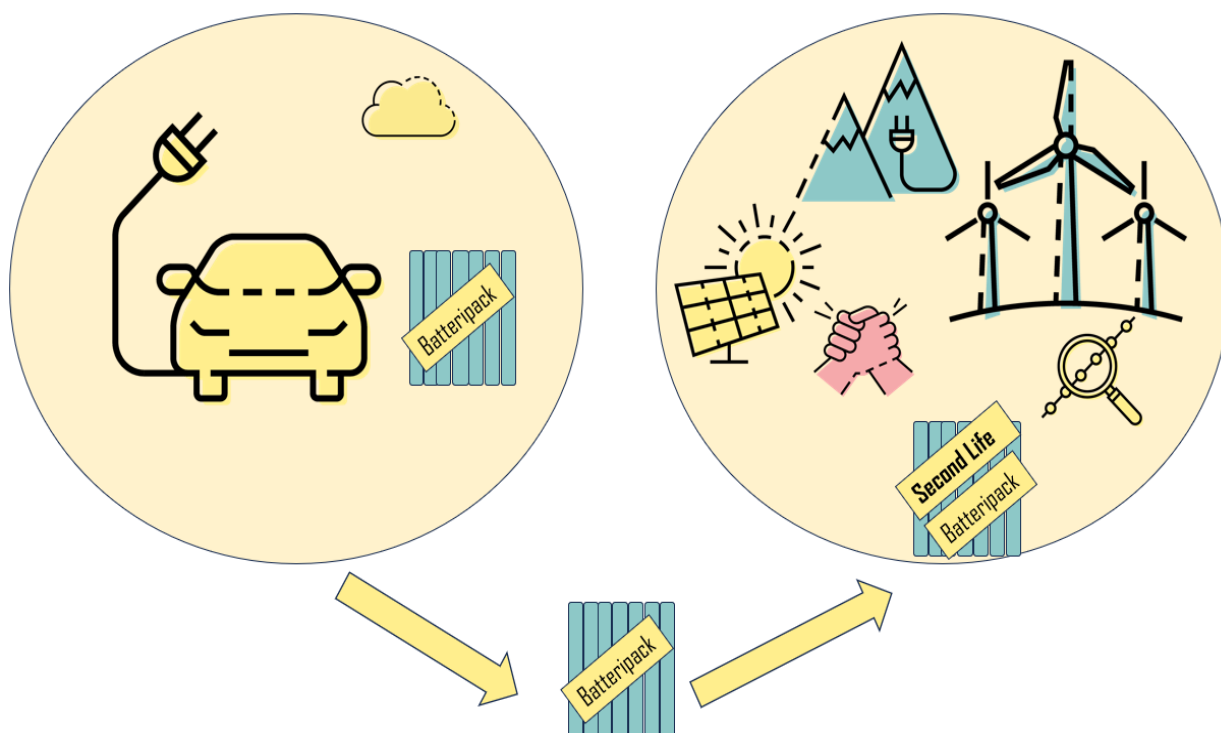


- Slutrapport -

Syntes: Affärssystem för cirkularitet av elbilsbatterier



Terese Besker, RISE Research Institutes of Sweden

Rodi Jolak, RISE Research Institutes of Sweden

Pontus Svenson, RISE Research Institutes of Sweden

Innehåll

1. Förkortningar	4
2. Tabellförteckning	4
3. Figurförteckning	4
4. Förord.....	5
5. Sammanfattning	6
6. Summary	6
7. Introduktion.....	7
7.1 Batterier i fordon	7
7.2 Second-Life	7
8. Problemområdet.....	8
8.1 Tillverkningskapacitet och prisutveckling	9
9. Behovet av fler batterier.....	9
9.8 På vägarna	9
9.9 Luften	9
9.10 På sjön	10
9.11 Energisektorn	10
10. Cirkulära affärsmodeller	11
11. Affärsekosystem – System av system-modellering	11
12. Projektets mål och förväntade effekter	12
13. Metod	13
13.1 Intervjuer	13
13.2 Litteraturundersökning	14
13.2.1 Forskningsfrågor.....	15
13.2.2 Definition av söktermer	15
13.2.3 Definition av målet för söktermen.....	16
13.2.4 Definition av lämpliga datakällor för möjliga publikationer.....	16
13.2.5 Definition av inklusions- och exklusionskriterier	16
13.2.6 Analyser av materialet och kategorisera dess innehåll	16
13.2.7 Skapandet av syntesen	19
14. Svar på forskningsfrågorna	20
14.1 Analys av marknaden och intressenter (RQ1)	20
14.1.1 Sluten marknad.....	20
14.1.2 Mellanhandsbaserad marknad	21

14.1.3	Öppen marknad.....	21
14.2	Samband och processer (RQ2).....	22
14.3	Möjliggörande faktorer och ekosystem (RQ3)	26
14.4	Användningsområden för SLB (RQ4).....	27
14.5	Utmaningar för second life-applikationer (RQ5).....	28
14.5.1	Organisatoriska utmaningar.....	28
14.5.2	Tekniska utmaningar	29
14.5.3	Ekonomiska utmaningar	29
14.5.4	Logistiska utmaningar	30
14.5.5	Brist på kunskap och expertis	30
14.5.6	Säkerhetsutmaningar	30
14.6	Regleringar (RQ6)	30
15.	Modellering.....	32
15.1	Skapa systemdynamisk simuleringsmodell.....	32
15.2	Behovsprognos samt prognosmodell för material och värdeflödesanalys	33
15.2.1	Modelleringsresultat	35
15.3	Holistisk modell över datadelningsbehov	35
15.3.1	Modelleringsresultat	36
16.	Publikationslista.....	37
16.1	YouTube presentation	37
16.2	Vetenskaplig publikation.....	37
16.3	Power Point-presentationsmaterial.....	37
16.4	Intern Workshop på RISE	38
16.5	RISE Hemsida	38
17.	Tack.....	38
18.	Referenser	39

1. Förkortningar

Förkortning	Engelsk beskrivning	Svensk beskrivning
BES	Battery Ecosystem	Batteri-ekosystem
BMS	Battery Management System	Batterihanteringssystem
EU	European Union	Europeiska unionen
EV	Electric Vehicle	Elektriskt fordon - elbil
kWh	kiloWatt hour	Kilowattimme
LIB	Lithium-Ion Battery	Litium-jon-batteri
SLB	Second Life Battery	Ett andra liv för ett uttjänat EV-batteri

2. Tabellförteckning

- Tabell 1: Inklusions- och Exklusionskriterier
 Tabell II: Inkluderade publikationer
 Tabell III: Studiens modeller

3. Figurförteckning

- Figur 1: Forskningsdesign
 Figur 2: Literatursökningsmetoden
 Figur 3: Publikationsurvalsprocess
 Figur 4: Tematiseringsmodell
 Figur 5: Analys av marknadens och intressenternas olika scenarier
 Figur 6: Relation- och processmodellering m.a.p cirkularitet i samband med SLB
 Figur 7: Möjliggörare och ekosystem inom området för återanvända EV-batterier.
 Figur 8: SLB Utmaningar
 Figur 9: En enkel system dynamics-modell som kan användas för att simulera sambanden mellan antalet SLB och graden av återanvändning och återvinning
 Figur 10: Behovsprognos samt prognosmodell för material och värdeflödesanalys
 Figur 11: Holistisk modell över datadelningsbehov
 Figur 12: Projektets presentation på RISE hemsida
 Figur 13: Presentation på YouTube

4. Förord

Detta är en rapport från projektet ”**P2022-01262 - Syntes: Affärsekosystem för Cirkularitet kring Batterier**” inom Statens energimyndighet (Energimyndigheten) utlysning ”Forskning och innovation inom elektromobilitet” våren 2023.

Syftet med projektet är att kartlägga ett Affärsekosystemperspektiv kring cirkularitet kring batterier.

Målsättningen med projektet var att skapa en syntes och projektet levererar bl.a följande:

- Sammanställning av State-of-the-art av aktuellt kunskapsläge
- Identifiering av datadelningsbehov med avseende på cirkulära flöden
- Skapandet av en simuleringsmodell för analys av olika ekosystemlösningar
- Skapandet av prognosmodeller för material- och värdeflöden för Second Life-batterier



Projektet pågick under februari-december 2023 och finansieras genom Energimyndigheten.

Box 310 • 631 04 Eskilstuna

Telefon 016-544 20 00 • Telefax 016-544 20 99

registrator@energimyndigheten.se

www.energimyndigheten.se

Org.nr 202100–5000

Projektet har genomförts av RISE Research Institutes of Sweden AB



Terese Besker, december 2023, Göteborg, Sverige

RISE Research Institutes of Sweden AB

Projektledare och Senior Forskare,

Avdelning Mobility and Systems,

Enhet Systems Engineering

RISE rapport 2023:79

ISBN 978-91-89821-49-1

This work by RISE Research Institutes of Sweden is, except where otherwise noted, licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

5. Sammanfattning

I takt med att fler saker elektrifieras, ökar även behovet av batterier. Då metallerna i batterier är sällsynta, svårutvunna och begränsade, kan vi troligen inte enbart förlita oss på nytillverkning av batterier, tillverkade av nybrutna metaller, utan vi måste även kunna cirkulera och återanvända uttrangerade batterier.

Transportsystemet genomgår för närvarande en omställning till att bli fossilfritt och därigenom mer hållbart. Elektrifiering av fordon är en viktig del av denna omställning. Dessa eldrivna fordon (eng. *electric vehicle*, EV) innehåller batterier, vars kapacitet försämras över tid. Batterier vars prestanda inte längre uppfyller kraven för användning i fordon kan dock fortfarande få en lång återstående livslängd genom att exempelvis återbrukas inom andra domäner som har lägre kapacitetskrav.

I närtid står vi inför ett läge där vi kommer att få fler och fler uttjänta batterier från elbilsflottan. Detta forskningsprojekt fokuserar på just dessa uttjänta EV-batterier och på vilket sätt de kan cirkuleras på en andrahandsmarknad, i form av s.k. Second Life-batterier (SLB).

Denna cirkulation innebär dock både tekniska och affärsmässiga utmaningar. Hur kan vi säkerställa att tillräckliga batterihälsodata samlas in och används för att ge en rättvisande bild av värdet på ett EV-batteri som tas bort från ett fordon? Vilka affärsmodeller behövs? I den här studien presenterar vi hållbara cirkulära modeller för återanvända batterier genom att analysera marknadsscenarioer, studera processerna och relationerna mellan intressenter samt granska möjliggörare och ekosystem. Vi diskuterar även möjligheter, utmaningar och regleringar för att ge en omfattande förståelse av cirkulära modeller för återanvända elfordonsbatterier.

6. Summary

As more things become electrified, the need for batteries increases. As the metals in batteries are rare, difficult to extract and limited, we cannot rely solely on producing new batteries made from virgin metals but must also be able to circulate and reuse end-of-life batteries.

The transport system is currently transitioning to become fossil-free and thus more sustainable. The electrification of vehicles is an important part of this transition. These electric vehicles (EVs) contain batteries, whose capacity degrades over time. However, batteries whose status no longer meets the requirements for use in vehicles can still have a long lifespan by, for example, being reused in other domains with lower capacity requirements.

In the near future, we are facing a situation where we will get more and more end-of-life batteries from the EV fleet. This research project focuses on these end-of-life EV batteries and how they can be circulated on a secondary market as Second Life Batteries (SLB).

However, this circulation poses both technical and business-related challenges. How can we ensure that adequate battery health data is collected and used to accurately assess the value of an EV battery removed from a vehicle? What business models are needed? In this study, we present sustainable models for circularity in the context of reused batteries by analyzing the market scene. We also discuss possibilities, challenges, and regulations in order to give a comprehensive understanding of circular models for second life EV batteries.

7. Introduktion

I vårt moderna samhälle finns batterier överallt, och det är svårt att tänka sig en värld utan dem. Batterierna gör inte bara våra liv enklare i många avseende, utan även ofta säkrare. Batterier är idag så vanligt förekommande att vi sällan tänker på att vi har dem. Vi har dem i dammsugaren, i högtalaren, i mobiltelefonen, i väckarklockan, och som en av de främsta energikällorna i många av våra moderna fordon. Det är uppenbart att just batterierna möjliggjort mycket av dagens innovationer, tekniska framsteg och kommunikationsmedel. Vi lever i mångt och mycket i en trådlös tidsålder där batterierna får en större och större betydelse, och där mycket pekar på att batteriets storhetstid just börjat.

7.1 Batterier i fordon

Ett stort område där batterierna får allt större betydelse är inom fordonsindustrin, där allt fler bilmodeller frångår den klassiska förbränningsmotorn till fördel för att energiförsörjas av batterier. Ett exempel på detta Volvos beslut att senast år 2030 sluta tillverka fordon som uteslutande drivs av förbränningsmotorer för att istället helt eller delvis övergå till litiumjonbatterier (LIB) [1]. Tyvärr försämras prestanda i EV-batterier över tid och inom fordonsindustrin bedöms normalt ett LIB inte längre vara lämpligt efter det att dess kapacitet sjunkit under 80 % av dess ursprungliga, nominella kapacitet [2]. En definitiv tidpunkt för pensionering i fordon anses vara vid 60 % av nominell nivå [3].

Detta betyder samtidigt att ett stort antal batterier från elbilar kommer att behöva pensioneras [4]. Till exempel förväntas 250 000 ton EV litiumjonbatterier (LIB) redan år 2025 nå slutet av livscykeln (eng. end-of-life, EOL) för användning inom fordonsindustrin [5].

Eftersom batteriet i ett elfordon ofta står för 40 % av den totala kostnaden behövs en blandning av återanvändning och återvinning för att förlänga livslängden på dagens batterier [6]. Forskning visar att, även enligt de mest optimistiska uppskattningarna, 3,4 miljoner kg uttjänta bilbattericeller kommer att hamna i avfallsströmmen redan år 2040 [7]. Det betyder i sin tur att ett stort antal pensionerade batterier kommer att behöva tas om hand i framtiden.

Sammantaget framträder bilden av att om tiotals miljoner elbilar ska kunna tillverkas årligen så måste de materiella resurserna i dessa LIB man tas tillvara för att säkerställa hållbarheten i framtidens bilindustri. Vi kommer således att behöva fokusera på material- och energimässig hållbar utveckling och energieffektivt i form av en strategi baserad på ett s.k. 3R-system (eng. reduce, re-use, recycle –minska, återanvända och återvinna) [8].

7.2 Second-Life

Genom att ge pensionerade, det vill säga för fordonsindustrin uttjänta batterier en möjlighet till att återanvändas i form av så kallat "Second-Life" inom andra områden skulle man inte bara stödja ekonomin, utan även reducera det totala behovet av nyproducerade batterier. Det skulle i sin tur resultera i ett betydligt minskat behov av kemiska råmaterial (sällsynta jordartsmetaller) samt ha en betydande positiv påverkan på hela transportsektorns energiförsörjning [9]. Användandet av second-life batterier har alltså flera positiva effekter

såsom sänkta tillverkningskostnader och minskad hantering och återvinning av batteriavfall från fordonsindustrin [10].

Baserat på energipotentialen i dessa Second-Life batterier finns det idag ett stort intresse för att skapa nya affärsmöjligheter. Enligt Bloomberg New Energy Finance kan kapaciteten från begagnade EV-batterier överstiga 185 GWh år 2025, baserat på data som visar att cirka tre fjärdedelar av alla EV-batterier återanvänds. Enligt en annan rapport [11], så har batterier som återbrukas (SLB) potential att lagra mer än 200 GWh år 2030, vilket innebär ett värde på mer än \$ 30 miljarder globalt.

Sammantaget ser vi att det finns betydande potential för användandet av Second-Life batterier, då dessa batterier har stora både ekonomiska och miljömässiga fördelar, och där batterierna kan få ett restvärde genom att återanvändas snarare än att återvinnas direkt eller i värsta fall kasseras.

