvenser vid övergång från biogasbussar till elbussar
- Ta fram en kartläggning över samlade infrastrukturåtgärder med tillhörande kostnadskalkyler.
- Ta fram konsekvensbeskrivningar för biogas- och elanvändning vid övergång till elektrifierad busstrafik på en linje.
- Kartlägg samhällseffekter t.ex. minskat buller vid en elektrifierad stadsbusslinje

Kartläggningen i delprojektet ska kunna ligga till grund för inriktningsbeslut om genomförande av en eller flera elektrifierade busslinjer i Västerås tätort.

1.3 Metod

Projektet har bedrivits av en delprojektgrupp med projektledning av Region Västmanland. Vidare har gruppen bestått av representanter från Västerås Stad, Svealandstrafiken, VAFAB och Mälarenergi. WSP har haft rollen som processtöd under arbetets gång och har ansvarat för sammanställningen av denna slutrapport samt slutredovisning av gruppens arbete. WSP har tagit fram kostnadskalkyl och systemanalysen. WSP har haft en stöttande roll genom processen men ej varit delaktig i beslutsfattandet.

Gruppen har haft åtta möten under perioden september 2017-maj 2018.

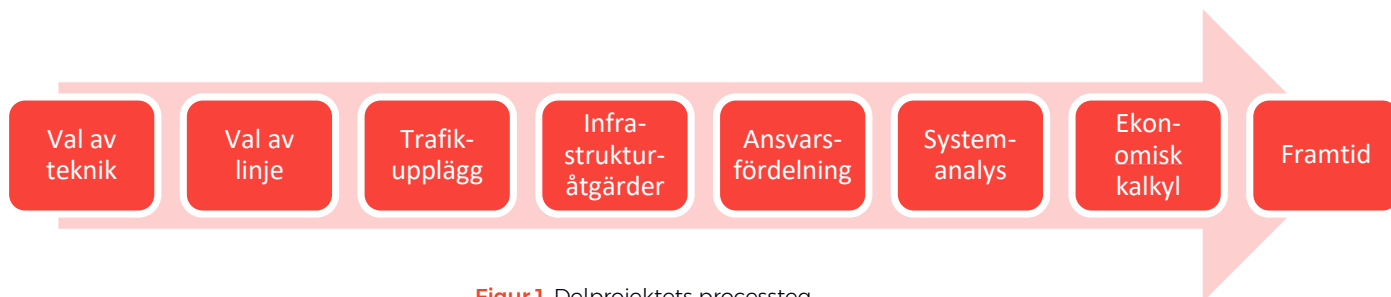
1.4 Utgångspunkter och avgränsningar

Utgångspunkten för projektet har varit att peka ut EN linje som elektrifieras till 100 %. En annan möjlighet skulle kunna vara att endast byta ut några bussar på en linje och köra både biogas och el på samma linje, eller flera linjer, under en övergångsperiod. Sådana lösningar har inte utretts.

Vid val av linje har projektgruppen inte beaktat ekonomiska aspekter eftersom projektet inte haft några ekonomiska ramar att förhålla sig till. Istället har projektgruppen arbetat fram två förslag på lämpliga linjer utifrån andra kriterier. Förslagen har lyfts till beslutande instanser som gjort det slutliga valet kring vilket av de två förslagen som lämpar sig bäst. Den ekonomiska avvägningen har därmed inte gjorts inom projektgruppen.

1.5 Processens steg

Processen att ta fram underlag angående elektrifiering har utgått från följande steg. Dessa steg kommer sedan redovisas i detalj i rapporten, som följer denna struktur.



Figur 1. Delprojektets processteg

2. Val av teknik

2.1 Kriterier för val av teknik

Både i ABVLs tidigare utredningar och i WSPs utredning från 2016² gjordes gedigna genomgångar av teknikläget. I WSPs utredning var huvudalternativet ändhåll-platsladdning, och det var detta scenario som utreddes mest i detalj.

Inom ramen för detta delprojekt omprövades inte tekniken på nytt, utan målet med momentet ”val av teknik” var att relativt snabbt landa i en elbussteknik för vidare utredning. Valet av teknik gjordes genom att utgå från viktiga kriterier för en övergång till elektrifiering av busstrafiken i Västerås. Mer underlag om de olika teknikerna och hur de uppfyller olika kriterier redovisas i Bilaga 1.

I Tabell 1 redovisas olika kriterier som kan vara relevant att överväga vid val av elbussteknik. Vidare följer en kategorisering av kriterierna (indelad på viktigast, viktiga och mindre viktiga faktorer) utifrån ett Västeråsperspektiv.

Tabell 1. Kriterier för val av teknik

Kriterium	Vad menas?
Räckvidd	Klarar bussen att köra den sträcka som linjerna i Västerås kräver?
Teknikmognad	När kan vi vänta att tekniken finns i serietillverkning?
Flexibilitet	I vilken grad låser tekniken fast trafiken till specifika sträckningar?
Skalbarhet	Kan systemet successivt växa?
Hastighet	
Storlek energibärare	Hur stora (och tunga) är batterierna?
Klimat/miljö	Påverkar teknikvalet utsläpp av CO ₂ , NO _x , PM etc, (både i drift och vad gäller produktion av bränsle och fordon)?
Kapacitet i antal resenärer	Påverkar teknikvalet max antal passagerare i bussen?
Infrastrukturbehov	I vilken grad behöver kringinvesteringar i gatumiljö göras?
Krav på depå	I vilken grad behöver ombyggnationer ske i depå?
Krav på ström/elektricitet	Behövs nätförstärkningar?
Service/garanti	Ställer tekniken extra krav på service? Finns garantier?
Buller	Hur påverkas omgivningen av störande buller?
Påverkan stadsbild	Hur påverkas stadsbilden?
Kompatibilitet med regiontrafik	Fungerar tekniken för regiontrafiken?
Påverkan på bussflottans storlek	Ställer tekniken krav på fler fordon per linje?
Kostnader	Helhetsbilden

2.1.1 Viktigaste faktorerna

- **Räckvidd:** Det är viktigt att bussarna kan köras de sträckor som krävs i stadstrafiken, dvs. att tekniken inte sätter begränsningar i linjeutformning.
- **Kapacitet/Påverkan på bussflottans storlek/Storlek på energibärare:** Dessa tre aspekter är väldigt nära sammankopplade. Att införa bussar som reducerar kapaciteten (passagerare per buss) får betydande påverkan på hur många bussar som krävs i bussflottan och påverkar turtätheten.
- **Buller:** Buller är en av de allra största fördelarna med att/ elektrifiera flottan (med utgångspunkt att dagens flotta är biogasdriven).
- **Klimat/miljö:** Det är viktigt att valet av teknik är så klimateffektivt som möjligt samt med så begränsade utsläpp till luften som möjligt. Detta gäller i drift men även ur ett livscykelperspektiv då hänsyn tas till produktion av fordon och bränslen.
- **Kostnad:** Kostnaden för investeringen och driften bör spela stor roll och bör ta hänsyn till både kostnad för elektrifiering och följdkostnader t.ex. på biogassidan.

2.1.2 Viktiga faktorer

- **Skalbarhet:** Västerås är en växande stad och det är viktigt att det går att bygga ut systemet. Utgångspunkten är att vi ska välja en teknik som i framtiden skulle passa för alla linjer.
- **Teknikmognad:** Intentionen är att elbussar ska införas i Västerås stadstrafik i närtid. Det är därför viktigt att tekniken som väljs är relativt beprövad. Det är inte fråga om en testflotta.
- **Krav på ström/elkraft:** Västerås har redan idag effektproblem och det är av betydelse att valet av teknik inte innebär alltför stora påfrestningar på systemet.

2.1.3 Mindre viktiga faktorer

- **Flexibilitet:** Västerås har dedikerade busstyper på respektive linje och då är det inte så viktigt att kunna köra en buss på olika linjer. Det är inte heller aktuellt att kunna växla mellan stadstrafik och förortstrafik.
- **Krav på depå:** Att införa ny teknik kommer få effekter på depån, men är antas att detta framförallt tar sig uttryck i högre kostnader som ingår i kostnadskriteriet ovan (eller krav på elnätet som inkluderas i kriteriet "krav på ström/elkraft". Depån i sig antas dock inte utgöra ett hinder vid val av teknik.
- **Service/garanti:** Detta anses vara av mindre vikt i valet av teknik. Denna typ av frågor får hanteras inom ramen för upphandling.
- **Hastighet:** Alla bussar har ungefär samma hastighet
- **Kompatibilitet med regiontrafik:** Utredningen handlar om elektrifiering av linjer i stadstrafik. Regiontrafiken berörs inte i detta läge.

2.1.4 Sammanställning

I tabellen nedan sammanställs de olika faktorerna.

Tabell 2. Sammanställning av kategorisering av faktorer.

Viktigast	Viktigt	Mindre viktigt
Räckvidd	Skalbarhet	Flexibilitet
Kapacitet, påverkan på bussflottans storlek samt storlek på energibärare	Teknikmognad	Krav på depå
Buller	Krav på ström/elkraft	Service/garanti
Påverkan på stadsbild	Infrastrukturbehov	Hastighet
Klimat/miljö	Tid från beslut till införande	Kompatibilitet med regiontrafik
Kostnad		

2.2 Diskussion om olika teknikers lämplighet

Efter en diskussion baserat på dels kategoriseringen av viktiga kriterier ovan och dels kunskapsläget för respektive teknik (Bilaga 1) togs beslut om att välja ändhållplatsladdning som alternativ för fortsatt utredning. Här nedan redogörs för anledningarna till detta:

Elbuss med ändhållplatsladdning (valt alternativ): Ändhållplatsladdning möjliggör en fortsatt hög produktion och kapacitet i trafiken. Ledbussar med ändhållplatsladdning är teknik som finns på marknaden och är relativt beprövad. Nackdelen är att det ger mindre flexibilitet då det blir svårare att flytta en ändhållplats eller planera om linjerna.

Elbuss med depåladdning: Depåladdning kan fungera för en mindre flotta, men går inte rent praktiskt att införa storskaligt i Västerås. Det blir på sikt för många bussar som ska laddas samtidigt i depå över natten och effektuttaget blir mycket stort i depå. Depåladdade bussar kräver ett mycket stort batteri ombord på bussen. Detta påverkar passagerarkapaciteten, i sin tur påverkar detta hur många bussar som måste köras.

Hybridbussar: Hybridbussar är flexibla och är intressanta för väldigt långa linjer eller då man behöver kunna växla bussar mellan linjer. Däremot är dessa aspekter inte av så stor vikt för Västerås eftersom man enbart är intresserad av linjer i stadstrafik där det inte krävs längre räckvidd än elbussar klarar av. Istället är det viktigt att det är bussar med lågt buller och låga utsläpp till luft som är av intresse, vilket premierar elbussar. Utredningsdirektivet kan dessutom tolkas som att det är helelektrifiering som önskas.

Bränslecellsbusar: Tekniken anses inte mogen att införa i reguljär trafik. Det finns för närvarande ingen serietillverkning.

Elbuss med induktiv laddning: Tekniken anses inte tillräckligt mogen och det är i nuläget mycket höga investeringskostnader för tekniken.

Trådbuss: Höga investeringskostnader och låser in staden i ett system. Dessutom får trådbuss ganska stora effekter på stadsbilden, vilket kan vara både positivt och negativt, men sannolikt påverkas tiden för införande om det krävs mycket infrastruktur i gatunivå i centrala Västerås.

