Prediktion av natriumjonbatteriers framtida produktion

Kandidatarbete inom Industriell ekonomi

JACOB HELM
ERIC SKÖLD
ERIK NILSSON
GUSTAV ÖRNBERG

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR ENVIRONMENTAL SYSTEMS ANALYSIS

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

Kandidatarbete TEKX18-25-22

Kandidatarbete TEKX18-25-22

Prediktion av natriumjonbatteriers framtida produktion

Prediction of the future production of sodium-ion batteries

JACOB HELM ERIK NILSSON
ERIC SKÖLD GUSTAV ÖRNBERG

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelning för Environmental Systems Analysis
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Prediktion av natriumjonbatteiers framtida produktion

JACOB HELM
ERIC SKÖLD
ERIK NILSSON
GUSTAV ÖRNBERG

© JACOB HELM, 2025
© ERIC SKÖLD, 2025
© ERIK NILSSON, 2025
© GUSTAV ÖRNBERG, 2025

Kandidatarbete TEKX18-25-22

Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2025

Gothenburg, Sweden 2025

Prediction of the future production of sodium-ion batteries

JACOB HELM ERIK NILSSON
ERIC SKÖLD GUSTAV ÖRNBERG

Department of Technology Management and Economics
Chalmers University of Technology

Abstract

Problem
The battery market is growing rapidly with multiple areas of use and different types of batteries. The most prominent type is the lithium-ion battery, which faces the challenge of limited resources. Another type of battery is the sodium-ion battery. The technology behind the sodium-ion battery has been prevalent for a long time but has not been commercialised until recent years. The sodium-ion battery has a lower energy density but excels when it comes to price, charging rate and discharge rate. Because of these attributes, the sodium-ion battery is seen as a complement to the lithium-ion battery in areas where the focus is not on energy density but on the charge and discharge rate. Since the sodium-ion battery is such a new technology on the market with just a few players that have gone to production, future production volumes are uncertain.

Aim
This study aims to predict and analyse the future production capacity of the sodium-ion battery and to map battery-related data such as material choices and application areas.

Theoretichal framework
To make the prediciton, three growth models are used. These are the exponential, logistic and exponential decay growth models. As a qualitative complement to these, the diffusion process of innovations is explained. Furthermore, technichal aspects of the sodium-ion and lithium iron phosphate batteries are accounted for.

Method
The study is mainly quantitative, where data from company reports were collected and used to predict the production capacity up to the year 2050. The collected data is related to companies' production capacity aswell as their batteries' technical data and application areas. The data was collected from companies that have announced that they are currently producing sodium-ion batteries or are planning on doing so. The data was fitted to different growth models which in turn provided the annual growth of the production capacity. To complement the growth models interviews with experts were counducted. In addition, charts were created to map the technical data and materials of the batteries.

Results and implications
The study concludes that the production capacity of sodium-ion batteries will most likely follow a logistic growth model. From this the production capacity in the year 2050 is predicted to reach approximately 500 GWh annually. This value can be used by policy and industry actors to get an idea of the future potential production of sodium-ion batteries. The most common positve electrode material from the studied companies is layered oxide, and the most common negative electrode material is hard carbon. The most common areas of use are electric vehicles and energy storage systems.

Keywords: Sodium-ion batteries, The battery market, Forecast, Prediction

Note: The report is written in Swedish

Göteborg, Sverige 2025

Prediktion av natriumjonbatteriers framtida produktion

JACOB HELM ERIK NILSSON
ERIC SKÖLD GUSTAV ÖRNBERG

Institutionen för Teknikens Ekonomi och Organisation
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Problem
Batterimarknaden är en snabbt växande marknad med flera olika användningsområden och typer av batterier. Den vanligaste batteritypen är litiumjonbatteriet som idag står inför utmaningen att dess ingående resurser är begränsade. Natriumjonbatteriet är en annan typ av batteri som länge existerat men inte kommersialiserats förrän på senare tid. Batteriet har en lägre energidensitet men utmärker sig när det kommer till pris, laddning- och urladdningshastighet. Med utgångspunkt i dessa egenskaper betraktas det som ett komplement till litiumjonbatteriet inom användningsområden som har lägre krav på energidensitet men högre krav på laddning- och urladdningshastighet. Eftersom natriumjonbatterierna är så pass nya på marknaden är det ett fåtal aktörer som har inlett produktion, vilket innebär att den framtida produktionskapaciteten av batteriet är osäker.

Syfte
Studien syftar till att predicera och analysera framtida produktionskapaciteten av natriumjonbatterier samt kartlägga batteritekniska data såsom materialval och användningsområden.

Teoretiskt ramverk
För att predicera den framtida produktionskapaciteten av natriumjonbatterier används tre tillväxtmodeller. Dessa är den exponentiella, logistiska samt exponentiellt avtagande tillväxtmodellen. För att komplettera dessa förklaras även diffusionsprocessen för innovationer. Dessutom redogörs för de tekniska egenskaperna hos natriumjon- och litiumjärnfosfatbatteriet.

Metod
Studien är huvudsakligen kvantitativ, där data från företagsutlåtanden insamlats och använts för att predicera natriumjonbatterimarknadens produktionskapacitet fram till och med år 2050. Insamlad data är relaterad till företagens produktionskapacitet och deras batteriers teknik och användningsområden, vilka enbart inhämtades från företag som annonserat att de producerar eller planerar att producera natriumjonbatterier. Insamlad data anpassades sedan till olika tillväxtmodeller som i sin tur återgav den årliga tillväxttakten av produktionskapaciteten. Denna visualiserades i diagram och tabeller. För att komplettera tillväxtmodellerna genomfördes även intervjuer. Dessutom framställdes diverse diagram

för att kartlägga olika batteritekniska data.

Resultat och implikationer
Från denna studie dras slutsatsen att produktionskapaciteten för natriumjonbatterier troligtvis kommer att följa en logistisk tillväxtmodell. Utifrån denna modell prediceras att produktionskapaciteten år 2050 uppnår ungefär 500 GWh/år. Detta värde kan användas av industri- och samhällsaktörer för att få en bild av den framtida potentiella tillverkningen av natriumjonbatterier. Oxidlager framstår som det vanligaste positiva elektrodmaterialet och hårt kol som det vanligaste negativa elektrodmaterialet. Energilagringssystem och elfordon framstår som de vanligaste användningsområdena.

Nyckelord: Natriumjonbatterier, Batterimarknaden, Prediktion, Prognos

Notera: Rapporten är skriven på svenska

Akronymer

Nedan listas de akronymer som använts i rapporten i alfabetisk ordning.

ELS	Energilagringssystem
LFP	Litiumjärnfosfat
NaS	Natrium-svavel

Ordlista

Nedan följer olika begrepp och deras respektive definition. Begreppen berör diffusion, batteriteknik och matematiska formler.

Diffusionsteori

Begrepp	**Definition**
Adoptör	En individ, grupp eller organisation som börjar använda en innovation
Auktoritära beslut	Beslut som tas av ett fåtal individer med makt, status eller teknisk expertis som medel (Rogers, 1983)
Diffusion	”Den process varigenom en innovation över tid kommuniceras genom vissa kanaler bland medlemmar av ett socialt system” (Rogers, 1983, s.5)
Frivilliga innovationsbeslut	Beslut som en individ tar oberoende av andra individers beslut (Rogers, 1983)
Förändringsagent	”En individ som påverkar klienters innovationsbeslut på ett sätt som är önskvärt av en förändringsorganisation”(Rogers, 1983, s.28)
Innovation	Teknisk nyhet vanligen betraktad som ett framsteg (Rogers, 1983)
Kollektiva innovationsbeslut	Beslut genom konsensus bland flera individer (Rogers, 1983)
Kompatibilitet	Till vilken grad innovationen uppfattas som konsekvent med nutida värderingar, dåtida händelser och behoven hos adoptörer (Rogers, 1983)
Komplexitet	Hur svår en innovation är att använda (Rogers, 1983)
Massmediakanaler	Informationsspridning i massmedium, såsom radio, television och nyhetstidningar (Rogers, 1983)
Mellanmänskliga kanaler	Informationsutbyte mellan två eller flera individer i ett verkligt sammanhang (Rogers, 1983)

Normer	”De etablerade beteendemönstrerna hos medlemmarna av ett socialt system” (Rogers, 1983, s.27)
Observerbarhet	Hur synliga resultaten av en innovation är (Rogers, 1983)
Opinionsledare	Individer som på informella vis påverkar andra individers åsikter och attityder (Rogers, 1983)
Relativ fördel	Den fördel som en innovation har gentemot dess föregångare (Rogers, 1983)
Testbarhet	Till vilken grad man kan experimentera med en innovation (Rogers, 1983)

Batteritekniska definitioner

Begrepp	**Definition**
Elektrod	En elektrisk ledare som används för att skapa kontakt med en icke-metallisk del av en krets (Berg, 2015)
Elektrokemisk cell	Består av två elektroder som separeras av en elektrolyt. Omvandlingen från kemisk till elektrisk energi eller vice versa sker här (Berg, 2015)
Elektrolyt	Ett jonledande medium som separerar elektroderna (Berg, 2015)
Gravimetrisk energidensitet	Mängden energi per massenhet (Wh/kg). Hädanefter avser ”energidensitet” den gravimetriska energidensiteten

Matematiska begrepp

Begrepp	Definition
Determinationskoefficient (R^2)	Mäter hur mycket av variansen av insamlad data som en modell förklarar. Matematiskt definieras den som: $$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$$ där y_i är en datapunkt, $\hat{y}_i$ är modellens predicerade värde för samma punkt och $\bar{y}$ är datapunkternas medelvärde. Värdemängden för måttet är mellan 0 och 1, där det senare innebär att modellen förklarar all varians hos insamlad data (Newcastle University, u.å.)
Gauss-Newtonmetoden	Används för att lösa ickelinjära minsta-kvadratproblem. Den börjar på en startgissning och arbetar iterativt. Metoden förbättras genom att approximera den icke-linjära modellen med en linjär modell iterativt. För varje iteration beräknas jacobianen och det linjära systemet: $$(J^\top J)\Delta \boldsymbol{p} = -J^\top \mathbf{r}$$ kan lösas (Runborg, 2011)
Gradientnedstigning	En metod för att minimera kostnadsfunktionen $\nabla S(\mathbf{p})$, genom att justera parametrarna i riktning mot den negativa gradienten. För minstakvadratproblem beräknas gradienten som: $$\nabla S(\mathbf{p}) = -J^\top \mathbf{r}(\mathbf{p})$$ Parametrarna uppdateras sedan med: $$\mathbf{p}_{\text{ny}} = \mathbf{p}_{\text{gammal}} + \eta \cdot J^\top \mathbf{r}(\mathbf{p})$$ där η är inlärningshastigheten (stegets storlek). Metoden itereras tills kostnadsfunktionen når ett minimum
Inflexionspunkt	En punkt $x = a$ är en inflexionspunkt för funktionen $f(x)$ om $f''(a) = 0$ och tecknet på $f''(x)$ förändras vid $x = a$

Jacobimatris

Jacobimatrisen eller Jacobian som den ibland kallas beskriver hur en vektor av funktioner förändras med avseende på en vektor av variabler. Givet en vektorvärd funktion:

$$\mathbf{f}(\mathbf{p}) = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{p}) \\ f_2(\mathbf{p}) \\ \vdots \\ f_n(\mathbf{p}) \end{bmatrix}, \quad \text{där } \mathbf{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_m \end{bmatrix}$$

så är Jacobianmatrisen $J(\mathbf{p})$ en $n \times m$ matris bestående av alla partiella derivator:

$$J(\mathbf{p}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial p_1} & \frac{\partial f_1}{\partial p_2} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial p_m} \\ \frac{\partial f_2}{\partial p_1} & \frac{\partial f_2}{\partial p_2} & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial p_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial p_1} & \frac{\partial f_n}{\partial p_2} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial p_m} \end{bmatrix}$$

Medelabsolutfel, (*eng. mean absolute error*) (MAE)

Mäter den absoluta skillnaden mellan data och modellens predicerade värden för den. Matematiskt definieras den som:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|$$

där y_i är en datapunkt och $\hat{y}_i$ är modellens predicerade värde för samma punkt. Ju högre värde MAE antar desto sämre passar modellen insamlad data

Residualen

Skillnaden mellan de observerade och de predicerade värdena i en regressionsmodell (Frisk, 2018)

Rotmedelkvadratfel, (*eng. root mean squared error*) ($RMSE$)

Mäter den kvadrerade differensen mellan data och modellens predicerade värde för den. Därmed, jämfört med medelabsolutfelmåttet, är rotmedelkvadratfelet ett mått som är mer känsligt för större avvikelser. Matematiskt definieras den som:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

där y_i är en datapunkt och $\hat{y}_i$ är modellens predicerade värde för samma punkt. Ju högre värde $RMSE$ antar desto sämre passar modellen insamlad data

Sammanlagd årlig tillväxttakt, (*eng. compound annual growth rate*) ($CAGR$)	Mäter den genomsnittliga årliga tillväxttakten. Matematiskt definieras den som: $$CAGR = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$ där V_i är det initiala värdet, V_f är det slutgiltiga värdet och n är antalet år mellan de tidpunkter då värdena inträffar
Varians	Mäter hur mycket data avviker från sitt medelvärde. Matematiskt definieras den som $$\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$$ där x_i är en datapunkt och $\bar{x}$ är medelvärdet av insamlad data

Innehåll

Akronymer **x**

Ordlista **xi**

Figurer **xix**

Tabeller **xxi**

1 Introduktion **1**
1.1 Syfte . . . 2
1.2 Avgränsningar . . . 2

2 Teori **4**
2.1 Diffusion . . . 4
2.2 Tillväxtmodeller . . . 5
2.2.1 Exponentiella tillväxtmodellen . . . 5
2.2.2 Logistiska tillväxtmodellen . . . 6
2.2.3 Exponentiellt avtagande tillväxtmodell . . . 7
2.3 Natriumjonbatteriet . . . 8
2.4 Litiumjärnfosfat-batterier . . . 9