8. Problemområdet

I takt med att fler och fler saker elektrifieras, ökar behovet av batterier, och därmed behovet av metaller. Då metaller i många fall är sällsynta, dyra, svårutvunna och bristfälliga, kan vi inte enbart förlita oss på användandet av nybrutna metaller utan behovet av att återanvända förbrukade batterier ökar.

Det är relativt komplext att förutsäga förbrukningen och livslängden för LIB, då dess livstid och hälsotillstånd (eng. state of health, SoH) beror på flera olika saker såsom exempelvis dess historiska belastningsnivåer, ålder, laddnings- och urladdningshastigheter samt driftstemperatur [12].

Tyvärr förlorar batterier gradvis sin prestanda över tid på grund av interna kemiska processer, såsom förlust av litium och uppbyggnad av skikt av nedbrytningsmaterial. Andra faktorer är nedbrytning av de aktiva materialen och försämrade ledningsförmåga [13]. Åldringmekanismen för litiumbatterier består exempelvis i förlust av aktiva litiumjoner och aktivt material samt ökning av den inre resistansen [14]. Till detta kommer även påverkande faktorer såsom kvaliteten på batteriet i form av kemi och tillverkning [15]. Sett utifrån ett tekniskt perspektiv kan man förenklat beskriva att åldrandet beror på en ökning av den inre resistansen tillsammans med självurladdningshastigheten vilket resulterar i en minskning av kapaciteten [16].

Ett batteris livstid beror dels på hur det historiskt har laddats. En bil som enbart snabbbladdas förlorar 17 procentenheter mer i kapacitet än om den laddas långsamt, skriver Ny Teknik [17]. Efter 20 000 mil kan en bil som aldrig snabbbladdats ha kvar 90 procent av batterikapaciteten. I andra änden återfinns de bilar som endast snabbbladdas – där bara 73 procent av batterikapaciteten återstod. Tappet började ungefär vid de bilar som snabbbladdats var tredje gång. Data bekräftar att en snabbbladdningsandel på 25–30 procent inte har en avgörande betydelse för batterihälsan över tid.

Dock bör nämnas att de flesta biltillverkare i dag har en batterigaranti på 8 år eller 16 000 mil, och då ska batteriet ha kvar över 70 procent i kapacitet [18].

8.1 Tillverkningskapacitet och prisutveckling

Batteritillverkningskapaciteten ökar stadigt för att möta efterfrågan från elbilsmarknaden. För närvarande har vi 2,2 TWh per år i drifttagen kapacitet för tillverkning av LIB globalt. Det är dubbelt så mycket som för bara två år sedan, och nästan fyra gånger så mycket som år 2020. Om alla planerade och pågående projekt skulle levereras fram till år 2025, skulle den totala kapaciteten därmed kunna tredubblas till 7,4 TWh/år [19].

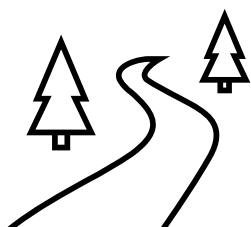
Vidare, minskade priserna på LIB med 14% jämfört med föregående år 2023, till 139 USD/kWh på en volymviktad genomsnittlig basis. Fallande råvarupriser och komponentpriser, större tillverkningskapacitet samt lägre efterfrågan än förväntat vände trenden från förra året är de främsta anledningarna till prisreduktionen [19].

Sammantaget ser vi att priserna på LIB minskade med 14% jämfört med föregående år 2023, till 139 USD/kWh på basis av ett volymvägt genomsnitt [19].

9. Behovet av fler batterier

Det finns flera områden där batteridriften kontinuerligt ökar baserat på en förhoppning om att batterierna ska bli billigare att tillverka och kunna lagra mer energi. I nedanstående avsnitt beskrivs flera av de områden där vi idag ser en ökad efterfrågan på batterier.

9.8 På vägarna

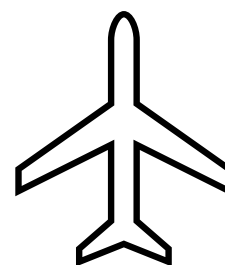


Allt fler av de nya personbilar som säljs idag är antingen renodlade elbilar eller laddhybrider. Baserad på Mobility Swedens hemsida oktober 2023 [20] är prognosen för antalet nyregistreringar av personbilar för 2023 280 000. Prognosen för andelen laddbara bilar är 60 procent, varav elbilarna utgör 35 procentenheter och laddhybriderna 25 procentenheter.

Även lastbilsflottan påverkas av elektrifieringen, även om kraven på batterierna där är betydligt högre än i en personbil. Prognosen för antalet nyregistreringar av lätta lastbilar för 2023 är 45 000, med en andel eldrivna lätta lastbilar på 20 procent [20].

9.9 Luften

Idag står flyget för drygt två procent av koldioxidutsläppen i hela världen [21]. Den framtida flygplansindustrin spås bli helt eller delvis baserad på nya energibärare där batterier får en central roll, i form av exempelvis så kallade hybridflygplan. Ett exempel på detta är Norge, som har som mål att alla inrikesflyg ska vara batteridrivna år 2040. Initialt är det kortare flygresor som kommer att bli batteridrivna, då det är här miljövinsterna är som störst, eftersom dessa resor orsakar en stor del av flygets utsläpp i dag [22].

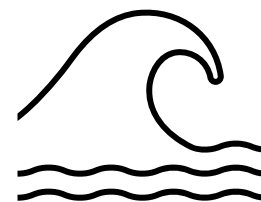


Idag står flygningar under 500 km för 40 procent av flygets utsläpp av koldioxid i Sverige. Dessa flygningar skulle kunna ersättas med batteridrivna flygplan, som har lägre driftskostnader, mindre buller och ingen direkt utsläpp av växthusgaser [23]. Det finns alltså en stor potential för att minska flygets klimatpåverkan genom att satsa på batteridrift för kortare flygresor.

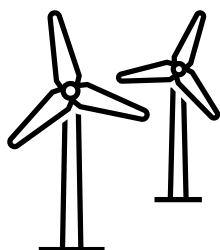
Ett europeiskt framtidsscenario är att flera små, eldrivna plan ska flyga direkt mellan städerna i stället för att som i dag låta passagerarna ta omvägar via stora flygplatser placerade vid stora städer. Då elektriska flygplan bullrar mindre och behöver kortare startbanor jämfört med dagens fossildrivna, spås framtidens flygtrafik utgå från ett nät av betydligt fler och betydligt mindre flygplatser. Målet med en sådan infrastruktur är främst kortare restider med mindre miljöpåverkan [22].

9.10 På sjön

Även inom den marina sektorn blir batteridrivna fartyg allt vanligare. I dagsläget handlar det ofta om mindre pendlingsbåtar för persontrafik eller bilfärjor med hybridteknik där batterierna backas upp och laddas av förbränningsmotorer. Som exempel på användningen av batteridrivna fartygstrafik kan nämnas fartyg på på Zhujiang-floden i Kina, där ett av världens största batteridrivna lastfartyg är i drift. Fartyget är hela 70 m långt och kan ta sig 80 km på två timmars laddning [22].



9.11 Energisektorn



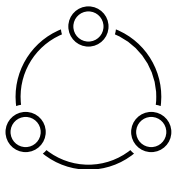
Som ett resultat av de globala klimatförändringarna strävar vi nu efter att reducera användningen av fossila bränslen i möjligaste mån, och detta har resulterat i en ökad efterfrågan på energi från förnybara energikällor i form av exempelvis energi från sol eller vindkraft [2]. Effekten från dessa förnybara energikällor fluktuerar dock över tid på grund av en väderbunden tidsvarierande produktion. Denna effektvarians är oftast svår att direkt hantera i våra kraftnät idag, då den påverkar nätets prestanda, spänningsstabilitet och tillförlitlighet. Detta kan effektivt mildras om genererad energi från en förnybar källa först deponeras i en batteri [24] och därefter konverteras för att uppnå önskad nätspänning, frekvens och tillåten distorsion (avvikelse från perfekt sinusvåg). Detta betyder att energilagringssystem (ESS) med god verkningsgrad kommer att vara mycket efterfrågade under de kommande åren eftersom allt fler förnybara energisystem tas i bruk i våra elnät.

I Sverige har vi historiskt sett använt oss av vattenmagasin i våra utbyggda älvar, som en möjlighet att lagra energi för framtida användning. I flera andra delar i världen har man dock inte den möjligheten och även Sveriges framtida energiförsörjning väntas i större utsträckning komma från sol- och vindkraft.

Här kan man använda batterier som en lagringsmöjlighet. Som ett exempel kan nämnas vindkraftsparken Hornsdale i södra Australien, som på bara ett år blivit såväl en teknisk som

en ekonomisk succé. Deras lösning baseras på energilagring som i praktiken utgörs av ett gigantiskt litiumbatteri levererat av Tesla [22].

10. Cirkulära affärsmodeller



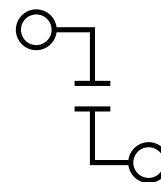
Historiskt sett har företag och verksamheter haft affärsmodeller som utgjort ett linjärt, icke slutet flöde av resurser, dvs. en linjär affärsmodell. En linjär affärsmodell brukar vanligtvis omfatta en utformning av försörjningskedjan med syfte att förädla råvaror till produkter, som sedan säljs till en kund.

När produkterna har nått sin slutanvändning har de skrotats eller lämnats till återvinning av kunden [25]. Införandet av en cirkulär affärsmodell innebär bland annat att den traditionella linjära försörjningskedjan radikalt förändras och ofta även inkluderar tillvaratagandet av redan använda varor, och därigenom möjliggör skapandet och uppfångandet av ytterligare värden.

Som ett led i att förbättra resurseffektiviteten och därmed möjliggöra betydande reduktion av miljöpåverkan samt kostnadsbesparingar är införandet av cirkularitet inom batterisektorn av särskilt intresse. Dagens klimatsituation har gjort det särskilt intressant och angeläget att påskynda utvecklingen mot en cirkulär ekonomi och ökad hållbarhet. Vi ser således ett tydligt behov av att skapa strategier för att utnyttja möjligheterna hos en cirkulär ekonomi fullt ut och bli mer konkurrenskraftiga. Cirkulär ekonomi omfattar aktiviteter med fokus på exempelvis långvariga livscykler, återanvändning och återvinning. Dessa aktiviteter har som primärt syfte att minska resursanvändningen och sänka produktionskostnaderna.

11. Affärsekosystem – System av system-modellering

För att realisera och organisera cirkularitet inom ett område krävs det dels ett samarbete mellan olika aktörer med olika funktioner och roller, dels att dessa aktörer effektivt kan dela data och information med varandra. Dessa aktörer bildar tillsammans ett så kallat affärsekosystem (eng. Business Ecosystem) och kan bestå av exempelvis leverantörer, distributörer, kunder och konkurrenter samt myndigheter.



De olika aktörerna i ekosystemet påverkar och påverkas av varandra, vilket skapar en kontinuerlig, dynamisk och utvecklande relation där varje aktör måste vara flexibel och anpassningsbar för att överleva, på liknande sätt som i ett biologiskt ekosystem.

Ett affärsekosystem som skapar cirkularitet kräver således att de involverade aktörerna har en hög nivå av samarbete, samtycke och välbalanserade samt realistiska förväntningar.

Ett gynnsamt klimat för ett ekosystem kan beskrivas i termer av att de olika aktörerna har utvecklat beteendemönster och affärsrelationer som effektiviserar flödet av innovationer, talang och kapital inom hela ekosystemet. Ett ekosystem som inkluderar samarbete, kunskapsutbyten och resurser, tydliga regler och incitament för deltagarna, samt ansvar och

skyldigheter som uppfattas som rättvist fördelade, skapar ett dynamiskt och produktivt klimat i ekosystemet.

Ett affärsekosystem kan modelleras och förstås som ett system av system. Ett system av system (SoS) är en uppsättning oberoende system som samverkar för att uppnå någon gemensam fördel. Det är viktigt att poängtera att även om aktörerna inom ett SoS samarbetar så kan de också vara konkurrenter [26]. Inom detta övergripande system av system är det viktigt att skapa en sammanhängande och samordnad struktur för att säkerställa att alla aktörer kan samarbeta effektivt och dra nytta av cirkulär ekonomi och hållbarhet.

Sammanfattningsvis är skapandet av ett affärsekosystem som främjar cirkularitet beroende av samarbete, effektiv delning av resurser och en balanserad och realistisk förväntningsnivå bland aktörerna. Detta ekosystem, likt ett biologiskt ekosystem, kräver omsorgsfullt balanserade av relationer och gemensamma mål för att trivas och utvecklas över tid.

12. Projektets mål och förväntade effekter

Syftet med projektet är att kartlägga och illustrera ett så kallat ”affärsekosystemperspektiv” på cirkularitet för elbilsbatterier. Fokus i syntesen kommer primärt adressera aktiviteter kring material- och värdeflöden, tjänster, aktörer samt affärsmodeller, när vi cirkulerar uttjänta EV-batterier och återanvänder dem i form av Second-Life batterier inom andra områden och i andra domäner.

Projektet har som syfte att bidra till kunskapsuppbyggnad samt fylla befintliga kunskapsluckor och sprida resultatet till flera olika målgrupper. Vidare ser vi att resultatet även kommer bidra till att identifiera potentiella nya arbetssätt och nya affärsmodeller kring varor och tjänster eller andra former av cirkulära processer.

Projektet syftar även till att öka kunskap och förståelse för utmaningar och möjligheter kring systemövergripande analys av de cirkulära flödena runt batterier och hur olika aktörer interagerar med varandra. Analysen är baserad på affärsekosystem och syftar till att kartlägga relationen mellan olika aktörer och flöden (värde, material, etc.) och systemeffekter. Kartläggningen inkluderar både hur ekosystemen kan karakteriseras och hur behoven ser ut för att kunna göra en systemövergripande analys.

Syntesdelen kommer dels sammanfatta best practice som redan är etablerad idag, dels identifiera vilka luckor som finns för att etablera affärsekosystem runt uttjänta EV-batterier. Detta utgör grunden i en modell för hur man kan etablera ekosystem och vilka frågor som behöver beforskas ytterligare.

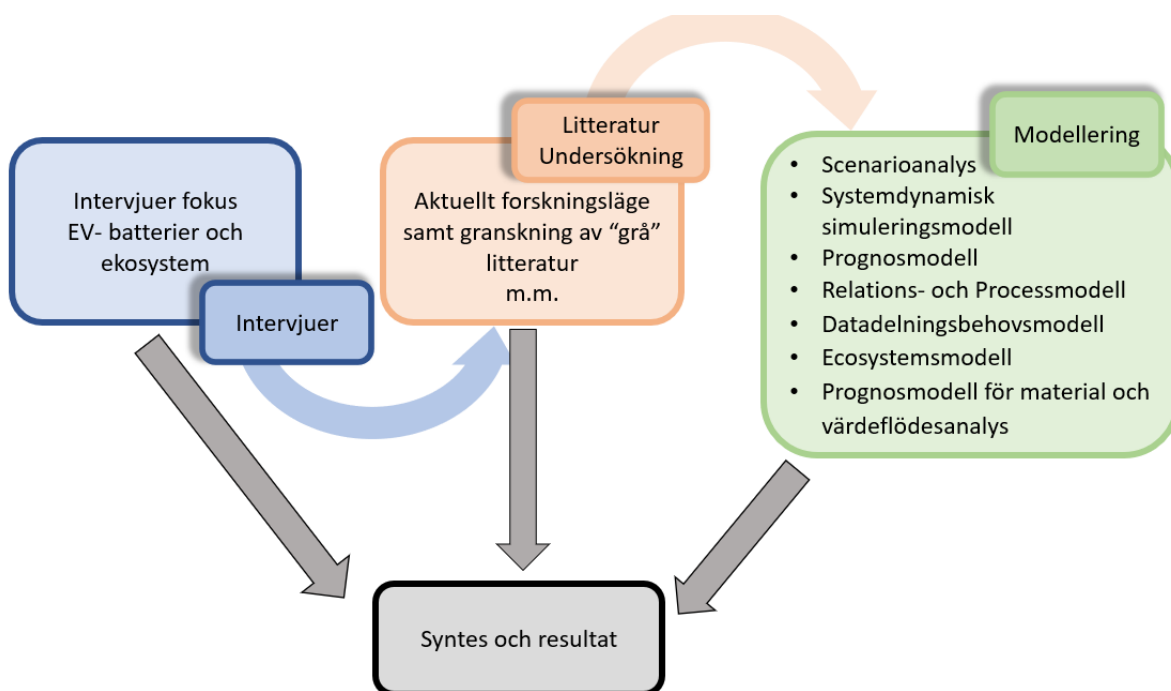
Genom att bidra med en holistisk kartläggning av cirkularitet kring batterier, och dess material- och värdeflöden, ser vi att resultatet kan ligga till grund för nya innovationer och skapandet av nya affärsmöjligheter. Projektet strävar efter att identifiera olika systemlösningar som i sin tur direkt kan komma till nytta för dagens – och morgondagens – näringsliv och samhälle.