3. Val av linje

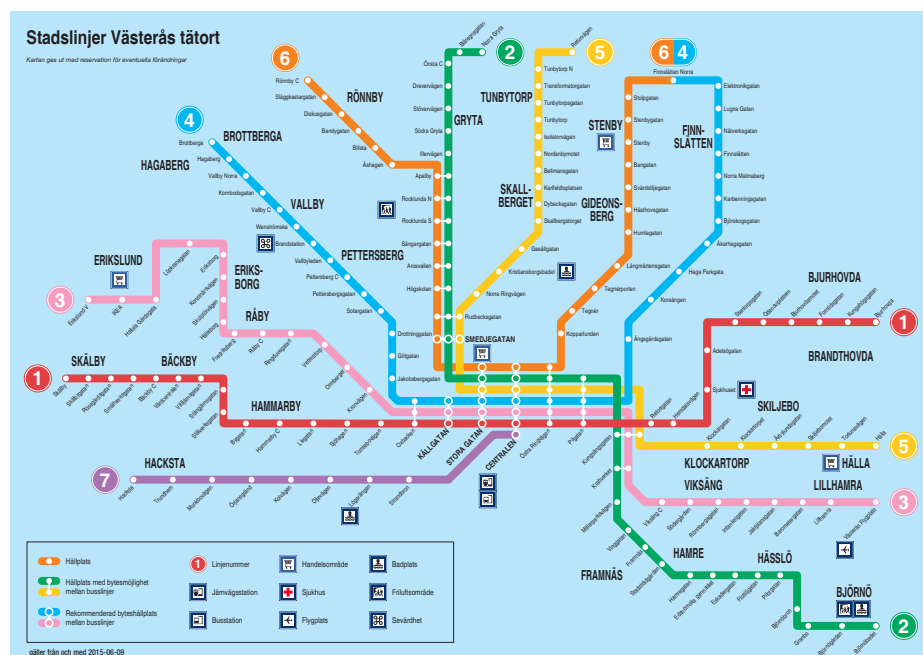
3.1 Kriterier för val av linje

Grundläggande utgångspunkter för att nå hög kostnadseffektivitet vid elektrifiering av en linje är att elbussarna ska ha hög kilometerproduktion och att laddinfrastrukturen utnyttjas så effektivt och mycket som möjligt. Ytterligare aspekter som kan tala för eller emot en linjes lämplighet för elektrifiering är exempelvis linjens sträcka, utrymme och markägarförhållanden vid ändhållplatserna och depåns lokalisering. Nedan listas några av de aspekter som diskuterades i delprojektet:

- **Linjens sträcka mellan ändhållplatser:** Viktig aspekt för optimering av batteristorlek. Lång sträcka och stora höjdskillnader mellan ändhållplatser kräver större batteri och längre laddtid per gång.
- **Kilometerproduktion buss:** Eftersom elbussar är billiga i drift men dyra i inköp blir kostnadskalkylen mer gynnsam ju högre produktion man har per buss på sträckan.
- **Antal bussar per linje/turtäthet:** Dimensioneringen av laddinfrastruktur beror på hur många bussar som körs på linjen. Det mest kostnadseffektiva om laddinfrastrukturen kan utnyttjas så mycket som möjligt. Det är inte säkert att ett högre antal bussar är bättre än färre om det innebär att det krävs två pantografer istället för en per ändhållplats. För få bussar per pantograf är inte heller kostnadseffektivt.
- **Buller:** Tidigare utredning (WSP 2016) visade att ur ett samhällsnyttaperspektiv är det buller som är den största nyttan med en elektrifiering.
- **Markfrågor:** Vem äger marken vid ändhållplatsen, finns det plats för laddinfrastruktur vid ändhållplatsen, hur påverkas stadsbilden?
- **Framtidsplaner:** Finns det planer på förändringar av linjens dragning eller ändhållplatsens lokalisering?

3.2 Linjevis analys av körsträcka, linjedragning, antal fordon

Nedan redovisas linjenätet för Västerås stadslinjer. Samtliga stadslinjer är genomgående förutom Linje 7 som har sin ena ändhållplats vid centralen. Alla linjer passerar centralen och flertalet passerar dessutom depån på Retortgatan.



Figur 2. Karta över stadslinjerna i Västerås tätort

I Tabell 3 redovisas linjerna 1-6 utifrån ett antal olika parametrar. Linje 1 är den klart tyngsta linje vad gäller antal resor. Linje 1 och 4 går i 7,5 minuters trafik och linje 2 och 3 i 10-minuters trafik. Linje 5 och 6 är något mindre linjer med som högst 15-minuters trafik.

Tabell 3. Översiktlig sammanställning av de olika linjerna

Linje	Längd buss	Antal bussar	Frekvens	Tidtabell-timmar	Kilometer	Antal resor 2016	Produktion/Buss
1	18 m	13	7,5 min	48 233	844 600	2 261 561	64 969
2	18 m	10	10 min	42 852	832 169	1 252 405	83 217
3	18 m	11	10 min	41 902	800 028	1 749 191	72 730
4	18 m	12	7,5 min	39 746	749 799	1 547 202	62 483
5	12 m	6	15 min	29 141	558 783	706 347	93 131
6	12 m	6	15 min	26 990	535 765	664 594	89 294

3.3 Markfrågor

Det finns två möjligheter för att ställa upp laddstationer för bussar. Den ena innebär att en nätstation placeras bredvid laddstationen och den andra att nätstationen integreras med laddstationen. Det finns för- och nackdelar med båda konfigurationer.

nera. Den integrerade lösningen erfordrar mindre markyta men medför ett högsämningsabonnemang. Lösningen med separat nätstation och laddstation kräver större markyta men då räcker det med ett lågsämningsabonnemang.

En utomhusbetjäna nätstation behöver en yta på strax under 3x3 meter och kring denna behövs ett arbetsområde som är 1 meter från den öppna dörren. Detta innebär att det behövs en fri yta på ca 4,5x4,5 meter för en utomhusbetjäna station.

En mindre inomhusbetjäna station behöver något mindre en markyta (ca 5x4 meter) i och med att inget arbetsavstånd behövs. Dock ger denna lösning en högre station: En utomhusbetjäna station är ca 2 meter hög jämfört med en inomhusbetjäna station som är ca 2,5 meter hög.

Laddstationen behöver själv en yta på ca 3x3 meter. Detta innebär med arbetsavstånd att de behövs ca 4,5x4,5 meter för laddstationen.

Med separat utomhusbetjäna nätstation och laddstation behövs ca 8,5x4,5 meter och med en inomhusbetjäna nätstation 9,5x4,5 meter.

Laddstationen ansluts till elnätet och anslutningsavgiften beror på hur mycket effekt som ska anslutas, om det ska vara en lågsämningsanslutning eller en högsämningsanslutning samt avståndet från närmast tekniskt möjliga anslutningspunkt.

En aspekt som kan påverka kostnaden för nätanslutning är elnätets kapacitet. I Bilaga 2 redovisas status på elnätet i Västerås hösten 2017. Elnätet är på vissa håll kraftigt begränsat vilket innebär att ett tillkommande effektbehov på grund av laddning av elbussar kan vara svårt att hantera, åtminstone i det kortsiktiga perspektivet. Nätägaren är skyldig att förstärka nätet i den utsträckning som krävs vilket innebär att kapaciteten i elnätet egentligen inte behöver ses som en begränsande variabel för elbussintroduktion. Det kan dock ändå vara relevant att väga in elnätets kvalitet i bedömningen av lämplig linje att elektrifiera inom ett par års sikt, eftersom det kan kräva extra tid och vara något mer kostsamt att ansluta laddstationer i områden som redan idag har kapacitetsproblem.

3.4 Framtidsplaner för områdena nära ändhållplatser

Det finns flera områden i Västerås där man har utbyggnadsplaner eller pågående arbete med detaljplaner som påverkar kollektivtrafiken, se Bilaga 3.

I området vid Hälla pågår en fördjupad översiktsplan och det är idag oklart hur området kommer att bebyggas i framtiden. Stadsbussens sträckning genom området kan förändras när området bebyggs om. Det innebär att ändhållplatsen på linje 5 vid Hälla eventuellt kommer flyttas till annat ställe i området. Detta behöver utredas vidare när beslut tagits om att gå vidare med elektrifiering av linje 5.

Finnslätten är ett område där det planeras utbyggnad i form av nya verksamheter. Marken där ändhållplats Finnslätten ligger ägs av ABB. Därmed kan ändhållplatsen vid Finnslätten eventuellt komma att flyttas inom överskådlig framtid (nya etableringar i området). Detta påverkar linje 4 och 6.

Ändhållplatsen vid Brottberga (linje 4) kommer inom överskådlig framtid mest troligt att flyttas p.g.a. nya stadsdelen Sättra.

En elektrifiering av busstrafiken inom ett par års tid bör beakta förändringar längs med linjen och vid ändhållplatserna som bedöms ske inom en nära framtid. Det bör dock inte vara ett skäl att helt avvakta på grund av att man försöker ta hänsyn till alla möjliga olika framtidsscenarier. Det är inte heller så att laddinfrastruk-

turen är helt låst till en plats för all framtid utan kan flyttas, även om det medför en ytterligare kostnad för nätanslutning, installation etc.

3.5 Sammantagen analys

I Tabell 4 sammanfattas den analys som gjorts inom delprojektet för de olika linjerna. Av analysen föll två alternativ ut; linje 1 och linje 5. I december 2017 fattades ett gemensamt beslut mellan Västerås stad, Kollektivtrafikförvaltningen och Svealandstrafiken att huvudalternativet för fortsatt utredning skulle vara linje 5.

Tabell 4. Sammantagen analys av olika linjers lämplighet

Linje och ändhållplats	Turtäthet	Km/ buss/år	Positivt	Negativt	Slutkommentar
Linje 1: Ändhållplatser Skälby resp. Bjurhovda.	7,5 min	64 969	God tillgång till el/ högspänning. Utrymme vid ändhållplatserna finns. Linje med mest trafik och flest resande i länet.	Vid ändhållplatsen på Skälby ligger bebyggelsen nära vändplatsen och det är ont om plats för en pantograf.	Ett av gruppens huvudval Aktuell för BRT men detta påverkar inte
Linje 2: Ändhållplatser Norra Cryta resp. Björnö.	10 min	83 217	God tillgång till el/ högspänning Norra Cryta. Utrymme vid ändhållplatserna finns.	Dålig tillgång till el/högspänning Björnö. Ändhållplats Björnö är olika sommars resp. vinter.	Nej, ej lämplig. Framförallt på grund av att ändhållplatsen flyttas.
Linje 3: Ändhållplats Erikslund resp. Västerås flygplats.	10 min	72 730	God tillgång till el/ högspänning Erikslund. Utrymme vid ändhållplatserna finns. Många resande.	Dålig tillgång till el/högspänning Västerås flygplats.	Elnätets kvalitet kan för- sena introduktion?
Linje 4: Ändhållplats Brottberga resp. Finnslätten. Ändhållplatsen på Finnslätten delas med linje 6. Linje 4 och 6 delar bussar.	7,5 min	62 483	God tillgång till el/ högspänning. Utrymme vid ändhållplatserna finns. Många resande.	Marken där ändhållplats Finnslätten ligger ägs av ABB. Ändhållplats Finnslätten kan komma att flyttas inom överskådlig framtid (nya etableringar i området). Ändhållplats Brottberga kommer flyttas inom överskådlig framtid p.g.a. nya stadsdelen Sätra.	Att linje 4 och 6 delar bussar gör att det sannolikt skulle krävas en elektrifiering av båda linjerna samtidigt. Att båda ändhållplatser kan komma att flyttas snart gör att linjen inte är huvudalternativet.
Linje 5: Ändhållplats Tunbytorp resp. Hälla.	15 min	93 131	God tillgång till el/ högspänning. Utrymme vid ändhållplatserna finns. Utvecklingsområde vid Hälla pågår (både positivt och negativt).	Pågående fördjupad översiktsplan i området oklar.	Ett av gruppens huvudval Hög kilometerproduktion och relativt "enkla" ändhållplatser.
Linje 6: Ändhållplats Rönnby resp. Finnslätten. Ändhållplatsen på Finnslätten delas med linje 4. Linje 4 och 6 delar bussar.	15-min	89 294	God tillgång till el/ högspänning. Utrymme vid ändhållplatserna finns.	Marken där ändhållplats Finnslätten ligger ägs av ABB. Ändhållplats Finnslätten kan komma att flyttas inom överskådlig framtid (nya etableringar i området).	Att ändhp Finnslätten snart kan komma att flyttas snart gör att linjen inte är huvudalternativet. Dessutom påverkas linjen av förändringar vid linje 4:s ändhp Brottberga eftersom linje 4 och 6 delar bussar.
Linje 7: Ändhållplats Hacksta resp. Centralen. 30-min trafik, inte genomgående linje i nuläget.	30 min		God tillgång till el/ högspänning.	Utrymmet vid Centralen är knappt. Ändhållplats Hacksta kan komma att flyttas p.g.a. ICA.	Ej intressant. För kort linje och gles trafik.

