



CHALMERS



# Kollektivtrafik i Göteborg ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv

En komparativ studie av spårvagnar och elbussar i Göteborg

Kandidatarbete inom Teknikens Ekonomi och Organisation

ELIN RAVN-FISCHER   ARON FREDRIKSSON   ELVIRA BALLAY  
SIMON ANDERSSON   SOFIA BERGENDAHL   VILMA STRAND

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION  
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2024  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)  
TEKX18-VT24-04



KANDIDATARBETE TEKX18-VT24-04

# Kollektivtrafik i Göteborg ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv

En komparativ studie av spårvagnar och elbussar i Göteborg

# Public transportation in Gothenburg from a climate and sustainability perspective

A comparative study of trams and electric buses in Gothenburg

ELIN RAVN-FISCHER    ARON FREDRIKSSON  
ELVIRA BALLAY        SIMON ANDERSSON  
SOFIA BERGENDAHL    VILMA STRAND



**CHALMERS**

Institutionen för Teknikens Ekonomi och Organisation  
*Avdelningen för miljösystemanalys*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2024

Kollektivtrafik i Göteborg ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv  
En komparativ studie av spårvagnar och elbussar i Göteborg

ELIN RAVN-FISCHER    ARON FREDRIKSSON  
ELVIRA BALLAY        SIMON ANDERSSON  
SOFIA BERGENDAHL    VILMA STRAND

© ELIN RAVN-FISCHER, ARON FREDRIKSSON, ELVIRA BALLAY, SIMON  
ANDERSSON, SOFIA BERGENDAHL, VILMA STRAND, 2024.

Handledare: Björn Sandén, Professor vid Miljösystemanalys  
Examinator: Martin Löwstedt, Biträdande professor vid Innovation and  
R&D Management

Kandidatarbete 2024  
Institutionen för teknikens ekonomi och organisation  
Miljösystemanalys  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefonnummer +46 31 772 1000

Omslag: Spårvagn (LeoLikesTrains, 2022) och elbuss (Volvo Bussar, u. å)

Skrivet i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg, Sverige 2024

Kollektivtrafik i Göteborg ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv  
En komparativ studie av spårvagnar och elbussar i Göteborg

ELIN RAVN-FISCHER    ARON FREDRIKSSON  
ELVIRA BALLAY        SIMON ANDERSSON  
SOFIA BERGENDAHL    VILMA STRAND

Institutionen för Teknikens Ekonomi och Organisation  
Chalmers Tekniska Högskola

## **Abstract**

### **Problem**

Environmental impact and sustainability are central in today's societal discourse. Public transportation is regarded as one of the key societal functions for reducing emissions, yet the choice of public transportation can have varying impacts on the climate.

### **Aim**

The purpose of this study is to compare the modes of transportation, tram and electric bus, from a climate and sustainability perspective. The environmental perspective is delimited to climate impact, specifically global warming. The sustainability perspective focuses on other factors influencing public transportation and society at large. The perspectives in the study are grounded in political, economic, social, and technical factors.

### **Theoretical Framework**

The theory utilizes the tools of life cycle assessment and PEST analysis to address the purpose. To make emission data comparable, the theory includes a description of the chosen climate impact factor, GWP.

### **Method**

The report was conducted through literature review and comparison, along with semi-structured interviews. To enhance data comparability, a fictional public transportation line was modeled. The interviews were first selected based on expertise in the subject and then through a snowball method.

### **Results and Implications**

The results indicate that tramways with existing infrastructure have lower climate impact compared to electric buses according to the LCA comparison, although both modes of transportation having pros and cons based on the PEST analysis.

Keywords: Climate impact, Trams, Electric buses, Tramway, Life Cycle Assessment, PEST, Sustainability.

Note: This report is written in Swedish



---

# Sammanfattning

## Problem

Miljöpåverkan och hållbarhet är i stort fokus i dagens samhällsdebatt. Kollektivtrafiken anses som en av de viktigaste samhällsfunktionerna för att minska samhällets utsläpp, men valet av kollektivtrafik kan ha olika inverkan på klimatet.

## Syfte

Syftet med denna studie är att jämföra trafikslagen spårvagn och elbuss ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv. Klimatperspektivet är avgränsat till klimatpåverkan, mer specifikt global uppvärming. Hållbarhetsperspektivet fokuserar på andra faktorer som påverkar kollektivtrafiken och samhället i stort. Perspektiven i studien grundar sig i politiska, ekonomiska, sociala och tekniska faktorer.

## Teoretiskt ramverk

Teorin lyfter verktygen livscykelanalys samt PEST-analys för att besvara syftet. För att göra data över utsläpp jämförbara inkluderar teorin en beskrivning av den valda klimatpåverkansfaktorn, GWP.

## Metod

Rapporten har utförts genom metoden litteraturstudie och jämförelse samt semistrukturerade intervjuer. För att göra datan mer jämförbar har en fiktiv kollektivtrafiklinje modellerats. Intervjuerna valdes först genom kompetens inom ämnet och sedan genom en snöbolls-metod.

## Resultat och implikationer

Resultatet visar att spårvägar med redan befintlig infrastruktur har lägre klimatpåverkan jämfört med elbussar enligt LCA-jämförelsen, trots att båda fordonsslagen har för- och nackdelar utifrån PEST-analysen.

Nyckelord: Klimatpåverkan, Spårvagnar, Elbussar, Spårvägar, Livscykelanalys, PEST, Hållbarhet.

Note: This report is written in Swedish



## Förord

Efter en lång termin tillsammans har vi många att tacka för deras uthållighet och tålamod. Först och främst kan vi tacka Västtrafik för att de redan tagit fram en LCA på deras nya spårvagn, vilket ändrade riktningen på den här rapporten till vad den är idag. Tack till Arvid på Göteborgs Spårvägar som gav en insiktsfull rundvandring på deras faciliteter. Vi vill också särskilt tacka Mimmi, som bidragit med trevliga och givande samtal, engagemang och hjälp att hitta värdefulla källor. Tack till Anders som bidragit med både givande samtal och en rapport om bussar, som denna rapport bygger på till stor del. Slutligen vill vi rikta ett stort tack till Björn som ställt upp på att handleda denna något stressiga kandidatgrupp. Dina betryggande ord, feedback och kommentarer har hjälpt otroligt mycket för att minska vår oro.

Elin Ravn-Fischer, Aron Fredriksson, Elvira Ballay, Simon Andersson,  
Sofia Bergendahl, Vilma Strand, Göteborg, Maj 2024



# Innehåll

<b>Förkortningar</b>	<b>xiii</b>
<b>Figurer</b>	<b>xv</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.1.1 Kollektivtrafik i Göteborg . . . . .	1
1.1.2 Spårvagnen M33 . . . . .	2
1.1.3 Elbuss . . . . .	2
1.1.4 Verktyg för miljöpåverkansberäkning . . . . .	3
1.2 Syfte och frågeställning . . . . .	3
1.3 Avgränsningar . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Livscykelanalys . . . . .	5
2.1.1 Klimatpåverkansfaktor . . . . .	6
2.2 PEST . . . . .	6
<b>3 Metod</b>	<b>7</b>
3.1 LCA . . . . .	7
3.1.1 Beskrivning av LCA-rapporter . . . . .	7
3.1.2 Jämförande studie av livscykelanalyser . . . . .	10
3.1.3 Modellantagande: en fiktiv kollektivtrafiklinje . . . . .	10
3.2 PEST-analys . . . . .	11
3.2.1 Faktorer . . . . .	11
3.2.2 Intervjuer . . . . .	11
3.2.3 Litteraturstudie . . . . .	13
<b>4 Resultat</b>	<b>15</b>
4.1 Livscykelanalyser . . . . .	15
4.1.1 Jämförbar studie . . . . .	17
4.2 PEST-analys . . . . .	17
4.2.1 Politiska faktorer . . . . .	18
4.2.2 Ekonomiska faktorer . . . . .	19
4.2.3 Sociala faktorer . . . . .	21

4.2.4	Tekniska faktorer . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>25</b>
5.1	LCA . . . . .	25
5.2	PEST . . . . .	26
5.3	Felkällor . . . . .	29
<b>6</b>	<b>Slutsats</b>	<b>31</b>
	<b>Referenser</b>	<b>32</b>
<b>A</b>	<b>Appendix 1: Intervjufrågor</b>	<b>I</b>

# Förkortningar

Följande förkortningar används i rapporten.

<b>LCA</b>	Livscykelanalys
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>ISO</b>	Internationella standardiseringsorganisationen
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Koldioxidekvivalenter
<b>PEST</b>	Politiska, ekonomiska, sociala, teknologiska faktorer
<b>pkm</b>	Personkilometer
<b>EOL</b>	End of Life



# Figurer

3.1	Systemkarta som förklarar indelningen av respektive kategori . . . . .	9
4.1	Ton CO <sub>2</sub> e som släpps ut beroende på fordonsslag och passagerarantal	16
4.2	Väntetid mellan avgångar som krävs för att kunna transportera en viss mängd personer . . . . .	17



# Tabeller

4.1	g CO <sub>2</sub> e/pkm för spårvagn och elbuss. . . . .	15
4.2	Given data (grått), beräknad data (vitt) samt uppskattad data (blått). . . . .	16
4.3	Infrastrukturens utsläpp per år och km . . . . .	16



# 1

## Inledning

### 1.1 Bakgrund

Miljö och hållbarhet har år efter år blivit ett viktigare ämne som diskuterats flitigt i samhällsdebatten. Det finns internationella överenskommelser och globala samarbeten kring att hushållandet av planetens resurser måste bli bättre samt att utsläppen måste minska. Kollektivtrafiken har en viktig roll i dagens samhälle för att minska användandet av bil och samtidigt ge människor möjligheten att transportera sig mer miljövänligt. Kollektivtrafiken bidrar även med minskad belastning på stadens trafik och infrastruktur samt förbättrar luftkvalitén. Även inom kollektivtrafiken skiljer det sig i dess belastning på miljön. Valet av drivmedel, livslängden och hur transportmedlet framställts är alla avgörande faktorer på hur miljövänlig kollektivtrafiken är.

I denna rapport kommer Göteborgs kollektivtrafik att studeras för att skapa en tydlig bild över dess miljöpåverkan. Studien kommer att jämföra spårvagn och buss då det är de primära transportmedlen i Göteborgs kollektivtrafik. Studien kommer även fokusera på just elbussen då spårvagnen och elbussen drivs av samma förnybara el i Göteborg vilket möjliggör en mer rättvis och vägledande bild av de två fordonslagens miljöpåverkan. Studien har som mål att ur ett miljöperspektiv samt ett hållbarhetsperspektiv kunna ligga som grund för beslutsfattare om eventuella satsningar i framtida beslut gällande kollektivtrafik.

#### 1.1.1 Kollektivtrafik i Göteborg

Kollektivtrafiken i Göteborg är idag uppbyggd av spårvagn, buss, pendeltåg och båt. Spårvagnarna började rulla år 1879, då mellan Brunnsparken och Stigbergsliden, och drogs av häst. Spårvägen drevs då av det Brittiska företaget The Gothenburg Tramways Company Ltd, men köptes år 1900 upp av Göteborgs Stad (Västtrafik, 2020). Vid denna tidpunkt fanns flera linjer utspridda över staden, men inga hållplatser eftersom på- och avstigning skedde sporadiskt. Elektrifieringen av spårvägen ägde rum under 1902 och därefter utökades nätet med hållplatser och fler linjer (Göteborgs Spårvägar, 2024).

Spårvagnssystemet kompletterades år 1923 med de första bussarna, som rullade mellan Lilla Bommen och Lundby via gamla Hisingsbron (Västtrafik, 2020). Sedan dess har buss- och spårvagnslinjerna tillsammans utvecklats och systemet utvidgats till dagens storskaliga kollektivtrafiksnät.

Projektet ElectriCity lanserades 2013 som en test- och demoarena för att samla information och erfarenheter kring att elektrifiera bussarna i och runt Göteborg. År 2019 påbörjades sedan elektrifieringen i större skala och 60 elbussar sattes i bruk i västsveriges kollektivtrafik (Västtrafik, 2024).