13. Metod

Då målsättningen med detta forskningsprojekt är att skapa en syntes över det aktuella forskningsområdet, är den vetenskapliga kvaliteten och genomförandet, med avseende på den valda forskningsmetoden, avgörande för studiens validitet, spårbarhet och reproducerbarhet.

Vi har valt att basera vår metod för skapandet av syntesen på en kombination av en systematisk litteraturstudie, med ett komplement av intervjuer med aktuella aktörer inom affärsområdet kring cirkularitet för batterier.

Genom att följa ett systematiskt tillvägagångssätt, baserat på guider och riktlinjer från bland annat Kitchenham et al. [27], kan vi säkerställa att forskningsprojektet blir av hög kvalitet och att dess resultat är reproducerbara, pålitliga och användbara för framtida studier inom området.



Figur 1: Forskningsdesign

Figur 1 illustrerar att SYNTES projektet genomfördes i tre sekventiella huvudsteg, där projektets forskningsmetod bygger på en kvalitativ forskningsansats genom initiala intervjuer med expertis från EV-batteridomänen (steg 1), tillsammans med en kombination av data från aktuell forskning (steg 2) samt modellering baserad på output från de två första stegen (steg 3). I följande underavsnitt beskrivs var och en av dessa aktiviteter mer detaljerat.

13.1 Intervjuer

Initialt genomfördes inledande intervjuer med batteriexperter på RISE, som ett led i att definiera syntesens söktermer. Inom RISE finns en stor kompetens inom tillverkning och hantering av batterier och kringliggande affärs ekosystemdomän. Syftet med att inkludera experter är för att få förstahands-information om vad de ser som viktiga frågeställningar, vilket vi senare kan använda som bakgrundsinformation när vi analyserar litteraturen.

Totalt genomfördes två intervjuer under mars 2023 med seniora forskare på RISE, båda med expertkunskaper inom batteridomänen. Intervjuerna genomfördes online via Teams. Intervjuerna inleddes alltid med att deltagaren presenterade sig själva och hur de relaterade till det aktuella ämnet. Intervjuerna spelades även in och transkriberades, delvis för att underlätta senare analyser. Varje intervju varade mellan 30 och 60 minuter.

I studien användes semistrukturerad intervjuteknik, där frågorna var planerade men inte nödvändigtvis ställdes i en viss ordning. Intervjufrågorna utformades för att täcka olika områden, till exempel:

- Hur skulle du beskriva dagens batteri-ekosystem (eng. battery ecosystem, BES) för en andra livscykel inom EV-området?
- Hur anser du att ett ”optimalt” BES för EV-batterier bör utformas?
- Vilka olika aktörer anser du är nödvändiga inom ett sådant BES?
- När ett sådant BES initieras, vad anser du är de svåraste/utmanande delarna att lösa?
- När det gäller integrationen mellan de olika aktörerna, i form av ex. datadelning mm; Vad behöver beaktas? (exempelvis rättsligt avtal och/eller formell styrning)
- Vilket användningsområde tror du kommer att gynnas mest av att man kommer att kunna återanvända EV-batterier (och varför)?

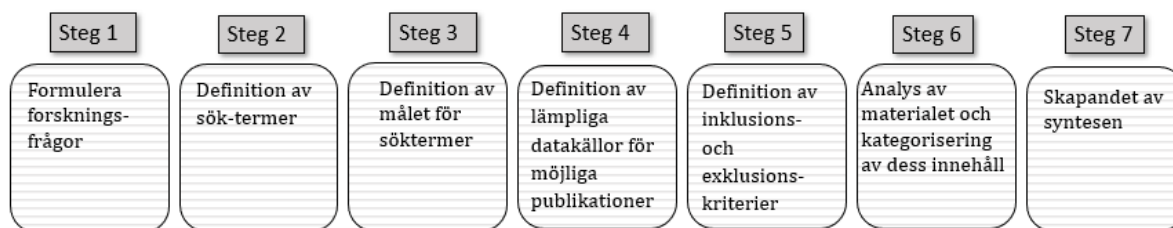
13.2 Litteraturundersökning

Som ett andra steg i projektet genomfördes en semistrukturerad undersökning av den senaste litteraturen, där sökkriterier baserades på outputen från studiens första steg. Därefter studerades och kategoriserades den inhämtade informationen av forskargruppen och användes som underlag för att besvara projektets forskningsfrågor.

Vi har valt att basera vår metod på en så kallad litteraturstudie (eng. literature review, LR). Detta är en vanligt förekommande metod för att skapa synteser inom ett område där metoden tydligt följer en strikt och väldefinierad sök- och urvalsmetod samt där analysmetoden är väl beskriven och dokumenterad.

Målet med att genomföra en LR är att sammanställa befintligt arbete och identifiera luckor i den nuvarande forskningen för att föreslå områden för ytterligare forskning [28]. LR-processen genomförs enligt en fördefinierad sökstrategi, vilket gör det möjligt att spåra och replikera sökningen. Den stora fördelen med att använda denna metod är att resultatet bygger på beständiga och observerbara data i form av publicerade texter och att källor till variation kan studeras vidare [29].

Som Figur 2 illustrerar, är framtagandet av syntesen, baserat på LR-metoden och inkluderar sju huvudsteg.



Figur 2: Literatursökningsmetoden

Området för syntesen inkluderar olika systemaktörer, tekniska tillämpningar samt angränsande system som ekonomiska, politiska, sociala och historiska. Vår strävan är att inkludera publikationer och material från olika källor, som vetenskapliga tidskrifter, konferensbidrag och facklitteratur. Metoden möjliggör även att vi kan analysera de identifierade publikationernas referenslista (ofta kallad snöbollprocess), för att på det sättet även identifiera ytterligare publikationer som eventuellt tidigare inte fångats av den initiala sökningen.

13.2.1 Forskningsfrågor

Initialt formulerades sex specifika forskningsfrågor, vilka besvarades inom ramen för syntesen. Dessa forskningsfrågor (Research Question, RQ) fokuserar på den aktuella kunskapen om intressenter, affärsmöjligheter, tillämpningar, utmaningar och regleringar för cirkulär återanvändning av uttjänta elbilsbatterier. Forskningsfrågorna baserades på input från bland annat de tidigare genomförda intervjuerna (se avsnitt 13.1) och formulerades enligt nedan:

RQ1: Vilka marknadsscenarioer kan komma att använda Second Life-batterier?

RQ1.1: Vilka intressenter är involverade?

RQ1.2: Vilka är utmaningarna och möjligheterna?

RQ2: Vilka är relationerna och processerna i en batterilivscykel?

RQ3: Vilka är de faktorer som möjliggör och påverkar ett cirkulärt ekosystem för återanvända Second Life-batterier?

RQ4: Vilka är de potentiella användningsområdena för Second Life-batterier?

RQ5: Vilka är utmaningarna för tillämpningen av Second Life-batterier?

RQ6: Vilka regler har tagits fram för hanteringen av Second Life-batterier?

13.2.2 Definition av söktermer

Ett viktigt steg när man genomför en litteratursökning är formuleringen av så kallade söktermer.

Eftersom söktermer är nyckelorden som används för att hitta relevant information är det viktigt att de är välformulerade och noggrant utvalda. Genom att använda söktermer kan man begränsa sökresultaten för att få fram de ämnesområden man söker efter. För att genomföra sökningen i SYNTES projektet användes följande sökkriterier:

“Electric Vehicle*” AND ((li-ion OR lithium-ion) AND battery) AND (“Second Life” OR “Second Use”) AND (circular* OR reuse OR “Useful Life” OR strateg* OR business* OR ecosystem*)

Sökorden kombinerades med hjälp av de booleska operatorerna AND/OR, vilket innebär att publikationerna måste antingen innehålla båda termerna (AND) eller enbart en av dem (OR).

Genom att använda AND/OR-operatorerna ökar sannolikheten för att fler publikationer nås jämfört med att använda termerna som en sammanslagen sekvens av de olika termerna.

13.2.3 Definition av målet för söktermen

Den 16 april 2023 genomförde vi sökningen med hjälp av den definierade söksträngen ovan. Sökningen genomfördes i olika databaser baserat på publikationens titlar, sammanfattningar och nyckelord.

13.2.4 Definition av lämpliga datakällor för möjliga publikationer

Vi använde databasen Scopus för att söka efter relevant litteratur. Scopus är utvecklad av Elsevier och innehåller en bred samling av vetenskapliga tidskrifter, konferensartiklar och patent, och omfattar mer än 77 miljoner poster, vilket gör den till en av de största databaserna för vetenskapliga publikationer [13].

13.2.5 Definition av inklusions- och exklusionskriterier

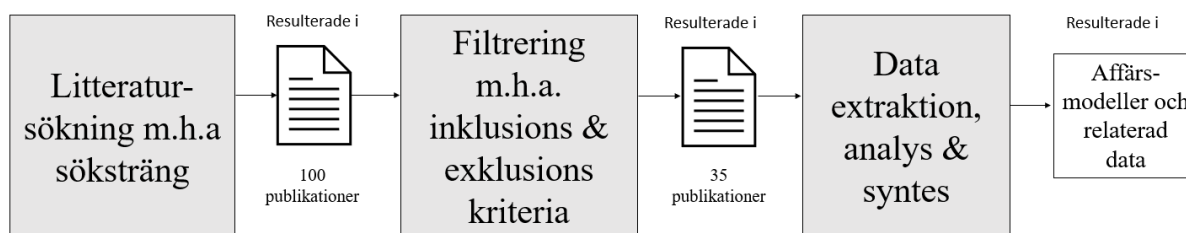
LR metodiken kräver uttryckliga inklusions- och exklusionskriterier för att bedöma hur väl innehållet i varje möjlig publikation överensstämmer med respekt till de formulerade forskningsfrågorna. Kriterierna tillämpas efter att de fullständiga texterna har hämtats. De inklusions- och exklusionskriterier som har använts i denna syntesstudie listas i nedanstående tabell I:

Tabell I: Inklusions- och Exklusionskriterier

Inklusionskriterier	<ul style="list-style-type: none"> • Studier som beskriver strategier eller affärsmodeller för att dra nytta av SLB. • Studier som beskriver möjligheter eller utmaningar för att dra nytta av SLB. • Studier som beskriver affärs ekosystem för SLB.
Exklusionskriterier	<ul style="list-style-type: none"> • Studier som inte är skrivna på engelska eller svenska. • Studier där det fullständiga dokumentet inte är möjligt att erhålla • Studier som beskriver strategier och tillvägagångssätt för ”återvinning” (till skillnad från ”återanvändning”) av EV-batterier.

13.2.6 Analyser av materialet och kategorisera dess innehåll

Som ett resultat av ovan beskriva filtreringssteg, fick vi först en uppsättning på exakt 100 publikationer. Därefter fastställdes inklusions- och exklusionskriterier för att inkludera/exkludera studier som var relevanta för SYNTES projektets forskningsfrågor. Efter att ha tillämpat inklusions- och exklusionskriterierna i studiens urvalsprocess, fick vi slutligen 35 relevanta publikationer (se tabell II).



Figur 3: Publikationsurvalsprocess

Tabell II – Inkluderade publikationer

ID	Typ	År	Titel	Författare
1	J*	2022	A review on second-life of Li-ion batteries: prospects, challenges, and issues	Shahjalal, Roy, Shams, Fly, Chowdhury, Ahmed and Liu [6]
2	J*	2016	Assessing Electric Vehicles Battery Second Life Remanufacture and Management	Casals and Garcia [30]
3	J*	2020	Beyond the EVent horizon: Battery waste, recycling, and sustainability in the United Kingdom electric vehicle transition	Skeete, Wells, Dong, Heidrich and Harper [31]
4	J*	2022	Challenges of second-life concepts for retired electric vehicle batteries	Börner, Friege, Späth, Spütz, Heimes, Sauer and Li [32]
5	J*	2021	Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU	Albertsen, Richter, Peck, Dalhammar and Plepys [33]
6	J*	2021	Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers	Wrålsen, Prieto-Sandoval, Mejia-Villa, O'Born, Hellström and Faessler [34]
7	J*	2021	Circular waste management of electric vehicle batteries: Legal and technical perspectives from the EU and the UK post Brexit	Malinauskaitė, Anguilano and Rivera [35]
8	K*	2022	Designing a Sustainable Circulation System of Second-life Traction Batteries: A Scenario-based Simulation Approach	Tao, Kishita, Scheller, Blömeke and Umeda [36]
9	J*	2017	Eco-Efficiency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy	Richa, Babbitt and Gaustad [37]
10	J*	2014	Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-leveling	Heymans, Walker, Young and Fowler [38]
11	J*	2020	Economic analysis of the disassembling activities to the reuse of electric vehicles Li-ion batteries	Rallo, Benveniste, Gestoso and Amante [39]
12	J*	2021	End of Electric Vehicle Batteries: Reuse vs. Recycle	Kotak, Marchante Fernández, Canals Casals, Kotak, Koch, Geisbauer, Trilla, Gómez-Núñez and Schweiger [40]
13	J*	2021	End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries	Zhu, Mathews, Ren, Li, Cogswell, Xing, Sedlatschek, Kantareddy, Yi, Gao, Xia, Zhou, Wierzbicki and Bazant [41]
14	K*	2020	Exploring Second Life Applications for Electric Vehicle Batteries	Vu, Rahic and Chirumalla [42]