3 Metod **10**
3.1 Val av metod . . . 10
3.2 Datainsamling . . . 10
3.3 Intervjumetodik . . . 11
3.4 Tillväxtmodellering . . . 11

4 Resultat **14**
4.1 Företagsurval . . . 14
4.2 Underlag för antaganden . . . 17
4.2.1 Produktionskapacitetsfördelning mellan litium- och natriumjon-batterier . . . 17
4.2.2 Utbyggnadstaktsberäkning . . . 17
4.3 Företagsspecifika antaganden . . . 18
4.3.1 Acculon Energy . . . 18
4.3.2 Amandarry & Sodium Power . . . 18
4.3.3 AMTE Power (LionVolt) . . . 19

4.3.4 CATL . . . 19
4.3.5 CBAK Energy . . . 20
4.3.6 Cham Battery Technology . . . 20
4.3.7 Faradion (Reliance) . . . 21
4.3.8 Farasis Energy . . . 21
4.3.9 Findreams (BYD) . . . 21
4.3.10 Godi . . . 22
4.3.11 Great Power . . . 22
4.3.12 Highstar . . . 22
4.3.13 HiNa . . . 23
4.3.14 LiFun . . . 23
4.3.15 Natron . . . 23
4.3.16 Shenzhen Puna Times Energy . . . 23
4.3.17 Transimage . . . 23
4.3.18 Unigrid . . . 24
4.3.19 Veken . . . 24
4.3.20 Zoolnasm . . . 25
4.4 Företagsdata . . . 26
4.4.1 Produktionskapacitetsdata . . . 29
4.4.2 Batteriteknisk data . . . 29
4.4.3 Användningsområden . . . 31
4.4.4 Företagens geografiska fördelning . . . 32
4.5 Tillväxtmodeller . . . 33
4.5.1 Den exponentiella tillväxtmodellen . . . 34
4.5.2 Den logistiska tillväxtmodellen . . . 35
4.5.3 Den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen . . . 36
4.5.4 Jämförelse av tillväxtmodeller . . . 37
4.5.5 Utomstående prediktioner . . . 38
4.6 Intervjuresultat . . . 40

5 Diskussion **42**
5.1 Tillväxtmodeller . . . 42
5.2 Marknadsutmaningar och prediktionens giltighet . . . 43
5.3 Batteriteknik och användningsområden . . . 44
5.4 Källor till osäkerhet och begränsningar . . . 45
5.4.1 Datainsamling . . . 45
5.4.2 Antaganden . . . 45
5.4.3 Jämförandet av produktionskapacitetsdata med marknadsdata . . . 46

6 Slutsats **47**

Litteraturförteckning **47**

Bilaga A Datakällor **I**

Bilaga B Övriga tabeller **VI**

Bilaga C Intervjuguider **VII**

Figurer

1 Karakteristiska utseendet för en kurva som följer en exponentiell tillväxtmodell enligt ekvation 2.1 6
2 Karakteristiska utseendet för en kurva som följer en logistisk tillväxtmodell enligt ekvation 2.2 7
3 Karakteristiska utseendet för en kurva som följer en exponentiellt avtagande tillväxtmodell enligt ekvation 2.3 7
4 Schematisk skiss av en natriumjonbattericell, där även de vanligaste elektrodmaterialen listas. Akronymer PE: Positiv elektrod, NE: Negativ elektrod. 8
5 Tidsserie av den kumulativa produktionskapaciteten utifrån [Nuvarande kapacitet], [Framtida Kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Data adderas kumulativt från år till år. 29
6 Cirkeldiagram som visar andel av olika positiva elektrodmaterial för samtliga företag. Följande akronymer har tillämpats: Oxidlager: OL, Polyanion: PA, Preusiskt blått/vitt: PB. 30
7 Cirkeldiagram som visar andel av olika negativa elektrodmaterial för samtliga företag. Följande akronymer har tillämpats: Hårt kol: HK, Mjukt kol/Antracitbaserat: MK, Tenn: Sn, Preusiskt blått/vitt: PB 30
8 Cirkeldiagram som visar andel av olika användningsområden. Följande akronymer har tillämpats: Energilagringssystem: ELS, Elfordon: EF, Avbrottsfri kraftförsörjning: AK, Reservkraft: RK och Konsumentelektronik: KE. 31
9 Stapeldiagram som visar fördelning av produktionskapacitet över tid mellan länder baserat på GWh/år. 32
10 Cirkeldiagram som visar andelen företag i olika geografiska områden. Diagrammet är baserat på Tabell 17 som återfinns i Bilaga B. 33
11 Diagram av den exponentiella tillväxtmodellen som anpassats till data i kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Produktionskapacitet adderas kumulativt år till år. De markerade predicerade produktionskapaciteterna avser åren 2035, 2040 och 2050. 34
12 Diagram av den logistiska tillväxtmodellen som anpassats till data i kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Produktionskapacitet adderas kumulativt år till år. De markerade predicerade produktionskapaciteterna avser åren 2035, 2040 och 2050. 35

13 Diagram av den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen som anpassats till data i kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Produktionskapacitet adderas kumulativt år till år. De markerade predicerade produktionskapaciteterna avser åren 2035, 2040 och 2050. 36
14 Diagram som jämför tillväxtmodellerna i avsnitt 4.5.1, 4.5.2 och 4.5.3 för perioden 2025-2040. 37
15 Diagram som jämför tillväxtmodellerna i avsnitt 4.5.1, 4.5.2 och 4.5.3 för perioden 2030-2050. 38
16 Diagram för utvecklingen av efterfrågan på hela batterimarknaden med en exponentiell tillväxtmodell anpassad till den. (World Economic Forum, 2019). 40

Tabeller

1 Alla företag som beaktats i studien och den produkt som företaget producerar. Totalt 64 företag. Akronymer: PE: positivt elektrodmaterial, NE: negativt elektrodmaterial, NaS: Natrium-svavel batterier. En tom cell indikerar att data saknas. 14

2 Företag som producerar natriumjonbatterier. Totalt 30 företag. 16

3 Uppskattad fabriksutbyggnadstakt i GWh/år för ett urval av företag. [Tid] anges i år, [Kapacitet] avser produktionskapacitet och anges i GWh/år och [Genomsnitt] är genomsnitt av [GWh/år] för respektive [Storlek] där storlek avser kategorier för produktionskapaciteterna <=5 GWh/år och >5 GWh/år. Vid de fall ett företag bygger en fabrik i olika faser så specificeras vilken fas en rad avser till höger om företagsnamnet. Respektive källa anges i siffran intill startvärdet. Källan gäller för hela raden och återges i Bilaga A. 18

4 Sammanställning av data för företagets tre olika natriumjonbattericelltyper. (Unigrid Battery, u.å.). 24

5 Översikt av företagens produktionskapacitet, tekniska information och användningsområden. En asterisk [*] intill företagets namn indikerar att ett eller flera antaganden applicerats här. En källhänvisning i direkt anslutning till företagets namn indikerar att all data på raden är från samma källa. Källorna återfinns i Bilaga A. Akronymer: Oxidlager: OL, Polyanion: PA, Preussiskt blått/vitt: PB, Hårt kol: HK, Mjukt kol: MK, Tenn: Sn, Energilagringssystem: ELS, Elfordon: EF, Avbrottsfri kraftförsörjning: AK, Reservkraft: RK, Konsumentelektronik: KE, Positiv elektrod: PE, Negativ elektrod: NE. En tom cell indikerar att data saknas. 27

6 Parametrar för den exponentiella tillväxtmodellen i ekvation 2.1 som anpassades till data i Figur 11 34

7 Matematiska mått på den exponentiella tillväxtmodellen som anpassades till data i Figur 11. CAGR använder data i [Nuvarande kapacitet] i Tabell 5 som produktionskapacitet för år 2025. 34

8 Parametrar för den logistiska tillväxtmodellen i ekvation 2.2 som anpassades till data i Figur 12. 35

9 Matematiska mått på den logistiska tillväxtmodellen som anpassades till data i Figur 12. CAGR använder data i [Nuvarande kapacitet] i Tabell 5 som produktionskapacitet för år 2025. 35

10 Parametrar för den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen i ekvation 2.3 som anpassades till data i Figur 13. 36

11 Matematiska mått på den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen som anpassades till data i Figur 13. CAGR använder data i [Nuvarande kapacitet] i Tabell 5 som produktionskapacitet för år 2025. 36
12 Jämförelse av tillväxtmodeller baserat på olika matematiska mått. $CAGR_1$ avser perioden 2025-2034 och $CAGR_2$ perioden 2025-2050 38
13 Prediktionsdata för LFP-batterimarknaden. Data i [Startvärde] och [Slutvärde] är angiven i miljarder dollar. [Varians] avser variansen av data i [CAGR (%)] och har beräknats utifrån definitionen i ordlistan. 39
14 Prediktionsdata för natriumjonbatterimarknaden. Data i [Startvärde] och [Slutvärde] är angiven i miljarder dollar. [Varians] avser variansen av data i [CAGR (%)] och har beräknats utifrån definitionen i ordlistan. 39
15 Parametrar för den exponentiella tillväxtmodellen i ekvation 2.1 som anpassades till efterfrågedata i Figur 16 40
16 Matematiska mått på den exponentiella tillväxtmodellen som anpassades till efterfrågedata i Figur 16. 40

17 Företag som producerar natriumjonbatterier och var de är geografiskt verksamma VI

1 Introduktion

Omställningen till ett mer hållbart och cirkulärt samhälle är en aktuell och omfattande process. En del av denna omställning utgörs av den pågående elektrifieringen av samhället. För denna är en central teknologi laddbara batterier. Det finns flera varianter av dessa, med litiumjonbatteriet som den dominerande och snabbast växande batteriteknologin på marknaden (Fraunhofer ISI, 2023). Mer specifikt uppvisar litiumjonbatteriet en årlig tillväxt på omkring 30-50%, främst på grund av den växande marknaden för elfordon. Alltjämt är framtiden inte fastställd, utan det för tillfället dominerande litiumjonbatteriet står för en mängd utmaningar, däribland dess negativa effekter på miljön och resurstillgångar. Detta ger utrymme åt substituerande eller kompletterande batteritekniker, där natriumjonbatterier framträder som en lovande kandidat. Prediktionen av den framtida produktionskapaciteten och användningen av natriumjonbatterier är därför ett intressant forskningsområde.

En central utmaning för litiumjonbatteriet är resurstillgång. Natrium finns, till skillnad från litium, i en betydligt större omfattning i både vatten och jordskorpan (Fraunhofer ISI, 2023). Närmare bestämt utgörs ungefär 2% av jordskorpan av natrium, medan litium endast utgör omkring 20 ppm. Vidare så är inte bara litium problematiskt, utan även andra ingående ämnen som nickel, kobolt, koppar och grafit är både kostsamma och begränsade i tillgång (Titirici et al., 2024). Eftersom natriumjonbatterier saknar dessa ämnen, med undantag för nickel i vissa varianter, utgör de ett lovande alternativ till litiumjonbatterier ur ett resursperspektiv.

Vidare beräknas den totala materialkostnaden för natriumjonbatterier vara 40-60% av den för litiumjonbatterier (Fraunhofer ISI, 2023). Tillsammans med en förmodad ökad efterfrågan på batterier utgör natriumjonbatteriet ett lovande alternativ även ur en ekonomisk synpunkt. Ett ytterligare ekonomiskt incitament som talar för natriumjonbatterier är att dess tillverkningsprocess är kompatibel med den för litiumjonbatterier (Tapia-Ruiz et al., 2021). Detta stärker natriumjonbatteriernas ekonomiska potential, då behovet av exempelvis nybyggnation av fabriker uteblir.

Även det geopolitiska läget är en väsentlig faktor i batteribranschen. De flesta ämnen som ingår i litiumjonbatterier, inte minst litium i sig, bryts och förädlas utanför Europa (Fraunhofer ISI, 2023). Förädlingen sker i synnerhet i Kina som dessutom står för merparten av de senaste fem årens publikationer inom området. Deras ställning skapar ytterligare incitament för Europa att överväga kompletterande tekniker för att säkerställa framtida produktion och minska det rådande importberoendet.

Trots dessa potentiella fördelar med natriumjonbatterier finns det fortfarande utmaningar. En av dessa är att återvinningspotentialen för natriumjonbatterier är något begränsad. Det finns utvecklade återvinningsprocesser, men på grund av den rika tillgången på natrium och andra ingående ämnen kan ekonomiska incitament saknas (Fraunhofer ISI, 2023). En ytterligare utmaning är energidensitet, vilken är lägre för natriumjonbatterier än för litiumjonbatterier. Den lägre energidensiteten föranleder att fler battericeller per kilowattimme behöver produceras för att uppnå samma kapacitet som för litiumjonbatteriet. Detta förväntas öka produktionskostnaderna med omkring 15% (Fraunhofer ISI, 2023). På grund av energidensiteten är också användningsområdena för natriumjonbatteriet i nuläget begränsade till stationära applikationer eller mindre elektriska fordon. Således är natriumjonbatteriet förmodligen inte den enda lösningen i den totala elektrifieringen av samhället, men kan vara en av flera batteritekniker som täcker in olika applikationsområden.

1.1 Syfte

Med tanke på de fördelar men också utmaningar som natriumjonbatterier har relativit litiumjonbatterier finns en osäkerhet kring hur mycket natriumjonbatterier som kommer produceras i framtiden. Flera företag erbjuder uppskattningar, såsom IDTechEx, men dessa kan endast beskådas mot betalning och är inte öppet tillgängliga.

Studiens syfte är att predicera och analysera produktionskapaciteten av natriumjonbatterier fram till år 2050. Denna öppet tillgängliga prediktion kan informera samhällets aktörer angående trolig framtida natriumjonbatteriproduktion. Dessutom avser studien att kartlägga fördelningen av vissa batteritekniska data såsom materialval och användningsområde för natriumjonbatteriet.