Idag har Göteborgs spårvägar en bansträckning på 173 km och är därmed Nordens största spårvägssystem (Göteborgs Spårvägar, 2023). Kollektivtrafiken i Göteborg bedrivs av Västtrafik som i sin tur ägs av Västra Götalandsregionen (Västtrafik, 2023). Göteborgs spårvagnar står för 40% av Västra Götalands kollektivtrafik och år 2022 hade de 119 miljoner resenärer. Idag finns fyra olika spårvagnstyper ute i trafik och en femte modell planerar att lanseras mellan 2024 och 2027 (Göteborgs Spårvägar, 2022).

### 1.1.2 Spårvagnen M33

Sedan slutet av 1800-talet har spårvagnsnätet kontinuerligt moderniserats och utökats för att möta stadens växande transportbehov. Den senaste generationens spårvagnar representeras av M33-serien.

Utöver att erbjuda en moderniserad resupplevelse fokuserar Göteborgs spårvagnar också på miljövänlig drift. Genom att integrera avancerade energieffektiva system och material i M33-serien strävar Göteborgs Spårvägar efter att minska koldioxidutsläppen och energiförbrukningen jämfört med äldre spårvagnsmodeller. Denna hållbarhetsinriktning återspeglas i stadens övergripande mål att minska miljöpåverkan och främja gröna transportalternativ (Göteborgs Spårvägar, 2016).

Den pågående expansionen och moderniseringen av Göteborgs spårvagnsnät, inklusive möjligheten att lägga till fler M33-vagnar eller överväga den längre M34-varianten, indikerar stadens engagemang för att förbättra kollektivtrafiken och möta framtida transportbehov. Samtidigt innebär införandet av längre vagnar såsom M34 en utmaning i form av infrastrukturella anpassningar, vilket kräver samarbete mellan olika intressenter och noggrann planering för att säkerställa smidig drift och komfort för passagerare (Göteborgs Stad, 2024).

### 1.1.3 Elbuss

År 2013 påbörjades projektet ElectriCity som arbetar med att elektrifiera bussarna i staden. ElectriCity kallas för en test- och demoarena och är ett samarbete mellan flera aktörer, däribland Göteborgs Stad, Chalmers, Västtrafik och Volvo. Initiativet grundar sig i en vilja att elektrifiera busstrafiken i staden och genom det även minska bland annat koldioxidutsläpp, bullernivån och luftföroreningar. 2015 rullade de första elbussarna ut på linje 55 mellan Chalmers två campus, Lindholmen och Johanneberg. Senare sattes även eldrivna bussar in på den tungt trafikerade linje 16 mellan Eriksberg och Högsbohöjd (ElectriCity, 2020).

### 1.1.4 Verktyg för miljöpåverkansberäkning

Att fastställa miljöpåverkan från en produkt eller verksamhet kan vara en svår uppgift. Det finns flera verktyg för att beräkna miljöpåverkan, en av de mest använda är en livscykelanalys. En livscykelanalys, förkortat som LCA, är ett användbart verktyg som ger en bred bild av olika faktorer som påverkar miljön (Sveriges Lantbruksuniversitet, 2022). Verktuget är också användbart vid ett försök att jämföra olika produkter och verksamheters miljöpåverkan och kan hjälpa i att fastställa det mer hållbara alternativet ur ett miljöperspektiv.

Ett annat användbart verktyg för att studera en produkt eller verksamhets hållbarhet är en PEST-analys. PEST är en förkortning som står för politiska, ekonomiska, sociala och tekniska faktorer. Det är en analys som studerar verksamhetens makrofaktorer, det vill säga de större utomstående faktorerna som kan påverka ett företag, exempelvis inflation (Projektledning, 2022). Verktuget erbjuder flera perspektiv vilket ger verksamheten en bättre överblick av faktorerna som påverkar samt kan användas i en jämförelse mellan olika verksamheter.

## 1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med rapporten är att bidra till ett beslutsunderlag för investering av spårvagnar och elbussar i Göteborg, samt respektive fordonsslags infrastruktur, utifrån ett klimat- och hållbarhetsperspektiv.

Följande frågeställningar ska besvaras av rapporten:

- Vilket klimatavtryck har elbussar och spårvagnar med befintlig infrastruktur?
- Vad är skillnaden mellan spårvagnar och elbussar utifrån en PEST-analys?
- Är en investering av spårvägsnätet gynnsamt jämfört med elbussar, utifrån en PEST-analys?

## 1.3 Avgränsningar

För att uppfylla studiens syfte krävs spatiala och temporala avgränsningar. Spatialt är rapporten avgränsad till Göteborg för att kunna besvara frågeställningen, då studien ska fungera som ett beslutsunderlag för just Göteborgs kollektivtrafik. Resultatet kan även vara applicerbart vid beslutsfattande i andra städer med liknande infrastruktur, men läsaren bör ta i beaktning att studien är baserad på data gällande Göteborgs nuvarande kollektivtrafik.

Då studien baseras på Göteborgs nuvarande kollektivtrafik är den insamlade datan huvudsakligen från 2020-talet med vissa undantag. Exempelvis är data från elbusstudien baserad på Volvo-data från 2017. Vikt har lagts vid att välja uppdaterade källor i största möjliga mån då beslutsunderlaget skall vara så aktuellt som möjligt. Det bör dock tas i beaktning att teknikbranschen är i ständig förändring. Tekniken kring batteritillverkning utvecklas snabbt och påverkar därför rapportens användbarhet i

framtiden.

Andra fordonsslag än elbuss och spårvagn är inte inkluderade, som exempelvis trådbuss. Detta beror på att trådbuss är ett inaktuellt fordonsslag för Göteborgs kollektivtrafik. Även övrig befintlig kollektivtrafik i Göteborg med omnejd är exkluderad, exempelvis båt och pendeltåg.

Avgränsningar från andra miljörelaterade faktorer som exempelvis försurning och övergödning har också skett. Endast klimatpåverkan är inkluderat.

# 2

## Teori

Nedan presenteras relevant teori kopplad till livscykelanalys samt PEST-analys. Till att börja med presenteras metoden LCA och relevanta steg samt standarder och ramverk. Därefter presenteras PEST-analys som används som verktyg för att skapa en bredare bild av ämnet.

### 2.1 Livscykelanalys

En livscykelanalys är en metod för att beräkna miljöpåverkan under produktens hela livscykel, från råvaruutvinning till deponering eller återvinning (Sveriges Lantbruksuniversitet, 2022).

För att kunna skapa en LCA krävs enligt Baumann och Tillman (2004) först ett syfte eller mål med studien. Därefter följer metodologiska val. Dessa val beskrivs enligt följande steg:

- Val av vad som ska modelleras
- Val av funktionell enhet
- Val av påverkanskategorier, exempelvis resurser och hälsa, och metod för påverkansbedömning
- Val av bokförings- eller konsekvens-LCA. Bokförings-LCA svarar på frågan “Vilken miljöpåverkan är associerad med produkten?” medan konsekvens-LCA modellerar effekten av förändring och svarar på frågan av typen “Vad skulle hända om...?”.
- Val av systemavgränsningar i flera dimensioner, bland annat geografi och tid.

Vid jämförelse av flera LCA-studier är det fördelaktigt om studierna följer samma metodik. Tidsram, datainsamlingsmetod samt geografiska avgränsningar är med fördel lika för att studierna ska vara jämförbara.

Det finns olika system och databaser för datainsamling av utsläpp för olika delar i en produkts livscykel. Ett av dessa system kallas för GaBi Software-System.

Eftersom LCA är en välanvänd metod globalt är det av vikt att den är standardiserad för att göra den användbar och jämförbar för olika intressenter. Det finns många internationella standarder inom LCA som bör följas där de två vanligaste är ISO14040:2006 och ISO14044:2006. I en LCA kan det finnas många olika kategorier som är viktiga att beräkna som försurning, marknära ozon samt det som denna rapport kommer fokusera på: klimatpåverkan.

### 2.1.1 Klimatpåverkansfaktor

Olika växthusgaser har olika mycket effekt på klimatet. För att kunna räkna ut en samlad klimatpåverkan från flera olika växthusgaser används något som på engelska kallas "global warming potential" (GWP). Varje mängd växthusgas multipliceras med en GWP-faktor för att representera den i koldioxid. Summan av detta representerar den sammanlagda effekten av olika växthusgaser uttryckt i koldioxidekvivalenter, CO<sub>2</sub>e.

## 2.2 PEST

PEST-analysen används för att systematiskt analysera de politiska, ekonomiska, sociala och tekniska faktorerna som kan påverka en organisations verksamhet (Washington State University, 2023). Genom att tillämpa PEST-analys ges en förståelse för de faktorer som påverkar organisationens framgång och hållbarhet i en bredare kontext. Därtill kan resultatet av analysen användas för att identifiera potentiella hot och svagheter (Oxford College of Marketing, 2023). Detta kan hjälpa beslutsfattare och intressenter att fatta välgrundade beslut och utforma effektiva strategier för utvecklingen av organisationen.

# 3

## Metod

Studien kräver en initial insamling av information, en litteraturinsamling och analys. Metoden som använts för att analysera spårvagnar och elbussar ur ett klimatperspektiv är en jämförelse av LCA-studier. För att kunna analysera LCA-studierna har en jämförande studie gjorts och en fiktiv kollektivtrafiklinje modellerats. För att göra en analys ur ett hållbarhetsperspektiv mellan de två fordonslagen har en PEST-analys gjorts. Information till PEST-analysen har kommit från intervjuer och en litteraturstudie.

### 3.1 LCA

Två LCA:er för de båda trafikslagen har studerats för att få fram värden som sedan jämförs mellan spårvagnar och elbussar. Utöver dessa två rapporter har ytterligare en rapport använts i syftet att öka trovärdigheten i resultatet.

En LCA täcker områden gällande hur en produkt påverkar miljön, där alla inte är relevanta för detta arbete. De delar som denna rapport fokuserar på är klimatpåverkan, global warming potential, och inte på övriga bidrag som påverkar miljön till exempel buller eller försurning. Anledningen till detta är att syftet med rapporten är att undersöka klimatpåverkan, och inte miljöpåverkan som helhet.

Genom att analysera LCA:ns olika delar kan de sedan användas för att identifiera vilka delar i produktens värdekedja som bidrar med störst mängd utsläpp. För att nå fram till den totala klimatpåverkan har dessa delar utvärderats baserat på dess specifika klimatpåverkan och sedan jämförts med den korrelerande delen i det andra fordonsslaget. För att detta ska vara möjligt krävs det att LCA:erna för elbussar och spårvagnar är jämförbara. Genom denna process kan företag lokalisera var den största förbättringspotentialen finns samt utreda effektiviseringsmöjligheter.

#### 3.1.1 Beskrivning av LCA-rapporter

För att undersöka elbussars och spårvagnars klimatpåverkan har två LCA-rapporter från respektive fordonsslag använts. Alstom, den största aktören på den svenska järnvägsmarknaden (Alstom, 2024), har bidragit med en LCA-rapport av spårvagnen Flexity™ M33 (Kolev, 2022). I en rapport från Chalmers genomfördes en LCA av Göteborgs elbussar (Nordelöf et al., 2017).

Elbuss-LCA:n som denna rapport till stor del baseras på använder sig av data från den första ElectriCity-linjen, buss 55 mellan Lindholmen och Johanneberg. Bussarna som ligger till grund för beräkningarna är Volvos 7900-serie, 12-metersbussar som laddas vid en laddhållplats på respektive ändhållplats på linjen. Montering av bussen skedde i Sverige, och komponenter som exempelvis elmotorn har sin produktion i Tyskland och batteritillverkning skedde i USA (Nordelöf et al., 2017).

Spårvagns-LCA:n baseras på data från spårvagnslinjen 6 som åker mellan Länsmansgården och Kortedala. Som tidigare nämnts är det spårvagn av modellen M33 som är 33 meter lång och kan transportera 220 passagerare. Av modellen M33 finns det två typer: enkel- och dubbelriktad. Detta innebär att den dubbelriktade vagnen har två förarhytter och dörrar på båda sidorna medan den enkelriktade enbart har en förarhytt och dörrar på ena sidan (Kolev, 2022).