15	K*	2019	Handling of the End of Life Electric Vehicle Batteries for Stationary Storage Applications	Maharajan, Jana and Basu [43]
16	J*	2019	How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction Li-ion batteries	Bobba, Mathieux and Blengini [44]
17	J*	2021	Integration of energy flow modelling in life cycle assessment of electric vehicle battery repurposing: Evaluation of multi-use cases and comparison of circular business models	Schulz-Mönninghoff, Bey, Nørregaard and Niero [45]
18	B*	2017	Kapitel: Is Electric Vehicles Battery Recovery a Source of Cost or Profit? - I boken: The Automobile Revolution: Towards a New Electro-Mobility Paradigm	Idjis and da Costa [46]
19	J*	2023	Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects	Michelini, Höschele, Ratz, Stadlbauer, Rom, Ellersdorfer and Moser [47]
20	J*	2023	Are electric vehicle batteries being underused? A review of current practices and sources of circularity	Etxandi-Santolaya, Canals Casals, Montes and Corchero [48]
21	J*	2020	Lithium-ion battery 2nd life used as a stationary energy storage system: Ageing and economic analysis in two real cases	Rallo, Canals Casals, De La Torre, Reinhardt, Marchante and Amante [49]
22	J*	2022	Material flow analysis for end-of-life lithium-ion batteries from battery electric vehicles in the USA and China	Shafique, Rafiq, Azam and Luo [50]
23	J*	2021	Risk management over the life cycle of lithium-ion batteries in electric vehicles	Christensen, Anderson, Harper, Lambert, Mrozik, Rajaeifar, Wise and Heidrich [51]
24	J*	2023	Second Life of Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles: A Short Review and Perspectives	Illa Font, Siqueira, Neto, Santos, Stevan Jr, Converti and Corrêa [52]
25	J*	2023	Second-life battery systems for affordable energy access in Kenyan primary schools	Kebir, Leonard, Downey, Jones, Rabie, Bhagavathy and Hirmer [53]
26	J*	2020	Spatial modeling of a second-use strategy for electric vehicle batteries to improve disaster resilience and circular economy	Moore, Russell, Babbitt, Tomaszewski and Clark [54]
27	J*	2021	Toward Sustainable Reuse of Retired Lithium-ion Batteries from Electric Vehicles	Hua, Liu, Zhou, Huang, Ling and Yang [55]
28	J*	2023	Towards a business model for second-life batteries: Barriers, opportunities, uncertainties, and technologies	Rufino Júnior, Riva Sanseverino, Gallo, Koch, Kotak, Schweiger and Zanin [56]
29	J*	2019	Towards sustainable business models for electric vehicle battery second use: A critical review	Reinhardt, Christodoulou, Gassó-Domingo and Amante García [57]
30	J*	2023	Use of life cycle assessment to evaluate circular economy business models in the case of Li-ion battery remanufacturing	Wrålsen and O’Born [58]

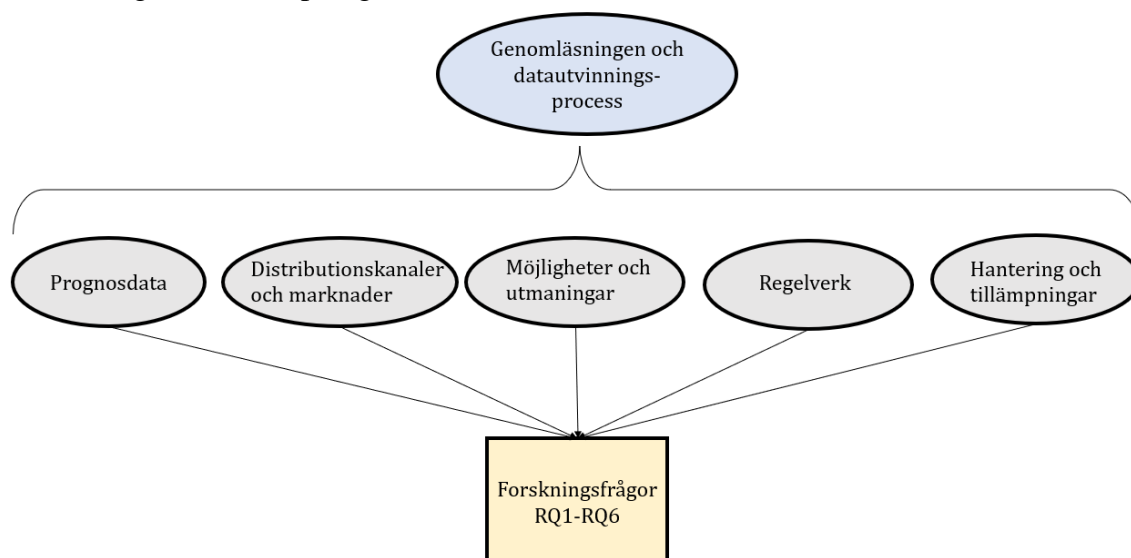
31	K*	2021	A Comprehensive Second-Life Review of Electric Vehicle Batteries - A Brazilian Study Case	Moreira, Pinto, Rosolem, Rolim, Medrano and Junior [59]
32	J*	2022	A Review of Second-Life Lithium-Ion Batteries for Stationary Energy Storage Applications	Hu, Deng, Wang, Deng, Lin, Teodorescu and Pecht [60]
33	K*	2012	Business models for the integration of electric vehicles into the Austrian energy system	Rezania and Prüggl [61]
34	K*	2021	Economic Viability Assessment of Repurposed EV Batteries Participating in Frequency Regulation and Energy Markets	Robson, Alharbi, Gao, Khodaei and Alsaidan [62]
35	K*	2012	Second Use of Retired Lithium-ion Battery Packs from Electric Vehicles: Technological Challenges, Cost Analysis and Optimal Business Model	Lih, Yen, Shieh and Liao [63]

J = Journal/Tidskrift, K* = Konferensartikel, B* = Bok*

13.2.7 Skapandet av syntesen

Efter att ha samlat in de relevanta publikationerna började genomläsningen och datautvinningsprocessen. Under denna process identifierades och kategoriserades flera olika områden baserat på de formulerade forskningsfrågorna. De framväxande områdena organiseras därefter till teman genom en tematisk analysmetod [64].

Som illustreras i nedanstående figur 4, resulterade denna tematisering i följande områden: prognosdata, distributionskanaler och marknader, möjligheter, utmaningar, regelverk, second life-hantering samt tillämpningar.



Figur 4: Tematiseringsmodell

Vi använde sedan dessa teman för att konstruera de modeller som beskrivs i tabell III i avsnitt 15.

Vi identifierade först relevanta teman och viktiga aspekter från litteraturstudien för varje modell och lade sedan till kopplingar och begränsningar.

Som tidigare nämnts är modellerna beroende av aktuell kunskap inom EV-batteridomänen. Eftersom detta område ständigt utvecklas, med nya framsteg och tekniker som leder till ökad

energilagringsskapacitet och förbättrad övergripande prestanda, är det också nödvändigt att uppdatera modellerna regelbundet.

14.Svar på forskningsfrågorna

I detta avsnitt presenteras svaren på de formulerade forskningsfrågorna.

14.1 Analys av marknaden och intressenter (RQ1)

Den första forskningsfrågan (RQ1) rör frågeställningar kring vilka olika marknadsscenarioer som kan komma att bli aktuella vid användning av SLB, tillsammans med en kartläggning av involverade intressenter samt en kartläggning av utmaningar och möjligheter.

Enligt Klör, Beverungen, Bräuer, Plenter and Monhof [65] finns det tre olika typer av second-life-marknader. Dessa tre olika marknadstyper beskrivs i nedanstående avsnitt, där också en koppling till system av system (se avsnitt 11) görs.

14.1.1 Slutna marknad

Den slutna marknaden kontrolleras och drivs av en enskild part, en så kallad OEM (Original Equipment Manufacturer), med fokus på EV-batterier. OEM:en samlar in och utför olika tester för att möjliggöra en andra användning (återanvändning) av de uttjänta batterierna till andra domäner eller tillämpningar. OEM:en distribuerar därefter batterierna direkt till de potentiella slutkunderna.

En sluten marknad stöder primärt en centraliserad kvalitetskontroll, vilket ger fördelen med strängare kvalitetskontrollåtgärder. Detta säkerställer att endast produkter av hög kvalitet når kunderna. Dessa åtgärder säkerställer vidare att endast batterier som uppfyller specifika standarder är tillgängliga för återanvändning, vilket bidrar till att upprätthålla tillförlitligheten och prestandan hos dessa SLB. Dessutom stöder den slutna marknaden en konsekvent prissättning eftersom OEM är den enda enhet som kontrollerar marknaden. På en sluten marknad kan dessutom logistik och distributionskanaler optimeras och strömlinjeföras, vilket resulterar i effektiv insamling, testning och distribution av batterierna. När det kommer till utmaningar kan den centraliserade kontrollen skapa hinder för nya aktörer att ta sig in på marknaden [56], vilket i sin tur kan begränsa konkurrensen som i slutändan kan leda till högre priser för köparna [32]. Dessutom kan en brist på marknadstransparens begränsa möjligheterna till vidare innovation och tillväxt.

Ur ett system av system-perspektiv motsvarar den slutna marknaden ett SoS med en centraliserad aktör som dirigerar de andra delsystemens beteende. Detta gör systemet av system enklare att styra och kontrollera, men förhindrar konkurrens mellan olika second life-aktörer och kan leda till minskad effektivitet om flera olika slutna marknader uppstår.

14.1.2 Mellanhandsbaserad marknad

Denna marknadsform baseras på en tredjepartsenhet som fungerar som mellanhand mellan OEM:en och den potentiella slutkunden. Dessa tredjepartsenheter kan exempelvis hantera testning, ombyggnation och försäljning av SLB.

Mellanhandsbaserade aktörer kan således göra marknaden mer tillgänglig för en bredare grupp av slutkunder genom att överbrygga klyftan mellan OEM-företagen som vill sälja SLB och potentiella slutkunder som behöver prisvärda lösningar. Dessutom kan mellanhänderna tillhandahålla expertis inom batteritestning och certifiering. De kan även se till att använda batterier inspekteras noggrant och uppfyller kvalitetsstandarder innan de säljs till slutkunder. Dessutom kan de mellanhandsbaserade aktörerna bidra till en marknadsexpansion genom att aktivt främja användningen av SLB. När det gäller utmaningar på den mellanhandsbaserade marknaden kan slutkunder uttrycka oro över mellanhändernas trovärdighet och pålitlighet. Dessutom kan det vara svårt att balansera intressena hos OEM-företagen och slutkunderna samtidigt som man måste upprätthålla en prissättningsmodell och efterfölja olika kvalitetsstandarder. En annan utmaning som nämns är att insamling och återdistribution av batterier kan medföra logistiska utmaningar och extra kostnader [31].

Ur ett system av system-perspektiv motsvarar detta ett delvis centraliserat kollaborativt SoS men där det finns utrymme för nya aktörer att agera som mellanhänder mellan batteridelsystemen. Med en sådan lösning minskar risken att flera separata marknader uppstår, eftersom innovativa nya aktörer kan konkurrera ut de gamla mellanhänderna i stället för att starta egna marknader. Samtidigt kvarstår vissa av fördelarna med en sluten marknad i det att aktörer får vägledning till mellanhänderna.

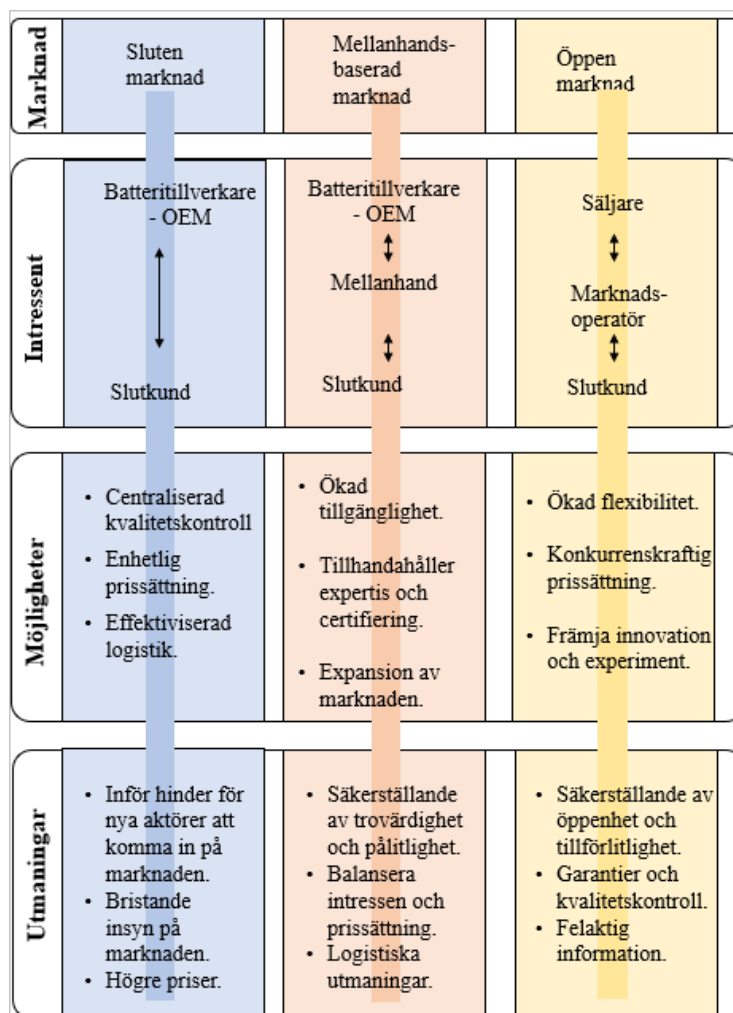
14.1.3 Öppen marknad

På en öppen marknad finns det inga centraliserade kontroller eller mellanhänder, vilket betyder att säljare och slutkund interagerar direkt via en så kallad öppen marknadsoperatör.

En öppen marknad ger större flexibilitet för både säljare och slutkunder. Säljarna kan sätta sina egna priser baserat på marknadens efterfrågan, medan köparna kan välja bland ett brett utbud av alternativ och förhandla fram avtal som passar ett specifikt behov. Dessutom kan konkurrens mellan olika säljare leda till konkurrenskraftig prissättning, vilket i sin tur gynnar slutkunderna. En öppen marknad kan också främja innovation och experimenterande genom att tillåta olika parter att utforska nya affärsmodeller, tekniker och tillämpningar av SLB. När det kommer till utmaningar med denna öppna marknadsform, beskrivs att den kan hindra säkerställandet av transparens och tillförlitlighet då det inte finns en centraliserad kontrollinstans. Den öppna marknadsformen kan också blir komplex att hantera med avseende på exempelvis kvalitetskontroll och garantier eftersom det kanske inte är möjligt att spåra batteriernas historik [56]. Vidare kan en öppen marknad vara mottaglig för bedrägliga metoder, såsom att ge en felaktig bild av batteriet eller dess kapacitet. Följaktligen finns det risk att slutkunden kommer att köpa ett SLB från en säljare som tillhandahåller felaktig information, vilket kan få oönskade effekter [56].

Ur ett system av system-perspektiv motsvarar detta ett löst sammansatt kollaborativt SoS, där samarbete uppstår när aktörer dels hittar varandra, dels inser att de kan dra nytta av samarbete.

Nackdelen är att varje aktör själv måste ta ansvar för att hitta andra, vilket kan minska effektiviteten. Denna nackdel kan delvis undanröjas genom att införa en sorts mellanhänder som hjälper parterna att samarbeta – det vill säga gå mot den mellanhands-baserade marknaden. Detta kan såklart även uppkomma spontant när en entreprenör identifierar en möjlighet – de som har ”infört” mellanhänder som Blocket eller Tradera är inga andra än dessa mellanhänder själva.