3.6 Trafikupplägg för elektrifiering av linje 5

På några års sikt kommer trafiken på linje 5 att behöva utvecklas – oavsett vilket drivmedel som kommer användas i bussarna. Det finns i princip två alternativ; tätare turer eller större fordon. Båda har diskuterats inom delprojektet men valet föll på större fordon eftersom marknaden för korta fordon blir allt mindre. När bussarna på linje 5 byts ut föreslås således att långa fordon köps in – oavsett drivmedelsval. I framtiden kommer behovet av långa fordon/ledvagnar öka och att köpa enbart korta fordon skulle innebära stor risk för ett överskott av dessa.

En övergång till långa fordon kommer dock kräva förändring i trafikupplägget. Det föreligger redan idag ett problem under delar av trafikdygnet med för korta uppehåll; bussarna kommer fram till ändhållplatsen efter att den skulle avgått vilket innebär att chauffören inte får någon rast. Detta är inte bra ur arbetsmiljösynpunkt och är inte hållbart i längden. Detta problem kommer sannolikt att förvärras när ledbussar sätts in på linjen eftersom det tar något längre tid att köra linjen med en ledbuss jämfört med ett kort fordon. Det krävs därmed ytterligare en buss på linjen oavsett om drivmedlet är biogas eller el.

Elbussar är dyrare i inköp och man räknar generellt med en längre livslängd för dessa (i detta uppdrag antas 15 år jämfört med 10 år för biogas). En investering i elbussar kräver därmed ett något mer långsiktigt perspektiv vilket också är en anledning till att investera i långa fordon.

Utgångspunkten för uppdraget är vidare att bibehålla dagens turtäthet (15 minuters trafik). Det har dock inom ramen för uppdraget diskuterats om det skulle vara intressant att samtidigt som införandet av elbussar även öka turtätheten till 10-minuters trafik. Detta skulle uppskattningsvis kräva 3 ytterligare fordon. Detta måste också anpassas till den utbytestakt av fordon som Svealandstrafiken planerar för (se vidare kap 9). Resandet är dock i dagsläget inte så stort att det motiverar ökad turtäthet, särskilt inte i och med att kapaciteten på befintliga turer ökar vid övergång från korta fordon till ledvagnar.

Huvudalternativ för framtida trafikupplägg blir därför:

- Samma turtäthet som idag
- Ledvagnar istället för dagens korta fordon
- 7 istället för dagens 6 fordon

4. Kartläggning och tidplan för infrastrukturåtgärder

4.1 Investeringar i depå

De investeringar som kommer behövs i anslutning till depån består till stor del av investeringar i platser för långsam laddning ("underhållsladdning") över natt eller annan längre tidsperiod. Denna laddning sker via vanlig trefasuttag 63 A (eller 32 A) via stickproppsanslutning. Detta sker då bussarna står uppställda i depån och säkerställer också att batteriernas livslängd kan bli så lång som möjligt genom att de balanseras.

För att möjliggöra laddplatser inom depån kommer det dels krävas investeringar i laddningsutrustning men troligtvis också smärre investeringar i att förstärka elnätet. Förutom nattladdningsplatser kan det eventuellt bli aktuellt att förstärka systemet med en snabbladdningsplats inom depån för att kunna hantera elbussar som är under reparation, kortare depåstopp eller liknande.

4.2 Snabbladdning ändhållplatser

Snabbladdningsstationer kräver så gott som alltid någon form av förstärkning av elnätet för att möjliggöra laddning av elbussar. Hur mycket nätet behöver förstärkas varierar dock avsevärt beroende på strukturen på elnätet i området. För linje 5 är förutsättningarna relativt goda vid båda ändhållplatser. Kostnad för nödvändiga nätåtgärder belastar brukaren genom en installationskostnad, "nätanslutningskostnaden". I nätanslutningskostnaden ingår också kostnad för brukarens andel i överliggande anläggningar.

Baserat på genomförda exempel i Göteborg och Stockholm bedöms bygglov inte krävas för laddstolpar som placeras inom gatumark. Laddstolpar kan däremot behöva kompletteras med en ny eller utbyggd nätstation (transformator) vilka kräver bygglov. Eventuella kabelmätarskåp i närheten av en nätstation kräver normalt heller inte bygglov. I samband med bygglovsansökan för en nätstation bör dock laddstolpen inkluderas då nätstation, stolpe och eventuellt fristående kabelmätarskåp bör ses som en helhet.

En nätstation kräver stöd i detaljplan som medger markanvändningen "teknisk anläggning" eller motsvarande. Om planstöd inte finns krävs att detaljplan upprättas enligt 5 kap Plan- och bygglagen (PBL) innan bygglov kan sökas. Beroende på nätstationens storlek och gällande detaljplans syfte och innehåll kan kommunen med stöd av 9 kap PBL eventuellt ge bygglov för en nätstation genom avvikelse från detaljplan.

Nätstationerna vid ändhållplatserna på linje 5 kan mest troligt byggas genom en avvikelse från detaljplanen. Beroende på om det enbart blir laddningsstolpar eller om även behövs en nätstation får det i ett senare skede avgöras om det krävs bygglov.

Vid Tunbytorp äger staden inte marken och utrymme måste säkras för framtida laddinfrastruktur. Det finns plats för nätstation på yta som idag är grönyta i detaljplan och det bör fungera att hantera detta som en mindre avvikelse från de-

taljplan. Vid Hälla finns yta i anslutning till ändhållplatsen (grönyta i detaljplan) och Västerås stad äger marken.

Ändhållplatserna behöver detaljprojekteras och designas för att anpassas med den nya laddinfrastrukturen. Kapacitet och exakt placering av nätstationerna behöver kartläggas i samråd mellan nätägare och kommunen.

Vidare behöver hållplatserna längs linje 5 ses över för att anpassas till ledbussar. Sannolikt är de redan relativt men detta behöver säkerställas under perioden fram till trafikstart. Alla nya hållplatser samt hållplatser som byggs om bör anpassas för minst 18,75 meters bussar. Detta gäller inte enbart linje 5 utan generellt för tätortstrafiken.

Sammanfattningsvis finns yta på båda ändhållplatserna för byggnation av nätstation och laddstolpar. Det finns inga hinder för anslutning till elnätet. Gruppen ser därmed inte några hinder för etablering av laddinfrastruktur på dessa platser och därmed utreds frågan inte mer i detalj inom ramen för detta uppdrag.

4.3 Tidplan för åtgärder

Nedan följer ett förslag på tidplan för olika moment för att klara trafikstart vid tidtabellsskiftet augusti 2021:

- Formellt beslut om genomförande i Regionfullmäktige: juni 2018
- Investeringsplanering: Höst 2018
- Upphandling av fordon och laddinfrastruktur: Höst 2019
- Projektering och bygglovsansökan: Höst 2019
- Beställning av elnätsanslutning: Höst 2019
- Byggentreprenad upphandlas: Höst 2019
- Påbörjan byggnation: Sommaren 2020
- Leverans laddstation: Sommaren 2020
- Leverans fordon: Våren 2021
- Utbildning av personal: Våren 2021
- Drifttagning av system: Våren 2021
- Driftstart: Augusti 2021

5. Ansvarsfördelning

Diskussionen om ansvarsfördelning har utgått ifrån den analys som gjordes i WSP (2016)³ som behandlade potential och effekter av införande av elbussar i Västmanland. Slutsats och rekommendation angående rollfördelningen var att den bör göras så att:

- respektive organisation ansvarar för verksamheter som liknar/är kompatibla med övrig verksamhet
- den kostnad som uppstår faller på den organisation som kan tillgodogöra sig den ekonomiska vinsten
- den fungerar på längre sikt och inte bara tillfälligt
- den håller öppet för möjlighet att kommersialisera delar av verksamheten (om detta är önskvärt)
- den skapar incitament som främjar effektivt användning av såväl ekonomiska resurser som energi samt
- tar hänsyn till gällande regelverk för kommunal verksamhet.

Elbussar med ändhållplatsladdning kräver laddinfrastruktur som klarar snabbladdning på ändhållplatserna samt laddinfrastruktur i depå för laddning över natten. Det finns således tre huvudsakliga delar där ansvar behöver fördelas; ägande av fordon, laddinfrastruktur på depå respektive laddinfrastruktur utanför depå.

För de städer i Sverige som infört eller är på gång att införa elbussar ser ansvarsfördelningen väldigt olika ut (se bilaga 4 för exempel). Eftersom stadstrafiken är organiserad på olika sätt i olika städer/regioner är det inte heller helt lätt att rakt av "kopiera" en annan stad/regions upplägg.

Projektgruppen föreslår följande upplägg för ansvarsfördelning rörande fordon och laddinfrastruktur:

Fordon: På uppdrag av Kollektivtrafikförvaltningen upphandlar och äger Svealandstrafiken AB fordonen, i enlighet med det som gäller för biogasbussarna. Kollektivtrafikförvaltningen ställer krav på energiprestanda, miljö m.m.

Laddinfrastruktur i depå: På uppdrag av Kollektivtrafikförvaltningen äger Svealandstrafiken AB laddinfrastruktur i depån. Depån ägs idag av Västerås Stad men det är Svealandstrafiken AB som driver verksamheten och står för löpande investeringskostnader.

Laddinfrastruktur utanför depå: Kollektivtrafikförvaltningen kan ge Svealandstrafiken AB i uppdrag att ansvara för laddinfrastruktur utanför depå. I ansvaret ingår upphandling, ägande, finansiering samt drift av laddinfrastrukturen.

En förutsättning för detta upplägg är att kollektivtrafikförvaltningens respektive Svealandstrafikens roller är tydliga.

Kostnader för fordon, laddinfrastruktur inom respektive utanför depå samt driftkostnader betalas av Västerås stad via trafikkostnader i rambudgeten.

6. Systemanalys

6.1 Energianvändning, miljö, hälsa, buller

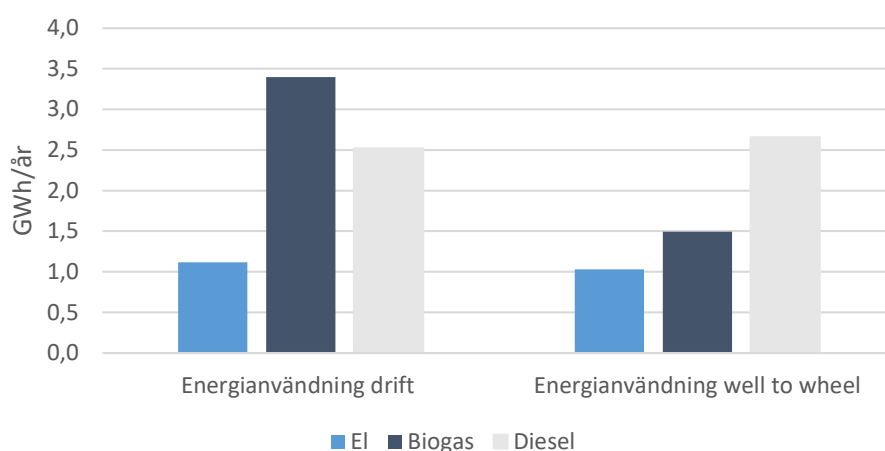
I detta avsnitt beskrivs hur en övergång till el på linje 5 kan påverka energianvändning, miljö, hälsa och buller. Beräkningarna baseras på det trafikupplägg som föreslås i kapitel 3, dvs. 7 bussar oavsett drivmedel. Vad gäller kilometerproduktion och drivmedelsförbrukning är utgångspunkten samma som för den ekonomiska kalkylen, se kapitel 8.