Båda rapporter använder g CO<sub>2</sub>e/pkm som enhet för att beräkna klimatavtrycket. pkm, som står för personkilometer, är en måttenhet som beskriver en persons förflyttning över en kilometer. Livslängden för spårvagnen antas vara 30 år och för elbuss endast 12 år. Rapporten om elbussar utgår från linje 55 i Göteborg med en körsträcka på 7,6 km, medan spårvagnarna utgår från linje 6 med körsträcka 24,8 km. Rapporten om elbuss har utgått från antagandet att det är i genomsnitt 16 personer på bussen. Spårvagnsrapporten är baserad på en genomsnittsbeläggning som beräknats genom statistik för ett känt antal fordonskilometer per år, där spårvagnsmodellen M33 kör en viss procent av sträckan. Därefter har procentandelen av den levererade trafiken tagits fram och därigenom medelvärde av antalet passagerare per spårvagn. Nämnvärt är att rapporten inte angett hur många passagerare genomsnittsbeläggningen innebär, förutom vid elkonsumention då de räknat med en fullsatt vagn med 220 passagerare.

Båda studierna har använt sig av GaBi Software-System för att ta fram data om hur mycket utsläpp som material i vardera del av fordonet orsakar. Det finns olika versioner av GaBi Software-System som uppdateras löpande. Trots detta anses verktyget inte förändra analysen så mycket att de gör de två studierna ojämförbara. Läsaren bör dock ha i beaktning att skillnader kan förekomma på grund av verktygets kontinuerliga uppdatering. Spårvagnsrapporten har använt sig av ISO 14040:2006 som ramverk för att utföra sin LCA, medan elbussrapporten har använt ILCD (International Reference Life Cycle Data System). Eftersom ILCD är ett komplement till ISO 14040:2006 görs antagandet att ramverken är jämförbara.

Spårvagnsrapporten har delat in LCA:n i kategorier med termerna ”upstream”, ”core” och ”downstream”. Elbussrapporten har gjort en annan typ av kategorisering med termerna materialframställning, produktion, underhåll, användarfase och återvinning. Kategorisering för att göra studierna jämförbara har skett enligt följande:

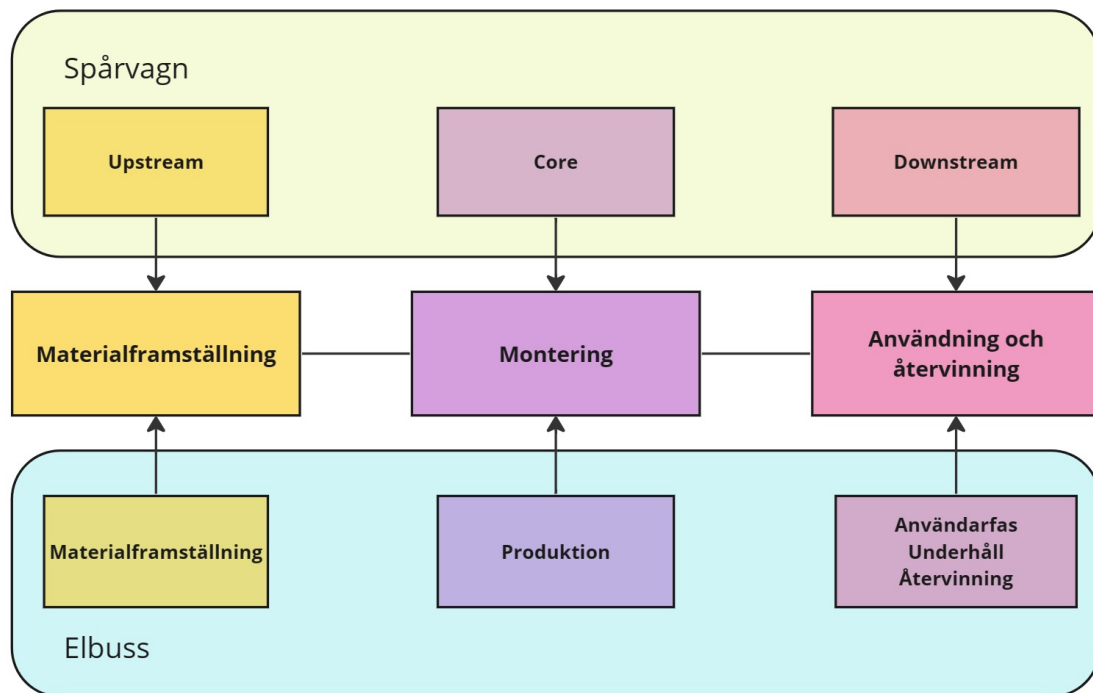
- Materialframställning beskriver bland annat råvaruutvinning, tillverkning samt transporter mellan olika aktörer i värdekedjan.
- Monteringsfasen beskriver framställning av fordon från råmaterial, men även underhåll och reparation samt energianvändning. Transport från monteringsplats

till användningsplats inkluderas också.

- Användning- och återvinningsfasen beskriver användning, bortskaffning, återvinning samt transport mellan de olika aktörerna.

I systemkartan, figur 3.1, visas hur kategoriseringen har skett i denna studie. Färgerna i systemkartan är till för förtydligande av kategorier samt fordonsslag.

**Figur 3.1:** Systemkarta som förklarar indelningen av respektive kategori



Utöver de två beskrivna studierna har även en tredje studie gjord av Johansson använts. Denna studie jämför flera olika fordonsslag och beräknar klimatpåverkan från deras infrastruktur genom livscykelkostnader och klimatpåverkan för spårväg och bussystem (Johansson, 2023). I och med likheterna mellan Johanssons och denna rapport har den bidragit med jämförelse samt säkerställande av resultat. Detta har gjorts genom hämtning av data och jämförelse av resultat efter egna beräkningar.

#### 3.1.2 Jämförande studie av livscykelanalyser

För att tekniskt undersöka vilken påverkan bussar och spårvagnar har på klimatet har studier gjorda för de båda transportmedlen använts. För att sammanställa informationen har det krävts arbete för att göra studiernas resultat jämförbart då de ursprungligen använt olika antaganden, kategoriseringar och avgränsningar. Detta har skett genom en jämförande studie.

Tillvägagångssättet har varit att granska vilka delar de båda LCA-studierna består av och hur de kan hänföras till varandra eller om vissa avgränsningar behöver göras. Ett exempel på detta är att studiernas första del, materialframställning, inkluderar olika beräkningar. Jämförelser kring bland annat körsträckor och passagerarantal har också gjorts för att se till att informationen från de två källorna stämmer så bra överens som möjligt. Utöver detta har även egna beräkningar använts för att göra studierna jämförbara.

#### 3.1.3 Modellantagande: en fiktiv kollektivtrafiklinje

För att göra klimatpåverkan av de två fordonsslagen jämförbara så beräknas den istället på en fiktiv linje. Den fiktiva linjen antas vara 18 kilometer lång och trafikerats jämt och används av en viss mängd personer per timme. Hållplatserna antas vara jämt fördelade längs linjen och fordonen antas ha samma medelhastighet. Längden på linjen (18 km) valdes för att matcha medelhastigheten för elbussen för att förenkla beräkningar (Nordelöf et al., 2017). Den är även ungefär lika lång som några av de mest trafikerade busslinjerna i dagsläget.

För att beräkna hur många fordon som måste trafikera linjen används följande formel:

$$\text{Antal fordon som krävs per timme} = \left[ \frac{\text{Antal passagerare}}{\text{Kapacitet}} * \frac{\text{Banlängd}}{\text{Medelhastighet}} \right] \quad (3.1)$$

Denna mängd fordon kan sedan användas i följande formel för att beräkna det totala utsläppet på linjen per kilometer och år:

$$\text{Utsläpp} = \text{ton CO}_2\text{e/km (fordon)} * \text{timmar} * \text{fordon/timme} + \text{ton CO}_2\text{e/km (infrastruktur)} \quad (3.2)$$

Genom att analysera utsläppen vid olika passagerarantal kan slutsatser sedan dras kring vilket fordonsslag som har minst klimatpåverkan i olika situationer.

## 3.2 PEST-analys

För att kunna jämföra spårvagn med elbuss ur ett hållbarhetsperspektiv har en PEST-analys genomförts. PEST-analysen inkluderar politiska, ekonomiska, sociala och tekniska faktorer. Genom att analysera dessa faktorer för båda fordonsslagen och jämföra dem mot varandra fås ett helhetsperspektiv över hur hållbar vardera fordon är. Information till PEST-analysen har samlats in genom intervjuer med relevanta intervjupersoner inom ämnet samt en litteraturstudie.

### 3.2.1 Faktorer

Göteborgs spårvagns och elbusstrafik påverkas av politiska beslut och regleringar på lokal, regional och nationell nivå. Till exempel kan politiska faktorer inkludera finansiering av infrastrukturprojekt, stadsplanering och trafikregleringar. Genom att analysera politiska faktorer kan en förståelse av hur politiska förändringar kan påverka utbyggnaden av spårvägs och elbuss-systemet fås. Ett exempel på detta är ändringar i finansiering eller politiskt motstånd mot utbyggnaden.

Ekonomiska faktorer spelar en viktig roll för Göteborgs spårvagns- och elbusstrafik. Det kan inkludera investeringskostnader för utbyggnad och underhåll av systemet, biljettpriser och skatter. En förståelse för ekonomiska faktorer kan ge insikter i ett projekts ekonomiska hållbarhet och lönsamhet över tid.

Sociala faktorer tar hänsyn till hur spårvagns- och elbusstrafiken påverkar invånarna i Göteborg. Det kan inkludera tillgänglighet, bekvämlighet och säkerhet för passagerare, samt hur trafiken integreras med stadsplanering och samhällsbehov. Genom att analysera sociala faktorer ges möjligheten att anpassa spårvagnstrafiken efter invånarnas behov och preferenser samt utvärdera hur det påverkar trivselkänslan.

Tekniska faktorer innebär hur spårvagns- och elbussystemet utvecklas och integreras med ny teknik. Det kan inkludera signalteknik, biljettbetalningssystem och hållbarhetsinnovationer. Genom att analysera och få en förståelse för organisationens tekniska faktorer, ges möjligheten att effektivisera och förbättra spårvagns- samt elbusstrafiken.

### 3.2.2 Intervjuer

Efter att den initiala informationssökningen genomförts, gjordes insamling av information genom semistrukturerade intervjuer. Dessa intervjuer gjordes med insatta både inom själva elbuss- och spårvägsarbetet samt på en högre nivå i systemet. Eftersom dessa intervjuer gjordes för just detta arbetet är de en primärkälla. Informationen som fått via dessa intervjuer användes sedan för att genomföra en PEST-analys. Intervjuerna är nödvändiga för PEST-analysen eftersom de intervjuade bidrar med ett mer samhälleligt perspektiv jämfört med vad en LCA gör.

Eftersom intervjuerna främst användes till PEST-analysen baserades valet av intervjupersoner på faktorerna som PEST består av. Genom att välja en eller flera personer inom dessa delar fås information från flera perspektiv, vilket är av nytta med tanke på buss- och spårvägssystemets komplexitet. Vid början av arbetet var inte alla intervjupersoner valda, utan tillkom allt eftersom intervjuerna utfördes och nya kontakter kom på tal. Intervjupersonerna valdes alltså utifrån snöbollsmetoden. Intervjufrågorna utgick från en mall som skapades för att anpassa frågorna till PEST-analysen, se appendix A. Frågorna som ställdes till intervjupersoner utgick från mallen, men var anpassade för deras kunskapsområde för att få en så djup insikt i ämnet som möjligt. Efter att de anpassade frågorna ställts kunde övriga frågor för tydlighet eller specificering förekomma.

#### **Intervjupersoner**

Vardera intervjuperson fick tillgång till intervjufrågorna innan intervjutillfället. Intervjupersonerna godkände att anteckningar fördes under intervjun.