1.2 Avgränsningar

Enligt Sandia National Laboratories finns flera typer av natriumbaserade batterier: smälta natriumbatterier, såsom NaS (natrium-svavel) och natriummetallhalidbatterier (t.ex. ZEBRA-batterier), natriumjonbatterier, natriumbatterier med fast elektrolyt (eng. solid-state) och natrium-luftbatterier (Na-O_2) (Spoerke, 2022). Även om det finns andra natriumbaserade batteriteknologier har företagen som ingår i studiens prediktionsmodeller avgränsats till de som producerar natriumjonbatterier. Det finns både många befintliga batteriteknologier och många under utveckling (Fraunhofer ISI, 2023). Att jämföra natriumjonbatteriet med flera batteriteknologier vore alltför omfattande sett till den tid som kan avsättas för ett kandidatarbete. Således kommer enbart litiumjonbatteriet, i synnerhet litiumjärnfosfat-batteriet, tas i beaktande ur ett jämförande syfte.

Till år 2050 har bland andra EU ett mål om att nå klimatneutralitet (Naturvårdsverket, 2024). För att uppnå målet krävs bland annat minskade utsläpp från fordonsflottan genom en övergång från fossildrivet till energikällor där batterier utgör en stor roll. Utöver detta ger en prognos med allt för lång tidshorisont en ökad osäkerhet (Hedvall, 2008). En tidshorisont för prediktionen fram till år 2050 kan därför betraktas som en välavvägd

kompromiss mellan osäkerhet och samhällelig relevans, med särskild hänsyn till EU:s klimatmål.

2 Teori

I detta kapitel redogörs för studiens bakomliggande teori. Inledningsvis i avsnitt 2.1 behandlas processen diffusion. Därefter följer en redogörelse för de tillväxtmodeller som beaktats i studien i avsnitt 2.2. Teorin bakom ett batteri samt natriumjonbatteriets funktion, material och användningsområden förklaras i avsnitt 2.3. Slutligen redogörs för litiumjärnfosfatbatteriet i avsnitt 2.4.

2.1 Diffusion

Avsnittet behandlar processen diffusion och beskriver variabler som påverkar dess takt. Följande variabler redogörs för: innovationens egenskaper, det sociala sammanhanget den existerar inom, vilka kommunikationskanaler som används för att sprida kunskap om den, hur det sociala systemet som adoptörerna verkar inom är uppbyggt och till sist individens roll i diffusion.

Diffusionstakten av olika innovationer varierar, men generellt beror den på innovationens: relativa fördel, kompatibilitet, komplexitet, testbarhet och observerbarhet (Rogers, 1983). Det sociala sammanhanget som innovationen befinner sig inom är också viktigt för dess diffusionstakt. Huvudsakligen adopteras innovationer på antingen individ- eller systemnivå. Tre olika typer av innovationsbeslut kan föranleda en adoption: frivilliga, kollektiva och auktoritära beslut. Auktoritära beslut brukar återge högst adoptionstakt, men kringgås däremot ofta efter dess implementering.

Hur information når beslutstagarna, det vill säga vilken kommunikationskanal som används, är likaså något som påverkar diffusionstakten. Huvudsakligen kan man skilja mellan två sådana: massmediakanaler och mellanmänskliga kanaler (Rogers, 1983). Det som utmärker massmediakanaler är att de kan nå stora folkmassor snabbt, skapa kunskap och sprida information, samt förändra attityder som innehas med svag övertygelse. Mellanmänskliga kanaler utmärks av den interaktion som sker mellan individerna, som genom frågeställningar och förtydliganden kan nå en ömsesidig förståelse för varandras åsikter. På detta vis kan även de starkaste övertygelserna förändras. Sammantaget är massmediakanaler viktigare för individens kunskapsbildning, medan mellanmänskliga kanaler är viktigare för att övertyga individen.

Strukturen av det sociala systemet och dess kommunikationsnätverk påverkar också diffusionstakten. En relevant faktor är graden av sammankoppling i systemet. Ett kommunikationsnätverk med högre grad av sammankoppling mellan aktörer tenderar att återge en högre diffusionstakt (Rogers, 1983). Ytterligare en betydelsefull faktor är systemets normer. Dessa definierar ramarna för vad som är acceptabelt eller ej och utgör därmed vägledning för systemets medlemmar. Därmed kan ett systems normer hindra en innovations fortsatta spridning.

Individers ageranden och deras roll i det sociala systemet inverkar också på diffusionstakten. Två viktiga sådana roller är förändringsagenten och opinionsledaren. Förändringsagenten kan verka för att hindra såväl som uppmuntra till diffusionen av en innovation. Ofta har den en akademisk bakgrund och använder opinionsledare för sina ändamål. Dessa ledare befinner sig i centrum av de mellanmänskliga kommunikationskanalerna och agerar förebild för de individer som de sammanbinder. Med denna egenskap kan opinionsledaren, på uppdrag av förändringsagenten, påverka utfallet av individers innovationsbeslut.

2.2 Tillväxtmodeller

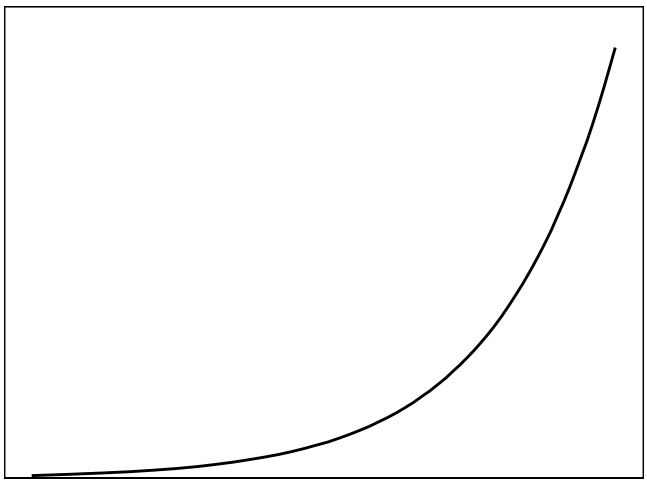
Avsnittet redogör för ett urval av de vanligaste tillväxtmodellerna, nämligen: den exponentiella tillväxtmodellen, den logistiska tillväxtmodellen och den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen (Granstrand, 2018).

2.2.1 Exponentiella tillväxtmodellen

Ekvationen för den exponentiella tillväxtmodellen ges av:

$$F(x) = F_0 e^{k(x-x_0)} \tag{2.1}$$

där $F(x)$ är storleken på tillväxtobjektet vid tidpunkten x, F_0 är dess initialvärde, k är dess exponentiella tillväxttakt och x_0 är dess starttidpunkt (Inigo et al., 2025). Modellens typiska utseende illustreras i Figur 1. Modellens huvudsakliga begränsning är att dess tillväxt är obegränsad. Avsaknaden av en övre storleksgräns innebär att modellen tids nog blir orealistisk.



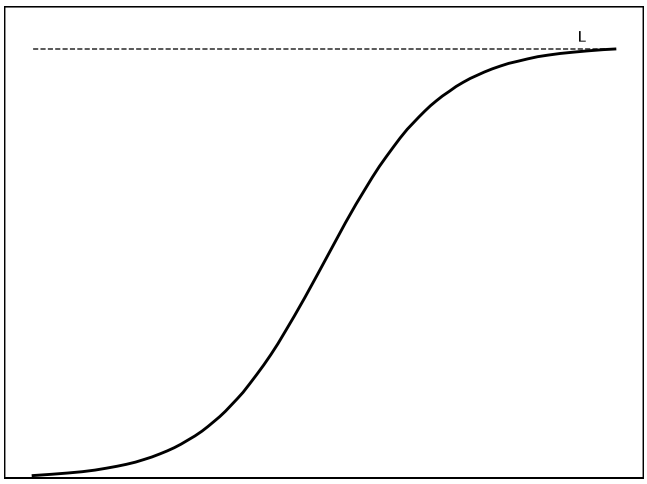
Figur 1: *Karakteristiska utseendet för en kurva som följer en exponentiell tillväxtmodell enligt ekvation 2.1*

2.2.2 Logistiska tillväxtmodellen

Ekvationen för den logistiska tillväxtmodellen ges av:

$$F(x) = \frac{L}{1 + e^{-k(x-x_0)}} \tag{2.2}$$

där $F(x)$ är storleken på tillväxtobjektet vid tidpunkten x, L är dess maximala storlek, k är dess logistiska tillväxttakt och x_0 är den tidpunkt där $F(x) = L/2$ (University of Texas at San Antonio, 2021). Denna är även modellens inflexionspunkt och är således punkten där tillväxttakten är som störst (University of Wyoming, 2013). Modellens typiska utseende illustreras i Figur 2. Tillväxttakten hos den logistiska och exponentiella modellen är likartade i början, men tillväxttaken hos den tidigare avtar efter dess inflexionspunkt för att allteftersom nå sitt maximala värde L (Khan Academy, u.å.). På sådant vis är den logistiska modellen mer realistisk än den exponentiella vid senare tidpunkter. Historiskt har utvecklingen av många tekniker, såsom tåg och bilvägar, visat sig följa en huvudsakligen logistisk modell (Grubler, 1998).



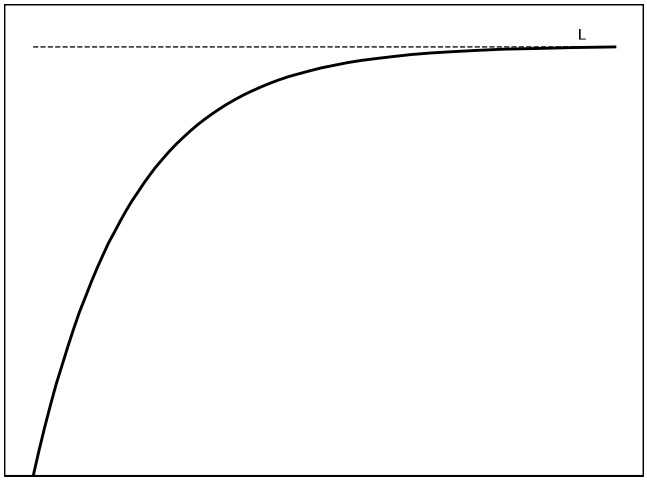
Figur 2: *Karakteristiska utseendet för en kurva som följer en logistisk tillväxtmodell enligt ekvation 2.2*

2.2.3 Exponentiellt avtagande tillväxtmodell

Ekvationen för den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen ges av:

$$F(x) = L(1 - e^{-kx}) + C \tag{2.3}$$

där $F(x)$ är storleken på tillväxtobjektet vid tidpunkten x, L är dess maximala storleksökning relativt C, k är dess exponentiellt avtagande tillväxttakt och C är dess initialvärde (Granstrand, 2018). Modellens typiska utseendet illustreras i Figur 3. Modellens huvudsakliga begränsning är att tillväxtobjektet uppnår sin högsta tillväxttakt i början av sin livstid, vilket är orealistiskt för vissa fenomen.

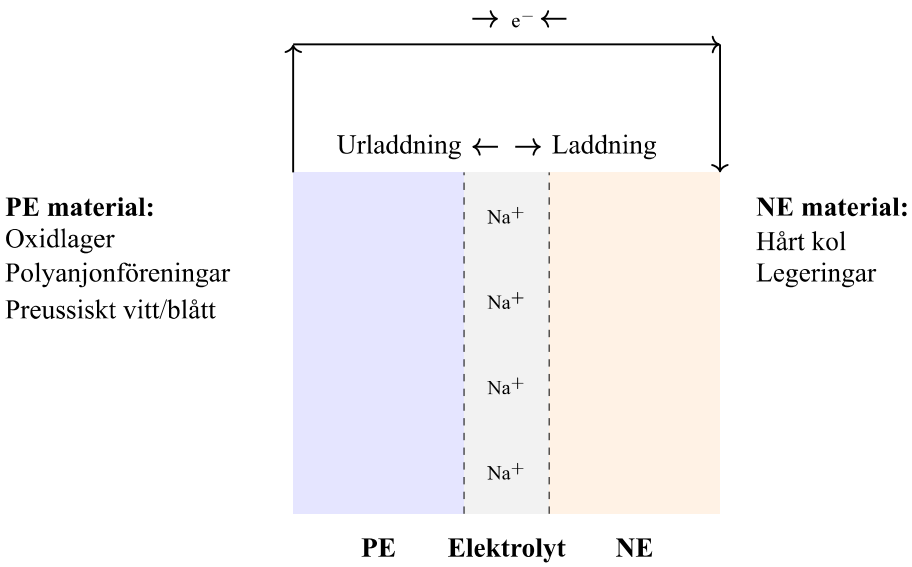


Figur 3: *Karakteristiska utseendet för en kurva som följer en exponentiellt avtagande tillväxtmodell enligt ekvation 2.3*

2.3 Natriumjonbatteriet

För att förstå hur ett natriumjonbatteri fungerar inleds detta avsnitt med en generell beskrivning av batteriets funktion för att sedan beskriva elektrodmaterialen och användningsområdena för just natriumjonbatteriet.

Den huvudsakliga komponenten i ett batteri är den elektrokemiska cellen (Berg, 2015). Den består av en positivt och en negativt laddad elektrod, ibland även benämnda som katod respektive anod. Dessa separeras av någon typ av elektrolyt. En schematisk skiss illustrerar detta i Figur 4. Den elektrokemiska cellen kan i sin tur vara både galvanisk och elektrolytisk. I en galvanisk cell omvandlas kemisk energi till elektrisk, kort sagt, batteriet urladdas. I en elektrolytisk cell sker det motsatta, där elektrisk energi omvandlas till kemisk och batteriet laddas. Den grundläggande principen för ett batteri är alltså att kemisk energi omvandlas till elektrisk energi och vice versa. Omvandlingen sker genom att negativt laddade elektroner rör sig mellan elektroderna, varvid huvudsakligen joner rör sig genom elektrolyten för att bibehålla laddningarna i balans, se Figur 4. För natriumjonbatteriet utgörs dessa av natriumjoner. Dessa kemiska reaktioner benämns även som redoxreaktioner, kort för reduktion-oxidation-reaktion. Oxidationsreaktionen sker i den negativa elektroden och reduktionsreaktionen i den positiva.