Utgångspunkten är en jämförelse mellan dagens biogasdrift och övergång till el. Dock redovisas i figurerna i detta kapitel även diesel som referens för att illustrera att Västerås redan i dagsläget har kommit långt i arbetet med att minska kollektivtrafikens miljö- och klimatpåverkan.

6.1.1 Energianvändning och koldioxidutsläpp

En elektrifiering av linje 5 skulle innebära en minskning av den direkta energianvändningen för framdrift med ca 70 %, från ca 3,4 GWh/år till omkring 1,1 GWh/år, se Figur 3. För att ta hänsyn till att en stor del av biogasen (och till en mindre del även el) produceras av så kallad återvunnen energi (från matavfall, avloppsslam och restprodukter) kan man redovisa energianvändningen ur ett "well-to-wheel"-perspektiv. Då får man med energianvändningen inte bara från drift utan även produktion av drivmedlet. Energianvändningen blir i detta fall betydligt mer jämförbar mellan el och biogas.

En elektrifiering av busstrafiken på linje 5 skulle även innebära en stor relativ



Figur 3. Energianvändning för linje 5 per drivmedel vid drift respektive ur ett well-to-wheel-perspektiv.

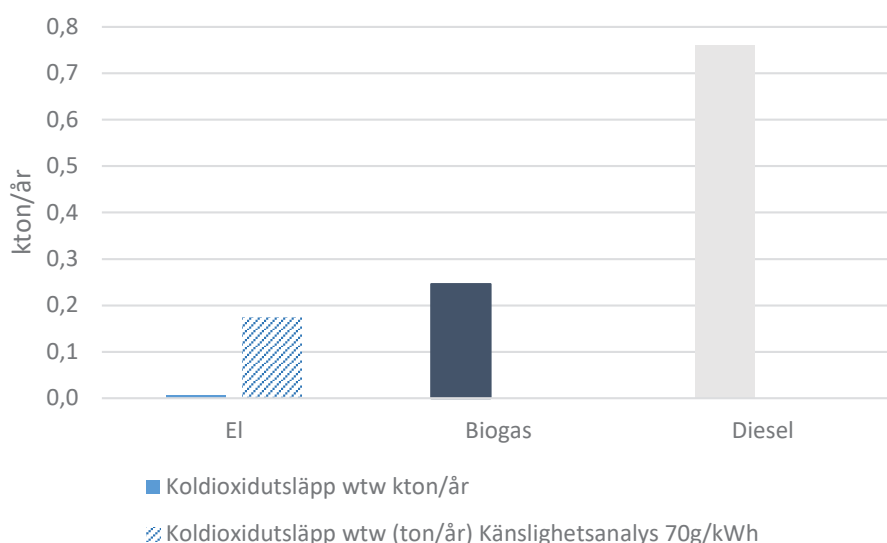
minskning av koldioxidutsläppen från trafiken. Koldioxidutsläpp från eldrivna fordon kan beräknas enligt olika principer. Om man utgår från antagandet att länets trafik kommer drivas med en miljömärkt el ("förnybar energimix" på 4,8 g/kWh) kommer koldioxidutsläppen minska från omkring 0,25 kton/år till nästan noll. Görs istället ett antagande om att utsläppen från elproduktionen motsvarar den genomsnittliga produktionen i nordisk elmix (70 g/kWh) är elen fortfarande ett klimatsmartare drivmedel än biogas, men skillnaden är betydligt mindre. I Figur 4 redovisas båda alternativen.

6.1.2 Kväveoxider och partiklar

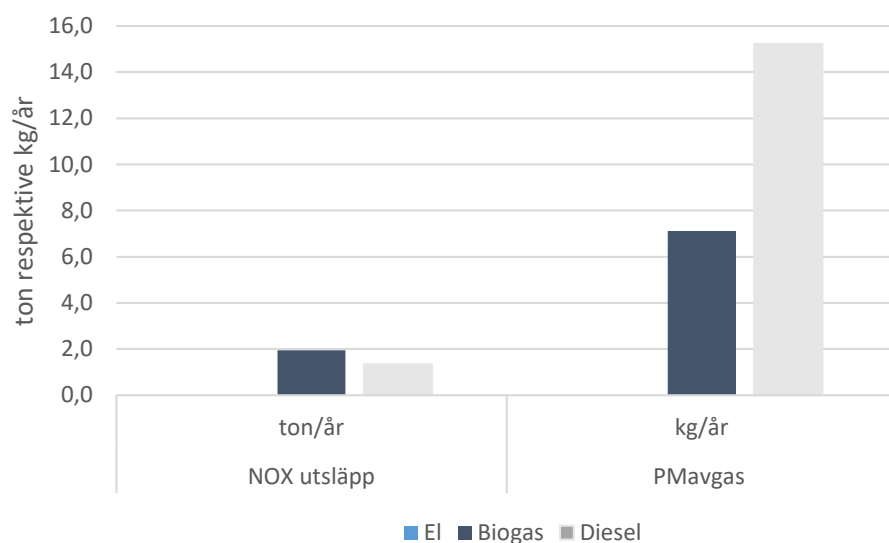
En av fördelarna med elektrifiering av trafik i tätorter är att elmotorer inte ger upphov till lokala utsläpp av kväveoxider (NOx) och avgaspartiklar (PMavgas) som bland annat bidrar till försurning av mark, övergödning av sjöar och påverkar människans arvs massa och luftvägar. Partiklar uppstår även vid kontakten mellan däck och vägbanan (slitagepartiklar). Miljönyttan med elbussar är som störst där flest människor exponeras av bussarnas utsläpp.

Medan mängden partiklar som kommer från avgasröret är beroende av bussens drivmedel är mängden partiklar som kommer från kontakten med vägbanan kopplade till bussens vikt.⁴ Det antas att lika stora bussar, oavsett drivmedel, ger upphov till lika mycket partiklar från kontakt med vägbanan och därför är slitagepartiklar inte med i analysen⁵.

Som underlag till beräkningarna för NOx och PMavgas används emissionsmodellen HBEFA, som är en europeisk modell för trafikens luftföroreningar. Värdena som tagits fram baseras på beräknade genomsnittliga emissioner för Sveriges bussflotta, fördelat på olika drivmedel, vid körning i tätort år 2020.



Figur 4. Årliga utsläpp av koldioxid för linje 5 per drivmedel vid drift. För el redovisas dels "förnybar elmix" (längst till vänster) och dels "nordisk elmix" (70 g/kWh).



Figur 5. Årliga utsläpp av kväveoxid och avgaspartiklar för linje 5 per drivmedel.

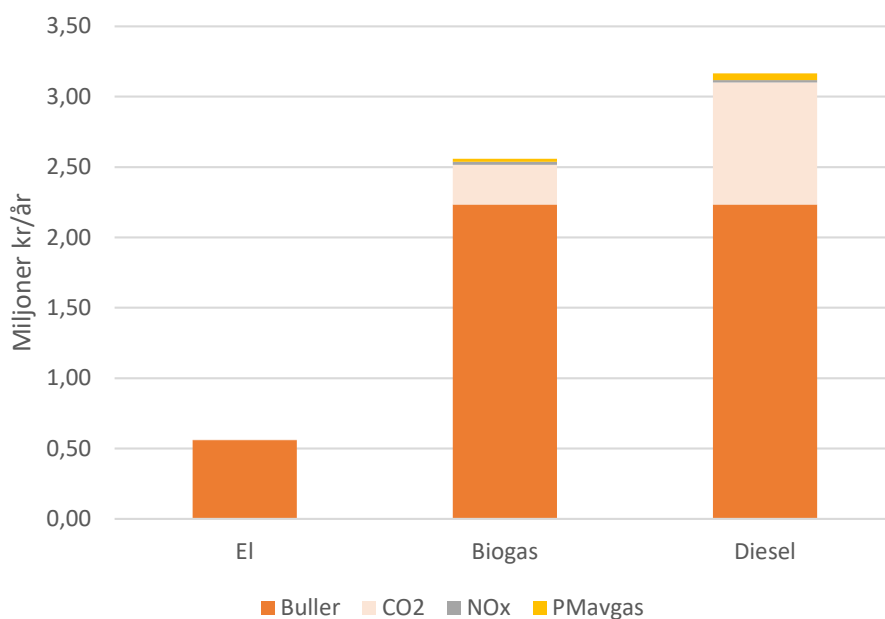
Elektrifiering av linje 5 ger enligt dessa beräkningar en minskning av kväveoxidutsläpp med omkring 2 ton per år, se Figur 5. Vad gäller avgaspartiklar uppskattas minskningen uppgå till ca 7 kg per år. Som framkommer i senare avsnitt utgör minskningen av kväveoxider och avgaspartiklar en marginell del av de positiva samhällsekonomiska miljöeffekter som uppstår vid elektrifiering.

6.1.3 Bullerstörning

Elektriska motorer bullrar avsevärt mindre än förbränningsmotorer, både vid stillastående mätning, vid acceleration och vid jämna hastigheter. Exakt hur mycket tystare en elektrisk buss är jämfört med en konventionell beror på flera faktorer, bland annat vid vilka hastigheter och på vilket sätt man mäter. En sammanställning för 12-metersbussar i acceleration från Blekinge tekniska högskola visar att en buss med elektrisk motor i genomsnitt var 7 dBA tystare än bussar med förbränningsmotorer som gas- och dieselbussar – 66 dBA jämfört med 73 dBA. 7 dBA innebär en mycket stor skillnad i upplevt buller eftersom skalan är logaritmisk.

De beräkningar för buller som redovisas i nästföljande avsnitt är baserade på antagandet att samtliga bussar med förbränningsmotorer (vilket inkluderar både biogas och diesel) bullrar lika mycket.⁶ Det finns dock indikationer på att framtida biogasbussar kommer att bullra betydligt mindre än dagens. Bland annat har de filter som installeras i nya bussar för att dämpa partikelutsläppen även en dämpande effekt på bullret. Därutöver sker ytterligare teknikutveckling i riktning mot mindre buller från motorerna. Det finns också källor som menar att biogasbussar bullrar något mindre än dieselbussar redan idag.⁷

Buller är situations- och platsberoende och hur stor den negativa effekten av en bullrande buss blir beror på hur många människor som utsätts för bullret. Därmed är bullerstörningen av en och samma buss högre i tät stadsbebyggelse där många människor vistas utomhus än på landsväg.



Figur 6. Årlig samhällsekonomisk kostnad för miljöeffekter för linje 5.

6.1.4 Samhällsekonomisk kostnad för miljöeffekter

En sammanställning av den samhällsekonomiska kostnaden för utsläpp av kväveoxider och partiklar vid drift, koldioxidutsläpp under livscykeln och buller visar att buller är den samhällsekonomiskt största posten, följt av koldioxidutsläpp, se Figur 6.

Att buller har en negativ inverkan på folkhälsan är klart, däremot är det inte helt lätt att värdera exakt hur stor den negativa inverkan är. Det saknas idag en tydlig branschöverenskommelse om hur buller ska värderas. Denna rapport utgår från värdering av buller i tätort baserat på en kunskapssammanställning av Ecotrafic skriven på uppdrag av Trafikverket 2015.