- Intervju 1 genomfördes 5/3-2024. Personerna som intervjuats var Carin Oleryd, säkerhetschef på Göteborgs spårvägar, och Amanda Modig, Miljöutvecklare på Göteborgs spårvägar. Med detta som bakgrund låg fokus på att ställa frågor relaterade till miljö.
- Intervju 2 genomfördes 19/3-2024, med Arvid Holm, fordonsförvaltningschef för spårvagnarna på Göteborgs spårvägar. I och med Holms arbete inom spårvagnars förbättring och prestanda var det lämpligt att ställa honom frågor gällande teknik.
- Intervju 3 genomfördes 20/3-2024 med Mimmi Mickelsen, infrastruktursförvaltare för järnväg och spårväg för Göteborgs stad. Mickelsen bidrog med information, forskning och rapporter gällande infrastruktur och hur det används för elbussar och spårvagnar.
- Intervju 4 genomfördes 26/3-2024 med Anders Nordelöf. Nordelöf är en senior forskare inom miljösystemanalys på Chalmers tekniska högskola, som även är en av författarna till LCA:n som gjorts på elbussar. Intervjun gjordes med honom för att få exakta värden och ställa frågor gällande denna LCA:n.
- Intervju 5 genomfördes 28/3-2024 med Hanna Björk, hållbarhetschef på Västtrafik AB. Eftersom Björk arbetar på Västtrafik ställdes frågor gällande elbussar under denna intervjun.
- Intervju 6 genomfördes 16/4-2024. Personerna som intervjuades var Lovisa Borgstöm, samhällsutvecklare och Andreas Sörthaga, fordonsstrateg. Frågorna som ställdes under denna intervjun hörde till flera av PEST-faktorerna i och med intervjupersonernas olika arbetsområden, men fokus lades på infrastruktur, ekonomi samt teknik.

### 3.2.3 Litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes för att komplettera intervjuerna till PEST-analysen. Källorna som använts är rapporter från relevanta företag inom spårväg och elbuss i Göteborg. Även rapporter från Google Scholar och Chalmers bibliotek har använts. För att hitta relevanta källor har sökord som "LCA", "spårvagn" samt "elbuss" använts. Därefter har studier sållats bort på grund av irrelevans samt brist på tillgång.



# 4

## Resultat

### 4.1 Livscykelanalyser

Livscykelanalysen för elbussar använder den funktionella enheten g CO<sub>2</sub>e/pkm för att kvantifiera utsläpp (Nordelöf et al., 2017). Elbussar har ett totalt utsläpp på 16 g CO<sub>2</sub>e/pkm där 40% beror på materialframställning, 12% beror på montering och 48% uppstår vid användning och återvinningsfasen. Livscykelanalysen för spårvagnar använder den funktionella enheten kg CO<sub>2</sub>e/pkm vilken kan skrivas om till g CO<sub>2</sub>e/pkm (Kolev, 2022). Spårvagnar har totalt utsläpp på 0.71 g CO<sub>2</sub>e/pkm där 34% uppstår under materialframställning, 6% under montering och 60% vid användning och återvinningsfasen.

**Tabell 4.1:** g CO<sub>2</sub>e/pkm för spårvagn och elbuss.

g CO <sub>2</sub> e/pkm	Materialframställning	Montering	Användning & EoL
Elbuss	6.4	1.9	7.7
Spårvagn	0.24	0.042	0.43

I Nordelöf et al. (2017) beskrivs all data som behövs för kommande beräkningar för elbussar. Kolev (2022) beskriver all data förutom medeltalet för passagerare. Medeltalet för spårvagnar har uppskattats till 40 genom att använda samma procentuella beläggning som bussarna och avrunda detta till närmaste 10 tal. I tabell 4.2 visas värdena som ges i rapporterna med grått och uppskattade värden med blått. Värden i vita celler beräknades med givna värden.

Ytterligare behövs data för att analysera utsläppen som uppstår som en följd av infrastruktur. I Johansson (2023) beskrivs utsläppen som uppkommer vid konstruktion och underhåll av infrastrukturen som krävs för båda fordonen. Rälsen till spårvagnen har en livslängd på 79 år och beräkningarna för bussväg är anpassade för detta. Båda värdena presenteras i enheten ton CO<sub>2</sub>e/(km · år) vilket innebär utsläppen att bygga och underhålla 1 km infrastruktur under 1 år. Datan för detta presenteras i tabell 4.3.

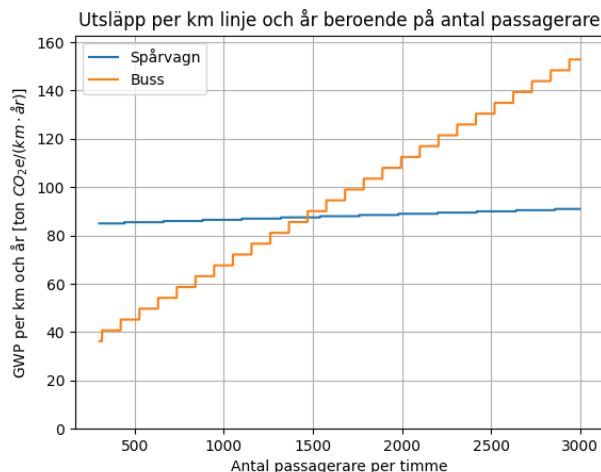
**Tabell 4.2:** Given data (grått), beräknad data (vitt) samt uppskattad data (blått).

Fordonstyp	Spårvagn	Elbuss
g CO <sub>2</sub> e/pkm	0.71	16
Medeltal passagerare	40	16
Maxantal passagerare	220	105
Livslängd	30	12
km/år	100 000	65 000
pkm (Livslängd)	120 mil	12.5 mil
pkm/år	4 mil	1 mil
ton CO <sub>2</sub> e (Livslängd)	86	200
ton CO <sub>2</sub> e/år	2.85	16.64
ton CO <sub>2</sub> e/km	$2.85 * 10^{-5}$	$2.56 * 10^{-4}$

**Tabell 4.3:** Infrastrukturens utsläpp per år och km

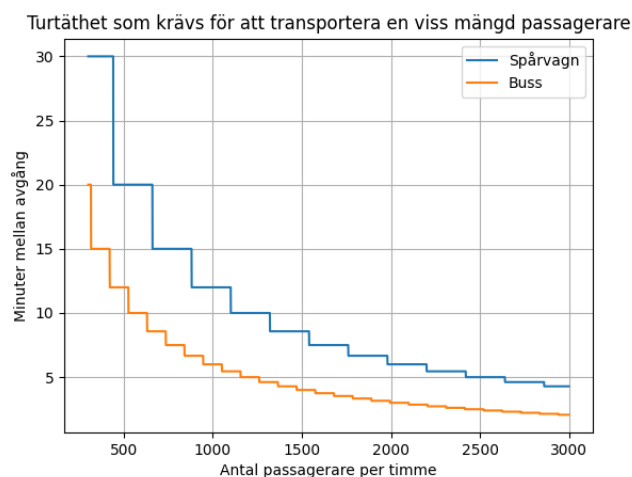
ton CO <sub>2</sub> e/(km · år)	Spårvagn	Elbuss
Total	42	11.4
Underhåll	1.5	2.2
Byggnation	40.5	9.2

Utifrån datan som presenterats är det tydligt att spårvagnars infrastruktur har betydligt högre utsläpp än bussarnas. Samtidigt har spårvagnen betydligt lägre utsläpp för fordonet. Det är därför relevant att undersöka hur de totala utsläppen skiljer sig längs den fiktiva linjen som beskrivs i 3.1.3 beroende på hur många passagerare som använder linjen. Genom att använda ekvation 3.1 för att beräkna hur många fordon som skulle behövas så kan ekvation 3.2 användas för att beräkna de totala utsläppen vid samma passagerarmängd. I figur 4.1 visas de totala utsläppen per km och år inklusive infrastruktur, beroende på hur många passagerare som använder linjen per timme.

**Figur 4.1:** Ton CO<sub>2</sub>e som släpps ut beroende på fordonsslag och passagerarantal

Figuren visar att för linjer som används av mer än 1 500 personer per timme så har spårvagnar lägre totalt utsläpp per km och år. Det motsatta gäller för elbussar. Med hjälp av ekvation 3.1 beräknas även väntetiden som behövs mellan avgångar för att kunna transportera de olika mängderna passagerare. I figur 4.2 visas denna väntetid för de två fordonsalternativen utifrån passagerarantal (på samma sätt som i figur 4.1).

**Figur 4.2:** Väntetid mellan avgångar som krävs för att kunna transportera en viss mängd personer



### 4.1.1 Jämförbar studie

I studien av Johansson (2023) används en liknande fiktiv linje som den konstruerats i denna rapport. I studien har Johansson (2023) kommit fram till att elbussar är alternativet med lägst klimatpåverkan upp till mellan 1600 och 1800 resande per timme. Studien visar även att klimatpåverkan av infrastruktur per år och kilometer för elbuss är ungefär 38 ton CO<sub>2</sub>e/(km · år) och för bussar ungefär 90 ton CO<sub>2</sub>e/(km · år).

Johansson (2023) gör en annan uppdelning av utsläppen än denna rapport och analyserar infrastruktur, tillverkning (materialframställning och montering), drift (exklusive el) och elförbrukning. Studien visar att infrastruktur är den i särklass största bidragande faktorn för spårvagnar och för elbussar är det tillverkning. Studien visar även att underhåll och tillverkning för spårvagnar endast har en bråkdel av utsläppen som elbussar har.

## 4.2 PEST-analys

PEST-analysen belyser hur kollektivtrafiken påverkar invånarna i staden, samt de faktorer som inverkar på kollektivtrafikens funktion i nuläget såväl som vilken utveckling som förväntas ske i framtiden. Kollektivtrafiksystemet är komplext och analysen syftar till att ge insikter i hur de olika aspekterna samverkar, samt visa

på likheterna och skillnaderna mellan spårvagns- och busstrafiken. De två fordonslagen har olika styrkor, svagheter och utmaningar som tas upp i avsnittet inom de olika kategorierna i analysmodellen. Detta kan i sin tur bidra med underlag för framtida beslut och strategier för att främja en mer hållbar kollektivtrafik i Göteborg.

### 4.2.1 Politiska faktorer

De politiska faktorerna som berör både spårvagnssidan och bussidan handlar om beslut kring upphandlingar, ansvarsområden, samarbete mellan verksamheter och revidering av lagar. Utvecklingen inom området påverkas av en rad olika intressenter som innefattar Västra Götalandsregionen, kommuner, resenärer och näringslivet i stort där samtliga har åsikter om vad investeringar ska gå till, hur prioriteringarna ska ske för verksamhetens projekt och hur organisationen ska arbeta i stort.

Styrningen av kollektivtrafiken i regionen är komplex då flera olika bolag ansvarar för olika delar av verksamheten genom en rad avtal och upphandlingar. Västra Götalandsregionen, Göteborgs Stad, Mölndals Stad och Partille kommun tillsammans med Västtrafik och Göteborgs Spårvägar arbetar för att nå gemensamma mål gällande stads- och infrastrukturplanering (Göteborgs stad, 2019). Västra Götalandsregionen ansvarar för kollektivtrafiken i Västra Götaland och det samverkansavtal som reglerar ansvarsfördelningen mellan kommunerna i Västra Götaland och utvecklingen av kollektivtrafiken i regionen. Västra Götalandsregionen äger Västtrafik AB, som har en mer verkställande roll då de arbetar med att planera och upphandla kollektivtrafiken. Detta innefattar beslut rörande hur linjer ska dras och var hållplatser ska placeras. De större besluten som rör strategiska och långsiktiga frågor kring kollektivtrafiken tas av regionfullmäktige som till stor del baseras på underlag som tagits fram av infrastruktur- och kollektivtrafiknämnden (Västra Götalandsregionen, 2024).

Fram till år 2020 var Göteborgs Spårvägar AB helt ägt av kommunen. I nuläget är ägandeskapet av bolaget uppdelat mellan kommunen och regionen, där regionen äger 15 procent, medan kommunen äger 85 procent (Göteborgs stad, 2018).

Politiken har en nyckelroll i utvecklingen av kollektivtrafiksystemet då den är betydande för samtliga av de övriga faktorerna i PEST-analysen. Politiken har kopplingar till miljöfaktorer i och med bland annat upphandlingen av el som används för att driva de eldrivna fordonen i kollektivtrafiken. Göteborgs spårvägar använder Göteborgs stads upphandlade el, vilken har krav på att vara förnybar (Modig, personlig kommunikation, 5 mars, 2024). Vidare berättar Modig att även andra delar av hållbarhetsstrategin såsom krav på leverantörer och producenter formas och regleras av politiska initiativ och regelverk, vilket i sin tur har stort inflytande över de olika projekten inom kollektivtrafiken (personlig kommunikation, 5 mars, 2024).