Figur 4: *Schematisk skiss av en natriumjonbattericell, där även de vanligaste elektrodmaterialen listas. Akronymer PE: Positiv elektrod, NE: Negativ elektrod.*

I Battery Report 2024 från Volta Foundation beskrivs tre positiva respektive två negativa elektrodmaterial för natriumjonbatterier. De negativa elektrodmaterialen som berörs är hårt kol och diverse legeringar innehållande fosfor, tenn, antimon eller bly (Volta Foundation, 2024). Enligt Titirici et al., (2022) är hårt kol, vid tidpunkten för bokens publicering år 2022, ansedd som det mest aktuella materialet för natriumjonbatterier på grund av dess låga kostnad och goda elektrokemiska egenskaper sett till kapacitet och stabilitet. Författarna redogör även för grafit samt diverse legeringar som alternativa elektrodmaterial

för natriumjonbatterier. Alltjämt beskrivs hur dessa till stor del är under utveckling och i många fall inte fullt tillämpbara i praktiken. Således är hårt kol det negativa elektrodmaterial som framstår som det lämpligaste alternativet för natriumjonbatterier.

De positiva elektrodmaterialen som berörs i rapporten från Volta Foundation är: oxidlager (eng. layered oxide), polyanjon och preussiskt vitt/blått (Volta Foundation, 2024). Elektrodmaterial av oxidlager bidrar med en hög volymenergidensitet, men begränsas däremot av deras kapacitet som avtar över tid (Fraunhofer ISI, 2023). Kapacitet avser i detta sammanhang mängden elektrisk laddning som kan lagras i amperetimmar (Berg, 2015). Däremot kan ett elektrodmaterial av polyanjoner erbjuda långsiktig energilagring. Experiment har visat att kapaciteten efter 4000 cykler, alltså antalet gånger batteriets kapacitet omsätts, enbart sjönk till 80% av den ursprungliga. Användandet av det toxiska grundämnet vanadin utgör den främsta nackdelen med detta elektrodmaterial. Preussiskt vitt och blått är fördelaktigt ur ett resursperspektiv och följaktligen även ur ett kostnadsperspektiv, men utgör ett sämre alternativ sett till den lägre volymenergidensiteten.

De varierande egenskaperna hos de positiva elektrodmaterialen medför varierande lämplighet i olika tillämpningar (Fraunhofer ISI, 2023). Den högre energidensiteten hos oxidlager gör materialet lämpligare för natriumjonbatterier i elfordon, medan den långsiktiga kapaciteten hos elektodmaterial av polyanjoner är lämpligare i diverse energilagringslösningar. Preussiskt vitt och blått lämpar sig väl i mindre elektriska verktyg och enligt Wu et al., (2023) även i mer småskaliga energilagringslösningar. Enligt Edström et al., (2020) är energilagringssystem och elfordon användingsområdena som generellt spås bli störst för laddbara batterier i framtiden.

2.4 Litiumjärnfosfat-batterier

Natriumjonbatterier jämförs ofta med litiumjonbatterier och i synnerhet med litiumjärnfosfat-batterier (LFP). Natriumjonbatterier och LFP-batterier kan användas i liknande applikationer såsom mindre elfordon och konkurrerar således med varandra (Fraunhofer ISI, 2023). LFP-batterier använder litiumjärnfosfat, $LiFePO_4$, som positivt elektrodmaterial och grafit som negativt elektrodmaterial. När dessa batterier jämförs betonas ofta fördelen med att natriumjonbatterier tillåter transport i ett urladdat tillstånd (Fraunhofer ISI, 2023). Även kostnaden för natriumjonbatterier benämns här som en eventuell fördel. Huruvida denna kostnadsfördel kommer att inträffa är däremot inte självklart. I en studie från Stanford University framhålls att priser och materialtillgång för LFP-batterier även påverkar natriumjonbatterimarknaden (Yao et al., 2025). Författarna jämför 6000 prisscenarion genom att simulera variabler såsom teknikframsteg i exempelvis elektrodmaterial och störningar i leveranskedjor. Studien konkluderar att förhållandena inom litiumjonbranschen, med fokus på LFP, influerar dem inom natriumjonbranschen. Exempelvis redogör de för att höga litium- och grafitpriser kraftigt ökar natriumjonbatteriers konkurrenskraft. Samtidigt visar studien på att om priserna för litiumjonbatterier förblir låga kommer ett fåtal prisfördelaktiga scenarion för natriumjonbatterier att inträffa. Tillväxten för LFP-batterier påverkar alltså tillväxten för natriumjonbatterier.

3 Metod

Kapitlet redogör inledningsvis för studiens typ och vilka metodval som gjorts. Därefter redogörs för studiens genomförande, följt av avsnitt 3.2 som beskriver hur datainsamligen genomförts. I avsnitt 3.3 förklaras sedan förberedelserna inför och genomförandet av studiens intervjuer. Därefter beskrivs skapandet och utvärderingen av tillväxtmodeller i avsnitt 3.4.

3.1 Val av metod

Utifrån studiens syfte var en kvantitativ metod lämplig (Blomkvist & Hallin, 2015) och genomförandet av intervjuer innebar tillämpandet av kvalitativa metoder. Således har både kvantitativa och kvalitativa metoder tillämpats.

Studien har analyserat både primär- och sekundärdata. Denna sekundärdata har huvudsakligen utgjorts av specifika företagsdata från diverse nyhetswebbsidor. Därutöver har den innefattat övrig data som sedan använts för att rimlighetsbedöma studiens resultat. Exempelvis har data insamlats från webbsidor som gjort tidigare prediktioner av natriumjonbatterimarknadens tillväxt. Dessa prediktioner har sedan jämförts med studiens tillväxtmodeller. Primärdata har huvudsakligen utgjorts av förstahandsutlåtanden från företag och har prioriterats framför sekundärdata. Däremot har tillgången av primärdata för produktionskapacitet ofta varit begränsad, och i dessa fall har sekundärdata använts.

3.2 Datainsamling

Första steget i datainsamlingen var att identifiera företag på natriumjonbatterimarknaden. För detta ändamål utgick studien från forskningsorganisationen Volta Foundations årsrapporter för år 2023 och 2024, vilka rekommenderades av studiens ena intervjuobjekt (P. Johansson, personlig kommunikation, 3 mars, 2025). Dessa rapporter kompletterades sedan med marknadsundersökningsföretaget IDTechEXs rapport för år 2024. Från rapporterna inkluderades enbart de batteriproducerande företagen. Övriga företag som befann sig högre upp i försörjningskedjan exkluderades, exempelvis sådana som producerar elektrodmaterial eller elektrolyter. En inkludering av dessa riskerade att leda till dubbelräkning av produktionskapacitet, då deras produkter är komponenter i batteriproducerande företags batterier. Företag som inte producerade natriumjonbatterier, såsom producenter av endast litiumjon- eller NaS-batterier, exkluderades också från urvalet.

Data för företagen i urvalet sammanställdes sedan i ett kalkylark. Denna data berörde deras nuvarande och framtida produktionskapacitet, användningsområde för deras batterier, verksamhetsland, batteritekniska data, samt tidsplan för utbyggnad av nya fabriker. Följande sökord har använts: ”sodium ion batteries”, ”capacity”, ”GWh”, ”prediction”, ”energy density”, ”battery type”, ”cathode material”, ”anode material”, ”battery chemistry”, ”applications”, ”factory”, ”sodium ion battery market”, ”market value”, ”natriumjonbatteri”, ”produktionskapacitet” och ’prediktion”. Framför allt engelska sökord användes med tanke på områdets internationella karaktär. Denna del av studien förbrukade mycket tid, vilket samstämmer med vad teorin anger som typiskt för en kvantitativ studie (Blomkvist & Hallin, 2015).

När ofullständiga data för fabriksbyggnationer påträffades så genomfördes en uppskattning. För att utföra denna på ett systematiskt sätt skattades ett genomsnitt för fabriksutbyggnadstid. För företag som producerade både litium- och natriumjonbatterier och inte angav produktionskapacitetsfördelningen av dessa gjordes också en uppskattning. Denna utgick från produktionskapacitetsfördelningen hos ett av studiens företag, BYD. I flera fall applicerades dock företagsspecifika antaganden på företagens nuvarande och framtida produktionskapacitet samt deras batteriers energidensitet.

3.3 Intervjumetodik

Blomkvist & Hallin (2015) lyfter fram tre olika intervjumetoder. En av dessa benämns som ostrukturerad, vars frågor är obestämda innan intervjun. Det finns även semi-strukturerade intervjuer som innehåller en del förutbestämda frågor. Båda dessa är kvalitativa. Den sista av de tre metoderna benämns som strukturerad och där är samtliga frågor förutbestämda. Dessutom är svarsalternativen begränsade och kan liknas vid besvarandet av ett frågeformulär. Den semistrukturerade metoden var lämpligast för denna studie eftersom den bidrog med ett visst mått av struktur såväl som utrymme för sakkunniga att svara fritt.

Studiens två intervjuobjekt var sakkunniga inom studiens område och bidrog med primärdata. Det ena intervjuobjektet var Patrik Johansson, professor i fysik på Chalmers tekniska högskola. Det andra intervjuobjektet var Reza Younesi, lektor vid institutionen för kemi på Uppsala universitet. Intervjun med Johansson genomfördes 2025-03-03 och den med Younesi 2025-03-14. Innan samtliga intervjuer skrevs intervjuguider enligt metodiken för semi-strukturerade intervjuer, vilka återfinns i Bilaga C. Dessa har varit unika för de olika intervjuobjekten för att ta hänsyn till deras respektive expertområden.

3.4 Tillväxtmodellering

I syfte att visualisera insamlad data inleddes denna fas med att framställa en tidsserie. Denna utgick från företagens nuvarande och framtida produktionskapacitet samt tidsplan för fabriksbyggnationer. Efter en analys av tidsserien exkluderades data för år bortom 2030 då de uppvisade en stagnerande trend som ifrågasatte deras trovärdighet. Därefter anpassades den data som inte exkluderades till tre olika tillväxtmodeller vilka redovisas i avsnitt 2.2. För att utföra denna anpassning användes programmeringsspråket Python och

programmeringsbiblioteket Scipy.

Funktionen `curve_fit` i SciPy användes för att anpassa tillväxtmodellerna till data genom att hitta de parametrar som minimerar skillnaden mellan modellens förutsägelser och inmatad data (Yu & Wilamowski, 2011). Den försöker alltså hitta den okända parametern p som ger den minsta residualen $\mathbf{r}(p)$:

$$\min_{\boldsymbol{p}} \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - f(x_i, p) \right]^2 \tag{3.1}$$

där x_i är observerat värde, y_i är målvärde och f är modellfunktionen. För att lösa denna ekvation använder `curve_fit` Levenberg–Marquardt-algoritmen. Det är en iterativ metod som kombinerar egenskaper från två andra tekniker: Gauss–Newton-metoden och gradientnedstigning. Den justerar automatiskt mellan snabb konvergens (Gauss–Newton) och stabilitet (gradientnedstigning) med hjälp av en dämpningsfaktor.

Vid varje iteration beräknas residualerna $\mathbf{r}(p)$ och Jacobimatrisen J:

$$J_{ij} = \frac{\partial r_i}{\partial p_j} \tag{3.2}$$

Utifrån denna löses ett linjärt ekvationssystem:

$$(J^\top J + \lambda I)\Delta \boldsymbol{p} = -J^\top \boldsymbol{r} \tag{3.3}$$

Om dämpningsfaktorn, λ, är liten närmar sig algoritmen Gauss–Newton-metoden, medan ett stort λ ger ett beteende som liknar gradientnedstigning. Lösningen $\Delta \boldsymbol{p}$ används sedan för att uppdatera parametrarna (Yu & Wilamowski, 2011).

Om summan av de kvadrerade residualerna minskar, minskas λ så att algoritmen kan ta större och mer riktade steg. Om summan ökar, ökar λ för att algoritmen ska ta mindre och säkrare steg.

Resultatet från `curve_fit` är en parameteruppsättning $\boldsymbol{p}$ som minimerar felet mellan modell och data. Funktionen returnerar också en kovariansmatris som kan användas för att uppskatta osäkerheten i varje parameter.

För att matematiskt utvärdera hur bra insamlad data passade tillväxtmodellerna framtogs modellernas determinationskoefficient (R^2), rotmedelkvadratfel ($RMSE$) och medelabsolut fel (MAE), vilka samtliga definieras i ordlistan. All matematisk utvärdering av modellerna gjordes med programmeringsbiblioteket SciKit-learn. I detta steg beräknades även den sammanlagda årliga tillväxttakten ($CAGR$) enligt dess definition i ordlistan. Dessutom jämfördes resultaten av de olika tillväxtmodellerna med varandra för att urskilja meningsfulla likheter och skillnader. Det fördes även resonemang om deras trovärdighet

genom att exempelvis jämföra de med prediktioner för hela batterimarknaden. Valet av den lämpligaste tillväxtmodellen gjordes sedan med utgångspunkt i dessa resonemang, de matematiska måtten samt jämförelsen av modellerna.

4 Resultat

Kapitlet inleds med avsnitt 4.1 som redogör för urvalet av de företag som inkluderats i studien. I avsnitt 4.2 presenteras underlag för generella antaganden, följt av företagsspecifika antaganden i avsnitt 4.3. Därefter sammanställs data i tabellform i avsnitt 4.4. Efter detta redogörs tillväxtmodellerna för i avsnitt 4.5. Slutligen sammanfattas de intervjuer som genomförts i avsnitt 4.6.

4.1 Företagsurval

Tabell 1 redovisar alla företag som beaktats i studien, vilkas antal uppgår till 64 stycken. Därefter redovisar Tabell 2 enbart de företag som producerar egna natriumjonbatterier. Företagen som exkluderats i tabellen är främst producenter av en annan typ av natriumbatterier såsom NaS batterier eller natriumbatterier med fast elektrolyt, elektrodmaterial eller elektrolytmaterial. En tom cell indikerar att data för företaget i fråga saknas.