En annan omstridd faktor när det gäller hur den ska värderas samhällsekonomiskt är utsläpp av koldioxid. Sammanställningen i Figur 6 baseras på den officiella värderingen av koldioxid till 1,14 kr/kg.⁸

6.1.5 Miljöpåverkan från produktion av fordon och batterier

I avsnitten ovan redovisas den påverkan på växthusgasutsläpp som olika val av drivmedel ger upphov till. Jämförelsen är gjord utifrån ett livscykelperspektiv för olika drivmedel. För att få en total bild av hur val av teknik påverkar utsläpp ur ett livscykelperspektiv bör dock även hänsyn tas till utsläpp som uppkommer vid utvinning av råvaror, vid produktion av fordon och batterier samt i samband med underhåll. Det saknas idag välgjorda studier som ger nyckeltal för utsläpp av koldioxid i samband med produktion av bussar baserat på olika drivmedelstekniker. Andra frågor som förtjänar att lyftas vid en jämförelse av tekniker, men där det behövs mer forskning, är frågor om hur de grundämnen som ingår i fordon och batterier utvinns, risk för att gå från oljeberoende till grundämnesberoende vid övergång till batteridrift samt under vilka sociala förhållanden produktionen av de jämförda objekten sker.

7. Riskanalys och konsekvensbedömning

I detta kapitel lyfts några av de risker som kan uppstå vid övergång till elektrifiering och vilka konsekvenser det kan få på andra aktörer. För en mer utförlig genomgång hänvisas till WSPs rapport från 2016⁹.

7.1 Kollektivtrafiksystemets robusthet

En fråga som ofta kommer upp på temat elektrifiering och risker är möjligheten till elavbrott eller betydelsen av andra större yttre störningar. Elnätet i Sverige idag är mycket robust och större elavbrott är mycket ovanliga. Skulle ett sådant, mot förmodan, inträffa går det att minska de negativa effekterna genom att omdirigera den gasdrivna trafiken till de linjer som bedöms ha högst ekonomiskt och socialt värde. Tvärt om, går det att argumentera för att ett trafiksystem med flera möjliga energikällor kan betraktas som mer robust, än ett system som är beroende av tillgång på enbart ett drivmedel.

7.2 Regionens vilja och förmåga att bära utgifter

Regionens förmåga och vilja att bära de utgifter som krävs för att slutföra en påbörjad elektrifiering är en viktig fråga att belysa utifrån ett riskperspektiv. En övergång till eldrift kan tidvis komma att kräva stora utgifter, som kan innebära risker för att eventuella ekonomiska fördelar i längden ska väga upp risken.

7.3 Teknisk robusthet

Även om ändhållplatsladdning är relativt beprövad teknik, föreligger alltid en risk för att de system regionen väljer att köpa in, inte lever upp till önskad standard. Det kan därför vara fördelaktigt att nyttja möjligheten att lägga över delar av den risken på producent och eller leverantör av tekniken.

Systemet måste byggas så att det klarar vanliga störningar och fel utan för stora konsekvenser för resenärerna. Problem kan uppstå både i laddinfrastrukturen och på fordonen. Det kan även uppstå störningar i trafiken som påverkar bussarnas laddtid vid ändhållplats.

Möjliga åtgärder för att minska riskerna vara att t.ex.

- välja större bussbatteri än vad som egentligen krävs
- ha en eller flera reservbussar
- ha mer luft i tidtabellerna så att reglertid inte måste användas för laddning
- reservkraftaggregat ombord på alla bussar
- mobil laddare i reserv

7.4 Trafiksäkerhet

Synskadades riksförbund har lyft frågan om trafiksäkerhet för synskadade kopplat till elektriska fordon. Rekommendationen är att denna intressegrupp får höras lokalt och ge synpunkter, under processens gång.

7.5 Konsekvenser för biogasproduktion

Det är av mycket stor vikt att biogassystemet i länet kan fortleva, trots en minskad efterfrågan på biogas. Ekonomiskt sett är det viktigt för kollektivtrafiken att säkra en tillgång på fordonsgas i länet även framöver. Ur ett miljöperspektiv är det viktigt att fordonsgas har så hög inblandning av biogas som möjligt. Socialt är det viktigt att kretsloppssystemets positiva sociala aspekter inte reduceras eller försvinner helt.

I det första steget där enbart en elektrifiering av linje 5 är aktuell är påverkan på biogasproduktionen relativt liten och bedöms inte ge några större konsekvenser för biogasproduktionen.

På sikt, i takt med utökad elektrifiering, kan dock konsekvenserna bli större. Man behöver då se på möjligheter till andra kunder och andra avsättningsformer för den producerade biogasen. En möjlighet är att producera el eller värme från den genererade biogasen. Ytterligare en möjlighet kan vara att erbjuda gasen för försäljning till industrier som idag använder naturgas.

7.6 Andra konsekvenser

Det är möjligt att kommunen har, eller önskar ta fram, en policy, gestaltungsprogram eller motsvarande för de förändringar som elektrifiering kommer innebära för stadsmiljön. Det kan vara en övergripande policy för hela linjestäckningarna alternativt för vissa sträckor i exempelvis de mest centrala delarna av Västerås. Kommunen är som huvudman för gatorna ägare av en sådan policy men den kan bekostas av den part som har nytta av den.

8. Ekonomisk kalkyl och finansiering för linje 5

I detta kapitel redovisas dels en kalkyl över de initiala investeringskostnaderna och dels en kalkyl för hur de totala kostnaderna, inklusive driftskostnader, kan komma att se ut vid en övergång till eldrift jämfört med en investering i nya biogasfordon.

Det bör noteras att kostnadskalkyler alltid är förknippade med osäkerheter och att man bör vara vaksam på dessa. Ett resonemang om osäkra faktorer finns i slutet av detta kapitel.

8.1 Utgångspunkter och antaganden

8.1.1 Om kostnadskalkylen

Kapitlet inleds med en summering av de initiala investeringskostnader som behövs tas vid elektrifiering, jämfört med en investering i nya biogasfordon.

Kapitlet fortsätter med en jämförelse av kostnaderna utslagna per år för elektrifiering jämfört med biogasdrift. Kostnader per år har räknats fram enligt annuitetsmetoden. Annuitetsmetoden anger hur lönsam en investering är utslaget på investeringens livstid och gör det enklare att jämföra investeringsalternativ med olika lång ekonomisk livslängd.

Det ska poängteras att beräkningarna baseras på kostnadsuppskattningar som främst syftar till att ge en indikation på storleksordningen givet olika val av drivmedel/teknik. Kostnadsposterna har hämtats från Svealandstrafikens tidigare arbeten, olika forskningsrapporter¹⁰ samt erfarenhetsvärlden baserat på tidigare utredningar som WSP har gjort.

Antagandena som görs beskrivs översiktligt i nästföljande avsnitt och sammanfattas i Tabell 5.

8.1.2 Trafikupplägg

Vad gäller trafikupplägg antas det upplägg som presenteras i kapitel 3, dvs sju ledbussar med dagens turtäthet krävs på linjen oavsett drivmedel.

8.1.3 Fordon

Livslängden på en elbuss antas vara 15 år inklusive totalrenovering samt ett batteri byte under perioden. Livslängden för biogasbussar antas vara 10 år.

I servicekostnaden inkluderas enbart merkostnader specifika för respektive teknik. Den servicekostnad som är samma oavsett teknikval har exkluderats från beräkningen. Servicekostnaden antas vara högre för biogasbussar, vilket bland annat beror på att man i en biogasbuss behöver ett växellådsbyte under livslängden.

I en eldriven buss genereras relativt lite överskottsvärme vilket innebär att en stor mängd el går åt till uppvärmning av bussen. Detta innebär att total energiåtgång varierar kraftigt beroende på årstid och väder. Drivmedelsanvändningen (2 kWh/km) inkluderar uppvärmning men är uttryckt som ett genomsnitt över året. Energianvändningen kommer med andra ord att vara högre på vinterhalvåret, och lägre på sommarhalvåret. Alternativt kan någon form av förbränningsdriven

värmare användas. Biogas skulle kunna även kunna användas för att värma upp bussarna, om utformningen går att lösa rent praktiskt.

8.1.4 Infrastruktur och elnätsanslutning

Utgångspunkten är att det investeras i en pantograf på vardera ändhållplatsen (totalt två stycken) per linje. För infrastruktur i depå antas att det kommer att krävas en laddare per buss för långsamladdning över natten.

Nätanslutningskostnaderna som uppstår till följd av investeringar i nätet vid enskilda laddningsstationer för ändhållplatsladdning uppskattas till i storleksordning 500 000 kr per anläggning. Detta gäller för ca 600 kVA laddstation samt en bit kabel mellan nätstationen och laddstationen.

Vad gäller kostnader för depåladdning har detta inte utretts i detalj eftersom det beror på dels vilka logistiska möjligheter som finns för att flera elbussar ska kunna dela på nattladdningsplatser genom att de laddas långsamt vid olika tider på dygnet och dels på hur ofta och länge de batterier som köps in behöver balanseras. En schablonkostnad på 250 000 kr per buss har antagits.

Oberoende av var laddningspunkterna är placerade så är kostnaden för laddad elenergi den samma. Denna kostnad bestäms av det elenergiavtal som berörd aktör har med elleverantör.

Tabell 5. Sammanfattning av antaganden i kostnadskalkylen

	Biogas	EI
Trafikupplägg		
Antal bussar (18 meter)	7	7
Kilometer per linje och år	558 783	558 783
Fordon		
Kostnad per buss (exkl. batteri)	3 400 000 kr	4 750 000 kr
Avskrivningstid buss (år)	10	15
Restvärde	0	0
Ränta	4%	4%
Teknikspecifik service och reparation av fordon (per år och fordon)	80 000 kr	40 000 kr
Storlek batteri (kWh)	-	125
Livslängd batteri (år, dvs. byts en gång under 15 år)	-	7,5
Kostnad för batteri (per styck, 2 st. per buss krävs under livslängden)	-	1 750 000
Drivmedelsförbrukning/km (m ³ gas resp. kWh). Inkl. värme för elbussarna	0,64	2
Kostnad för drivmedel (per m ³ resp. kWh)	10 kr	1 kr
Infrastruktur		
Investering depå (långsamladdare) inkl. nätanslutning (per buss)		250 000 kr
Avskrivning infrastruktur och pantograf (år)		20
Pantograf (kostnad per st.) inkl. service. Exkl. nätanslutning, projektering, bygglov och grävning		3 000 000 kr
Elnätsanslutningskostnad		500 000 kr
Markarbete inkl. projektering och ev. bygglov (kostnad per pantograf)		500 000 kr
Antal pantografer		2 st. (en på vardera ändhållplats)

8.2 Investeringskostnader

I Tabell 6 redovisas de initiala investeringskostnaderna för eldrift på linje 5, samt motsvarande kostnad vid fortsatt biogasdrift. Den initiala investeringen blir mer än dubbelt så stor vid övergång till eldrift jämfört med om nya biogasbussar skulle köpas in.

Tabell 6. Sammanställning av investeringskostnader för biogas- respektive elbussar på linje 5.

	Biogas	El
Bussar	23 800 000 kr	45 500 000 kr
Infrastruktur (pantografer exkl. markarbete)		9 750 000 kr
Infrastruktur (markarbeten)		1 000 000 kr
Summa	23 800 000 kr	56 250 000 kr

Det finns olika stöd som kan sökas för inköp av fordon respektive infrastruktur.