Beslut kring finansiering av kollektivtrafiksystemet har direkt påverkan på möjligheterna till utbyggnaden av såväl spårvägsnätet som infrastrukturen för elektriska fordon och dess laddstationer (Nordelöf, personlig kommunikation, 26 mars, 2024).

Det krävs att politiken ger stöd för dessa projekt genom att prioritera de finansiella resurserna och skapa förutsättningar för utvecklingen till en mer effektiv kollektivtrafik ur både ett miljömässigt, men även ekonomiskt perspektiv (Holm, personlig kommunikation, 6 mars, 2024). De ekonomiska fördelarna med utvecklingen inom kollektivtrafiken är i många fall större incitament till förändring än de miljömässiga, även om de i många fall finns ett samspel mellan dem, menar Holm (personlig kommunikation, 6 mars, 2024).

Ytterligare en central aspekt av politikens roll inom kollektivtrafiken är de satta kraven på tillgänglighet. Detta avser att kollektivtrafiken ska vara tillgänglig för alla oavsett eventuella fysiska eller kognitiva begränsningar. I praktiken uppfylls kraven genom anpassade fordon, upphöjda plattformar på stationer och tillgänglig information (Västra Götalandsregionen, 2021).

### 4.2.2 Ekonomiska faktorer

Elbussar har blivit mycket vanliga på Sveriges gator då det har inte bara setts som ett mer miljövänligt alternativ utan presenteras också i många sammanhang som mer hållbart ur en ekonomisk synvinkel. Enligt rapporten *Trafikeringskostnader för buss 2019 och 2045* Johansson och Améen (2023) som inkluderar en analys av kostnaderna för el, gas och diseldrivna bussar 2019 så är eldrivna bussar däremot ett betydligt dyrare alternativ. För trafikeringskostnader i tätortstrafiken var elbussens totalkostnad 75 kr/km, medan gas och diesel hade 52 respektive 48 kr/km i totalkostnad. Visserligen hade elbussen lägre drivmedelskostnader, men andra faktorer som högre inköpskostnader gör elbussen 44% dyrare än gasbussen. I rapporten presenteras även en prognos för 2045 som visar på att elbussarnas ekonomiska konkurrenskraft kommer att öka. Resultatet i rapporten är att elbussen kostar 49 kr/km medan gas och diesel kostar 54 respektive 53 kr/km. Enligt forskaren Anders Nordelöf (personlig kommunikation, 26 mars, 2024) är de ekonomiska krafterna som kommer driva på utvecklingen, och de minskade kostnaderna för eldrivna bussar, investeringar i laddinfrastruktur och eventuell utbyggnad av elnät. Nordelöf (personlig kommunikation, 26 mars, 2024) förklarar vidare att lägre driftkostnader och ny billigare teknik i sin tur leder till att de ekonomiska fördelarna med elbussar kan bli väl så betydande som de miljömässiga fördelarna. Stora delar av arbetet för att göra övergången till en eldriven kollektivtrafik möjlig är redan gjort, menar Nordelöf (personlig kommunikation, 26 mars, 2024) som berättar att Göteborg redan genomfört de infrastruktur- och transportrelaterade satsningar, samt elektrifierat en stor andel av bussflottan på kort tid. Med bakgrund i detta är elbussen inte bara ett mer miljövänligt alternativ i relation till fossildrivna bussar, utan också ett mer ekonomiskt lönsamt alternativ i längden.

Spårvagnsmodellen M33 finns i olika modeller, där en av varianterna är dubbelriktad. Det innebär att den har dörrar på båda sidor av vagnen samt att det finns förarhytter i vardera ända av vagnen. Detta innebär att spårvagnen kan byta håll utan att använda sig av en cirkulationsplats. Detta är gynnsamt då det ökar flexibiliteten hos spårvagnen samt att ytan för tidigare cirkulationsplats kan användas till andra

samhällsnyttjande ändamål (Pietrzak, 2022). Att ha dörrar på båda sidor av vagnen innebär också färre sittplatser, vilket resulterar i fler ståplatser och därmed ett högre maxantal passagerare. Spårvagn M33 kan transportera 220 personer (Kolev, 2022). Detta är ekonomiskt gynnsamt då kostnaden per passagerare sjunker ju fler som får plats.

Vid jämförelse mellan spårvagn och elbuss är spårvagnen det dyrare alternativet i de flesta situationerna enligt Johansson (2023), en rapport om livscykelkostnader, för hela reseintervallerna som rapporten grundas på. I fallen då spårvagn kan vara ett mer gynnsamt beslut ekonomiskt är vid stora reseströmmar då det inte är möjligt att använda bussar med anledning av spårvagnarnas kapacitet som är betydligt högre än bussarnas. Den största anledningen till att kostnaderna för spårvagnarna blir så mycket större än för bussarna beror på skillnaderna i resurser för att bygga upp infrastrukturen. För spårvagnar beräknas kostnaderna för infrastrukturen vara 119 miljoner kronor per kilometer medan kostnaden för bussar 65 miljoner kronor per kilometer. Nämnvärt är att det finns osäkerheter kring de beräknade resultaten dels eftersom det inte tas i beaktning att Göteborgs spårvägsnätverk redan är etablerat, vilket resulterar i att kostnaderna därför är mer kopplade till underhållet av spåren. Spårvagnskostnaderna är tydligare därför att de har sin egen infrastruktur som kan bokföras enskilt menar Mickelsen (personlig kommunikation, 20 mars, 2024) som vidare berättar att bussens infrastruktur inte är lika tydlig då den delar vägar med övrig trafik och att kostnaderna därmed går in i vad gatan kostar. Buss är alltså ofta billigare initialt, men kan ur ett långsiktigt perspektiv kosta mer säger Mickelsen (personlig kommunikation, 20 mars, 2024).

I den sociala delen nedan lyfts hur kollektivtrafik kan höja intresset för personer att bosätta sig. Förbindelserna som ger dessa sociala fördelar kan då också leda till ökat värde för bostäderna. Värdet kan även öka kraftigare om det är just spårvagnar som byggs då de ses som mer permanenta satsningar till skillnad från busslinjer som lättare kan dras om. Arbetet av Karlsson (2022) menar på att det finns en tydlig korrelation mellan ökat bostadspris och goda förbindelser. Det lyfts även att det alltid finns andra faktorer som kan påverka, buller exempelvis, att det alltid finns undantag samt att det är svårt att kvantifiera. I rapporten av Carlbom och Paulsson (2018) så är slutsatsen överraskande nog att priset sjunker desto närmare kollektivtrafiken bostaden var lokaliserad. Författarna resonerar dock att denna avvikelse mot hypotesen kan bero på valet av område att studera, Sundbyberg, där förbindelser kan vara av lägre vikt när allt är nära och andra lägesfaktorer är av högre vikt. Det är därför svårt att kvantifiera hur stora ekonomiska fördelar kollektivtrafiken kan bidra med på bostäder men att det generellt ses som gynnsamt. Kollektivtrafiken bidrar även med möjligheterna för företag och andra intressenter att välja områden om förbindelserna är goda vilket också är svårkvantifierade ekonomiska fördelar för samhället.

### 4.2.3 Sociala faktorer

Vid studerande av befolkningsutvecklingen i regionen går det att se tydliga kopplingar till kollektivtrafiken. Tillgängligheten till tåg- och spårvagnsförbindelser påverkar befolkningsutvecklingen i större utsträckning än vad busslinjer gör. De främsta anledningarna till att det är dels att spårgående trafik innebär en större säkerhet för långvariga kollektivtrafikförbindelser i och med att omflyttning av spår är en betydligt mer omfattande process än omläggning av busslinjer, och dels att spårgående trafik har en högre kapacitet i antal passagerare än busstrafiken (Björk, personlig kommunikation, 28 mars, 2024). För att öka resenärskapaciteten för bussarna och samtidigt minska det ökande behovet av förare utreds ett förslag om "platooning", som innebär att koppla ihop bussar (Borgström, personlig kommunikation, 16 april, 2024). Befolkningsutvecklingen i tätorterna som har stationer längs med Alependeln är ett konkret exempel på när införandet av spårgående kollektivtrafik har haft en positiv inverkan på tillväxten av invånare (Trafikkontoret, 2022).

Kollektivtrafiken är en betydande tillgång för samhället i de socialt utsatta områdena då de främjar samhällsintegration genom att bidra till en större tillgänglighet och möjlighet till mobilitet för invånarna. Förbindelserna som kollektivtrafiknätet erbjuder skapar transportlösningar som ökar invånarnas tillgång till utbildning, arbetsplatser, sjukvård och fritidsaktiviteter (Berg et al., 2019).

Vid beslutsfrågor gällande kollektivtrafiken menar Mickelsen (personlig kommunikation, 20 mars, 2024) att det är viktigt att väga in de sociala och demografiska aspekterna. De socioekonomiskt svaga områdena är vanligtvis mer beroende av kollektivtrafiken än vad de socioekonomiskt starka är, som i många fall har tillgång till bil. En utmaning i de socioekonomiskt svaga områdena är att resenärerna upplever kollektivtrafikbiljetterna som dyra, vilket kan leda till att kollektivtrafiken blir mindre attraktiv (Berg et al., 2019).

Övergången till eldrivna fordon i kollektivtrafiken har inte bara bidragit med minskad klimatpåverkan, utan även bidragit med sänkta bullernivåer och förbättrade levnadsstandarder för stadsinvånarna. I stadstrafiken kör bussarna långsamt, ofta är hastigheten omkring 30-40 km/h, då det främst är motorljudet som hörs (Björk, personlig kommunikation, 28 mars, 2024). Det är därför en avgörande skillnad att övergå till eldrift, då detta är betydligt tystare, samt förbättrar luftkvaliteten och även livskvaliteten (Electricity, 2022). Studien redogör för att andelen invånare som märkte av buller från bussar ursprungligen uppgick till 75 procent, men som efter övergången till eldrivna bussar minskade till 39 procent. De invånare som stördes i mycket hög grad sjönk från 26 till 5 procent (Electricity, 2022). Hälsoeffekterna till följd av förändringen är enligt studien förbättrad sömn för invånarna längs busslinjerna där andelen som uppgett sig uttröttade en till två gånger i veckan sjönk från 49 till 39 procent. Därtill beskriver studien att även det psykiska välmåendet förbättrades då andelen nedstämda gick från 22 till 17 procent.

Liknande arbeten för att minska bullernivån syns även på spårvagnssidan. Motsvarigheten i buller från bussar uppstår i gnisslet mellan spårvangshjulen och spårvagns-

spåren. Spårvagn M32 och M33 har utrustats med systemet Top of Rail som fungerar som en ljuddämpningsfilm. Utöver det har även M33-modellen ytterligare smörjning för att dämpa gnissel och på så sätt minska ljudförroreningar (Göteborgs Spårvägar, 2022).

### 4.2.4 Tekniska faktorer

Spårvagnen har en fast infrastruktur, vilket innebär att de inte är i behov av att ladda eller tanka som bussen behöver. Laddning eller tankning är något som kan vara både kostsamt och resurskrävande. Däremot är underhållet av rälsen mer omfattande än underhållet av laddstolparna då det krävs speciell kompetens och fordon för att byta spårvagnsräls än vad som krävs för underhåll av bussinfrastrukturen (Borgström, personlig kommunikation, 16 april, 2024).

För spårvagnens tekniska utveckling är hjulen en viktig del. M33-modellen har fördubblat livslängden på sina hjul genom en förbättrad konstruktion samt materialval. Genom att utveckla hjulen så att de blir mer hållbara kan energiförbrukningen minska. En annan funktion i hjulen är att implementera lasermätare i depåerna som noga kan mäta hjulets tillstånd och upptäcka slitage tidigare. Då är det i sin tur möjligt att vidta åtgärder för att förebygga onödigt slitage (Holm, personlig kommunikation, 19 mars, 2024). Vidare berättar Holm om att batterier som laddas upp under bromsning har implementerats i spårvagnar i Schweiz. Detta har resulterat i att spårvagnarna kan drivas av energin i områden utan luftledningar. På så sätt blir det möjligt att öka spårvagnens flexibilitet under olyckshändelser då det exempelvis uppstår fel i ledningen. Spårvagnen kan med hjälp av batteriet köra undan från problemet och således utgöra ett mindre hinder i trafiken vid olyckor. Trots det är den främsta fördelen med batterier i spårvagnarna att inte vara i behov av ledningar i stadskärnan och på så vis upprätthålla en mer estetiskt tilltalande stad. Däremot finns det nackdelar med batterier i spårvagnar. Bland annat blir både den ekonomiska kostnaden samt miljöpåverkan stor vid batteritillverkningen. Spårvagnen blir på så vis mer lik en buss då en av bussens större klimatpåverkansfaktorer adderas till spårvagnen.