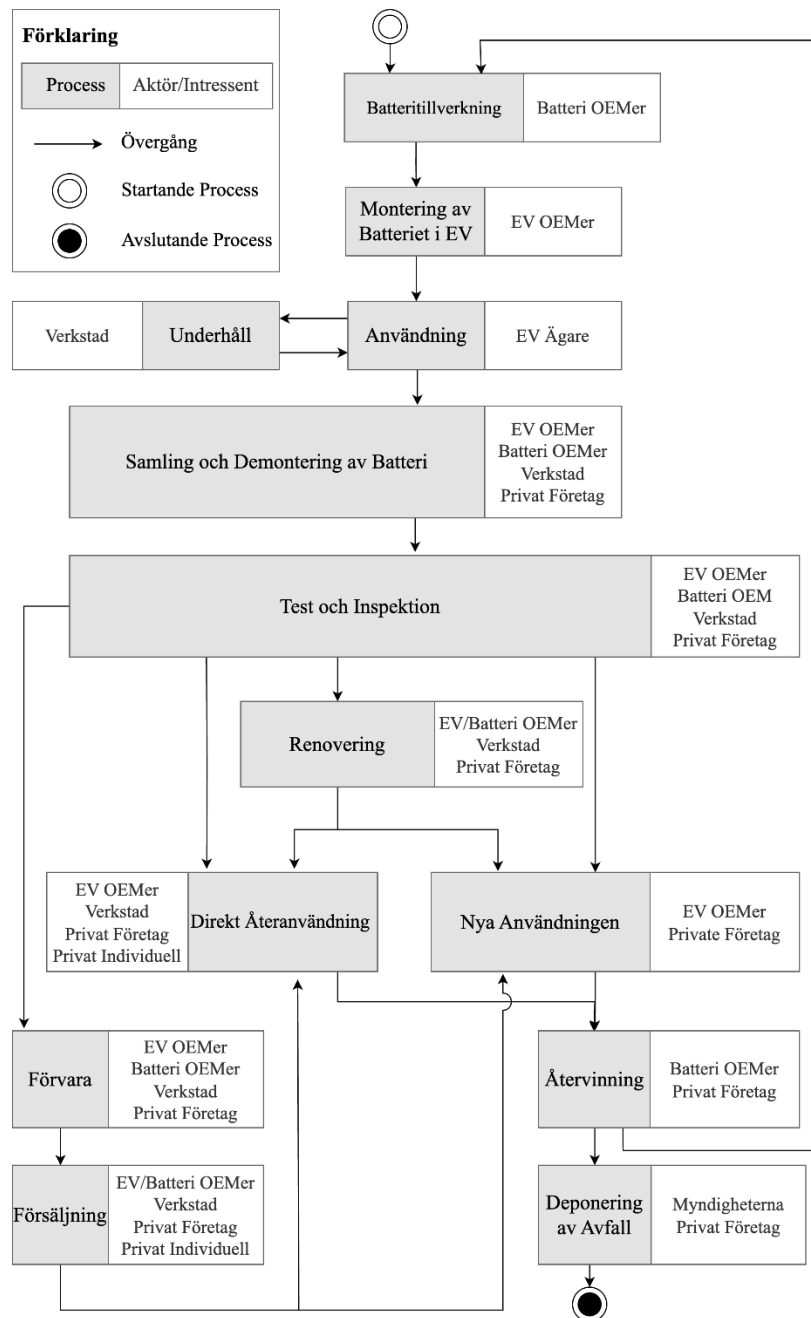


Figur 5: Analys av marknadens och intressenternas olika scenarier och situationer

Figur 5 sammanställer en scenarioanalys av SLB området och inkluderar analysen av marknads- och intressentscenarierna/situationer i enlighet med ovan beskrivning. Resultatet av analysen kan stödja olika organisationer eller företag att vara mer flexibla och anpassningsbara i en komplex och föränderlig värld, genom förbättrad strategisk planering och riskhantering.

14.2 Samband och processer (RQ2)

Den andra forskningsfrågan (RQ2) syftar till att kartlägga olika relationer och processer inom ramen för en cirkulär batterilivscykel.



Figur 6: Relation- och processmodellering med avseende på cirkularitet i samband med SLB.

Figur 6 visar en konceptuell modell som beskriver de relationer och processer som bidrar till cirkularitet i samband med SLB. Processmodellering handlar om att kartlägga och förstå flödena i ett system och att optimera utifrån helheten, snarare än utifrån de enskilda entiteterna i systemet. Det handlar således om att skapa en beskrivande bild av ett processflöde tillsammans med en beskrivning av de olika aktiviteter som sker inom processen. Relationsmodellering är en del av processmodellen där relationer mellan de olika entiteterna i processmodellen kartläggs och beskrivs.

Modellen i Figur 6 är inspirerad av Tao, Kishita, Scheller, Blömeke and Umeda [36]. Som illustreras i figuren börjar den cirkulära processen med tillverkningen av själva batteriet. I detta tillverkningssteg produceras EV-batteriet med hjälp av råmaterial såsom litium, kobolt,

nickel, mangan och grafit. Dessa material utgör grunden för tillverkningen av katod-, anod- och elektrolytkomponenterna. Den främsta intressenten i denna process är batteri-OEM, som tillverkar batterierna baserat på marknadens efterfrågan (från ex. slutkunden).

Nästa steg är att montera det tillverkade batteriet i det elektriska fordonet. De flesta av dagens elfordonstillverkare integrerar idag batteridesign och montering som en del av sin kärnkompetens och verksamhet för att minska kostnaderna [31] (på samma sätt som förbränningsmotorer tidigare var en kärnkompetens för fordonsindustrin).

Därefter använder fordonsägarna fordonen, dvs de kör bilarna med de monterade elektriska batterierna. Den genomsnittliga livslängden för EV-batterier är mellan 8 till 10 år [31] (data från år 2020). Batteriets livslängd kan bero på flera olika faktorer. Bland annat kan överladdning, snabb urladdning, frekvent laddning och höga driftstemperaturer minskar batteriets livslängd och kapacitet [31].

Underhåll eller byte av batterier görs på en verkstad med anledning av t.ex. försämring av batteriets kapacitet. Efter den optimala användningstiden kommer batterierna att ha en återstående kapacitet på ca 70-80% [55]. Det är således vid den här tidpunkten som de flesta batterier påbörjar en ny användning, vilken uppskattas kunna vara mer än tio år i nya tillämpningar [41].

För att få ett så kallat second life måste batterier vanligtvis genomgå tre processer: (a) insamling och demontering, (b) test och inspektion, och (c) renovering. Olika aktörer kan ta tillbaka elfordonen och extrahera de uttjänta batterierna i en insamlings- och demonteringsprocess. Dessa aktörer kan vara OEM:er av elfordon, underhållsverkstäder eller andra privata företag. Demonteringsprocessen innebär att batteriet demonteras i moduler och för att sedan demonteras ytterligare till mindre celler. Denna process involverar flera aktörer i test- och inspektionsprocessen vilket är både resurskrävande och därför oftast relativt kostsamt [6]. Som exempel beräknas kostnaden för att demontera ett Smart ForFour-batteri till cirka 1333 Euro (76 Euro per kWh, år 2020) [39].

Nästföljande test- och inspektionsprocess relaterar till den cirkulära livscykeln, och enligt [40] finns det tre primära kategorier av tester/inspektioner för att säkerställa att batteriet fungerar felfritt och säkert:

- **Visuell inspektion:** detta inkluderar analys av förändringar av moduler eller celler, korrosion av kontakter, inträngning av vatten och damm, lösa kablar och anslutningar, samt ifall produktionsdatum är tillgängligt.
- **Elektrisk och mekanisk inspektion:** denna inspektion inkluderar analys av inre resistans, urladdningskapacitet kapacitet, isolationsresistans, potentialutjämning och laddningstillstånd.
- **Batterihanteringssysteminspektion:** fokus på analys av återstående användbar kapacitet, likströmsresistans och aktuellt hälsotillstånd.

Var och en av de ovan listade test- och inspektionskategorierna kräver tid och pengar, där exempelvis kapacitetstestet kan ta upp till 126 timmar [30]. Efter genomförd test och inspektion

kan EV-batteriet renoveras och återanvändas inom samma eller inom en ny domän. De inblandade aktörerna i test- och inspektionsprocessen kan lagra EV-batteriet för specifika operativa, strategiska och ekonomiska ändamål, till exempel för att hantera variationer i efterfrågan eller för att uppnå effektivitet i produktions- och leveranskedjan. Dessa batterier kan således förbli lagrade tills de säljs till kunderna, som exempelvis kan vara en OEM-tillverkare av elfordon eller batterier, verkstäder, privata företag eller privatpersoner.

Renoveringsprocessen hjälper till att återställa hälsotillståndet hos de förbrukade batterierna genom att byta ut de defekta komponenterna (dvs. moduler eller celler). Renovering är en kostsam ombyggnadsprocess, men beskrivs ha den bästa avkastningen och därmed vara det mest ekonomiskt hållbara alternativet [42]. De inblandade aktörerna i denna process är OEM:erna av elfordon, OEM:er av batterier, verkstäder och andra privata företag.

Ett batteri som uppvisar ett gott hälsotillstånd och goda utsikter för återanvändning kan användas på samma användningsområde utan ytterligare justeringar förutom en initial visuell och elektrisk kontroll [30], [32]. Denna process kallas direkt återanvändning där exempelvis en OEM för elfordon, underhållsverkstad, ett privat företag eller en privatperson kan återanvända batteriet i exakt samma fordon eller i ett annat fordon av samma modell. Denna process anses vara mindre kostsam än återanvändningsprocessen och erbjuder ett försäljningspris under 100 Euro/kWh, men återanvändningen kan vara begränsad på grund av den reducerade kapaciteten [30].

I processen för återanvändning säljer antingen en OEM eller en tredje part det uttjänta batteriet vidare så att det kan användas i annan och mindre kapacitetskrävande område, till exempel ett energilagringssystem (ESS). Under denna process sker en begränsad demontering av batteriet innan återanvändningen kan ske. Kontakter kan till exempel behöva bytas för att integrera batteriet i ett ESS [32]. Denna process kan vara komplex och kräver ofta extra tid och producerar ytterligare avfall [30].

- Ett återanvänt EV-batteri kan exempelvis användas i olika tillämpningar, såsom:
- Bostadsrelaterade tillämpningar.
- Kommersiella tillämpningar, till exempel telekommunikation, belysningsstolpar och kraftförsörjning.
- Energirelaterade tillämpningar, till exempel lagring av förnybar energi och nätstabilisering.

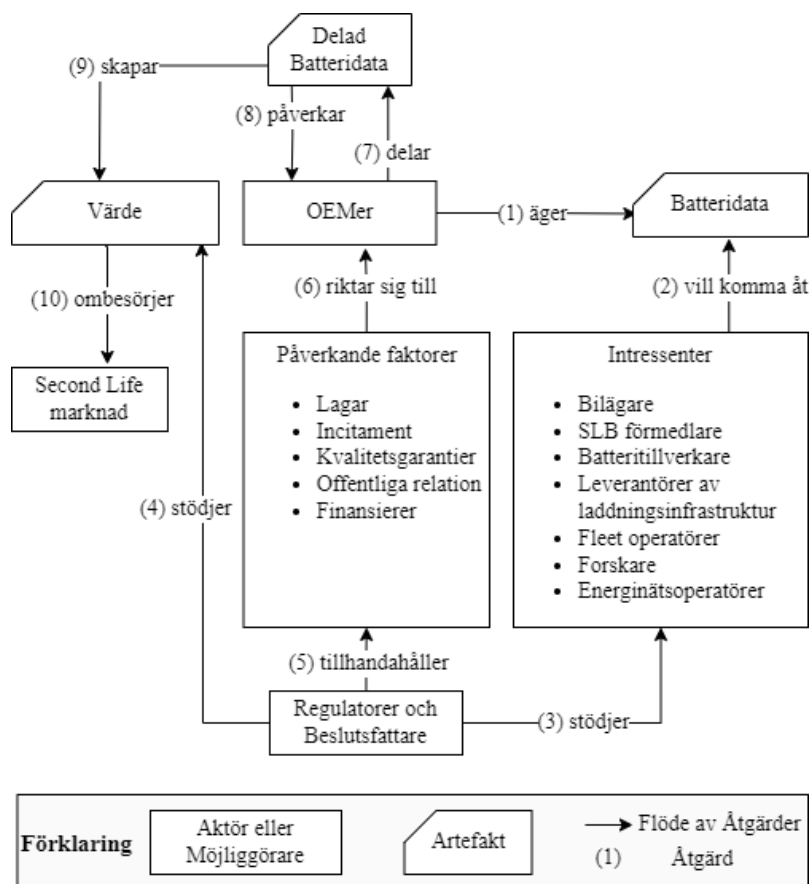
Efter de direkta återanvändningsprocesserna följer slutligen återvinningsprocessen. I denna process återvinns råmineraler såsom t.ex. nickel, mangan, kobolt och litium, vilka senare kan återanvändas för att tillverka nya batterier [40]. Se pilarna i figur 6.

Den sista processen i batteriets livscykel är deponering. Denna process avser bortskaffande av resterna av EV-batterier som har genomgått återvinning men är olämpliga för vidare användning eller återvinning av värdefulla material. I denna process transporteras EV-batterierna till en licensierad deponi som är speciellt utformad för att hantera farligt avfall. Deponin bör ha åtgärder för att förhindra att farliga material läcker ut i miljön, genom användning av exempelvis övervakningssystem och korrekt tätning. Med tanke på

miljöpåverkan är deponin det minst önskvärda alternativet för hantering av uttjänta batterier [55]. Det är dock ofta nödvändigt eftersom andra alternativ, till exempel förbränning, kan utsätta anställda för giftiga gaser och skadliga kemikalier [41].

14.3 Möjliggörande faktorer och ekosystem (RQ3)

Den tredje forskningsfrågan (RQ3) syftar till att kartlägga olika faktorer som möjliggör och påverkar ett cirkulärt ekosystem för återanvändning av SLB.



Figur 7: Möjliggörare och ekosystem inom området för återanvända EV-batterier.

Figur 7 visar en konceptuell modell som beskriver möjliggörare och ekosystem i domänen för återanvända EV-batterier. EV-batteri- eller fordonstillverkaren äger data som är relaterade till EV-batteriet som används i elfordonet. Eftersom det oftast saknas tillgång till batteridata kan intressenter som mellanhänder och tredje parter ha svårt att bedöma EV-batteriets prestanda, hälsa eller annan viktig information om EV-batterierna. Detta skulle kunna påverka effektiviteten i hanteringen och beslutsfattandet beslutsprocessen i samband med tillämpningen av second life [56].

De intressenter i ekosystemet som vill få tillgång till batteridata är exempelvis: bilägare, förmedlare av SLB, OEM-tillverkare av batterier, leverantörer av laddningsinfrastruktur, energinätsoperatörer samt forskare. Dessa olika intressenter behöver således tillgång till batteridata för att kunna ta plats i ekosystemet för EV-batteriers återanvändning i form av ett Second Life.

Tillsynsmyndigheter och beslutsfattare kan främja datatillgänglighet, vilket kan vara avgörande för att uppnå ett ekosystem för återanvändning av EV-batterier. De stödjer därmed intressenterna och skapandet av en marknad för återvunnet material genom att tillhandahålla flera möjliggörare, såsom exempelvis:

- **Lagar:** Lagar kan omfatta områden kring säker hantering och transport av förbrukade EV-batterier, återvinning och bortskaffande, samt användning och återanvändning av SLB. Dessa lagar ger en rättslig ram som främjar säkerhet, hållbarhet och ansvarstagande inom branschen, och uppmuntrar tillväxt och utveckling av ett robust ekosystem för återanvända ekosystem.
- **Incitament/finansiering:** Olika former av incitament eller finansieringsmodeller kan skapa en gynnsam miljö som motiverar individer, företag och organisationer att samarbeta och aktivt delta i ekosystemet för återvinna EV-batterier. Dessa ekonomiska incitament kan ta sig olika former, såsom exempelvis skatteförmåner, subventioner, riskkapital, lån med låg ränta eller bidrag.
- **Kvalitetsgaranti:** En kvalitetsgaranti kan omfatta riktlinjer för testning, inspektion och certifiering av SLB-batterier, samt krav på korrekt märkning och dokumentation. En kvalitetsgaranti ger intressenterna förtroende för att SLB uppfyller specifika standarder och specifikationer. Den främjar också förtroende på marknaden och uppmuntrar till användning av SLB-batterier samt underlättar integreringen av dessa EV-batterier i olika applikationer med hjälp av en kontrollerad kvalitetsgaranti.
- **PR (Public Relations):** PR kan öka medvetenheten och förbättra förståelsen för SLB-batteriernas betydelse för att uppnå hållbarhetsmålen. Effektiva PR-strategier kan främja en positiv uppfattning hos allmänheten, bygga förtroende och uppmuntra intressenter att använda SLB.