- **Fordon:** Elbusspremie kan sökas av regionala kollektivtrafikmyndigheterna och kommuner¹¹. Premien kan betalas ut till elbussar, hybridladdbussar (minst 60 procent eldrift) och trådbussar som kan transportera fler än 14 passagerare.¹² Upp till 20 % av kostnaden (maximalt en miljon kronor per fordon) kan stödet uppgå till.
- **Infrastruktur:** Stadsmiljöavtalet är ett statligt stöd som kan sökas av kommuner och landsting. Om en investering genomförs av båda parterna bör de ansöka tillsammans, dock bör en av aktörerna stå som huvudman för ansökan. Åtgärder för laddinfrastruktur för elbussar kan beviljas stödet om de ingår i en större paketslösning med andra kollektivtrafikanläggningar som bussgator, hållplatser och signalsystem. Totalt är det möjligt att få stadsmiljöavtalet beviljat upp till 50 procent av investeringskostnaderna

Det finns även Klimatklivet där aktörer kan få stöd för laddinfrastruktur, men eftersom Västerås stadstrafik drivs av biogas i nuläget är klimatnyttan inte så stor vid en övergång till el, vilket kan innebära att stödet blir mindre relevant.

8.3 Kostnad per år

I Figur 7 redovisas totala årliga kostnader för biogas respektive elektrifiering enligt annuitetsmetoden, dvs kostnaderna utslagna på investeringens livslängd. Den årliga kostnaden för elektrifiering genom andhållplatsladdning beräknas till ungefär samma nivå som kostnaden för att investera i nya biogasfordon. Fordons- och batterikostnaden blir betydligt högre med elbussar, men den avståndsbaserade kostnaden betydligt lägre. Den sammantagna kostnaden, fördelat per år, blir därmed relativt jämförbara.

Kostnadskalkylen inkluderar inte kostnader för linjen som är samma oavsett teknik, t.ex. förarkostnad, kostnad för drift av depå etc. Kostnadskalkylen tar inte heller hänsyn till kostnader för den redan gjorda investeringen i infrastruktur för biogas eller eventuella servicekostnader för biogasinfrastrukturen. Dock är detta sannolikt en mindre kostnad jämfört med infrastrukturen för el.

Kostnadskalkylen inkluderar heller inte olika sorts stöd som kan sökas för fordon respektive laddinfrastruktur.

8.4 Diskussion om resultatet

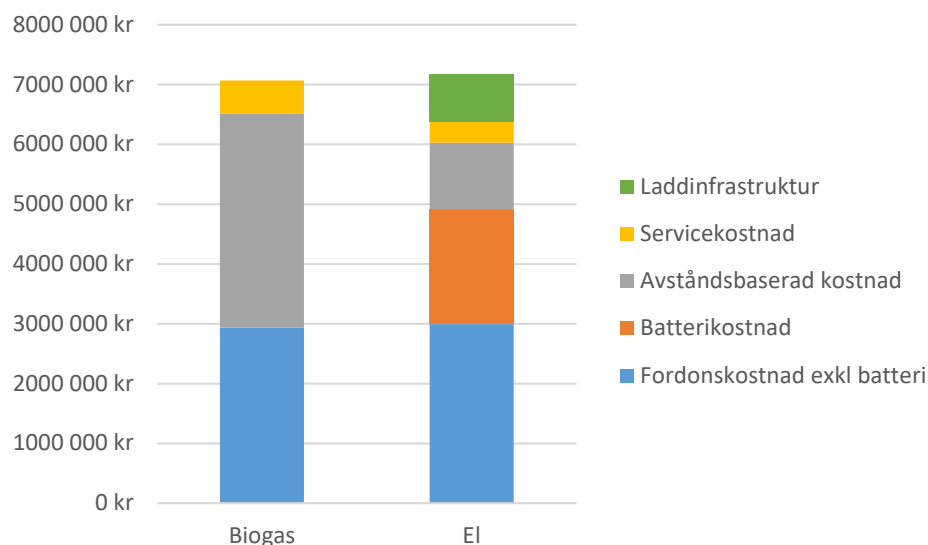
Investering i elbussar och laddinfrastruktur innebär en betydande initial investering men återbetalar sig över tid i form av lägre avståndsbaserade kostnader (se figur 7). Investeringskostnaderna kan även mildras genom olika former av stöd. Om regionen skulle söka och få stöd genom elbusspremien skulle investeringskostnaden kunna sänkas med omkring sju miljoner kronor (en miljon per buss). Detta får även stor effekt på den årliga genomsnittliga kostnaden, som då blir klart bättre för elbussalternativet.

Även för laddinfrastruktur skulle regionen/kommunen kunna söka stöd, då via stadsmiljöavtal. Då krävs motprestationer av något slag, men i princip skulle det gå att söka stöd för halva investeringen i laddinfrastruktur. Detta ger också betydande påverkan på kostnadsbilden.

Det finns även andra aspekter som får stor påverkan på kostnadskalkylen. Antagandena om fordonskostnader och laddinfrastruktur är sannolikt något konservativa i denna analys men detta är ett medvetet val för att inte riskera att underskatta kostnaderna. Med tanke på att elbussutvecklingen gått mycket snabbt framåt under de senaste åren och förväntas fortsätta starkt kommer sannolikt priser på såväl fordon som laddinfrastruktur att minska framöver i takt med större volymer och ökad konkurrens mellan fordonstillverkarna.

Drivmedelskostnaderna är en annan osäker post i kalkylen. Elpriserna utgår från dagens situation. Enligt Energimyndighetens prognos kommer sannolikt elpriserna att öka på sikt¹³. Biogasprisernas utveckling är något osäker med tanke på den kortsiktighet som ligger i dagens system med skattebefrielse. Efter år 2020 är det oklart huruvida Sverige fortsatt kan välja att stödja biogas, och andra rena biodrivmedel, genom skattenedsättning utan att strida mot EUs statsstödsregler.

En annan faktor som spelar roll är trafikupplägget. Om turtätheten skulle ändras till 10-minuters trafik skulle detta medföra ett behov av tre extra bussar. Huruvida detta är till fördel för elbussar eller inte beror på hur produktionen på sträckan skulle förändras vid utökad trafik, dvs. om körsträckan väger upp den tyngre investeringen i fordon.



Figur 7. Sammantagen kostnadskalkyl med kostnaderna utslagna per år.

9. Fortsatt elektrifiering efter linje 5

9.1 Framtida investeringsbehov i fordon

För att få en god ekonomi i elektrifieringen av bussflottan bör introduktionen av elbussar ske då befintliga bussar behöver bytas ut. I Tabell 7 redovisas hur vagnsparken kan utvecklas under perioden fram till 2027. Behovet av stadsbussar i Västerås är idag ca 85 bussar inklusive vagnsreserv med oförändrad trafik. Varje rad förklarar hur många bussar av vardera ”typ” Västerås planeras/kan tänkas ha per år. De äldre biogasbussarna kommer successivt fasas ut medan nya biogasbussar (och eventuellt elbussar) köps in. Det finns visst utrymme att justera inköp av elbussar, t.ex. om man önskar elektrifiera en hel linje ett visst år.

Tabell 7. Möjlig utveckling av fördelningen av fordon i Västerås stadstrafik.

Bränsle/modell	2021	2022	2023	2024	2024	2026	2027
Nya gas (2019->) + bussar från Örebro	37	42	47	52	58	55	50
Gamla gas (<-2014)	47	36	23	13	0	0	0
El	5	10	15	20	27	30	35
Totalt	89	88	85	85	85	85	85

9.2 Framtidssäkra hållplatser

Förslagsvis körs linje 5 med eldrift under något år innan ytterligare linjer elektrifieras. Under denna tid kan olika aspekter av elektrifieringen utvärderas som grund för beslut om fortsatt process. Inom ramen för detta projekt har det inte i detalj studerats vilken eller vilka linjer som passar bra att fortsätta med efter linje 5, men vissa resonemang har förts. Eventuellt skulle linje 3 kunna passa bra och tidsplanen skulle kunna vara trafikstart 2024.

Viktigt att beakta i regionens och kommunens arbete framöver är att framtidssäkra ändhållplatser – både befintliga och nya – så att inte möjligheten till elektrifiering byggs bort. Det gäller framförallt att säkerställa ytbehov för pantograf och nätstation. Dessutom behöver lägena för ändhållplatser ses över – kommer de att vara ändhållplatser under lång tid framöver eller inte? Ur kostnadseffektivitetssynpunkt gynnas dessutom elektrifiering av att linjer delar ändhållplatser så att laddinfrastrukturen kan utnyttjas mer effektivt.

9.3 Kostnad för elektrifiering av hela flottan

För att få en bild av vad kostnaderna för elektrifiering kan uppgå till om hela Västerås stadstrafik skulle gå över till el har det gjorts en kalkyl för hela fordonsflottan som redovisas nedan. Kalkylen baseras på relativt grova antaganden och bör endast ses som en indikation på kostnaderna.

9.3.1 Antaganden

Följande antaganden har gjorts i kalkylen:

- Linje 1 antas vid eldrift kräva tre laddstolpar, minst en i varje ände samt ytterligare en på lämplig plats längst med linjen (t.ex. centralstationen)
- Linje 2-6 antas kräva en laddstolpe i varje ände. Vid ändhållplatsen Finnsletten kommer dessutom finnas två laddstolpar, eftersom denna delas av linje 4 och linje 6.
- För linje 1-4 antas eldrift kräva en extra buss jämfört med biogas, för att bibehålla turtätheten vid snabbbladdning vid ändhållplatserna.
- För linje 1-4 antas eldrift kräva en extra förare jämfört med biogas, för att bibehålla turtätheten vid snabbbladdning vid ändhållplatserna. Kostnaden för detta antas vara 500 tkr per år och linje.
- För linje 5 samt 6 antas att det framöver kommer krävas 7 bussar oavsett driftsalternativ, samt att bussarna på dessa linjer går från 12- till 18-metersbussar.

Ingen hänsyn tas till tidpunkt för introduktion av elbussarna. Inte heller tas hänsyn till eventuell kostnadsminskning över tid (t.ex. att en elbuss som införskaffas om 10 år sannolikt är billigare än idag).

I Tabell 8 redogörs för antal bussar samt laddstolpar per linje i den samlade kalkylen.

9.3.2 Initiala investeringar

I Tabell 9 redovisas den totala summan av investeringar som kommer behövas initialt för övergång till eldrift på linje 1-6, samt motsvarande kostnad vid inköp av nya biogasbussar. Den initiala investeringen blir väsentligt större vid övergång till eldrift jämfört med om nya biogasbussar skulle köpas in.

Tabell 8. Antaganden om antal bussar och laddinfrastruktur för de olika linjerna.

Linje	Antal bussar (biogas)	Antal bussar (el)	Antal laddstolpar
1	13	14	3
2	10	11	2
3	11	12	2
4	12	13	2
5	7	7	2
6	7	7	2
Totalt	60	64	13

Tabell 9. Initiala investeringskostnader för elbussar och laddinfrastruktur jämfört med investering i nya biogasbussar.

	Biogas	El
Bussar	204 000 000 kr	416 000 000 kr
Infrastruktur (pantografer exkl. markarbete)		68 000 000 kr
Infrastruktur (markarbeten)		6 500 000 kr
Summa	204 000 000 kr	490 500 000 kr

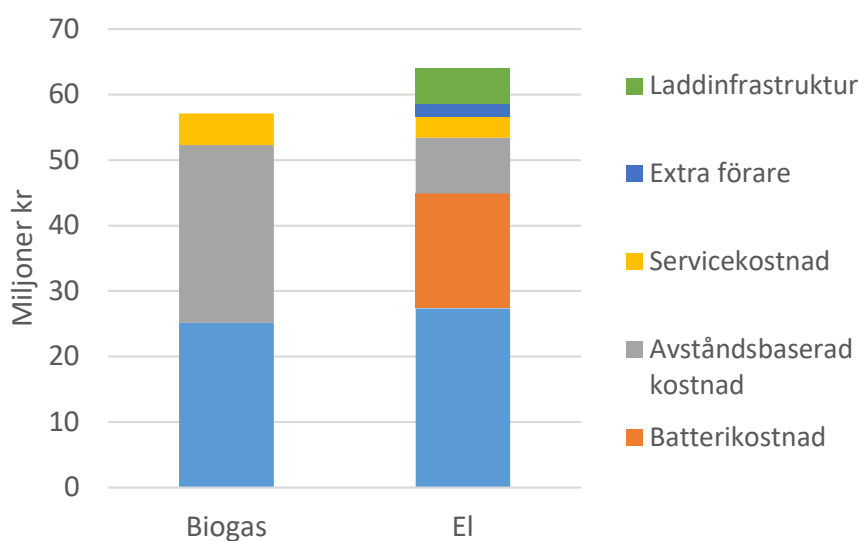
9.3.3 Årlig kostnad

I Figur 8 redogörs för den samlade årliga kostnaden för respektive alternativ. Som framgår är eldrift något dyrare än biogas per år, ca 7 miljoner kronor.