Tabell 1: *Alla företag som beaktats i studien och den produkt som företaget producerar. Totalt 64 företag. Akronymer: PE: positivt elektrodmaterial, NE: negativt elektrodmaterial, NaS: Natrium-svavel batterier. En tom cell indikerar att data saknas.*

Företag	**Producerad produkt**
24m	Litiumjonbatteri
Acculon energy	Natriumjonbatteri
Adena Power	Fast elektrolyt
Aekyung Chemical Co.	NE
Altris	PE
Amandarry & Sodium Power	Natriumjonbatteri
AMTE Power (LionVolt)	Natriumjonbatteri
Bedrock Materials	PE/NE
Beijing Xuexiong Technology	Natriumjonbatteri
BM	PE/NE
BMZ	
BSG	NE
BTR	NE
CATL	Natriumjonbatteri
CBAK Energy	Natriumjonbatteri
Cham Battery Technology	Natriumjonbatteri

Företag	**Producerad produkt**
DFD New Energy	Litiumjonbatteri
DMEGC	Litiumjonbatteri
Eco Pro BM	PE
Elementium	Elektrolyt
Enlighten	NASICON membran
EVE energy	Natriumjonbatteri
Faradion (Reliance)	Natriumjonbatteri
Farasis Energy	Natriumjonbatteri
Fermi Energy	PE
Findreams (BYD)	Natriumjonbatteri
Godi Energy	Natriumjonbatteri
Gotion	
Great Power	Natriumjonbatteri
Highstar	Natriumjonbatteri
HiNa	Natriumjonbatteri
IBU-Tec	PE
Indi Energy	Natriumjonbatteri
Inlyte Energy	Natriummetallhalid
Kuraray	NE
LiFun Technologies	Natriumjonbatteri
LiNa Energy	Natrium-metall-klorid
MANA	Elektrolyt
Nanode	NE
Nation Energie	
Natrium Energy	PE
Natron	Natriumjonbatteri
NGK insulators	NAS batteri
Nippon Electric Glass	Fast elektrolyt
NVTX Energy	Tillverkar ej egna batterier
Paragonage	Natriumjonbatteri
Peak Energy	Natriumjonbatteri
Phylion	Natriumjonbatteri
Ronbay Technology	PE
Shenzhen Capchem Technology	Elektrolyt
Shenzhen Puna Times Energy	Natriumjonbatteri
Sodion Energy	Tillverkar ej egna batterier
Standard Potential	PE/NE
Storaenso	NE
Svolt Energy	Natriumjonbatteri
Taisan	Fast elektrolyt
Tiamat	Natriumjonbatteri
Transimage	Natriumjonbatteri
Unigrid Battery	Natriumjonbatteri
Varta	Natriumjonbatteri

Företag	Producerad produkt
Veken Technology	Natriumjonbatteri
Vision Group	Natriumjonbatteri
ZEC	PE
Zoolnasm (Zhongna Energy)	Natriumjonbatteri

Återstående företag efter det initiala urvalet redovisas i Tabell 2, vilkas antal uppgår till 30 stycken. Resterande delar av rapporten och dess respektive tabeller kommer att utgå från just dessa 30 företag.

Tabell 2: *Företag som producerar natriumjonbatterier. Totalt 30 företag.*

Företag
Acculon Energy
Amandarry & Sodium Power
AMTE Power (LionVolt)
Beijing Xuexiong Technology
CATL
CBAK Energy
Cham Battery Technology
EVE Energy
Faradion (Reliance)
Farasis Energy
Findreams (BYD)
Godi Energy
Great Power
Highstar
HiNa
Indi Energy
LiFun Technologies
Natron
Paragonage
Peak Energy
Phylion
Shenzhen Puna Times Energy
Svolt Energy
Tiamat
Transimage
Unigrid Battery
Varta
Veken
Vision Group
Zoolnasm (Zhongna Energy)

4.2 Underlag för antaganden

Då data stundtals varit begränsad har ett antal generella antaganden upprättats. Avsnitt 4.2.1 redogör för ett antagande för fördelningen av produktionskapacitet mellan litium- och natriumjonbatterier och avsnitt 4.2.2 redogör för en genomsnittlig utbyggnadsberäkning. Dessa antaganden har applicerats i de fall då företagsspecifik data saknats.

4.2.1 Produktionskapacitetsfördelning mellan litium- och natriumjonbatterier

Flera företag som används i rapporten har publicerat produktionskapacitetsdata som avser både litium- och natriumjonbatterier men inte fördelningen dessa sinsemellan. För att kunna göra ett antagande om denna fördelning används företagsdata från ett företag som redogör för sin egna fördelning, nämligen företaget BYD och deras dotterbolag Findreams. De har en produktionskapacitet på 153,7 GWh/år av litiumjonbatterier (Kang, 2025) och kommer inom några år efter 2025 ha en produktionskapacitet på 30 GWh/år av natriumjonbatterier. De har inte publicerat huruvida de kommer att utöka sin tillverkning av litiumjonbatterier under denna period. Således utgår beräkningen från en total produktionskapacitet på 183,7 GWh/år. Den resulterande fördelningen återger att 84% av deras produktionskapacitet består av litiumjonbatterier och 16% av natriumjonbatterier. Antagandet beaktar ej företagens storlek och kommer att appliceras vid fall där företag inte annonserat fördelningen av sin produktionskapacitet.

4.2.2 Utbyggnadstaktsberäkning

Företagen i urvalet som har publicerat data för sina planerade fabriksbyggnationer och ungefärliga driftsättningsår redogörs för i Tabell 3. Notera att det senare i avsnitt 4.4 kommer att anges årtal för alla företag som har annonserat en utökad framtida produktionskapacitet, se [Färdigt till år] i Tabell 5. Vissa av dessa företags årtalsdata kommer däremot kräva vissa antaganden, vilka utgår från det som uppskattas i just Tabell 3.

Däremot görs fortfarande vissa antaganden för data i Tabell 3 också. I de fall där startdatum för fabriksbyggnation saknas antas för denna beräkning att byggnationen påbörjas den första januari det år som byggnationsplanerna publicerades. Den tidigast tillgängliga publiceringen av byggnationsplaner har här använts. I de fall där enbart årtal anges som slutpunkt för fabriksbyggnation antas att slutpunkten inträffar sista december samma år. Samma har antagits vid fallet där varken specifikt datum eller årtal angivits som slutpunkt. I Tabell 3 noteras att utbyggnationer med högre produktionskapacitet anger högre utbyggnadstakter. Mot denna bakgrund har företagen kategoriserats utefter huruvida produktionskapaciteten hos deras planerade fabriker är större eller mindre än 5 GWh/år.

Tabell 3: *Uppskattad fabriksutbyggnadstakt i GWh/år för ett urval av företag. [Tid] anges i år, [Kapacitet] avser produktionskapacitet och anges i GWh/år och [Genomsnitt] är genomsnitt av [GWh/år] för respektive [Storlek] där storlek avser kategorier för produktionskapaciteterna <=5 GWh/år och >5 GWh/år. Vid de fall ett företag bygger en fabrik i olika faser så specificeras vilken fas en rad avser till höger om företagsnamnet. Respektive källa anges i siffran intill startvärdet. Källan gäller för hela raden och återges i Bilaga A.*

Företag	Tid (år)	Kapacitet	GWh/år	Storlek	Genomsnitt
HiNA (första fas) [1]	1,9	1	0,5	<=5	**0.8**
HiNA (andra fas) [1]	2,9	4	1,4	<=5	
Tiamat (första fas) [2]	1,9	0,7	0,4	<=5	
Tiamat (andra fas) [2]	4,9	4	0,8	<=5	
Peak energy [3]	3,9	10	2,6	>5	**4.9**
Vision [4]	3,9	10	2,6	>5	
Zoolnasm (första fas) [5]	1,0	10	9,7	>5	

4.3 Företagsspecifika antaganden

I detta avsnitt presenteras de antaganden som till följd av databrist gjorts för berörda företag. De företag som ej förekommer nedan, men som förekommer i Tabell 2, presenterar fullständig data och kräver således inga antaganden. I de fall där företag eller utomstående källor redovisar en äldre produktionskapacitetssiffra än för 2025 och nyare data saknas antas att företaget fortfarande besitter produktionskapaciteten i fråga. Om ett startdatum för fabriksbyggnation inte framgår, men det framgår att byggnationen har påbörjats, sätts startdatumet till källans publiceringsdatum. Om det inte framgår huruvida byggnation har påbörjats antas startdatumet vara sista december det år källan publicerades.

4.3.1 Acculon Energy

Företaget anger att dess nuvarande produktionskapacitet av litium- och natriumjonbatterier uppgår till 2 GWh/år (Acculon, u.å.). Produktsortimentet består enligt företaget av lika delar natrium- respektive litiumjonbatterier och således antas deras nuvarande produktionskapacitet utgöras av 1 GWh/år litiumjonbatterier och 1 GWh/år natriumjonbatterier.

4.3.2 Amandarry & Sodium Power

Amandarry grundades i USA, men har sedan 2013 varit verksamma i Kina (Amandarry, u.å.). Sodium Power är verksamma i USA och är licensinnehavare av den teknik Amandarry producerar. Amandarry uppger att den nuvarande produktionskapaciteten i Kina är 0,5 GWh/år. Då inget ytterligare specificeras angående produktionskapaciteten i USA antas detta utgöra den enda nuvarande produktionskapaciteten. Produktionskapaciteten i USA uppges däremot nå 1-2 GWh/år vid år 2026-2027. Företaget antas således uppnå en produktionskapacitet på genomsnittet av intervallet, alltså 1,5 GWh/år, år 2027 i USA. Därmed sätts den totala produktionskapaciteten för företaget år 2027 till 1,5 + 0,5 = 2 GWh/år.

4.3.3 AMTE Power (LionVolt)

Innan AMTE Power förvärvades av LionVolt annonserades att de skulle starta upp en fabrik med en produktionskapacitet på 0,5 GWh/år i slutet av år 2025 (Peachey, 2022). Förutsatt att LionVolt har samma produktionsambitioner som sitt förvärv, och eftersom att nyare uppgifter saknas, antas att de kommer att fullfölja planerna på den nya fabriken. Därmed antas att företaget har en nuvarande produktionskapacitet på 0,5 GWh/år.

4.3.4 CATL

Företaget hade år 2023 en produktionskapacitet av natrumjonbattericeller på 1,8 GWh/år. Denna representerade en marknadsandel på 13% av produktionskapaciteten för den dåvarande kinesiska natriumjonbatterimarknaden (EnergyTrend, 2023). Andelen inkluderar företaget i marknadens totala produktionskapacitet. För att istället erhålla företagets marknadsandel relativt övriga på marknaden kan följande härledning tillämpas:

Definitioner:

$PK_c =$ Produktionskapacitet för CATL
$PK_t =$ Produktionskapacitet för alla företag på den kinesiska marknaden
$PK_{ö} =$ Produktionskapacitet för övriga företag på den kinesiska marknaden

Andelar av total produktionskapacitet:

$$\frac{PK_c}{PK_t} = 13\%, \quad \frac{PK_{ö}}{PK_t} = 87\%$$

Förhållande mellan CATL och övriga företag:

$$\frac{PK_c}{PK_{ö}} = \frac{\frac{PK_c}{PK_t}}{\frac{PK_{ö}}{PK_t}} = \frac{13\%}{87\%} \approx 15\%$$

Specifika uppgifter om företagets produktionskapacitet bortom 2023 har ej påträffats, men det finns indikationer på att den kommer utökas under 2025 (Zhang, 2025). Därmed är det rimligt att anta att företaget år 2025 har en större produktionskapacitet än under år 2023. Med antagandet att deras produktionskapacitetsförhållande gentemot övriga företag på kinesiska marknaden år 2023 är oförändrat till år 2025, erhålls en produktionskapacitet på 4,0 GWh/år. Beräkningen utgår från en total produktionskapacitet på 26,9 GWh/år för den kinesiska marknaden år 2025, se Tabell 5 och 17.

Företagets produktionskapacitet för litiumjonbatteriproduktion har uppskattats till 670 GWh/år år 2025 (Shanghai Metals Market, 2022). Utifrån denna mätpunkt skulle en produktionskapacitet kunna uppskattas utifrån produktionskapacitetsfördelningen i avsnitt

4.2.1. Med denna fördelning skulle företaget besitta en produktionskapacitet för natriumjonbatterier på över 100 GWh/år, vilket är en orimligt stor produktionskapacitet relativt andra företag på marknaden. Därmed används inte denna produktionskapacitetsfördelning och istället antas att företagets nuvarande produktionskapacitet är 4,0 GWh/år.

4.3.5 CBAK Energy

Företaget redogör i sin årsredovisning för år 2024 för en utbyggnad av en fabrik i två faser (CBAK, 2025). Den redan färdigställda fas 1 består av två produktionslinor och uppges ha en produktionskapacitet på 1,3 GWh/år när båda linorna tillverkar litiumjonbatterier. Vidare anges att den ena av dessa två produktionslinor också kan producera natriumjonbatterier. Givet att denna produktionslina kan uppnå samma produktionskapacitet även för natriumjonbatterier så antas att företaget besitter en nuvarande produktionskapacitet på 1,3/2 = 0,65 GWh/år för natriumjonbatterier. Fas 2 uppges vara färdigställd i slutet på 2027 och då tillföra ytterligare 18 GWh/år till produktionskapaciteten. Denna fas uppges också bestå av både litium- och natriumjonbatterier. I linje med ovanstående resonemang antas att hälften av produktionskapaciteten i fas 2, alltså 9 GWh/år, utgörs av natriumjonbatterier. Således antas att företaget i slutet av år 2027 uppnår en produktionskapacitet på 0,65 + 9 = 9,65 GWh/år.

I december 2024 annonserades ett partnerskap med HiNa (CBAK, 2024). Samarbetet innebär att CBAK Energy ska få tillgång till det positiva elektrodmaterial som HiNa producerar. HiNa anger att de producerar ett elektrodmaterial av oxidlager (HiNa Battery, u.å), vilket således antas vara det som CBAK Energy också kommer att använda sig av.