Ovan beskrivna möjliggörare riktar sig till alla intressenter, men kanske främst mot OEM-tillverkarna som äger batteridata, vilket tvingar dessa OEM-företag att dela data och kunskap med de andra intressenterna i ekosystemet. Att dela data och kunskap kan dock påverka OEM-tillverkarna negativt. De kan exempelvis förlora kontrollen över marknaden genom att exponera sina data och sin teknik för tredje part, eller få sitt rykte påverkat i händelse av olyckor vilket gör det viktigt att skydda OEM-företagen och säkerställa att datadelning inte omotiverat skadar dessa OEM-företag.

Sammantaget kan ser man dock att när batteridata utbyts främjas innovation, och nya affärsmodeller kan skapas. Detta gör det möjligt för marknadsaktörer att skapa värde, förbättra den operativa effektiviteten och driva hållbara metoder och processer på marknaden för SLB.

14.4 Användningsområden för SLB (RQ4)

Den fjärde forskningsfrågan kartlägger vilka olika potentiella användningsområden som finns för SLB.

I en publikation av Micheli et al [47] kartlades potentiella användningsområden för uttjänta EV-batterier genom att de studerade aktuell forskningslitteratur och intervjuade experter inom området. De identifierade följande huvudsakliga tillämpningsområden för SLB:

- **Mobila tillämpningar:** Dessa tillämpningsområden kan bestå av kommersiella kortdistans- elfordon, industrifordon (t.ex. gaffeltruckar), mikromobilitetsfordon (t.ex.

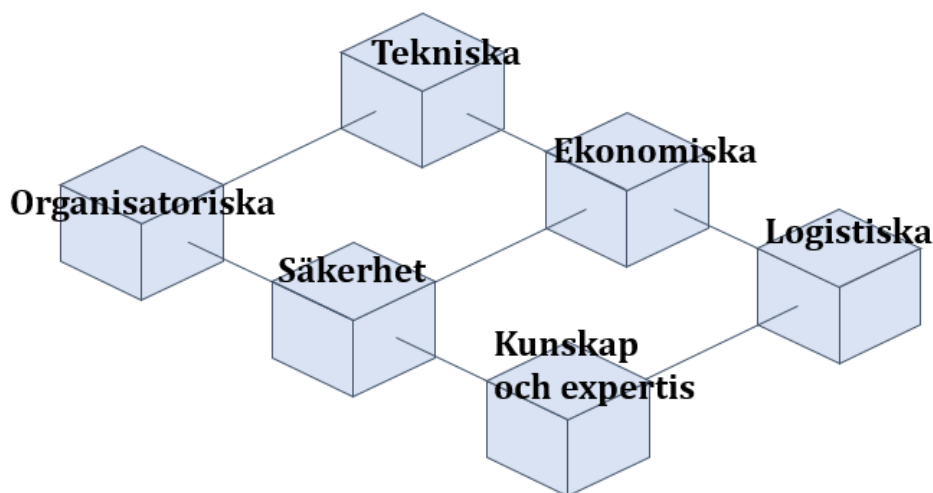
elcyklar), lättviktsfordon, konsumentelektronik, marin elektronik, marina tillämpningar (t.ex. framdrivning) och järnvägstransporter.

- **Semistationära tillämpningar:** Tillämpningsområden såsom mobil kraftförsörjning i form av exempelvis kraftstationer för byggarbetsplatser och mobila laddningsstationer för elektriska fordon.
- **Stationära tillämpningar:** Tillämpningsområden såsom buffertlagring i nät vid laddstationen, särskilda nät (t.ex. s.k. smarta nät), ESS för bostäder eller för industriella ESS.

Vidare undersökte Micheleni et al [47] de mest intressanta tillämpningsområdena för återanvändning av EV-batterier, genom att analysera urladdnings- och laddningshastigheter, erforderlig kapacitet, grad av mobilitet, drifts- och lagringstemperatur och tillämpliga modellmönster samt juridiska kriterier. De fann då att automatiserade fordon för mobila tillämpningar samt industriella ESS:er för förnybar elproduktion för stationära tillämpningar var de mest lovande tillämpningsområdena för SLB.

14.5 Utmaningar för second life-applikationer (RQ5)

Den femte forskningsfrågan fokuserar på utmaningarna för användning av Second Life-batterier. Genom att analysera de identifierade artiklarna (se avsnitt 13.2.6) identifierade vi ett flertal olika utmaningar relaterade till tillämpningen av SLB. Som illustreras i figur 8 kategoriseras dessa i termer av organisatoriska, tekniska, ekonomiska, eller logistiska utmaningar, brist på kunskap och expertis samt säkerhet. De beskrivs mer detaljerat i följande avsnitt.



Figur 8: SLB Utmaningar

14.5.1 Organisatoriska utmaningar

- Att fastställa lämplig garantitid för SLB kan vara en utmaning för tillverkare och leverantörer [56], [32].

- Att definiera lämpliga specifikationsnivåer för SLB kan vara en utmaning för tillverkare och tjänsteleverantörer [56],[41]. Detta inkluderar aktiviteter såsom att fastställa förväntade prestanda, kvalitet och egenskaper för batteriernas andra liv.
- Ominstallation av SLB kan kräva specialkunskaper och expertis för att säkerställa korrekt integration, kabeldragning, och konfiguration [56]. Tillgången på kvalificerad arbetskraft som kan hantera de unika kraven vid en sådan ominstallation av SLB kan vara en utmaning, eftersom det kan kräva extra utbildning eller anlåtande av tekniska specialister.

14.5.2 Tekniska utmaningar

- Att säkerställa att SLB fungerar tillförlitligt och konsekvent i en ny tillämpning kan vara en komplex uppgift som kräver noggrann testning och utvärdering [56], [33].
- Avsaknaden av automatiserade system för demontering gör processen tidskrävande, arbetsintensiv och potentiellt även ineffektiv [6], [41].
- Att få tillgång till och inhämta omfattande och standardiserade batteridata kan vara en utmaning på grund av variationer i batterihanteringssystem (eng. *battery management system*, BMS), dataformat och kompatibilitetsproblem [6], [32]. Denna brist på tillgänglighet och standardisering av batteridata kan hindra övervakning, bedömning och användning av SLB [48].
- Krypteringen av batteridata kan innebära utmaningar för mellanhänder som är involverade i tillämpningen eller återanvändningen av SLB [56]. Utan tillgång till aktuella batteridata kan mellanhänder därför ha svårt att utvärdera prestanda, hälsa och annan viktig batteriinformation.
- På grund av varierande användningshistorik kan SLB uppvisa olika nivåer av kapacitet, effektivitet och övergripande prestanda [30]. Hanteringen och optimeringen av hur SLB med varierande egenskaper ska användas kan därför vara en utmaning och kräver ofta avancerade batterihanteringssystem och regelprinciper för att säkerställa optimal prestanda och kompatibilitet i olika tillämpningar.
- Datasäkerhet, potentiella sårbarheter i batterihanteringssystem och risken för obehörig åtkomst eller manipulering [56]. Att ta itu med dessa säkerhetsproblem är avgörande för att skapa förtroende och tillit vid återanvändningen av SLB.
- Att installera SLB i helt nya tillämpningar kan kräva modifiering av befintliga system eller integrering av olika komponenter, vilket kan vara både komplext och tidskrävande [56], [43].

14.5.3 Ekonomiska utmaningar

- Ekonomiska utmaningar i samband med överföring eller återanvändning av batterierna [56], [33]. Kostnader för transport, hantering och administrativa kostnader kan även påverka den ekonomiska aspekten av återanvändning av SLB [31].
- Återanvändning av uttjänta EV-batterier kräver ofta ytterligare reovering eller utbyte av komponenter, vilket kan komma att öka den totala kostnaden för återanvändningsprocessen [56], [32].
- Den kortare livslängden för SLB och de tillkommande kostnaderna till demontering, bedömning och implementering av batterihanteringssystem samt ompaketering kan

påverka den långsiktiga kostnadseffektiviteten [6], [60]. Eftersom kostnaden för nya EV-batterier sannolikt kommer att minska med tiden, kan tillämpningen av SLB bli mindre ekonomiskt lönsamt och utgöra ett hinder för framtida innovationer och investeringar [55].

- Underhåll och service av SLB kan vara kostsamt, särskilt om de kräver frekventa inspektioner, reparationer eller byte av specifika komponenter [56].

14.5.4 Logistiska utmaningar

- Strikta regler, höga kostnader, onödiga förseningar och förbudet mot flygfrakt belyser komplexiteten och svårigheterna att hantera logistiken för att transportera SLB [56], [33].
- Komplex tullhantering, olika regler mellan länder och brist på standardiserad hantering och administrativa hinder [31] utgör även de en logistisk utmaning för SLB. Sådana hinder kan driva kostnaderna och tidsåtgången för att transportera SLB mellan olika länder, vilket kan hindra effektiv transport och driftsättning av SLB över landsgränserna.

14.5.5 Brist på kunskap och expertis

Det råder idag brist på kunskap och expertis bland elfordonägare och tredjepartsföretag när det gäller kvalitet, tillämpning och användbarhet av SLB [56]. Detta är en utmaning eftersom det ofta kräver specialistkunskap att utvärdera skick, prestanda och kompatibilitet vid olika tillämpningsområden för SLB.

14.5.6 Säkerhetsutmaningar

- Vid användning av LIB finns det risk för överhettning, vilket i värsta fall kan leda till explosioner som kan skada människor [38].
- Elektrolyter i organiska LIB kan vara giftiga och brandfarliga, särskilt vid lagring eller deponering [31]. Korrekt hantering, lagring och avfallshantering är således avgörande för att minimera dessa säkerhetsrisker.
- SLB kan även innehålla farliga material såsom tungmetaller, frätande kemikalier eller giftiga ämnen vilka kan utgöra risker för människors hälsa och miljön om de inte hanteras på lämpligt sätt [51]

14.6 Regleringar (RQ6)

Den sjätte forskningsfrågan studerar vilka regler som tagits fram för hanteringen av återanvändning av SLB. Vår kartläggning har identifierat flera olika standarder och direktiv, relaterade till SLB. Dessa olika aspekter presenteras nedan.

Europeiska direktivet 2006/66/EG: detta direktiv föreskriver att företag som tillhandahåller batterier till marknaden ska ansvara för att hantera dem i slutet av livslängden. Till exempel är biltillverkaren ansvarig om batteriet är ett EV-batteri [30].

UL 1974: är en standard som Underwriters Laboratories (UL) utvecklat. Den fokuserar på utvärdering och säkerhetskrav för återanvändning av batterisystem för elfordon [32].

IEC 62933-5-3: är en standard som utvecklats av Internationella elektrotekniska kommissionen (IEC), en global organisation som ansvarar för att fastställa standarder på det elektrotekniska området. Den fokuserar på säkerhetskraven för SLB och deras installation [32].

Battery Passport: Inom flera olika domäner och industrier pågår det idag olika initiativ för att införa spårbarhet av olika produkter i form av ett så kallat ”digitalt produktpass”. Ett område som både nationellt och internationellt är igång med ett sådant arbete är batteribranschen. Det finns i dagsläget ett EU-förslag [66] till lagkrav för produktpass för högkapacitetsbatterier [67]. Målet är att modernisera EU:s regelverk för batterier för att säkra hållbarheten och konkurrenskraften i batterivärdekedjorna.

Under 2024 förväntas EU anta förordningen ”*Ecodesign for sustainable products regulation*”, förkortat ESPR. Förslaget syftar till att göra hållbara produkter till norm på EU:s inre marknad och att reducera produkternas miljöpåverkan under hela dess livslängd [68].

Genom direktivet beskrivs obligatoriska batteridata och hållbarhetskrav exempelvis i form av regler för koldioxidavtryck, minimalt återvunnet innehåll, kriterier för prestanda och hållbarhet, säkerhet och märkning vid marknadsföring och driftsättning av batterier samt krav på hantering av uttjänta batterier. Förslaget innehåller också skyldigheter för ekonomiska aktörer att iaktta aktsamhet när det gäller inköp av råvaror. Ett digitalt produktpass möjliggör således lagring av data kring exempelvis spårbarhet, transparens, process, leverans och hela värdekedjan [67].

Battery Passport är en förordning från Europeiska kommissionen som syftar till att främja hållbarhet, uppmuntra cirkularitet, säkerställa säkerhet och förbättra transparensen i samband med batterier och SLB. Denna förordning kommer att upphäva det europeiska direktivet 2006/66/EG [35]. Batteripasset är ett elektroniskt register av ett batteri och innehåller en omfattande uppsättning information som samlats in under batteriets livscykel. Denna information ska kunna nås genom att skanna en QR-kod och omfattar bland annat batteriets hälsotillstånd, laddningsstatus, kapacitet effektkapacitet och inre resistans.

Förordningen om batteripass: förordningen kommer att göra det obligatoriskt för tillverkare av industribatterier större än 2 kWh att lämna information om dessa batterier [32].

EU:s handlingsplan 2020: infördes av Europeiska kommissionen för att främja övergången till en cirkulär ekonomi, minimera avfallsgenerering, maximera resurseffektivitet och främja hållbar ekonomisk tillväxt [58].

Microgeneration Certification Scheme (MCS): en brittisk standard för installation av småskaliga förnybara energikällor som SLB i hushållsmiljöer, t.ex. i bostäder [51]. Den är utvecklad för att säkerställa kvalitets-, säkerhets- och prestandastandarder för förnybara energisystem och för att stödja utvecklingen av teknik för ren energi.

Kvalitetsledningssystem (QMS): Att transportera SLB kan utgöra betydande säkerhetsrisker på grund av explosiva och brandfarliga material [54]. Flera europeiska länder tillåter därför

enbart transporter av SLB via ett kvalitetsledningssystem (QMS) som följer ISO-9001- och ISO-14001-standarderna.

Tyska batterilagen: utvecklad av det tyska förbundsministeriet för miljöfrågor. Det är en batterilag om utsläpp på marknaden, insamling och miljövänligt bortskaffande av batterier för elfordon [54].

Sammantaget ser vi att även om många regler främjar användandet av SLB, finns det också regler som kan verka hindrande. Den viktigaste regleringen är troligen batteripasset.

15. Modeller

En central del i SYNTES projektet är att utifrån litteraturstudien skapa ett antal modeller. Dessa olika modeller baseras på resultaten från både de genomförda intervjuerna samt resultatet från litteraturundersökningen.

Resultaten från dessa olika typer av modeller kommer att presenterats genom ett antal diagram och visualiseringar för att enklare kunna förstå och analysera SYNTES-projektets resultat. De olika modellerna syftar till att belysa problemområdet utifrån flera olika perspektiv så att målbilden uppnås.

Totalt genomfördes sju olika modelleringar, beskrivna nedan i tabell III.

Tabell III – Studiens modeller

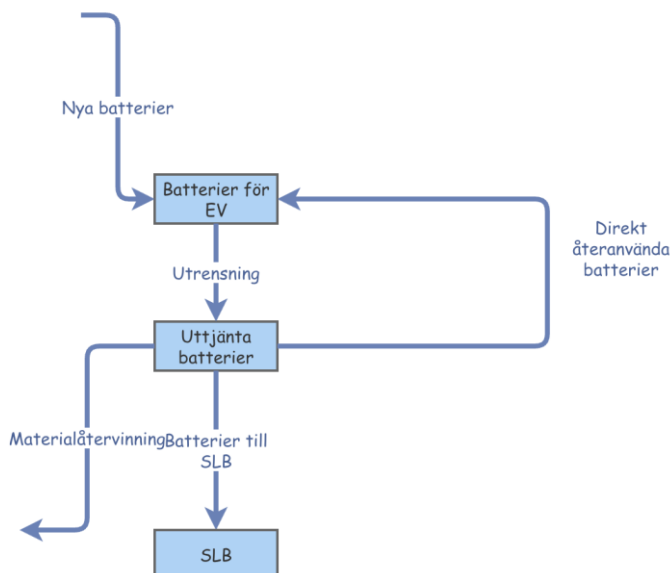
ID	Typ	Figur	Avsnitt
1	Scenarioanalys	3	13.2.6
2	Systemdynamisk simuleringsmodell	9	15.1
3	Analys av marknadens och intressenternas olika scenarier	5	14.1.3
4	Relation- och processmodellering m.a.p. cirkularitet i samband med SLB	6	14.2
5	Möjliggörare och ekosystem inom området för återanvända EV-batterier.	7	14.3
6	Holistisk modell över datadelningsbehov	11	15.3.1
7	Behovsprognos samt prognosmodell för material och värdeflödesanalys	10	15.2.1

Respektive modellering är beskriven i nedanstående avsnitt, tillsammans med resultatet från projektet.