Varierande väderförhållanden är en utmaning för kollektivtrafiken som helhet, men påverkar de två fordonsslagen på olika sätt. Generellt är spårvagnar mer driftsäkra i fler väderlekar än bussar såsom framkomligheten i snö (Modig, personlig kommunikation, 5 mars, 2024). Trots driftsäkerheten finns tekniker som kan föra utvecklingen av spårvagnen framåt i sättet att hantera väderförhållanden som rimfrost och snö (Holm, personlig kommunikation, 19 mars, 2024). För bussar finns stora utmaningar under snöiga förhållanden då det leder till att fordonets däck inte får samma grepp som vanligt. När däcken får sämre grepp påverkas energiförbrukningen som blir högre (Nordelöf, personlig kommunikation, 26 mars, 2024).

Elbussen har en mer flexibel infrastruktur i jämförelse med spårvagnen då den inte följer spår. Detta är fördelar vid fler olika tillfällen såsom att det är enkelt att ändra rutter, men också att bussen kan köra runt hinder. Däremot behöver elbuss laddsta-

tioner. Genom att placera laddare vid ändhållplatserna kan elbussen laddas samtidigt som förare tar paus. För att tidtabellerna ska påverkas minimalt är laddningstekniken viktig. Om laddaren är snabb kommer det gå fortare för bussen att vara ute i trafiken igen. Räckvidden för bussbatterier är inte en avgörande aspekt i Göteborgs stad då bussen kör korta sträckor och fokus snarare bör ligga på snabbare uppladdning. Utvecklingen går mot lättare bussar samt starkare och billigare batterier med målet att bussarna i framtiden bara ska behöva ladda i depåerna för att kunna fasa ut användningen av laddstolpar (Borgström, personlig kommunikation, 16 april, 2024). Borgström förklarar att en sådan utveckling kan minska logistiska problem och öka flexibiliteten. Bussbatterier är känsliga för kyla, vilket i sin tur kan leda till att bussarna behöver laddas längre. I det här fallet kan digital kommunikation till resenärer om att bussarna blir sena eller att de kommer mindre sällan öka acceptansen (Nordelöf, personlig kommunikation, 26 mars, 2024).

Biljettsystem och reseinformation är utformat på samma sätt för buss och spårvagn i Göteborgs stad. Reseplaneraren är en app av Västtrafik där det går att köpa biljetter samt få information om resor (Västtrafik, u. å). Ytterligare tekniska möjligheter för kollektivtrafiken i stort är att ta hjälp av AI för att skapa rutter, och optimera förare för att tillgodose det ökande resebehovet i Göteborg. Detta inkluderar att trafiken ska köras där behov finns, och att effektivisera kollektivtrafiken under rusningstrafik (Borgström, personlig kommunikation, 16 april, 2024).

Spårvagnar kan med anledning av sin långa hållbarhet användas under långa perioder utan större förändringar medan bussarnas livscykel är betydligt kortare. År 2004 levererades M32 och först år 2019 levererades den senaste modellen M33 (Göteborgs Spårvägar, 2024). Livslängden är en faktor som har direkt påverkan på utvecklingen av fordonen. Att livslängden för spårvagnen antas vara 30 år medan livslängden för elbuss är 12 leder till en skillnad i hur snabbt tekniken kan uppdateras och utvecklas för att bli bättre anpassade för att uppfylla samhällets behov. En längre livslängd kan därför påverka innovationen negativt, även om det finns fördelar ur ett hållbarhetsperspektiv att spårvagnarna inte behöver bytas ut lika ofta som bussarna som slits snabbare och därmed driver på utvecklingen av snabb innovation, förbättring och nya modeller. Bussbatteriernas livslängd är kortare än bussens totala livslängd vilket gör att det sker batteribyte halvvägs genom användningsfasen (Johansson, 2023).



# 5

## Diskussion

### 5.1 LCA

Som presenteras i resultatet har en elbuss ett totalt utsläpp på 260 g CO<sub>2</sub>e/km och en spårvagn ett totala utsläpp är 29 g CO<sub>2</sub>e/km. Vid en jämförelse av de olika faserna så har en spårvagn lägre utsläpp i samtliga faser. Anledningen till detta är att spårvagnar har en längre livslängd och åker längre sträckor per år. På den fiktiva linjen beror det även på att spårvagnar har betydligt högre kapacitet och turtätheten kan därför vara lägre än för elbussar. För att elbussarna ska uppnå samma resultat som spårvagnen krävs det att elbussen kör samma sträcka betydligt fler gånger för att transportera samma mängd resenärer. Det som istället leder till att spårvagnar inte alltid är alternativet med lägre utsläpp är att dess infrastruktur orsakar fyra gånger så stora utsläpp som elbussarnas. Spårvagnens infrastruktur har en klimatpåverkan på 42 ton CO<sub>2</sub>e/(km · år) i jämförelse med elbussens 11.4 ton CO<sub>2</sub>e/(km · år). Trots att spårvagnar har betydligt lägre utsläpp per kilometer så är infrastrukturen den avgörande faktorn i beslutsunderlaget. I en situation där spårvagnens infrastruktur redan är etablerad så är spårvagnen det bättre alternativet.

I ett scenario där infrastrukturen måste byggas från grunden så behöver dock avvägningar göras. Brytpunkten för när spårvagnar i detta scenario har lägre utsläpp är vid resande per timme över 1 500 personer. Data på resande per timme är svår att hitta men vid en av de högst belastade sträckorna mellan Brunnsparcken och Valand så reser ungefär 2 200 personer per timme. En investering i spårvagnar är alltså utifrån ett klimatpåverkansperspektiv det bättre alternativet vid linjer som med hög resenärtäthet. Eftersom elbussar har lägre kapacitet än spårvagnar så skulle det krävas väldigt många fler fordon per timme vid en stor mängd passagerare. Redan vid 2 000 resande per timme så är väntetiden endast 3 minuter mellan avgångar vilket är svårt att genomföra i praktiken. I samma situation har spårvagnar väntetid på 7-8 minuter vilket är mer realistiskt.

Eftersom infrastruktur är den avgörande faktorn finns det där en stor potential för utveckling och förbättring. Vid en minskning av utsläpp från spårvagnens infrastruktur på 25% så förflyttas brytpunkten på antal resande per timme till 900 och för en halvering så har spårvagnar en lägre klimatpåverkan vid 500 resande per timme. Det är även viktigt att ta i beaktning att denna analys endast gäller vid nybyggnation av infrastruktur. Underhåll av infrastrukturen är för båda alternativen en väldigt liten del av utsläppen. I ett scenario där infrastrukturen sedan innan är byggd så

betraktas dessa utsläpp som en sunk cost och spårvagnar är då vid alla resandeantal alternativet med lägre utsläpp.

Sammanfattningsvis beror valet av transportmedel längs en linje i dagsläget till stor del på resandeantalet. Vid ett scenario där en busslinje ska bytas ut mot spårväg så är det därför viktigt att undersöka hur använd linjen kommer bli. Ifall infrastrukturen för spårvagnar hade fått minskat utsläpp så hade spårvagnen kunnat bli det mer klimatvänliga alternativet för merparten av linjer. Möjligheten för det är dock utanför denna rapportens omfattning.

### 5.2 PEST

Kollektivtrafiken i Göteborgsområdet styrs som helhet av Västra Götalandsregionen, vilket leder till att det inte råder några utmärkande skillnader mellan buss och spårvagnsverksamheterna på ett politiskt plan. Båda fordonsslagen påverkas i stor grad av politiska beslut gällande bland annat miljöpåverkan, finansiering och tillgänglighet, men det är snarare fordonens olikheter som påverkar vilket avtryck detta får i praktiken. Ett exempel på detta är kraven på tillgänglighet för alla passagerare där anpassningarna på respektive fordon blir olika omfattande på grund av deras redan befintliga strukturer.

Gällande miljöpåverkan har politiken direkt inverkan på upphandlingen av el som används för att driva både elbussar och spårvagnar då elen upphandlas av Göteborgs stad. Göteborgs stad har därigenom möjlighet att påverka vilken el som används, vilket har stor betydelse för kollektivtrafikens klimatpåverkan. Genom att ställa krav på förnybar energi för eldrivna fordon kan politiken dels främja en mer hållbar och miljövänlig kollektivtrafik som helhet, dels påverka energipriser och kostnaden för att driva fordonen. Upphandlingen av el har alltså större påverkan mellan eldrivna fordon och icke-eldrivna fordon snarare än de påverkar skillnaden mellan elbussar och spårvagnar då båda fordonsslagen drivs av samma typ av el. Skillnaden i ekonomisk och miljömässig driftkostnad handlar därför främst om fordonens energieffektivitet. Även om politiska prioriteringar av resurser och initiativ kan påverka utvecklingen av energieffektiviteten för respektive fordon.

Det finns tydliga kopplingar mellan politiken och de ekonomiska förutsättningarna för fordonsslagen. När det gäller elbussar har politiken en direkt inverkan genom beslut om finansiering och incitament för övergången från fossildrivna fordon till eldrivna fordon. Detta kan göras genom politiska initiativ såsom subventioner för inköp av elbussar eller investeringar i laddinfrastruktur, vilket kan bidra till att minska de initiala kostnaderna för elbussar och göra dem mer attraktiva ur en ekonomisk synvinkel. Resursprioriteringar för utbyggnad av spårvagnsnätet är också ett alternativ som regionen kan välja att satsa på. Dessa initiativ kan innebära betydande initiala kostnader men kan också ge långsiktiga ekonomiska fördelar. Det är alltså upp till politikerna att göra en avvägning mellan spårvagns- och elbusstrafikens lönsamhet på kort och lång sikt genom att ställa elbussarnas lägre initialkostnader och flexibilitet mot spårvagnstrafikens högre kapacitet och lägre driftkostnader över tid.

Den initiala kostnaden för spårvagnstrafik bestående av investeringen i infrastruktur är hög då spårvägsnätet kräver fasta spår i form av räls som dessutom inte delas med andra fordon. Att kostnaden för spårvägen delas med samhällets övriga trafik, har stor inverkan på den totala kostnaden för spårvagnens fulla livscykel. Däremot är spårvagnar fördelaktiga när det gäller dess kapacitet och antalet resor som kan göras under fordonens långa livslängd. Spårvagnar kan transportera fler passagerare än bussar både under en enskild resa och totalt över fordonets användningstid i kollektivtrafiken. Kapaciteten hos spårvagnarna gör att deras förmåga att hantera stora reseströmmar är god vilket gör dem till effektiva transportmedel under rusningstrafik. Spårvagnar blir därmed lämpliga som stomlinjer i områden med hög trafikbelastning. Att spårvagnen rör sig i områden med hög efterfrågan på kollektivtrafikförbindelser samt att fordonet har hög passagerarkapacitet är två starkt bidragande faktorer till den ekonomiska lönsamheten. Det är nödvändigt för att på lång sikt kunna kompensera för den kostsamma initiala investeringen.

Elbussar har å sin sida lägre initiala infrastrukturkostnader än spårvägar för att elbussarnas laddinfrastruktur, inklusive laddstationer och underhåll av dessa, inte är lika omfattande som spårvägsnätet. Utöver det så finns ekonomiska fördelar för elbussarna eftersom de delar vägar med andra fordon och inte kräver fasta spår eller kontaktledning. Detta gör inte bara att kostnaderna för infrastrukturen till stor del kan delas med andra fordon i befintlig infrastruktur, utan även att elbussarna är mer flexibla och kostnadseffektiva att implementera. Vidare leder detta till att elbussarnas förmåga att anpassas efter förändrade behov, resvägar och trafikmönster är betydligt bättre än spårvagnarnas. Det gör elbussarna till ett lämpligt alternativ på mindre trafikerade rutter såväl som de fungerar i områden med högre passagerartäthet i form av stomlinjer. För elbussarna är påverkan av att de körs i områden med låg passagerartäthet, med avseende på den totala kostnadseffektiviteten, att den ekonomiska lönsamheten blir sämre i jämförelse med spårvagnarna. Detta eftersom antalet passagerare bidrar med att slå ut kostnaderna på fler personkilometer, vilket är en viss orättvisa i jämförelsen.