4.3.6 Cham Battery Technology

Företaget har annonserat byggnationen av en ny fabrik med produktion av både litium- och natriumjonbatterier. Fabrikens produktionskapacitet uppgår till 10 GWh/år. Hälften av denna produktionskapacitet planeras vara färdigtställd inom ett år från och med 2024-08-23 (Cham New Energy, 2024). Därmed antas fabrikens nuvarande produktionskapacitet vara 5 GWh/år. Det anges varken ett start- eller slutdatum för den resterande produktionskapaciteten. Därmed antas att arbetet med den resterande produktionskapaciteten påbörjas när den nuvarande är färdigställd, alltså omkring 2025-08-23. Med utgångspunkt i utbyggnadstaktsberäkningen i avsnitt 4.2.2 beräknas den resterande produktionskapaciteten därmed vara färdigställd någon gång under år 2031.

Med utgångspunkt i produktionskapacitetsfördelningen i avsnitt 4.2.1 har en andel om 16% tillämpats på företagets nuvarande såväl som framtida produktionskapacitet för att erhålla respektives andel av natriumjonbatterikapacitet. Således uppnår företaget en nuvarande respektive framtida produktionskapacitet på 0,8 respektive 1,6 GWh/år.

4.3.7 Faradion (Reliance)

Faradion köptes upp år 2021 av det indiska företaget Reliance (Faradion, 2021). Reliance uppger på sin hemsida att de planerar att upprätta en fabrik i gigawatt-magnitud till år 2026 (Reliance, u.å). Företaget beskriver att fabriken ska producera litiumjonbatterier samt påskynda kommersialiseringen av deras natriumjonbatterier. Fabriken kommer att ha en produktionskapacitet på 30 GWh/år vid färdigställandet år 2026 (PV Magazine India, 2023). Artikeln anger dessutom att företaget parallellt planerar att inleda sin produktion av natriumjonbatterier under år 2025 och att den under året kommer att uppnå megawatt-skala. För att varken under- eller överskatta dessa ambitioner antas att den nuvarande produktionskapaciteten är 500 MWh/år. Vidare anges att produktionskapaciteten för natriumjonbatterier därefter snabbt kommer utökas till gigawatt-skala. Då den totala produktionskapaciteten för år 2026 uppges vara 30 GWh/år, appliceras här produktionskapacitetsfördelningen i avsnitt 4.2.1 om 16 %. Således antas att företaget år 2026 har en produktionskapacitet på 4,8 GWh/år av natriumjonbatterier.

Faradion har innan uppköpet angett att deras natriumjonbatteri har en energidensitet på 160 Wh/kg (Volta Foundation, 2023). Företaget har även angett att de använder ett positivt elektrodmaterial av oxidlager och ett negativt av hårt kol. Då mer aktuell data från Reliance saknas görs antagandet att batteriets elektrodmaterial och energidensitet förblivit oförändrade även efter uppköpet.

4.3.8 Farasis Energy

Företaget har annonserat att deras totala produktionskapacitet för år 2025 kommer att uppnå 145 GWh/år (Farasis Energy, 2024). Företaget producerar både litium- och natriumjonbatterier. Enligt produktionskapacitetsfördelningen i avsnitt 4.2.1 skulle produktionskapaciteten av natriumjonbatterier år 2025 nå 23,2 GWh/år. I jämförelse med övriga värden för nuvarande produktionskapacitet anses detta värde vara orealistiskt. För att fortfarande kunna inkludera företaget i studien görs här en jämförelse med företaget CATL, se avsnitt 4.3.4. CATL hade år 2023 en produktionskapacitet på 1,8 GWh/år av natriumjonbatterier (EnergyTrend, 2023). Den totala produktionskapaciteten för företagets samtliga batterityper för år 2022 uppgavs till 280 GWh/år (Shanghai Metals Market, 2022), vilken antas vara den totala produktionskapaciteten även år 2023. Utifrån denna erhålls att 1,8/280 = 0,64% av CATLs totala produktionskapacitet utgjordes av natriumjonbatterier. Därmed antas att Farasis, med ett liknande produktutbud, har ungefär samma fördelning mellan natrium- och litiumjonbatterier. Således antas att Farasis har en avrundad nuvarande produktionskapacitet på 145 * 0,64% = 1 GWh/år.

4.3.9 Findreams (BYD)

Findreams är ett dotterbolag till företaget BYD som har ett pågående projekt med Huaihai där de ska bygga en natriumjonbatterifabrik med produktionskapaciteten 30 GWh/år (Kang, 2024). Dock är det ospecificerat när byggnationen ska påbörjas. Findreams har tidigare byggt batterifabriker tillsammans med andra företag. Ett sådant fall är när de konstruerade en fabrik som producerar litiumjonbatterier tillsammans med First Automobile Works som är ett kinesiskt statligt ägt fordonsbolag. Konstruktionen startade i början av

år 2022 och fabriken inledde produktion i slutet av år 2023 (FAW Fudi New Energy Technology Co., Ltd., u. å). Konstruktionen tog alltså ungefär två år. Här görs antagandet att Findreams fabrik tillsammans med Huaihai bör följa en liknande konstruktionsprocess. Fabriken som påbörjade konstruktion i början av år 2024 antas därför kunna starta produktion i början av år 2026.

4.3.10 Godi

Godi har annonserat att de kommer bygga en fabrik för att producera litium- och natriumjonbatterier (Economic Times Energy, 2024). Den första fasen av byggnationen kommer att pågå under fem år och vara klar år 2029 och kommer då att ha en produktionskapacitet på 2,5 GWh/år. Den andra fasen kommer att utöka produktionskapaciteten med 10 GWh/år till 12,5 GWh/år. Det är dock inte specificerat hur lång tid den andra fasen kommer att ta. Här görs antagandet att den andra fasen kommer att ta lika lång tid som den första. Fas två antas därför vara färdigställd år 2034. Företaget har inte heller specifierat hur stor del av produktionskapaciteten som utgörs av just natriumjonbatterier. Utifrån produktionskapacitetsfördelningen i 4.2.1 antas att produktionskapaciteten av natriumjonbatterier är 0,4 GWh/år efter fas ett och 2 GWh/år efter fas två.

4.3.11 Great Power

Företaget annonserade i oktober år 2023 att de börjat bygga en ny fabrik som ska kunna producera 36 GWh/år av både litium- och natriumjonbatterier (GreatPower, 2023). Den första fasen uppges vara färdigställd redan samma år och ska omfatta 12 GWh/år. Det innebär att företaget byggt ut den angivna produktionskapaciteten från oktober till och med december, alltså under tre månader. Således har företaget byggt ut med en genomsnittlig takt på 4 GWh/månad. Givet att takten är densamma under resterande utbyggnad borde hela fabriken stått klar omkring i mitten av år 2024. Trots avsaknaden av bekräftande uppgifter om dess färdigställande bedöms fabriken och dess 36 GWh/år vara i bruk. Vidare saknas uppgifter om produktionsfördelningen mellan natrium- och litiumjonbatterier. Här tillämpas således produktionskapacitetsfördelningen i avsnitt 4.2.1 om 16% vilket resulterar i en nuvarande produktionskapacitet för natriumjonbatterier på 5,76 GWh/år.

4.3.12 Highstar

Företaget annonserade 2023 att en fabrik med en produktionskapacitet på 6 GWh/år för både litium- och natriumjonbatterier ska stå klar i april år 2024 (Highstar, 2023). Enligt produktionskapacitetsfördelningen i avsnitt 4.2.1 antas således att företaget har en nuvarande produktionskapacitet på 0,96 GWh/år natriumjonbatterier, alltså 16% av den totala produktionskapaciteten, i denna fabrik. Företaget har dock annonserat en produktionskapacitet om 1,3 GWh/år natriumjonbatterier i en annan fabrik, som bör ha färdigställts år 2023 (EnergyTrend, 2022). Således antas den totala nuvarande produktionskapaciteten vara 0,96 + 1,3 = 2,26 GWh/år.

4.3.13 HiNa

År 2022 skrevs en artikel om företagets nuvarande och framtida produktionskapacitet. Enligt artikeln var den dåvarande produktionskapaciteten 1 GWh/år (Kang, 2022). Därtill annonserades att produktionskapaciteten skulle utökas omgående och år 2023 nå en produktionskapacitet på 3-5 GWh/år. Här har en medelvärdesberäkning tillämpats och därmed antas produktionskapaciteten vara 4 GWh/år för år 2023. Däremot uppger artikeln att målet är en produktionskapacitet på totalt 5 GWh/år. Därav har utbyggnadstaktsberäkningen i avsnitt 4.2.2 tillämpats för att uppskatta när den totala utbyggnaden är klar. Startdatum för denna beräkning har satts till 2023-12-31, vilket innebär att deras fabrik är färdigbyggd år 2025. Företagets nuvarande produktionskapacitet antas således vara 5 GWh/år.

4.3.14 LiFun

LiFun har idag en produktionskapacitet på 2,5 GWh/år för både litium- och natriumjonbatterier (LiFun Technologies, 2025). Här appliceras produktionskapacitetsfördelningen som definierades i avsnitt 4.2.1. Utifrån denna antas att företagets nuvarande produktionskapacitet för natriumjonbatterier är 0,4 GWh/år.

4.3.15 Natron

Företaget har annonserat planerna för en ny fabrik med framtida produktionskapacitet på 24 GWh/år som “snart” ska stå klar (Business Wire, 2024). Enligt utbyggnadstaktsberäkningen i avsnitt 4.2.2 bör fabriken stå klar år 2029, med ett startdatum vid 2024-08-15. I brist på andra uppgifter, utöver företagets ospecificerade uttalande: “ [...] snart ska stå klar”, har det antagits att fabriken bör vara färdigställd någon gång under år 2029.

4.3.16 Shenzhen Puna Times Energy

I en presentation från *The Battery Show* i maj år 2023 redogörs för en ny fabrik med en produktionskapacitet på 0,5 GWh/år (De-Leon, 2023). Avsaknaden av mer företagsspecifik information gör att utbyggnadstaktsberäkningen i avsnitt 4.2.2 har tillämpats. Det innebär att fabriken bör stått klar år 2023 och därmed antas att företagets nuvarande produktionskapacitet är 0,5 GWh/år. Startdatumet för beräkningen har satts till 2023-05-15.

4.3.17 Transimage

Företaget redogör på sin hemsida för en planerad produktionskapacitet på 10 GWh/år av natriumjonbatterier (Transimage, u.å). När denna produktionskapacitet ska vara uppnådd framgår dock inte. Utomstående källor anger att produktionskapaciteten våren år 2023 var 4,5 GWh/år (Zhang, 2023). Ifall upprättandet av resterande 5,5 GWh/år antas ha påbörjats våren år 2023 skulle företaget uppnå en total produktionskapacitet på 10 GWh/år redan under år 2024. Vid tidpunkten för denna studie benämner företaget denna produktionskapacitet som planerad, alltså en produktionskapacitet som ännu inte är uppnådd. Mot denna bakgrund antas att företaget har en nuvarande produktionskapacitet på 4,5 GWh/år

och att resterande 5,5 GWh/år kommer att upprättas från och med 2025-12-31. Enligt utbyggnadstaktsberäkningen i avsnitt 4.2.2 borde resterande 5,5 GWh/år stå klart år 2027. Således antas företaget ha en framtida produktionskapacitet på totalt 10 GWh/år till år 2027.

4.3.18 Unigrid

Företaget har varken publicerat information om nutida produktionskapacitet eller framtida utökning. Däremot har de offentliggjort information om en erhållen order. Denna order avser tillhandahållandet av 10 MWh natriumjonbatterier (PR Newswire, 2025). Således antas att företaget kommer upprätthålla en framtida produktion på åtminstone 10 MWh/år natriumjonbatterier.

Företaget har inte explicit angivit vilken energidensitet (Wh/kg) deras natriumjonbatterier har. Däremot har de angett andra data på sin hemsida och utifrån dessa kan energidensiteten härledas på följande sätt:

$$\text{Energidensitet (Wh/kg)} = \frac{\text{Kapacitet (Ah)} \times \text{Spänning (V)}}{\text{Massa (kg)}}$$

I Tabell 4 beräknas den genomsnittliga energidensiteten, som tar företagets tre olika natriumjonbatterityper i beaktande.

Tabell 4: *Sammanställning av data för företagets tre olika natriumjonbattericelltyper. (Unigrid Battery, u.å.).*

Enhet	**Celltyp 1**	**Celltyp 2**	**Celltyp 3**
Ah	1	10	200
V	3	3	3
Wh	3	28	580
kg	0.035	0.25	5
Wh/kg	91	110	116

Således antas att energidensiteten för företagets natriumjonbatterier ligger i intervallet 91-116 Wh/kg.

4.3.19 Veken

Företaget annonserade år 2023 två produktionsanläggningar för natriumjonbatterier (Veken Co., 2023). Den ena uppges ha en produktionskapacitet på 2 GWh/år och den andra på 1 GWh/år. Enligt RhoMotion (2024) kommer företaget uppnå en produktionskapacitet på 2 GWh/år i december år 2025, som antas utgöra den nuvarande produktionskapaciteten. Huruvida utbyggnaden av resterande 1 GWh/år har påbörjats framgår ej, således antas att denna påbörjas först efter de första 2 GWh/år är etablerade, alltså i december år 2025. Enligt utbyggnadstaktsberäkningen i avsnitt 4.2.2 bör resterande 1 GWh/år således vara klart under år 2027. Företaget antas därmed ha en total framtida produktionskapacitet på 3 GWh/år år 2027.

4.3.20 Zoolnasm

Företaget har sedan tidigare annonserat byggnationen av en fabrik med en produktionskapacitet på 20 GWh/år natriumjonbattericeller och 10 GWh/år natriumjonbatterisystem (Zoolnasm, 2023). Projektet genomförs i två faser, där färdigställandet av den första antas ha inträffat redan under år 2024. Denna fas innefattade en produktionskapacitet på 10 GWh/år av battericeller. Det är oklart huruvida de producerade natriumjonbattericellerna kommer användas till produktionen av natriumjonbatterisystemen eller ej. För att undvika en eventuell dubbelräkning av 10 GWh/år av natriumjonbattericeller så beaktas inte natriumjonbatterisystemen i kommande beräkningar.