15.1 Skapa systemdynamisk simuleringsmodell

En systemdynamisk simuleringsmodell är en metod som fokuserar på ett mer holistiskt perspektiv där komplexa relationer och återkopplingsprocesser kan beskrivas. Grundtanken är att om vi förstår strukturen hos ett system bättre, kan vi också förstå inverkan av förändringar och interventioner i systemet bättre. Man kan använda olika metoder och verktyg för att beskriva och modellera dynamiska system med tonvikt på analys av samverkande faktorer. En grundläggande teknik är att beskriva hur flöden av olika slag går mellan olika aktörer. Det som flödar kan vara till exempel antalet batterier som är i omlopp eller mängden material av olika typer som behövs för batterier.

I detta projekt har vi använt oss av den öppna molnbaserade programvaran InsightMaker för att skapa enkla systemdynamik-modeller. Figur 9 visar ett exempel på hur en modell för att undersöka sambanden mellan antalet SLB och graden av direkt återvinning kan se ut.



Figur 9: En enkel systemdynamik-modell som kan användas för att simulera sambanden mellan antalet SLB och graden av återanvändning och

15.2 Behovsprognos samt prognosmodell för material och värdeflödesanalys

Figur 10 i nedanstående avsnitt 15.2.1 visar en konceptuell modell för SLB prognoser. Modellen beskriver att mineraler som litium, nickel, kobolt och grafit krävs för tillverkning av batterier, och där tillgängligheten och produktionen av dessa mineraler påverkar det faktiska antalet nytillverkade batterier.

Som ett exempel på detta, uppskattas det att för att producera elbilsbatterier till den kinesiska marknaden kommer det att behöva 116 000 ton litium jämfört med 33 000 ton på den amerikanska marknaden år 2030 [50]. Dessutom förväntas efterfrågan på andra mineraler som nickel och aluminium öka till 327 000 ton per år [57]. I Europa uppskattas det att det kommer att krävas 35 000 ton kobolt och 10 000 ton litium år 2030 [44].

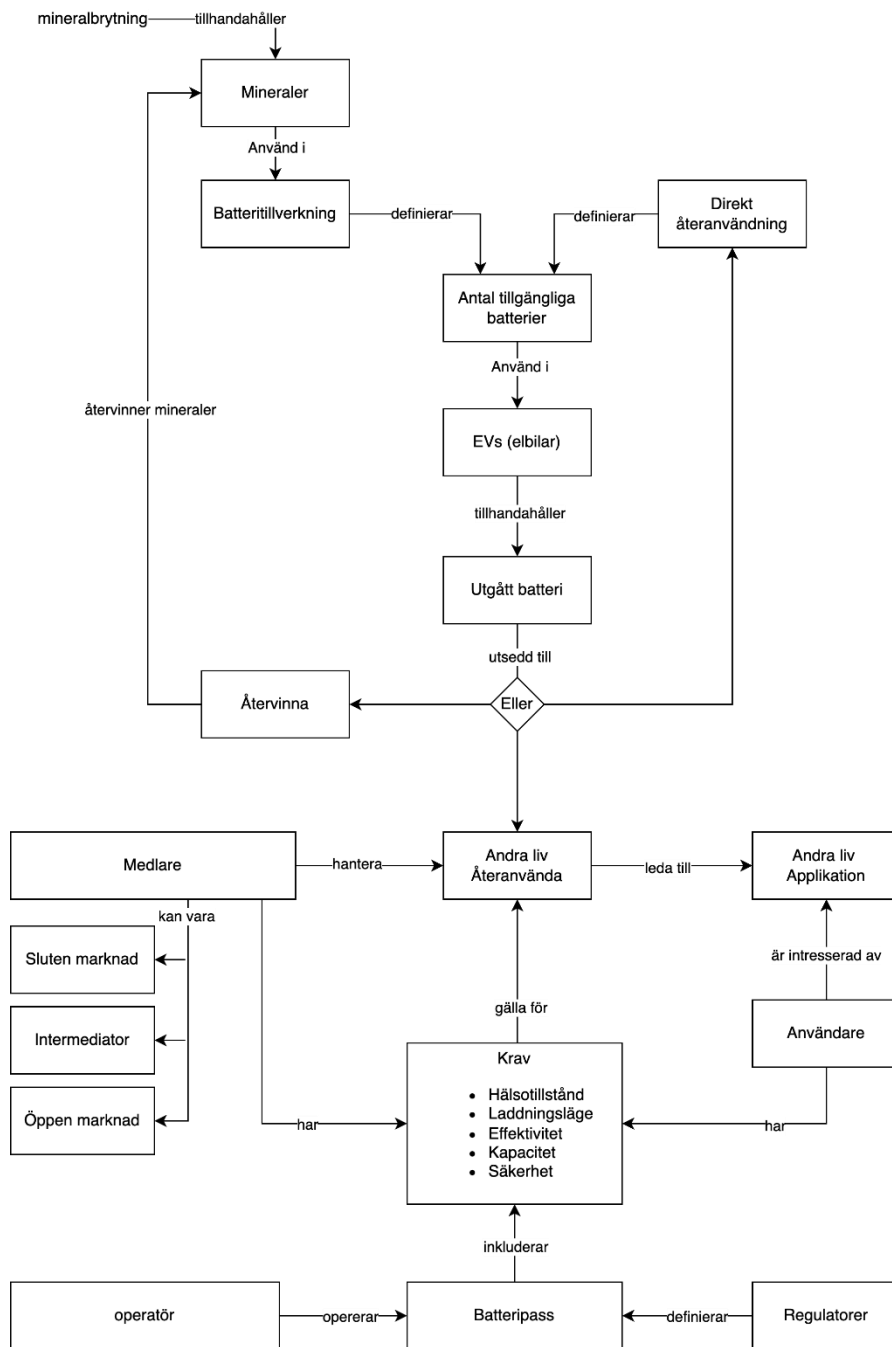
Tillverkade batterier används i produktionen av elbilar. Den globala försäljningen av elbilar förväntas bli 26 miljoner år 2023 [32]. År 2018 fanns det ca 55 000 elbilar i Sverige av totalt 1,5 miljoner i hela världen. Den globala siffran förväntas nå ca 11 miljoner elbilar år 2025 [42]. År 2040 kommer mer än hälften av de nya bilarna som tillverkas i världen att vara elektriska med en marknadsandel på 70 % i Europa [42].

Batteritillverkare beskriver att elbilsbatterier når slutet av sin livstid när kapaciteten minskar till 70–80%, eftersom att det därefter inte går att garantera prestanda, rätt funktion och säkerhet under dessa gränsvärden [59]. I genomsnitt når elbilsbatterier slutet av sin livslängd på 8-10 år [31]. Det uppskattas att 250 000 ton elbilsbatterier kommer att nå slutet av sin livstid år 2025 [42]. Vidare kommer 100–200 GWh batterier pensioneras eftersom de når slutet av sin livstid [41].

De pensionerade batterierna kan antingen återanvändas direkt, eller återvinnas eller ingå i en andra användningsomgång. Antalet direkt använda batterier kommer att definiera antalet tillgängliga batterier som kan användas i elbilar och återvinning av batterier hjälper till att återvinna vissa mineraler. Uppskattningar visar att det år 2030 kommer att finnas cirka 6 000 ton återvunnet litium och 35 000-60 000 ton återvunnet nickel endast i Kina [50]. I USA handlar det om cirka 2 500 ton litium och 16 000-26 000 ton nickel som kommer att återvinnas år 2030 [50]. I Europa kommer cirka 5 000 ton kobolt och 2 000 ton litium att finnas tillgängliga för återvinning år 2030 [44]. Dessa återvunna mineraler kommer att återanvändas i tillverkningen av elbilsbatterier.

När batterierna inte återanvänds direkt kan de brukas inom andra användningsområden, vilket hanteras av handlare som kan verka på slutna marknader, eller som mellanhänder på öppna marknader. Både handlare och slutanvändare har krav på batterierna för återanvändning och dessa krav inkluderar exempelvis hälsotillstånd, laddningstillstånd, effektivitet, kapacitet och säkerhetsnivåer. Dessa krav beaktas i initiativet för batteripass som definieras av flera reglerande organ och drivs av olika operatörer. År 2023 förväntas cirka 33 GWh vara tillgängliga för andra användningsomgångar i Kina jämfört med 13 GWh i USA [50]. Globalt förväntas det finnas en global tillgång av andra livsbatterier på 15 GWh år 2025 och 112–227 GWh år 2030.

15.2.1 Modelleringsresultat



Figur 10: Behovsprognos samt prognosmodell för material och värdeflödesanalys

15.3 Holistisk modell över datadelningsbehov

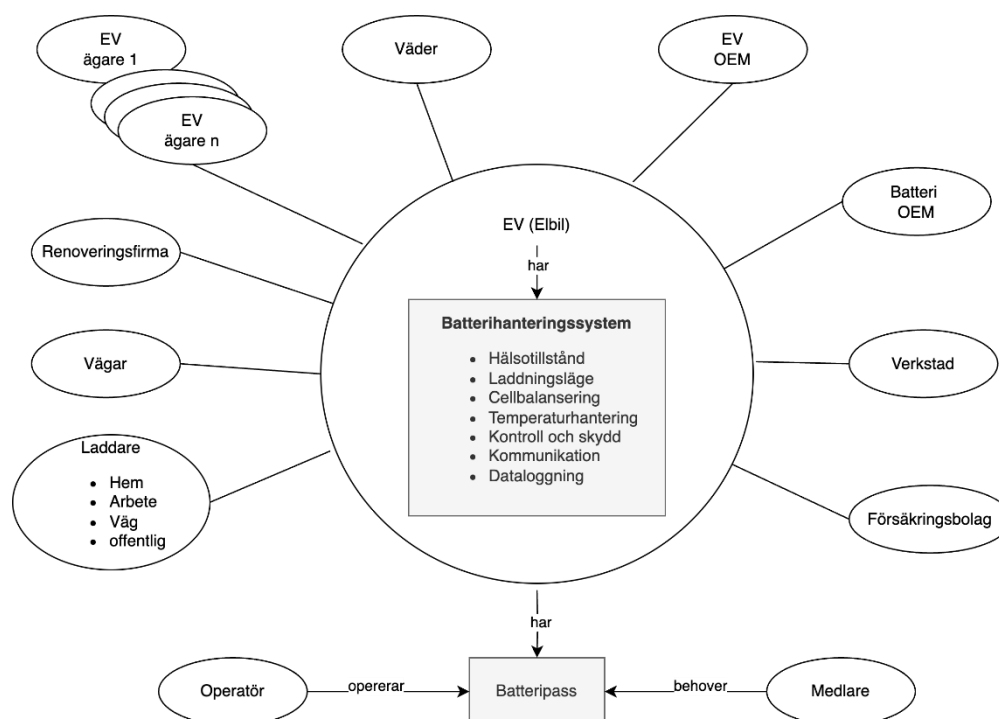
Figur 11 i nedanstående avsnitt 15.3.1 visar en datadelningsmodell som beskriver potentiellt nödvändiga aktiviteter för att möjliggöra en andrahandsmarknad för EV-batterier. Batteriet i en elbil har ett batterihanteringssystem (BMS), som spelar en viktig roll för att säkerställa batteriernas säkerhet, livslängd och optimala prestanda genom att övervaka cellerna, balansera dem, förhindra överladdning eller överurladdning samt tillhandahålla data för användare eller externa system för att fatta informerade beslut. Dessa data inkluderar till exempel batteriets

hälsotillstånd, laddningstillstånd och kapacitet. Dessutom ansvarar BMS för olika övervaknings- och hanteringsaktiviteter, såsom cellbalansering, temperaturövervakning och kommunikation med externa system för att tillhandahålla realtidsdata om batteriets status och prestanda samt dataloggning.

I framtiden kommer varje elbil att ha ett batteripass som inkluderar data som loggas av BMS. Batteripasset är en av Europeiska kommissionen reglerad elektronisk registrering av ett batteri som innehåller en omfattande uppsättning information som samlas in under batteriets livscykel [32]. Uppgifterna som tillhandahålls av batteripasset behövs av medlarna på andrahandsmarknaden och kommer att göras tillgängliga av olika operatörer.

Förutom uppgifterna i batteripasset krävs andra uppgifter för att säkerställa att korrekta beslut kan fattas när man överväger användningen av uttjänta elbilsbatterier på andra användningsområden. Dessa uppgifter kan inkludera information om elbillverkaren (OEM:en), batteritillverkaren, verkstadsservice (ex. datum och utförda tjänster), försäkringsbolag och registrerade olycksfallshändelser, använda elbilsaddare (hemma, på jobbet eller på allmän väg), använda vägar, renoveringsföretag och renoveringsdetaljer, väderhistorik (ex. temperatur, luftfuktig, dammpartiklar, lufttryck etc.) och nuvarande samt tidigare ägare av batteriet. Samtidigt kan insamling av så mycket data möjligen kollidera med principen om dataminimering i GDPR [69], och/eller möta motstånd från konsumenter som slår vakt om sina privatliv, inte minst om det skulle inträffa uppmärksammade dataäckor. Detta illustrerar även en cybersäkerhetsdimension.

15.3.1 Modelleringsresultat



Figur 11: Holistisk modell över datadelningsbehov

16. Publikationslista

Projektets resultat har presenterats på flera olika sätt. I nedanstående avsnitt beskrivs dessa presentationer.

16.1 YouTube presentation

Resultat av den vetenskapliga publikationen presenteras i en film som finns på YouTube: <https://youtu.be/M30zEfKAR6A>



Figur 12: Presentation på YouTube

16.2 Vetenskaplig publikation

Delar av projektet materialet är presenterat på den vetenskapliga och internationella konferensen Power and Renewable Energy Engineering (<http://www.pree.net/>), som hölls i Tokyo, Japan den 20–22 oktober, 2023. Publikationen ”*Building a Sustainable Business Ecosystem for EV Batteries: A Literature study*” återfinns på [Building a Sustainable Business Ecosystem for EV Batteries: A Literature Study | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#).

16.3 Power Point-presentationmaterial

Resultat av den vetenskapliga publikationen i form av en Powerpointpresentation återfinns på SlideShare: <https://www.slideshare.net/secret/Csk0saxXJ9CCMV>. Detta material är fritt att användas som utbildningsmaterial.

16.4 Intern Workshop på RISE

Projektresultatet har presenterats och diskuterats i två olika interna workshops på RISE. Flera experter inom EV-batteriforskningsområdet och Systems engineeringområdet deltog i dessa workshops. Målet med sammankomsterna var att sprida projektresultat samt att få feedback på hur forskningsområdet ytterligare kan utvecklas för att möta de identifierade utmaningarna och stödja en hållbar cirkularitetsprocess för SLB i Sverige.

16.5 RISE Hemsida

Slutligen finns projektet beskrivet på RISE hemsida <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/syntes-affarsekosystem-for-cirkularitet-kring-elbilbatterier>

På denna sida finns detaljer kring projektet samt kontaktuppgifter till projektteamet.