9.3.4 Diskussion om resultaten

Kalkylen är baserad på relativt grova antaganden om behov av fordon och laddinfrastruktur. Vid en total elektrifiering skulle man sannolikt kunna hitta samordningsmöjligheter som effektiviserar användningen av laddinfrastruktur. Även batteritekniken kommer sannolikt utvecklas mycket under de nästkommande åren, både vad gäller kapacitet och vad gäller kostnader. Mycket talar för att batteripri-serna kommer minska. Detta har inte tagits hänsyn till här. Det finns även i nuläget möjlighet att söka stöd för såväl laddinfrastruktur som fordon (se kapitel 8.2). Detta kan också bidra till att minska kostnadsdifferensen gentemot biogas.

En fullständig elektrifiering får självklart konsekvenser utöver kostnaden för fordon och infrastruktur. Exempel kan vara konsekvenser på elnätet och biogasproduktionen. Detta beskrivs översiktligt i WSP (2016). Vid en storskalig introduktion av elbussar krävs sannolikt en djupare analys av dessa konsekvenser.



Figur 8. Årliga genomsnittliga kostnader för eldrift respektive biogasdrift.

10. Slutsatser

För Västerås tätortstrafik är ändhållplatsladdning sannolikt det mest fördelaktiga med det teknikläge och den kunskap som råder idag. Ändhållplatsladdning säkerställer att kollektivtrafiken kan upprätthålla hög kapacitet samtidigt som det är ett relativt marknadsmodet alternativ. Eftersom det är en ny bransch som är snabbväxande bör man dock kontinuerligt uppdatera sig om tekniken och ompröva över tid. Detta bör dock inte hindra att Västerås börjar med elektrifiering nu.

För att nå hög kostnadseffektivitet i systemet är det viktigt att elbussarna är i drift så mycket som möjligt och att laddinfrastrukturen utnyttjas så effektivt och mycket som möjligt. Ytterligare aspekter att ta hänsyn till är linjens sträcka, ändhållplatsernas lämplighet utifrån elnäts- och utrymmesperspektiv, och depåns lokalisering. Utifrån olika kriterier landade projektgruppen i två alternativ; linje 1 och linje 5. Gruppens förslag fördes upp till beslutande nivå där det slutliga valet föll på linje 5.

Elektrifiering av linje 5 kommer innebära en betydande energieffektivisering på linjen, ca 70 % lägre energianvändning jämfört med dagens biogasdrift. Om man utökar perspektivet och även tar med energianvändning från produktionskedjan av drivmedel blir dock differensen mindre. Ur miljösynpunkt är buller den miljöeffekt som starkast talar till eldriftens fördel jämfört med biogas. Minskade koldioxidutsläpp är en annan vinst vid övergång till el, även om dagens biogasdrivna flotta är betydligt bättre än diesel.

En analys av de sammanlagda kostnaderna fördelade över hela livslängden ger att en elektrifiering av linje 5 är kostnadsmässigt jämförbar med en investering i nya biogasfordon. Elbussar är dyrare i inköp och kräver investering i infrastruktur vilket leder till höga kostnader initialt, men eftersom driften är så mycket billigare än biogas går det ungefär jämnt upp sett till hela livslängden. Om regionen och/eller staden dessutom söker och får stöd för investeringar i fordon och/eller infrastruktur blir elektrifieringsalternativet ännu mer fördelaktigt.

BILAGA 1: TEKNIKSAMMANSTÄLLNING

Tabell 10. Elbussteknikernas respektive egenskaper

	Depåladdad	Pantografladdad (ändhåll-plats laddning)	Induktiv (laddning varje 500 m)	Laddhybrid	Bränslecell	Trådbuss
Räckvidd	ca 20 mil per dag	Obegränsad, förutsatt laddstationer Lämpliga sträckor är ca 15 km mellan laddningsstationer	Obegränsad, förutsatt laddningsstationer Ca 500 meter mellan varje laddningspunkt	Obegränsad, förutsatt laddningsstationer och/eller tankstation Lämpliga sträckor är ca 15 km mellan laddningsstationer men bussarna klarar sig även utan el	Obegränsad, förutsatt tankstation(er) för vätgas Möjlighet finns att köra ända upp till 500 km eller mer beroende på tankstorlek	I normalfallet begränsad till tråd, förutom korta sträckor, t ex till vid depå. SlideIn-drift (kombinerad tråd- och batteridrift) tillåter bussarna fri rörlighet. 20min laddning under tråd ger ca 20 km utanför nät
Flexibilitet	Mycket god flexibilitet	Begränsad flexibilitet. Begränsas av tillgång på laddningsinfrastruktur	Begränsad flexibilitet Begränsas av tillgång på laddningsinfrastruktur	God flexibilitet	Mycket god flexibilitet	Liten flexibilitet. Bättre flexibilitet med SlideIn. Går att kombinera med spårväg.
Skalbarhet	God. Strömförsörjning i depå begränsande faktor	Ökad trafikeringsring eller längre rutter kan kräva nyinvesteringar	Ökad trafikeringsring eller längre rutter kan kräva nyinvesteringar	Ökad trafikeringsring eller längre rutter kan kräva nyinvesteringar om bibehållen andel eldrift önskas	God. Tillgång på vätgas begränsande faktor	Skalbarheten är obegränsad men kräver infrastrukturinvesteringar
Hastighet	De flesta elbussar har en topphastighet av ca 80 km/h					
Energi-bärare	Större och tyngre än i andra bussar av motsvarande storlek	Måttlig tung	Måttlig tung	Måttligt stor och måttligt tung	Inte skrymmande	Liten energibärare, i normalfallet beroende av tråden. Större vid SlideIn-drift.
Teknik-mognad	Testas i stor skala. Tekniken finns men begränsad räckvidd gör den lämpad även för linjer med korta dygnssträckor. Serietillverkas i Kina.	Testas i stor skala Förserier går att köpa på marknaden idag. Serietillverkning beräknad ca 2018	Känsligt system vid snö och is Förserier går att köpa på marknaden idag.	Testas i stor skala Serietillverkning från 2016.	Mycket höga investeringskostnader Dålig tillgång på vätgas utgör begränsning Serietillverkning bortom 5 år i tiden	Tekniken används i stor skala och har funnits länge. Erfarenheterna av SlideIn från t ex Landskrona är goda.

Tabell 11. Elbussteknikernas respektive behov

	Depåladdad	Pantograf-laddad (ändhåll-plats laddning)	Induktiv (laddning varje 500 m)	Laddhybrid	Bränslecell	Trådbuss
Infrastruktur-behov	Mindre behov. Infrastruktur för långsam-laddning i depå krävs	Stora behov. Laddningsstationer vid ändhåll-plats á 2 – 4 Mkr	Mycket stora behov. Mycket hög investeringskostnad	Stora behov. Laddningsstationer vid ändhållplats á 2 – 4 Mkr	Stora behov. Vätgasproduktion måste utökas och tankstationer byggas	Stora investeringar i tråd och strömförsörjning ca 10 Mkr km inkl. aggregat
Krav på depå	Höga krav på strömförsörjning. Depåer med många bussar behöver mycket kraftig eltillgång.	Begränsade krav. Mindre laddare behöver installeras för nattladdning			Höga. Vätgas-hantering ställer krav på säkerhet och infrastruktur	Inga stora krav
Krav på ström/elkraft	Kräver god strömförsörjning men låg spänning i depå	Högspänning. Pantografladdning kräver en infrastruktur med laddningsstationer vid ändhållplatser. Detta kräver att det finns god tillgång av el.	Högspänning. Induktiv laddning kräver en infrastruktur med laddningsstationer vid hållplatser. Detta kräver att det finns god tillgång av el.	Högspänning	Inga krav	Kräver investeringar i matningsanläggningar. Normalt finns tillräcklig kapacitet vid anslutning till högspänningsnät. Möjligt för innehavaren av trådbussanläggningen att anlägga eget elnät med "centraliserad matning" och sköta distributionen i nätet själv.
Service/garanti	Garantier och service samt en fungerande eftermarknad är av mycket stor betydelse. Bussoperatörerna är helt beroende av god service och här har de ledande tillverkarna redan en god och beprövad organisation. Service sker som för konventionella bussar när det gäller säkerhet och normalt slitage, däremot väntas servicekostnaderna att bli lägre när det gäller oljebyten och liknande.				Här saknas ännu referenser gällande service och garantier då denna teknikgren fortfarande befinner sig på ett försöksstadium	Service och garantier finns redan i dag

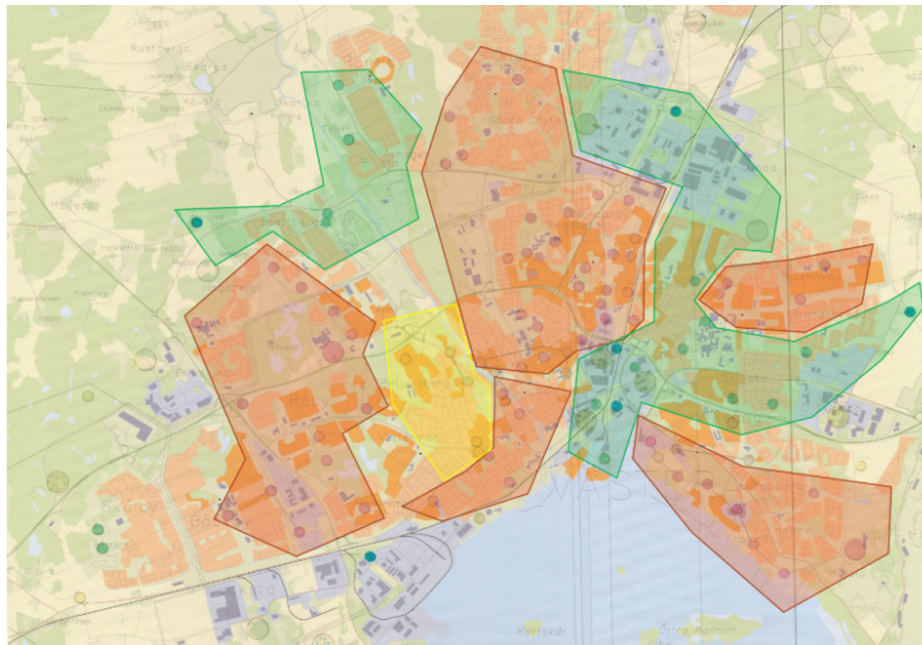
Tabell 12. Elbussteknikernas respektive externa effekter

	Depåladdad	Pantograf-laddad (ändhållplats laddning)	Induktiv (laddning varje 500 m)	Laddhybrid	Bränslecell	Trådbuss
Kapacitet antal resenärer	Begränsas av stort och tungt batteri och maxvikt	Mindre begränsning	Mindre begränsning	Mindre begränsning	Viss begränsning pga. maxvikt	I praktiken nästan ingen begränsning som har betydelse för Västmanland. Det finns dubbelledade trådbussar.
Buller	Låga bulleremissioner	Låga bulleremissioner	Låga bulleremissioner	Zone management möjliggör låga bulleremissioner där miljön är känsligast	Låga bulleremissioner	Låga bulleremissioner
Påverkan stadsbild	Ingen påverkan	Påverkan genom Laddningsstationer vid ändhållplatser	Låg påverkan. Induktiv laddning har fördelen av att inte störa bebyggelsen med stora störande Laddningsstationer	Påverkan genom Laddningsstationer vid ändhållplatser	Ingen påverkan	Påverkan i form av trådar, hur stor beror på platsen. Om inte fasad eller belysningsstolpar kan användas för tråden blir det även fler stolpar.
Klimat/-miljö	Samtliga tekniker medför minskad klimatpåverkan och minskat buller jämfört med förbränningsmotorer.					