Pålitligheten angående säkerhet och stabilitet är för spårvagnarna hög. Detta har sin grund dels i fordonets infrastruktur i och med de fasta spåren, och dels i fordonets kapacitet. Att spårvagnen går på räls är en säkerhetsaspekt genom att både minska risken för krockar med andra fordon i och med den enskilda infrastrukturen och gör också spårvagnen till ett mer tillförlitligt transportmedel än elbussar under hårda väderförhållanden såsom snö. Det finns starka kopplingar mellan var det finns spårväg, och var människor väljer att bosätta sig. Spårvägsnätet bidrar till en trygghet i och med att resenärerna kan förutsätta att det kommer finnas kollektivtrafikförbindelser där det byggts räls. Detta är en trygghet som inte i samma utsträckning upplevs för busslinjer då dessa mer frekvent byter rutter. Spårvägsnätet påverkar således bosättningsrender och befolkningsutveckling på ett sätt som elbussarna inte gör. Detta kan å ena sidan bidra med tillväxt för staden, men å andra sidan begränsa flexibiliteten och möjligheterna till förändring och anpassning i kollektivtrafiksystemet. Elbussarnas egenskaper är mer lämpade för förändrade behov hos invånarna än

spårvagnarna ur ett flexibilitetsperspektiv ruttmässigt, men inte lika bra gällande stora kapacitetsskillnader då elbussarna är betydligt mer begränsade vid stora reseströmmar.

Både spårvagnar och bussar bidrar till ökad samhällsintegration. Spårvagnar genom att utgöra en pålitlig transportled, och elbussar genom att erbjuda ett brett spektrum av rutter och destinationer. Elbussarna fungerar i många fall som ett komplement till spårvägen och kan användas för att nå områden som inte är direkt anslutna till spårvägen. Spårvagnar har inte samma förutsättningar att tillgodose efterfrågan på resvägar i mindre befolkade områden då detta inte är ekonomiskt lönsamt.

Båda fordonsslagen påverkar invånarna genom deras olika ljudutsläpp under drift. För spårvagnarna är det främsta problemet gnissel, medan det för elbussar är buller. Ljuden kan påverka samhällsinvånarna negativt genom att bland annat störa sömnen hos de som är bosatta längs med kollektivtrafiklinjerna. Elbussarnas buller är mindre än för andra bussar, men kan fortfarande vara märkbart i kuperade områden. Spårvagnsgnissel är överlag mer omfattande än elbussarnas buller med tanke på att det låter mer konstant oberoende av områdets backighet.

De tekniska aspekterna utgörs av bland annat nya tekniska innovationer och effektiviseringar för fordonsslagen. En av de största tekniska skillnaderna mellan spårvagnar och bussar är hur fordonen drivs framåt då spårvagnen får direkt tillförsel av el från ledningarna, medan elbussarnas batterier behöver laddas upp med hjälp av laddstolpar. Spårvagnarna kan alltså köras utan paus, medan elbussarna är beroende av att göra stopp för att tillgodoses med el. Ur ett effektivitetsperspektiv är spårvagnarnas system mer fördelaktigt än elbussens, då varken tid eller kostnader för förare behöver läggas på laddningsstopp. Visserligen går utvecklingen av elbussarnas laddeffektivitet framåt och behovet av laddstationer minskar med anledning av förbättrade batterier. Att implementera batterier i spårvagnar hade kunnat leda till att beroendet av ledningarna hade minskat vilket hade varit positivt vid bland annat ledningsfel och olyckor. Däremot uppstår både ökad klimatpåverkan, men även ökade kostnader för tillverkningen av fordonet vid produktion av batterier, vilket gör att detta i nuläget inte ses som en hållbar lösning.

Ytterligare en teknisk aspekt är fordonens hantering av varierande väderförhållanden som skiljer sig åt där spårvagnar har fördelar såsom högre tillförlitlighet vid kyla och snöoväder. Trots detta finns utmaningar för spårvagnarna i hanteringen av rimfrost på ledningarna som kan störa tillförseln av el till fordonen. Elbussarna är mer känsliga för kyla i och med att det leder till ökad energiåtgång, vilket leder till att de behöver ladda oftare. Därmed uppstår utmaningar med att se till att bussarna inte laddar ut så att avgångar behöver ställas in. För att motverka problemen arbetar man med att öka batteriernas effektivitet och räckvidd genom att konstruera dem till att bli både lättare och starkare. Liknande utmaningar finns även för spårvagnar där man arbetar för att uppnå ökad effektivitet, minskad energiförbrukning och slitage genom att förbättra hjulen.

Livslängden på fordonen spelar inte enbart roll ur ett miljömässigt och ekonomiskt perspektiv då det bidrar till att produktionskostnaderna för både miljön och den ekonomiska investeringen slås ut på fler år, utan även ur en teknisk synvinkel. Till skillnad från de miljömässiga och ekonomiska fördelarna med lång livslängd för fordonet så kan det finnas negativa effekter på teknikutvecklingen vid ökande livslängder. I och med att livslängden styr hur ofta nya modeller når marknaden kommer det även påverka innovationshastigheten där elbussarna som har kortare livslängd kan ha en fördel. I ett samhälle som drivs av innovation kan det vara positivt för elbussarna att de byts ut mer frekvent då det driver på innovationen och blir mer påverkade av konkurrens då fler aktörer delar på marknaden. Detta skulle i längden kunna leda till att utvecklingen av elbussarna går snabbare än för spårvagnarna vilket kan öka deras konkurrenskraftighet relativt spårvagnarna i framtiden.

### 5.3 Felkällor

Vid bedömning av felkällor i studien är det av vikt att säkerställa tillförlitlighet och transparens hos de använda källorna. Detta inkluderar bland annat att undersöka källornas metodologi, avgränsningar, datakvalitet samt potentiella intressekonflikter. De källorna som huvudsakligen har använts till jämförelsen i denna studie anses vara tillförlitliga då det redogörs tydligt för exempelvis metodologi, standarder och ramverk som använts, samt att de är aktuella. De har även jämförts med ytterligare källor för att säkerställa tillförlitligheten. För vidare studier är det dock fördelaktigt att ha ett större antal datakällor för att kunna säkerställa en bredare och mer nyanserad förståelse av det undersökta ämnet.

PEST-analysen är en bidragande del i rapporten i syfte att ge ett bredare perspektiv i jämförelsen mellan de olika transportmedlen. PEST-analys är ett verktyg för att lyfta olika makrofaktorer som kan påverka en verksamhet. Det är nämnvärt att modellen är begränsad och att inte alla olika faktorer som har inverkan på verksamheten omfattas av den. Studien har avgränsats till modellen då dess faktorer anses vara av relevans för ämnet, vilket innebär att de faktorer som inte ingår i modellen har hamnat utanför studien. Detta kan vara faktorer med relevans för resultatet och studien uppmanar till vidare studie av även dessa faktorer.

LCA som verktyg kan påverkas beroende av vem som använder det och de siffror och avgränsningar som skaparen valt att göra. Siffrorna i de två LCA:erna i studien är generella där genomsnitt räknats fram. För infrastrukturen exempelvis, beräknas utsläpp för att bygga en kilometer spårväg, men dessa utsläpp skiljer sig stort beroende på om man exempelvis måste bygga en tunnel, bro eller riva tidigare infrastruktur. Dessa faktorer gör det svårt att använda snittet rakt av från LCA i ett försök att planera ny infrastruktur, och det krävs mer djupgående analys och beräkning för att ta reda på ett verkligt värde vid nybyggnation.

LCA:n om spårvagnar är beställd av Västtrafik. Det finns därför incitament för Västtrafik att i en rapport om utsläpp framställa resultatet som mer gynnsamt. Detta är

en risk i en stor del av den allmänna datainsamlingen som krävs i alla vetenskapliga studier. Jämförande mot andra liknande studier stärker förtroendet för rapporten. Att använda fler LCA:er för bussar och spårvagnar hade givit studien mer data att jämföra mot. Detta hade hjälpt studien att fastställa om några datapunkter vore inkonsekventa, och vilka som är konsekventa genom alla de studerade rapporterna. Detta ger resultatet en större trovärdighet och gör att det blir mer applicerbart för framtida beslutstagare. Eftersom studiens syfte är att jämföra de två fordonsslagen inom Göteborgsområdet blir rapporter med data från andra städer och länder mindre relevant för studien.

Procentuell beläggning kan vara ett felaktigt tillvägagångssätt när antalet resenärer på spårvagnen beräknas. Att basera hela beräkningen för spårvagnen efter bussens beläggning kan påverka spårvagnens utsläpp till något högre då de går på mer resenärstäta linjer. Samtidigt kan det göra de olika fordonsslagen mer jämförbara. Om man antar att spårvagnen har ett betydligt högre antal resenärer så kan jämförelsen mot bussar bli felaktig, särskilt om man vill studera bussars möjlighet att ta över spårvagnens linjer och då ha tillgång till samma reseströmmar. För att undersöka pålitligheten i beräkningarna som gjorts i studien har dem jämförts med Johanssons rapport som har studerat samma LCA:er som denna studie. I och med att resultaten är lika så visar det på en högre trovärdighet av studien.

Rapportens relevans för faktiska beslut om investering påverkas av teknik- och samhällsutvecklingen i stor grad. I och med utvecklingen av förbättrade komponenter till fordonen såsom effektivare batterier, miljövänligare stål och andra nya innovationer tillsammans med utvecklingen av befolkningen och dess transportbehov finns utmaningar för studien. Utvecklingen har stor betydelse för miljöpåverkan för fordonsslagen och kan göra rapporten utdaterad. Detta är värt att ta i beaktning då även tiden från ett investeringsbeslut till verklighet, som inkluderas av planering och nybyggnation av både infrastruktur och fordon påverkar situationen. Vid slutskedet kan alltså informationen som tagits fram vid start inte längre spegla verkligheten. Däremot ses att försöka prognostisera hela industrin också som olämpligt då detta leder till svårigheter att presentera konkreta siffror och träffsäkra analyser. Med bakgrund i det anses det mer relevant att bidra med konkret data för att motivera slutsatserna även om denna data i sig behöver kontrolleras och analyseras.

# 6

## Slutsats

Syftet med rapporten är att presentera ett möjligt beslutsunderlag gällande transportmedlen spårvagnar och elbussar. Frågeställningarna som behandlats är följande:

- Vilket klimatavtryck har elbussar och spårvagnar med befintlig infrastruktur?
- Vad är skillnaden mellan spårvagnar och elbussar utifrån en PEST-analys?
- Är en investering av spårvägsnätet gynnsamt jämfört med elbussar, utifrån en PEST-analys?

Efter undersökning av LCA:er för kollektivtrafikalternativen spårvagn och elbuss i Göteborgsområdet kan slutsatsen dras att spårvagnar har en betydligt lägre klimatpåverkan än elbussar per kilometer med befintlig infrastruktur. En anledning till detta är att spårvagnarna har högre kapacitet och medelantal passagerare än elbussarna. Detta är en följd av fordonens olika struktur, spårvagns- och elbusslinjernas rutter samt resenärernas efterfrågan längs linjernas sträckor. Ytterligare en anledning till att spårvagnarna har lägre klimatpåverkan än elbussar är att spårvagnarnas livslängd är betydligt längre. Vidare har infrastrukturen identifierats som en starkt bidragande faktor till både påverkan av ekonomiska kostnader och klimatavtryck. Om utsläppen från konstruktion och underhåll av infrastrukturen tas med i klimatberäkningarna kommer spårvagnarnas klimatpåverkan öka i jämförelse med elbussarna. Vid beslut om nybyggnation finns därför behov av ytterligare undersökningar kring infrastrukturen och samhällets efterfrågan, som är direkt kopplat till lönsamheten av en investering.