Med utgångspunkt i den fabriksutbyggnadstakt som sedan tidigare angivits för företaget i avsnitt 4.2.2 och som beräknades utifrån tidslängden av projektets första fas, antas att dess andra fas kommer att färdigställas under år 2027. Byggnationsstarten har antagits inträffa det år som projektets första fas färdigställdes, vilket innebär att 2024-12-31 använts som startdatum.

Energidensiteten på företagets natriumjonbattericeller varierar mellan dess fyra olika celltyper (Zoolnasm, u.å.). Sammantaget ligger energidensiteten av dess fyra olika celltyper inom intervallet 100-135 Wh/kg.

4.4 Företagsdata

Avsnittet redogör för den företagsinformation som insamlats och inleds med Tabell 5 som presenterar samtlig insamlad data. För att separat redovisa tabellens olika kolumner följer fyra delavsnitt. Delavsnitt 4.4.1 redogör för den data som berör företagens nuvarande och framtida produktionskapacitet. Delavsnitt 4.4.2 redogör för den data som berör batteriernas tekniska egenskaper, såsom elektrodmaterial och energidensitet. Delavsnitt 4.4.3 redogör för de användningsområden som företagen redovisar för sina natriumjonbatterier och delavsnitt 4.4.4 för företagens geografi.

Urvalet av företag i avsnitten utgår från Tabell 2. Tabellen presenterar insamlad data för respektive företag och grundas delvis på de antaganden som redogjorts för i avsnitt 4.3. Kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] berör vilken den nuvarande produktionskapaciteten är, om det finns planer på en framtida produktionskapacitet och när denna ska vara i bruk. [Wh/kg] redogör för energidensiteten av företagens batterier och [PE] samt [NE] för de elektrodmaterial företaget använder sig av. Slutligen i kolumn [Användningsområde] redovisas batteriernas primära användningsområden. Källorna anges som siffror och återfinns i Bilaga A. En tom cell i tabellen indikerar att data saknats.

Tabell 5: *Översikt av företagens produktionskapacitet, tekniska information och användningsområden. En asterisk [*] intill företagets namn indikerar att ett eller flera antaganden applicerats här. En källhänvisning i direkt anslutning till företagets namn indikerar att all data på raden är från samma källa. Källorna återfinns i Bilaga A. Akronymer: Oxidlager: OL, Polyanion: PA, Preussiskt blått/vitt: PB, Hårt kol: HK, Mjukt kol: MK, Tenn: Sn, Energilagringssystem: ELS, Elfordon: EF, Avbrottsfri kraftförsörjning: AK, Reservkraft: RK, Konsumentelektronik: KE, Positiv elektrod: PE, Negativ elektrod: NE. En tom cell indikerar att data saknas.*

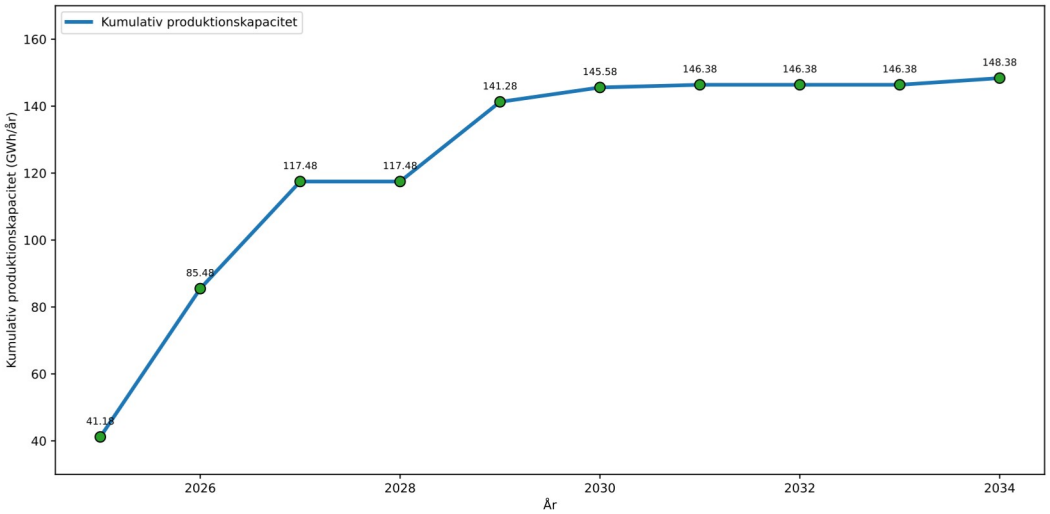
Företag	Nuvarande kapacitet [GWh/år]	Framtida kapacitet [GWh/år]	Färdigt till år	Wh/kg	PE	NE	Användningsområde
Acculon energy [6]	1						RK, EF
Amandarry & Sodium Power*	0,5	2	2027		OL, PA [7]	HK [7]	ELS, EF [7]
AMTE Power (LionVolt)*	0,5			140 [8]	OL [9]		ELS [9]
Beijing Xuexiong Technology [10]							EF
CATL*	4,0			160–200 [11]	OL [12]	HK [12]	ELS, EF [13]
CBAK Energy*	0,65	9,65	2027 [14]	140 [15]	OL		ELS, EF, AK [14]
Cham Battery Technology*	0,8	1,6	2031	118,5–150 [16] [17]			EF, ELS, övrigt [17]
EVE energy				135 [18]	OL, PA [18]	HK [18]	ELS [19]
Faradion (Reliance)*	0,5	4,8	2026 [20]	160 [18]	OL [18]	HK [18]	ELS, EF [21]
Farasis Energy*	1,0			160–180 [22]	OL [18]	HK [18]	ELS, EF [22]
Findreams (BYD)*		30 [23]	2026	150–160 [24]	OL, PA [25]		EF [23]
Godi Energy*		0,4	2029 [26]				ELS, EF, KE [27]
Godi Energy*		2	2034				ELS, EF, KE [27]
Great Power*	5,76			150 [28]	OL, PA [29]	HK [18]	ELS [29]
Highstar*	2,26			110–150 [30]	PA, PB, OL [30]		ELS, EF, övrigt [30]
HiNa*	5			165 [31]	OL [32]	MK [32]	ELS, EF [32]
Indi Energy [33]						HK	ELS, EF, AK

Företag	Nuvarande kapacitet [GWh/år]	Framtida kapacitet [GWh/år]	Färdigt till år	Wh/kg	PE	NE	Användningsområde
LiFun Technologies*	0,4			140-160 [34]	OL, PB, PA [35]		AK, övrigt [36]
Natron*	0,6 [37]	24 [37]	2029	15-20 [18]	PB [18]	PB [18]	AK, övrigt [38]
Paragonage [39]	0,5						RK, ELS, EF
Peak Energy		5 [40]	2027 [41]			HK [40]	ELS [41]
Phylion [42]							EF
Shenzhen Puna Times Energy*	0,5			140–150 [43]			ELS [44]
Svolt Energy				160 [45]			ELS, EF [46]
Tiamat	0,7 [2]	5 [47]	2030 [47]	65–85 [18]	PA [18]	HK [18]	ELS, EF, AK, övrigt [47]
Transimage *	4,5	10	2027	140 [48]	OL [48]	HK [48]	
Unigrid Battery*	0,01			91-116	OL [49]	HK, Sn [49]	ELS, EF, AK [49]
Varta [50]							ELS, EF
Veken Technology*	2	3	2027	150 [51]	OL, PA, PB [52]		ELS, EF [51]
Vision Group [4]		10	2026				ELS
Zoolnasm (Zhongna Energy)*	10	20	2027	100-135	PB [53]		EF, AK [54]

4.4.1 Produktionskapacitetsdata

Avsnittet behandlar datakolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Endast de företag som redovisat data för någon av ovannämnda kolumner har inkluderats.

Från denna data erhålls en nuvarande produktionskapacitet för samtliga företag på 41,18 GWh/år. Den totala framtida produktionskapaciteten summeras till 148,38 GWh/år. Ur Tabell 5 kan man även urskilja att företagen Great Power, Zoolnasm och Transimage är de företag som år 2025 har störst produktionskapacitet.

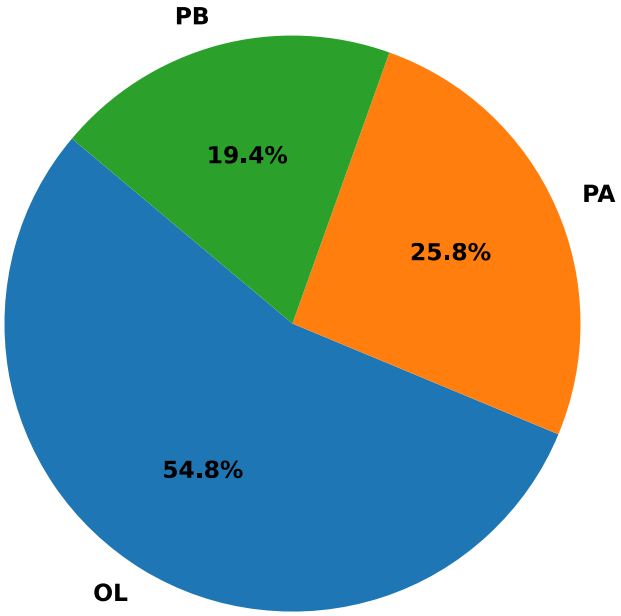


Figur 5: *Tidsserie av den kumulativa produktionskapaciteten utifrån [Nuvarande kapacitet], [Framtida Kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Data adderas kumulativt från år till år.*

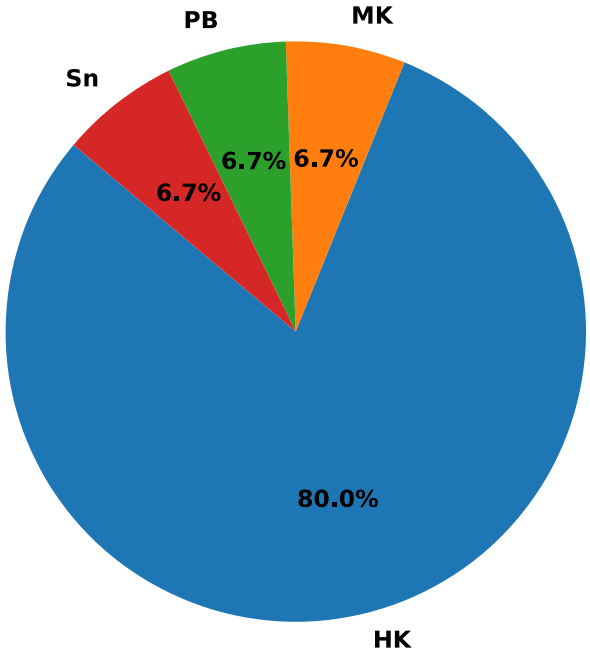
I början av Figur 5 noteras en markant ökningstakt för den årliga produktionskapaciteten, vilken främst hänförs till företaget BYD som år 2026 kommer utöka sin produktionskapacitet med 30 GWh/år, se Tabell 5. Bortom år 2026 noteras en tydlig ökning år 2029, vilken främst hänförs till företaget Natron som kommer utöka sin produktionskapacitet med 24 GWh/år tills dess, se Tabell 5. Utvecklingen efter år 2030 indikerar en viss stagnation, där ingen anmärkningsvärd förändring noteras.

4.4.2 Batteriteknisk data

Avsnittet redovisar diagram för data i kolumnerna [PE], [NE] samt information om [Wh/kg] från Tabell 5. Endast de företag som redovisat data för någon av ovannämnda kolumner har inkluderats. I Figur 6 respektive 7 illustreras de positiva respektive negativa elektrodmaterial företagen använder sig av.



Figur 6: *Cirkeldiagram som visar andel av olika positiva elektrodmaterial för samtliga företag. Följande akronymer har tillämpats: Oxidlager: OL, Polyanion: PA, Preusiskt blått/vitt: PB.*



Figur 7: *Cirkeldiagram som visar andel av olika negativa elektrodmaterial för samtliga företag. Följande akronymer har tillämpats: Hårt kol: HK, Mjukt kol/Antracit-baserat: MK, Tenn: Sn, Preusiskt blått/vitt: PB*

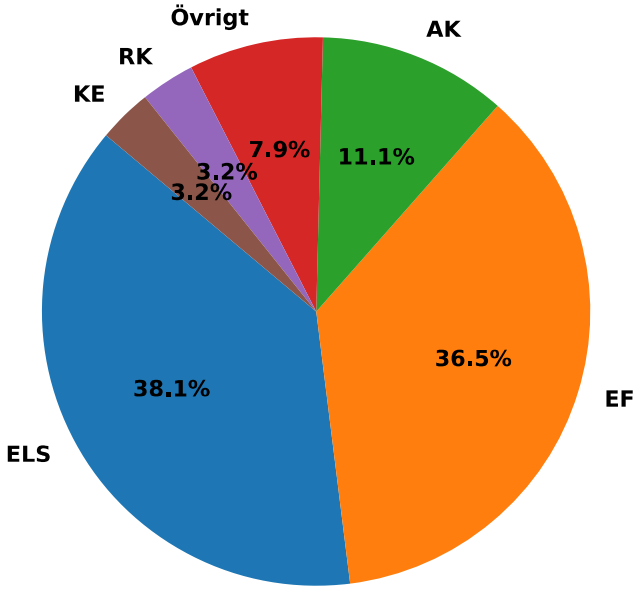
Ur Figur 6 framgår att det vanligaste positiva elektrodmaterialet är oxidlager, därefter följer elektrodmaterial av polyanjoner och preussiskt blått/vitt. Figur 7 visar att hårt kol med

marginal dominerar företagens val av negativt elektrodmaterial. Från Tabell 5 i kolumn [Wh/kg] kan det observeras att energidensiteten för insamlad data ligger inom intervallet 15-200 Wh/kg. Storleken på intervallet förklaras till stor del av ett fåtal företag som i sammanhanget redovisar en låg energidensitet. De två företagen som redovisar lägst är Natron med endast 15-20 Wh/kg och Tiamat med 65-85 Wh/kg. Bortsett från dessa anomalier redovisar 15 av de 20 företag som inkluderats en energidensitet i intervallet 130-170 Wh/kg.