The screenshot shows the RISE website header with the logo and navigation links: 'Vad vi gör', 'Om RISE', and 'Jobba hos'. Below the header is a breadcrumb trail: 'Hem → Vad vi gör → Projekt → Syntes'. The main content area features a large title 'Syntes: Affärsekosystem för cirkularitet kring elbilbatterier' and a summary paragraph. To the right is a yellow sidebar with project details.

Syntes: Affärsekosystem för cirkularitet kring elbilbatterier

All eldrivna fordon kräver batterier. När batterierna blivit för gamla för att användas i fordonen kan de ändå ha en lång återstående livstid för andra användningar -- de får ett "second life". Syntes har genom en litteraturstudie undersökt förutsättningar för att skapa ett affärsekosystem för sådana second life-batterier.

I takt med att fler saker elektrifieras, ökar behovet av batterier. Då metallerna i batterier är sällsynta, svårutvunna och begränsade, kan vi inte enbart förlita oss på användandet av jungfruliga metaller, utan måste även återanvända uttrangerade batterier. I närtid står vi inför en situation där vi

Sammanfattning	
PROJEKTNAMN	Syntes
STATUS	Pågående
RISE ROLL I PROJEKTET	Koordinator
PROJEKTSTART	2023-01-02
VARAKTIGHET	1 år
TOTAL BUDGET	600000
FINANSIÄRER	Energimyndigheten
PROJEKTMEDLEMMAR	Rodi Jolak , Pontus Svenson

Figur 13: Projektets presentation på RISE hemsida

17. Tack

Projektteamet vill tacka granskarna Ulrik Franke och Jakob Rogstadius på RISE för värdefull hjälp med att granska denna slutrapport. Slutligen vill vi även tacka alla som har visat intresse för vårt projekt och för all positiv feedback vi har fått under projektgenomförandet.

18. Referenser

- [1] Volvo. "Volvo Höjdpunkter," 2023-10-23; <https://www.volvocars.com/se/v/sustainability/highlights#:~:text=I%20dag%20finns%20det%20elektrifierade%20versioner%20av%20alla.att%20alla%20nya%20bilar%20ska%20vara%20helt%20eldrivna.>
- [2] E. Hossain et al., "A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers & Potential Solutions, Business Strategies, and Policies," IEEE Access, vol. 7, pp. 73215-73252, 2019.
- [3] G. Lacey, G. Putrus, and A. Salim, "The use of second life electric vehicle batteries for grid support," In: Eurocon 2013, 2013, pp. 1255-1261.
- [4] M. Lybbert, Z. Ghaemi, A. K. Balaji, and R. Warren, "Integrating life cycle assessment and electrochemical modeling to study the effects of cell design and operating conditions on the environmental impacts of lithium-ion batteries," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 144, pp. 111004, 2021.
- [5] K. M. Winslow, S. J. Laux, and T. G. Townsend, "A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries," Resources, Conservation and Recycling, vol. 129, pp. 263-277, 2018.
- [6] M. Shahjalal et al., "A review on second-life of Li-ion batteries: prospects, challenges, and issues," Energy, vol. 241, pp. 122881, 2022.
- [7] K. Richa, C. W. Babbitt, G. Gaustad, and X. Wang, "A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles," Resources, Conservation and Recycling, vol. 83, pp. 63-76, 2014.
- [8] G. Harper et al., "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles," Nature, vol. 575, no. 7781, pp. 75-86, 2019.
- [9] S. Smith, and P.-Y. Hung, "A novel selective parallel disassembly planning method for green design," Journal of Engineering Design, vol. 26, no. 10-12, pp. 283-301, 2015.
- [10] Y. Zhao et al., "A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling," Sustainable Chemistry, 2, 2021].
- [11] A. _ENERGY_COUNCIL. "Storage: Retirement home for old EV batteries?," 2023-10-23; [https://www.energycouncil.com.au/analysis/storage-retirement-home-for-old-ev-batteries/.](https://www.energycouncil.com.au/analysis/storage-retirement-home-for-old-ev-batteries/)
- [12] "Battery University," 2022-12-27; <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003-electric-vehicle-ev.>
- [13] A. J. Smith, "Tools for characterizing performance degradation in lithium-ion batteries," Doctoral thesis, comprehensive summary, TRITA-CBH-FOU, KTH Royal Institute of Technology, 2023.
- [14] J. Zeng, and S. Liu, "Research on aging mechanism and state of health prediction in lithium batteries," Journal of Energy Storage, vol. 72, pp. 108274, 2023.
- [15] "Energy storage technologies catalogue, Danish energy agency.," 2022-12-27; <https://ens.dk/en/our-services/projections-and-models/technology-data/technology-data-energy-storage.>
- [16] A. Barré et al., "A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications," Journal of Power Sources, vol. 241, pp. 680-689, 2013.
- [17] Nyteknik.se. "Så ofta kan du snabbbladda din elbil utan att batteriet far illa," 2023-10-23; <https://www.nyteknik.se/elbilar/sa-ofta-kan-du-snabbbladda-din-elbil-utan-att-batteriet-far-illa/1185525.>
- [18] TeknikensVärld. "25 frågor och svar om elbilar," 2023-11-23; [https://teknikensvarld.expressen.se/nyheter/konsument/25-fragor-och-svar-om-elbilar/.](https://teknikensvarld.expressen.se/nyheter/konsument/25-fragor-och-svar-om-elbilar/)
- [19] BloombergNEF, Zero-Emission Vehicles Factbook A BloombergNEF special report prepared for COP28, <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2023-COP28-ZEV-Factbook.pdf>, 2023.
- [20] MobilitySweden. "Prognos nyregistreringar för 2023," 2023-10-23; <https://mobilitysweden.se/statistik/prognos-nyregistreringar.>
- [21] Naturskyddsföreningen. "Vanliga frågor om flygets klimatpåverkan," 2023-11-22; [https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-paverkar-flygresor-klimatet/.](https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-paverkar-flygresor-klimatet/)
- [22] SVT_Nyheter. "Batterierna tar över – överallt," 2023-10-23; <https://www.svt.se/nyheter/ekonomi/batterierna-tar-over-overallt.>
- [23] Naturskyddsföreningen. "Vanliga frågor om flygets klimatpåverkan " 2023-12-12; [https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-paverkar-flygresor-klimatet/.](https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-paverkar-flygresor-klimatet/)
- [24] C. Koch-Ciobotaru et al., "Second life battery energy storage system for enhancing renewable energy grid integration," In: 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2015, pp. 78-84.
- [25] A. Urbinati, D. Chiaroni, and V. Chiesa, "Towards a new taxonomy of circular economy business models," Journal of Cleaner Production, vol. 168, pp. 487-498, 2017.
- [26] N. R. Glantzberg C, Svenson P., "Mot framtidens transportlösningar — med hjälp av system-av system," <https://www.vinnova.se/globalassets/mikrosajter/ffi/dokument/slutrapporter-ffi/system-av-system-rapporter/2019-05100sv.pdf?cb=20230628100110.>

- [27] B. Kitchenham et al., "Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review," *Information and Software Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 7-15, 2009.
- [28] B. Kitchenham, "Procedures for performing systematic reviews," Keele, UK, Keele University, vol. 33, no. 2004, pp. 1-26, 2004.
- [29] J. W. Creswell, *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, Fourth, international student ed., Los Angeles, Calif: SAGE, 2014.
- [30] L. C. Casals, and B. A. Garcia, "Assessing Electric Vehicles Battery Second Life Remanufacture and Management," *Journal of green engineering*, vol. 6, pp. 77-98, 2016.
- [31] J.-P. Skeete, P. Wells, X. Dong, O. Heidrich, and G. Harper, "Beyond the Event horizon: Battery waste, recycling, and sustainability in the United Kingdom electric vehicle transition," *Energy Research & Social Science*, vol. 69, pp. 101581, 2020.
- [32] M. F. Börner et al., "Challenges of second-life concepts for retired electric vehicle batteries," *Cell Reports Physical Science*, vol. 3, no. 10, pp. 101095, 2022.
- [33] L. Albertsen, J. L. Richter, P. Peck, C. Dalhammar, and A. Plepys, "Circular business models for electric vehicle lithium-ion batteries: An analysis of current practices of vehicle manufacturers and policies in the EU," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 172, pp. 105658, 2021.
- [34] B. Wrålsén et al., "Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers," *Journal of Cleaner Production*, vol. 317, pp. 128393, 2021.
- [35] J. Malinauskaitė, L. Anguilano, and X. S. Rivera, "Circular waste management of electric vehicle batteries: Legal and technical perspectives from the EU and the UK post Brexit," *International Journal of Thermofluids*, vol. 10, pp. 100078, 2021.
- [36] F. Tao, Y. Kishita, C. Scheller, S. Blömeke, and Y. Umeda, "Designing a Sustainable Circulation System of Second-life Traction Batteries: A Scenario-based Simulation Approach," *Procedia CIRP*, vol. 105, pp. 733-738, 2022.
- [37] K. Richa, C. W. Babbitt, and G. G. Gaustad, "Eco-Efficiency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy," *Journal of Industrial Ecology*, vol. 21, 2017.
- [38] C. Heymans, S. B. Walker, S. B. Young, and M. Fowler, "Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling," *Energy Policy*, vol. 71, pp. 22-30, 2014.
- [39] H. Rallo, G. Benveniste, I. Gestoso, and B. Amante, "Economic analysis of the disassembling activities to the reuse of electric vehicles Li-ion batteries," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 159, pp. 104785, 2020.
- [40] Y. Kotak et al., "End of Electric Vehicle Batteries: Reuse vs. Recycle," *Energies*, vol. 14, no. 8, pp. 2217, 2021.
- [41] J. Zhu et al., "End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries," *Cell Reports Physical Science*, vol. 2, no. 8, pp. 100537, 2021.
- [42] F. Vu, M. Rahic, and K. Chirumalla, "Exploring Second Life Applications for Electric Vehicle Batteries," In: 9th Swedish Production Symposium, SPS 2020; Virtual, Online; Sweden; 7 October 2020 through 8 October 2020; 2020, pp. 273-284.
- [43] S. Maharajan, M. Jana, and S. Basu, "Handling of the End of Life Electric Vehicle Batteries for Stationary Storage Applications," In: 2019 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India), 2019, pp. 1-5.
- [44] S. Bobba, F. Mathieux, and G. A. Blengini, "How will second-use of batteries affect stocks and flows in the EU? A model for traction Li-ion batteries," *Resour Conserv Recycl*, vol. 145, pp. 279-291, 2019.
- [45] M. Schulz-Mönninghoff, N. Bey, P. U. Nørregaard, and M. Niero, "Integration of energy flow modelling in life cycle assessment of electric vehicle battery repurposing: Evaluation of multi-use cases and comparison of circular business models," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 174, pp. 105773, 2021.
- [46] H. Idjis, and P. da Costa, "Is Electric Vehicles Battery Recovery a Source of Cost or Profit?," *The Automobile Revolution: Towards a New Electro-Mobility Paradigm*, D. Attias, ed., pp. 117-134, Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [47] E. Micheli et al., "Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects," *Energies*, vol. 16, no. 6, pp. 2830, 2023.
- [48] M. Etxandi-Santolaya, L. Canals Casals, T. Montes, and C. Corchero, "Are electric vehicle batteries being underused? A review of current practices and sources of circularity," *Journal of Environmental Management*, vol. 338, pp. 117814, 2023.
- [49] H. Rallo et al., "Lithium-ion battery 2nd life used as a stationary energy storage system: Ageing and economic analysis in two real cases," *Journal of Cleaner Production*, vol. 272, pp. 122584, 2020.

- [50] M. Shafique, M. Rafiq, A. Azam, and X. Luo, "Material flow analysis for end-of-life lithium-ion batteries from battery electric vehicles in the USA and China," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 178, pp. 106061, 2022.
- [51] P. A. Christensen et al., "Risk management over the life cycle of lithium-ion batteries in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 148, pp. 111240, 2021.
- [52] C. Illa Font et al., "Second Life of Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles: A Short Review and Perspectives," *Energies*, vol. 16, pp. 953, 2023.
- [53] N. Kebir et al., "Second-life battery systems for affordable energy access in Kenyan primary schools," *Scientific Reports*, vol. 13, no. 1, pp. 1374, 2023.
- [54] E. A. Moore, J. D. Russell, C. W. Babbitt, B. Tomaszewski, and S. S. Clark, "Spatial modeling of a second-use strategy for electric vehicle batteries to improve disaster resilience and circular economy," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 160, pp. 104889, 2020.
- [55] Y. Hua et al., "Toward Sustainable Reuse of Retired Lithium-ion Batteries from Electric Vehicles," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 168, pp. 105249, 2021.
- [56] C. A. Rufino Júnior et al., "Towards a business model for second-life batteries: Barriers, opportunities, uncertainties, and technologies," *Journal of Energy Chemistry*, vol. 78, pp. 507-525, 2023.
- [57] R. Reinhardt, I. Christodoulou, S. Gassó-Domingo, and B. Amante García, "Towards sustainable business models for electric vehicle battery second use: A critical review," *Journal of Environmental Management*, vol. 245, pp. 432-446, 2019.
- [58] B. Wrålsen, and R. O'Born, "Use of life cycle assessment to evaluate circular economy business models in the case of Li-ion battery remanufacturing," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 28, no. 5, pp. 554-565, 2023.
- [59] A. C. Moreira et al., "A Comprehensive Second-Life Review of Electric Vehicle Batteries - A Brazilian Study Case," In: 2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America), 2021, pp. 1-5.
- [60] X. Hu et al., "A Review of Second-Life Lithium-Ion Batteries for Stationary Energy Storage Applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 110, no. 6, pp. 735-753, 2022.
- [61] R. Rezanian, and W. Prügler, "Business models for the integration of electric vehicles into the Austrian energy system," In: 2012 9th International Conference on the European Energy Market, 2012, pp. 1-8.
- [62] S. Robson, A. M. Alharbi, W. Gao, A. Khodaei, and I. Alsaidan, "Economic Viability Assessment of Repurposed EV Batteries Participating in Frequency Regulation and Energy Markets," In: 2021 IEEE Green Technologies Conference (GreenTech), 2021, pp. 424-429.
- [63] W. C. Lih, J. H. Yen, F. H. Shieh, and Y. M. Liao, "Second Use of Retired Lithium-ion Battery Packs from Electric Vehicles: Technological Challenges, Cost Analysis and Optimal Business Model," In: 2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control, 2012, pp. 381-384.
- [64] R. E. Boyatzis, *Transforming qualitative information : thematic analysis and code development*, London :: SAGE, 1998.
- [65] B. Klör, D. Beverungen, S. Bräuer, F. Plenter, and M. Monhof, *A Market for Trading Used Electric Vehicle Batteries — Theoretical Foundations and Information Systems*, 2015.
- [66] EUROPEISKA_KOMMISSIONEN. "UROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING: om batterier och förbrukade batterier, om upphävande av direktiv 2006/66/EG och om ändring av förordning (EU) 2019/1020," 2023-10-23; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020PC0798&qid=1643874280729&from=EN>.
- [67] GS1_Sweden. "Webinar: Digitala produktpass – så förbereder sig Sverige," 2023-10-23; <https://www.youtube.com/watch?v=KBLTwNhj5QE&t=84s>.
- [68] RISE. "Hög tid att förbereda sig för digitala produktpass," 2023-12-13; https://www.ri.se/sv/berattelser/hog-tid-att-forbereda-sig-for-digitala-produktpass?utm_campaign=Nyhetsbrev+4+2023-H%c3%a5llbar+produktion+och+materialomst%c3%a4llning&utm_medium=email&utm_source=lime-newsletter.
- [69] A. J. Biega, P. Potash, H. Daumé, F. Diaz, and M. Finck, "Operationalizing the Legal Principle of Data Minimization for Personalization," In: Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, Virtual Event, China, 2020, pp. 399-408.