Tabell 13. Elbussteknikernas respektive System- och trafikegenskaper

	Depåladdad	Pantografladdad (ändhåll-plats laddning)	Induktiv (laddning varje 500 m)	Laddhybrid	Bränslecell	Trådbuss
Kometabilitet med regiontrafik	Kan fungera på vissa regionala sträckor om det finns tid att underhållsladda t.ex. mellan peak-tider	Svårt att implementera för regionbussar. Pantografladdade bussar har ofta ett mindre batteri som kräver laddning efter relativt kort körsträcka varvid det inte är ekonomiskt försvarbart på långa sträckor	Svårt att implementera för regionbussar. Omöjligt pga. att denna teknik kräver laddning varje ungefär var 500 meter	Flexibelt mellan stads- och regionbussar. Laddhybridbussar kan köra längre sträckor pga. den bränsledrivna motorn som kan driva bussen utan eltilförsel. En begränsning är dock att laddhybridbussens bränsledrivna motor är mindre än motor i konventionella bussar och är inte anpassade för landsvägstrafik	Begränsad räckvidd. En bränslecellbuss kan ha så stora tankar att den kan klara regiontrafiksträckor men kräver stora investeringskostnader	Kan fungera längs stråk med hög efterfrågan (BRT) framförallt med Slide-In-teknik. Men är främst lämpligt i stadsmiljö.
Påverkan på bussflottans storlek	Trolig påverkan. Beror på trafikering, kan krävas fler bussar	Trolig påverkan. Beror på trafikering, kan krävas fler bussar	Trolig påverkan. Beror på trafikering, kan krävas fler bussar	Trolig mindre påverkan. Beror på trafikering, kan krävas fler bussar. Laddhybrider kan gå utanför elektrifierad linje och är i princip likvärdig en konventionell buss vid drift utanför elektrifierad linje	Begränsad påverkan	Begränsad påverkan
Tekniken passar särskilt bra...	I mindre städer med ett mindre antal eldrivna bussar, i mindre samhällen där det finns tid att mellanladda eller för linjer med korta dagssträckor och begränsade trafikdygn	I tätortstrafik med hög trafik-täthet och där bussarna kan användas upp till 24 timmar/dygn	I tätortstrafik med låga hastigheter och mycket hög turtäthet	I tätortstrafik och nära tätortstrafik med vissa sträckor med låga hastigheter	I tätortstrafik men även utmärkt i trafik mellan centrum och förort	I städer, på platser där det finns etablerat spårvagnsnät och längs stråk med stort antal resande.
Faktorer som påverkar kostnad	Dessa bussar har lägsta investeringskostnaderna, de stora kostnaderna uppstår när det krävs nya kraftigare elmatning till depåerna	För att öka kostnadseffektiviteten krävs en översyn av linjenät så att fler bussar kan nyttja samma laddningsstationer.	Induktiv laddning har stora kostnader för investeringen, dessutom uppstår stora förluster under själva laddningen vilket ökar energikostnaden. Varje buss kräver dessutom en relativt dyr och tung utrustning	I likhet med pantografladdade bussar krävs investeringar av laddningsstationer. Synergieffekter uppstår om man kan använda pantografladdade bussar i innerstad och laddhybrider mellan city och förort och använda samma laddningsstationer	De stora kostnaderna är bussarnas anskaffningspris och begränsad priset på vätgas, samt höga kostnader för investeringar i depåer mm.	Stora investeringskostnader för att anlägga tråd, ca 10 Mkr/km. Etablerad produktion och konkurrens ger fördelaktiga priser. Med större batteri (SlideIn) tillkommer kostnad för batteriet.

BILAGA 2: ELNÄTET



Elnäts kapacitet att hantera föreslagna exploatering enligt LTP med nuvarande nät och driftläggning hösten 2017

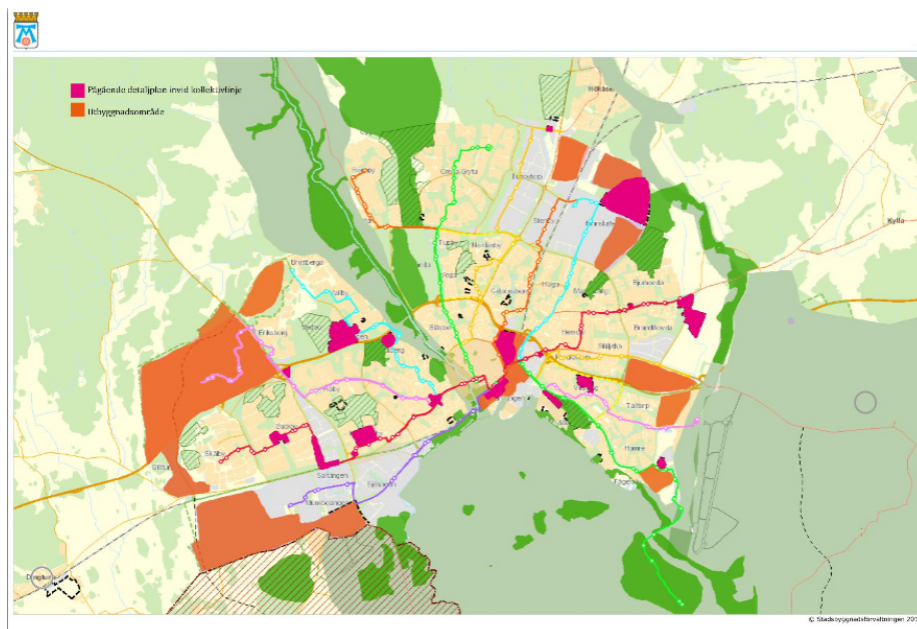
Röd markering = Klarar ej

Gul markering = villkorat/begränsat

Grön markering = OK (antal enligt LTP)

Blå punkt = Mottagningsstation

BILAGA 3: UTBYGGNADSPLANER



I figuren ovan redovisas de områden som kan komma att påverkas framöver. Rosa ytor markerar pågående detaljplaner och orangea visar på tänkbara utbyggnadsområden inom Västerås.

BILAGA 4: EXEMPEL PÅ ANSVARSFÖRDELNING

ELBUSS: ÄGANDE I SVERIGE					
Plats	Infrastruktur	Fordon	Reservfdn	Depå	Antal
Landskrona, trådbuss	LE/Kommunen	Regionen	Operatör	Operatör	5
Göteborg, linje 55	GE/Kommunen	Volvo	Operatör	Volvo	3+2
Umeå, linje 9/80	UE/Kommunen	Kommunen	Elbusslev.	Kommunen	9
Malmö, linje 7	Kommunen	Op/Reg	Operatör	Operatör	13 b
Östersund	Kommunen	Op/Reg	Operatör	Operatör?	3+3
Ängelholm	Op/Reg	Op/Reg	Operatör	Operatör	5
Eskilstuna	Op/Reg/Kn	Op/Reg/Kn	Operatör	Operatör?	2+10
Norrtälje	Operatör	Operatör	Operatör	Operatör	5

Eskilstuna: Trepårtssamverkan
Landskrona, Umeå, Malmö, Östersund: Initiativ från kommunen
Ängelholm: Initiativ från Regionen
Norrtälje: Initiativ från operatören
Göteborg: Demonstrationsprojekt

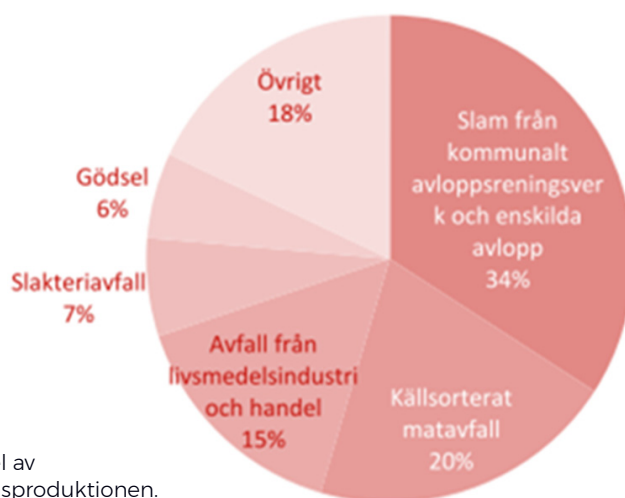



Källa: Trivector, Presentation 17/10/2017

BILAGA 5: BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Nyckeltal för energiinnehåll i bränslen, energianvändning vid produktion av bränslen och koldioxidutsläpp ur ett livscykelperspektiv har hämtats ur Miljöfaktabok 2011.¹⁴ Kalkylen utgår ifrån en ”förnybar elmix” med 82 procent vattenkraft och 18 procent vindkraft vilket är förhållandet mellan vindkraft och vattenkraft i Sveriges totala energiproduktion.¹⁵ Biogasen har antagits motsvara den genomsnittliga svenska mixen av substrat enligt diagram nedan.¹⁶

När det gäller kväveoxider och partiklar är utgångspunkten värden för flottan enligt emissionsmodellen HBEFA. När det gäller de samhällsekonomiska värderingarna av kväveoxider, partiklar och koldioxid utgår kalkylen från de i ASEK satta officiella värderingarna. För buller saknas konsensus om bästa sätt att värdera effekter. I kalkylen baseras värderingen av buller i tätort på angivna värden i kunskapssammanställning som Ecotrafic utfört på uppdrag av Trafikverket 2015.¹⁷



Figur 9. Genomsnittlig andel av substrat i den svenska biogasproduktionen.

Referenser

- 1-3** WSP, Elektrifiering av bussar i Västmanland – Potential och effekter, 2016
- 4** Kunskapssammanställning - EURO VI stadsbussar, Ecotrafic 2015
- 5** Detta är dock en sanning med modifikation eftersom elbussar generellt är tyngre än andra bussar vilket kan ge högre emissioner av slitagepartiklar. Dock är slitagepartiklar inte lika skadliga ur hälsosynpunkt som avgaspartiklar.
- 6** Clean Buses – Experiences with Fuel and Technology Options, Clean fleets 2014
- 7** Kunskapssammanställning - EURO VI stadsbussar, Ecotrafic 2015
- 8** ASEK, 2018
- 9** WSP, Elektrifiering av bussar i Västmanland – Potential och effekter, 2016
- 10** Energiforsk, *Snabbladdning av elbussar i distributionsnät*, 2017:455, Lindgren, *Electrification of city bus traffic - a simulation study based on data from Linköping*, Lund Universitet 2017,
- 11** Kommuner som de regionala kollektivtrafikmyndigheterna har överlämnat befogenheterna att ingå avtal om allmän trafik samt till kollektivtrafikföretag
- 12** Energimyndigheten.se
- 13** Energimyndigheten, Scenarier för Energisystemet 2016
- 14** Miljöfaktaboken 2011, Värmeforsk 2011
- 15** Svensk energi 2015
- 16** Energimyndigheten 2015
- 17** Kunskapssammanställning - EURO VI stadsbussar, Ecotrafic 2015



WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 42 000 medarbetare på 550 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 000 medarbetare.



WSP Sverige AB
121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
T +46 10 722 50 00
wsp.com