Studien lyfter att politiska beslut har stort inflytande över både spårvagnar och elbussar kring områden såsom miljöpåverkan och finansiering. Orsaken till detta är att de politiska besluten styr utvecklingsmöjligheter och implementering av fordonen i samhället. De politiska besluten är i sin tur påverkade av ekonomiska aspekter. Detta är aspekter såsom fordonens initiala kostnader i form av anskaffning av fordon och infrastruktur, samt kostnadsutvecklingen på lång sikt som till stor del påverkas av kapacitet och energianvändning. I dessa avseenden har fordonsslagen olika förutsättningar. Spårvagnar har fördelar i och med dess höga kapacitet, tillförlitlighet i varierande väderförhållanden samt längre livslängd som gör att dess produktionskostnader slås ut över fler år. Å andra sidan står de inför utmaningar dels då fordonet har begränsad flexibilitet och dels de höga initiala kostnaderna för infrastruktur. Elbussarna har bättre förutsättningar gällande flexibilitet och kostnaderna för implementering av dem är betydligt lägre. Sociala faktorer som bör tas hänsyn till vid investeringsbeslut är sambanden mellan kollektivtrafikförbindelser

och bosättningsmönster där det finns en större koppling för spårvagnar än elbussar. Detta är ett resultat av spårvagnarnas fasta infrastruktur som bidrar med en större trygghetskänsla och förutsägbarhet för resenärerna. Samtidigt finns det fördelar ur ett samhällsperspektiv att implementera elbussar som har en större förmåga att anpassas till förändrade behov och nå ut till mindre befolkade områden längre ifrån stadskärnan.

Sammanfattningsvis är det viktigt att balansera kortsiktiga kostnader med långsiktiga fördelar för att säkerställa hållbarheten för kollektivtrafiksystemet som helhet. Utöver klimatpåverkan där spårvagnar har en fördel jämfört med elbussar med befintlig infrastruktur krävs det alltså ytterligare avvägningar. Spårvagnens höga initiala kostnader balanseras upp av fordonets höga kapacitet och långsiktiga fördelar medan elbussen i kontrast har lägre initiala kostnader men kan vara mindre lönsamma i längden. För att möta den ökande efterfrågan i och med den växande befolkningens mängden finns det behov av ytterligare utveckling och teknisk innovation för både spårvagnar och elbussar. Att livslängden på elbussarna är kortare skulle kunna främja en snabbare innovationshastighet, men det krävs mer forskning för att fastställa detta. Vidare forskning skulle även kunna bidra med en mer omfattande kartläggning av infrastrukturens påverkan på klimatet och ge mer detaljerad insikt för att stärka underlaget för framtida investeringsbeslut.





# Litteraturförteckning

- Alstom. (2024). Över 1000 Alstom-tåg i Sverige och on-board ERTMS-utrustning för 111 regionalståg. Hämtad 11 april 2024, från <https://www.alstom.com/se/alstom-sverige>
- Baumann, H., & Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA*. Studentlitteratur, Lund.
- Berg, J., Allansson, J., Henriksson, M., & Lindkvist, C. (2019). *Hur kan kollektivtrafiken bidra till tillgänglighet och social rättvisa? En studie av mobilitetsstrategier i socialt utsatta områden*. Lund University.
- Carlbom, I., & Paulsson, A. (2018). *Avstånd till kollektivtrafik och dess påverkan på bostadspriser, En ekonometrisk analys av Sundbybergs kommun* (tekn. rapport). KUNGLIGA TEKNISKA HÖGSKOLAN.
- ElectriCity. (2020). Samarbete kring framtidens elektrifierade transporter, Statusrapport 2020. Hämtad 11 april 2024, från [https://www.electricitygoteborg.se/sites/default/files/2022-11/statusrapport\\_2019\\_web\\_200326.pdf](https://www.electricitygoteborg.se/sites/default/files/2022-11/statusrapport_2019_web_200326.pdf)
- Electricity. (2022). *Studie: Elbussar bidrar till bättre hälsa för boende* (tekn. rapport). Göteborgs Universitet.
- Göteborgs Spårvägar. (2016). Tilldelningsbeslut i upphandling av nya spårvagnar klart. *Göteborgs Spårvägar*. Hämtad 15 mars 2024, från <https://web.archive.org/web/20160423195035/http://www.goteborgssparvagar.se/tilldelningsbeslut-i-upphandling-av-nya-sparvagnar-klart/>
- Göteborgs Spårvägar. (2022). Årsberättelse. Hämtad 26 februari 2024, från <https://goteborgssparvagar.se/publikationer/arsberattelse-2022/>
- Göteborgs Spårvägar. (2023). Ågardialog 2023. Hämtad 7 maj 2024, från [https://goteborg.se/wps/PA\\_Pabolagshandlingar/file?id=48098](https://goteborg.se/wps/PA_Pabolagshandlingar/file?id=48098)
- Göteborgs Spårvägar. (2024). Vår historia. <https://goteborgssparvagar.se/var-historia/>.
- Göteborgs Stad. (2024). Göteborgs Stads miljö- och klimatprogram 2021-2030. Hämtad 20 mars 2024, från [https://www4.goteborg.se/prod/Stadsledningskontoret/LIS/Verksamhetshandbok/Forfattn.nsf/6B3CA866EF066429C12586B200449D53/\\$File/C12574360024D6C7WEBVD2H37P.pdf?OpenElement](https://www4.goteborg.se/prod/Stadsledningskontoret/LIS/Verksamhetshandbok/Forfattn.nsf/6B3CA866EF066429C12586B200449D53/$File/C12574360024D6C7WEBVD2H37P.pdf?OpenElement)
- Göteborgs stad. (2018). *Principavtal avseende åtgärder för genomförande av avsiktsförklaringen och Huvudavtalet* (tekn. rapport). Västra Götalandsregionen.

- Göteborgs stad. (2019). *Arbetsordning för Stadstrafiksamverkan i Göteborg, Mölndal och Partille* (tekn. rapport). Västra Götalandsregionen.
- Johansson, H. (2023). Livscykelkostnader och klimatpåverkan för spårväg och bussystem [Opublicerat material]. *Trivector AB*.
- Johansson, H., & Améen, M. (2023). Trafikeringskostnader för buss 2019 och 2045, Forskningsprojekt med stöd från Trafikverket. *Trivector AB*. %7Bhttps://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer\_006301\_006400/Publikation\_006362/Trafikeringskostnader%20f%C3%B6r%20buss%202019%20och%202045%20final.pdf%7D
- Karlsson, A. (2022). *Avståndet till kollektivtrafiken samt befolkningstäthetens påverkan på bostadspriser* (tekn. rapport). KUNGLIGA TEKNISKA HÖGSKOLAN.
- Kolev, A. (2022). FLEXITY™ TRAM Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025. Hämtad 11 april 2024, från <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/02018820-bb95-482f-ce78-08d9df0ea78f/Data>
- LeoLikesTrains. (2022). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M33\\_G%C3%B6teborg.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M33_G%C3%B6teborg.jpg) [bild] under CC-BY-SA-4.0.
- Nordelöf, A., Romare, M., & Tivander, J. (2017). *Miljöpåverkan från elektriska stadsbussar Livscykelanalys av kollektivtrafikbussar drivna med elektricitet, biobränslen och diesel baserat på ElectriCity-linjen* (tekn. rapport). CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA.
- Oxford College of Marketing. (2023). What is a PESTEL analysis? Hämtad 1 april 2024, från <https://blog.oxfordcollegeofmarketing.com/2016/06/30/pestel-analysis/>
- Pietrzak, K. (2022). Tram System as a Challenge for Smart and Sustainable Urban Public Transport: Effects of Applying Bi-Directional Trams. Hämtad 24 april 2024, från <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/15/5685>
- Projektledning. (2022). PEST- & PESTEL-analys: Ta reda på vilka externa faktorer som påverkar. Hämtad 24 april 2024, från <https://projektledning.se/pest-pestel-analys/>
- Sveriges Lantbruksuniversitet. (2022). Vad är livscykelanalys? <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/>
- Trafikkontoret. (2022). *Olika perspektiv på spårfaktorn, Resande, fastighetsvärden och byggande, sociala nyttor*. Göteborgs Stad.
- Washington State University. (2023). Industry Research. <https://libguides.libraries.wsu.edu/c.php?g=294263&p=4358409>
- Volvo Bussar. (u. å). [https://www.electricitygoteborg.se/sites/default/files/2023-02/volvo\\_electric\\_articulated\\_concept\\_bus\\_2\\_1.jpeg](https://www.electricitygoteborg.se/sites/default/files/2023-02/volvo_electric_articulated_concept_bus_2_1.jpeg) [bild].
- Västra Götalandsregionen. (2021). *Trafikförsörjningsprogram 2021 – 2025 Hållbara resor i Västra Götaland* (tekn. rapport). Västra Götalandsregionen.
- Västra Götalandsregionen. (2024). Kollektivtrafik. <https://www.vgregion.se/kollektivtrafik/>

- Västtrafik. (u. å). Reseplanering. Hämtad 7 maj 2024, från <https://www.vasttrafik.se/reseplanering/>
- Västtrafik. (2020). En resa i tiden. Hämtad 26 februari 2024, från <https://www.vasttrafik.se/om-vasttrafik/blogg/nya-och-gamla-biljetter/>
- Västtrafik. (2023). Årsredovisning. Hämtad 26 februari 2024, från <https://www.vasttrafik.se/globalassets/media/dokument/det-har-ar-vasttrafik/arsredovisning-2022.pdf>
- Västtrafik. (2024). Nu elektrifierar vi Västsverige. Hämtad 8 april 2024, från <https://www.vasttrafik.se/om-vasttrafik/hallbara-resor/elektrifiering/>



# A

## Appendix 1: Intervjufrågor

### Allmänna frågor

- Hur ser resandeutvecklingen ut i Göteborg?
- Hur skulle en övergång till mer spårvagnstrafik respektive elbusstrafik påverka Göteborgs invånare och näringslivet?
  - Skulle det kunna öka den övergripande livskvaliteten i staden?

### Klimat-och miljörelaterade frågor

- Vilka är de huvudsakliga källorna till koldioxidutsläpp, växthusgaser, för Göteborgs spårvägar och elbussar?
- Hur skulle en övergång till spårvagns- respektive elbusstrafik påverka luftkvaliteten och bullernivåerna i Göteborg?
- Vilka andra miljömässiga fördelar finns med att satsa på spårvägar eller elbuss jämfört med andra transportsätt?

### Ekonomiska frågor

- Hur skulle investeringar i infrastruktur och teknik för spårvägs- och elbusstrafiken jämföras med andra alternativ för kollektivtrafik när det gäller ekonomisk avkastning?
- Finns det potentiella ekonomiska fördelar med att övergå till spårvagns- eller elbussdrift jämfört med andra transportlösningar på lång sikt?
- Finns det några ekonomiska avvägningar när ni gör materialval, tittar ni på utsläpp per krona?
- Landar det ofta att ni väljer det mest ekonomiska istället för det mest miljövänliga? Hade en ökad budget lett till större prioriteringar inom detta område eller behövs fokuset på andra delar, t ex investering av nya rälsar etc.

### Infrastrukturella frågor

- Vilka utmaningar finns det med att integrera spårvägs- och elbussystemet med befintlig infrastruktur i Göteborg?
- Hur påverkar spårvägarnas och elbussarnas rutter och stationer stadens trafikflöden och stadsutveckling?
- Finns det möjligheter att utöka eller förbättra spårvägssystemet och elbussystemet för att bättre tjäna stadens invånare och besökare?

### Tekniska frågor

- Vilka är de senaste tekniska innovationerna inom spårvagns- och elbussdrift som kan bidra till att minska klimatavtrycket?
- Hur ser framtiden ut för spårvagnarnas och elbussarnas tekniska utveckling?
- Hur påverkar väderförhållanden och andra yttre faktorer spårvägs- och elbusstrafikens pålitlighet och prestanda?

## A. Appendix 1: Intervjufrågor

---

- Finns det potentiella tekniska utmaningar som behöver övervinnas för att göra spårvägs- och elbusstrafiken mer effektiv och miljövänlig?

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION**  
**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige

[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**