En ytterligare observation är att de företag som enbart producerar natriumjonbatterier med oxidlager som positivt elektrodmaterial har en energidensitet inom intervallet 106-200 Wh/kg. De som producerar natriumjonbatterier med enbart preussiskt blått/vitt är dels Natron men även Zoolnasm, där Zoolnasm redovisar ett intervall på 100-135 Wh/kg och Natron ett på 15-20 Wh/kg. Det enda företaget som enbart producerar natriumjonbatterier med ett positivt elektrodmaterial av polyanjoner är Tiamat, som redovisar en energidensitet på 65-85 Wh/kg.

4.4.3 Användningsområden

Avsnittet redovisar diagram för data i kolumnen [Användningsområde] från Tabell 5. Endast de företag som redovisat data i ovannämnd kolumn har inkluderats. I Figur 8 illustreras användningsområdena för företagens natriumjonbatterier.



Figur 8: *Cirkeldiagram som visar andel av olika användningsområden. Följande akronymer har tillämpats: Energilagringssystem: ELS, Elfordon: EF, Avbrottsfri kraftförsörjning: AK, Reservkraft: RK och Konsumentelektronik: KE.*

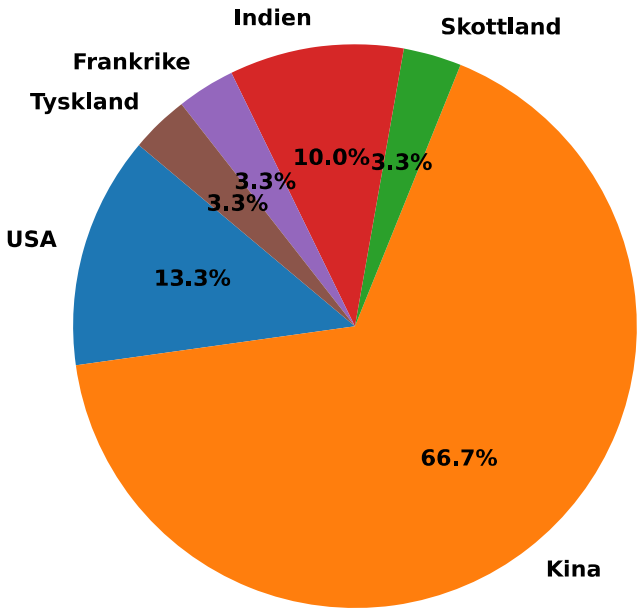
Ur Figur 8 framgår att de två vanligaste användningsområdena för företagens natriumjonbatterier är energilagringssystem och elfordon. Anmärkningsvärt är även att en majoritet av företagen producerar battericeller av olika kemi och således redovisar fler än ett användningsområde för deras natriumjonbatterier.

4.4.4 Företagens geografiska fördelning

Avsnittet behandlar företagens respektive geografi som återfinns i Tabell 17 i Bilaga B, samt hur produktionskapaciteten är geografiskt fördelad.

Figur 9: *Stapeldiagram som visar fördelning av produktionskapacitet över tid mellan länder baserat på GWh/år.*

Figur 9 utgår från Tabell 5 och redovisar respektive lands andel av den globala produktionskapaciteten. Figuren visar att Kina har störst andel av produktionskapaciteten år 2025, med 92%, men förväntas att successivt förlora andelar till USA fram till år 2030. Den europeiska andelen av marknaden är obetydlig och förblir sådan till år 2030, då det franska företaget Tiamat förväntas utöka sin produktionskapacitet.



Figur 10: *Cirkeldiagram som visar andelen företag i olika geografiska områden. Diagrammet är baserat på Tabell 17 som återfinns i Bilaga B.*

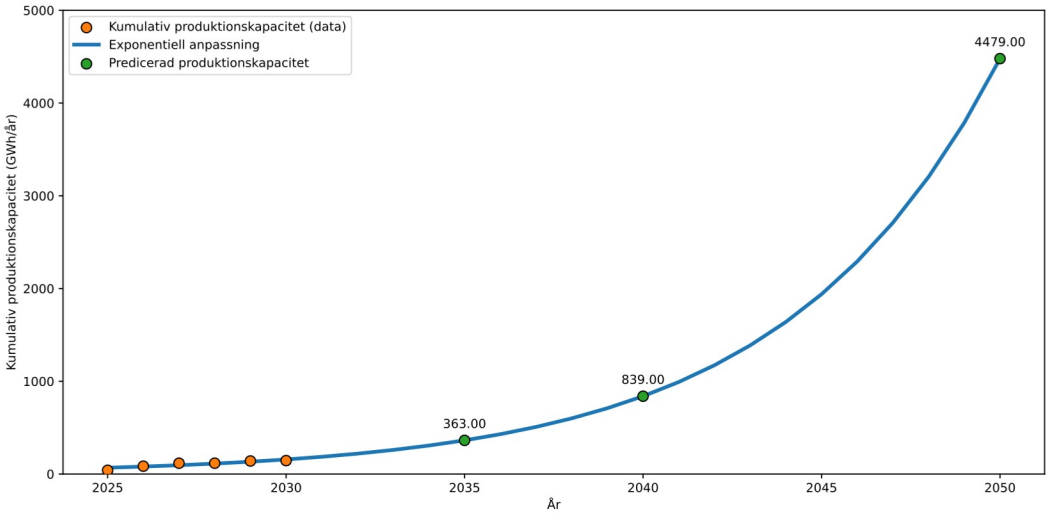
På marknaden för produktion av natriumjonbatterier står Kina för ungefär två tredjedelar av alla företag som producerar natriumjonbatterier, se Figur 10. Antalet europeiska företag som ingår i urvalet är enbart tre stycken: AMTE Power (LionVolt), Tiamat och Varta, vilka tillsammans utgör en andel på mindre än 10%. Enskilda företags nationaliteter redovisas i Tabell 17 i Bilaga B.

4.5 Tillväxtmodeller

Avsnittet redogör för de tillväxtmodeller som anpassats till data i Tabell 5. Mer specifikt har data i kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacacitet] och [Färdigt till år] använts. I Figur 5 noterades en viss stagnation för produktionskapaciteten bortom år 2030. Det finns inget som indikerar att utvecklingen av produktionskapaciteten för natriumjon-batterimarknaden kommer stagnera såpass tidigt. Stagnationen kan istället härstamma från en återhållsamhet hos företagen att offentliggöra produktionskapacitetsdata för perioder bortom år 2030. Mot denna bakgrund har tillväxtmodellerna enbart anpassats till data för åren fram till och med år 2030.

4.5.1 Den exponentiella tillväxtmodellen

Avsnittet redogör för den exponentiella tillväxtmodellen i ekvation 2.1 som anpassats till data i Tabell 5. Utseendet på kurvan i Figur 11 samstämmer väl med det förväntade utseendet för en exponentiell kurva, se Figur 1. Tillväxttakten ökar över tid och produktionskapaciteten förväntas nå 363 GWh/år år 2035, 839 GWh/år år 2040 samt 4479 GWh/år år 2050.



Figur 11: *Diagram av den exponentiella tillväxtmodellen som anpassats till data i kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Produktionskapacitet adderas kumulativt år till år. De markerade predicerade produktionskapaciteterna avser åren 2035, 2040 och 2050.*

Tabell 6: *Parametrar för den exponentiella tillväxtmodellen i ekvation 2.1 som anpassades till data i Figur 11*

Parameter	**Värde**
F_0	32
k	0,17
x_0	2020

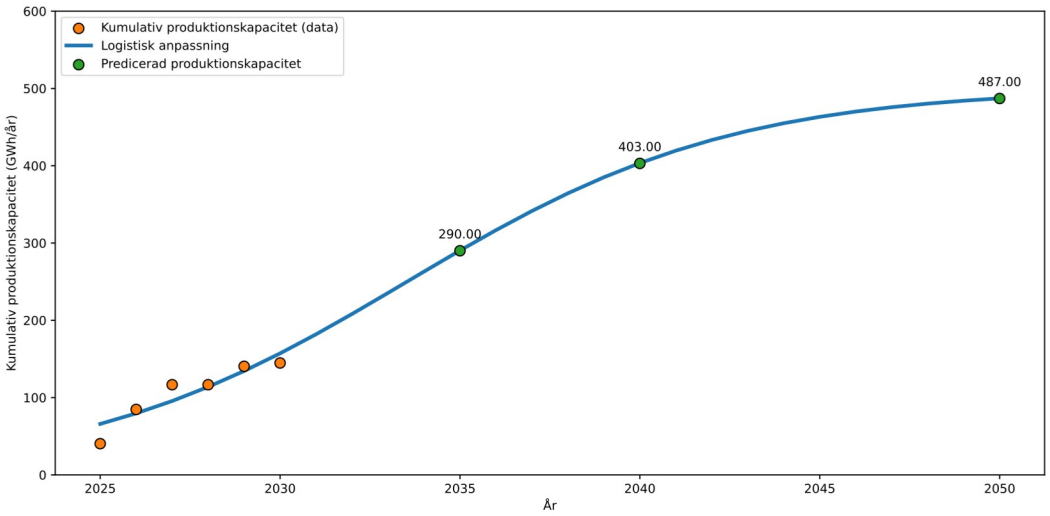
Tabell 7: *Matematiska mått på den exponentiella tillväxtmodellen som anpassades till data i Figur 11. CAGR använder data i [Nuvarande kapacitet] i Tabell 5 som produktionskapacitet för år 2025.*

Mått	**Värde**
$CAGR$ (2025-2034)	25%
$CAGR$ (2025-2050)	21%
MAE	13
R^2	0,81
$RMSE$	16

Utvecklingen över tid i kurvan i Figur 11 återger en CAGR på 25,3% mellan år 2025 och 2034 och en CAGR på 20,7% mellan år 2025 och 2050, se Tabell 7. Tillväxttaken har beräknats enligt definitionen i ordlistan. R^2-värdet för modellen är 0,81 och därmed kan den exponeniella tillväxtmodellen förklara en betydande majoritet av variansen hos insamlad data.

4.5.2 Den logistiska tillväxtmodellen

Avsnittet redogör för den logistiska tillväxtmodellen i ekvation 2.2 som anpassats till data i Tabell 5. Utseendet på kurvan i Figur 12 samstämmer relativt väl med det förväntade s-formade utseendet för en logistisk kurva, se Figur 2. Tillväxttakten ökar fram till inflexionspunkten år 2033 och avtar därefter tills modellen når sin maximala produktionskapacitet på 500 GWh/år, se Tabell 8. Produktionskapaciteten förväntas nå 290 GWh/år år 2035, 403 GWh/år år 2040 samt 487 GWh/år år 2050.



Figur 12: *Diagram av den logistiska tillväxtmodellen som anpassats till data i kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Produktionskapacitet adderas kumulativt år till år. De markerade predicerade produktionskapaciteterna avser åren 2035, 2040 och 2050.*

Tabell 8: *Parametrar för den logistiska tillväxtmodellen i ekvation 2.2 som anpassades till data i Figur 12.*

Parameter	**Värde**
L	500,0
k	0,22
x_o	2033

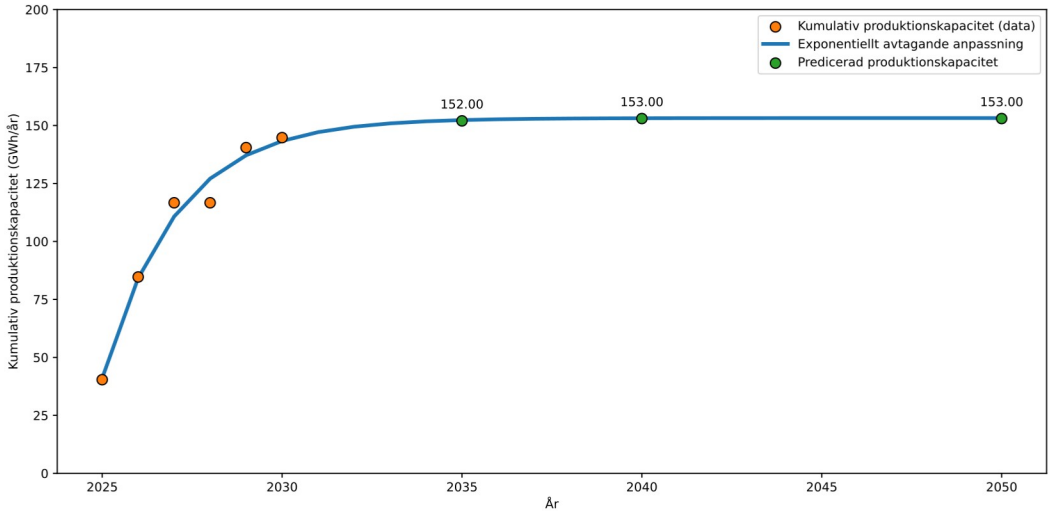
Tabell 9: *Matematiska mått på den logistiska tillväxtmodellen som anpassades till data i Figur 12. CAGR använder data i [Nuvarande kapacitet] i Tabell 5 som produktionskapacitet för år 2025.*

Mått	**Värde**
$CAGR$ (2025-2034)	23 %
$CAGR$ (2025-2050)	11 %
MAE	12
R^2	0,83
$RMSE$	15

Utvecklingen över tid i kurvan i Figur 12 återger en CAGR på 23% mellan år 2025 och 2034 och en CAGR på 11% mellan år 2025 och 2050, se Tabell 9. Tillväxttakten har beräknats enligt definitionen i ordlistan. R^2-värdet för modellen är 0,83 och därmed kan den logistiska tillväxtmodellen förklara en betydande majoritet av variansen hos insamlad data.

4.5.3 Den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen

Avsnittet redogör för den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen i ekvation 2.3 som anpassats till data i Tabell 5. Utseendet på kurvan i Figur 13 samstämmer väl med det förväntade utseendet för en exponentiellt avtagande kurva, se Figur 3. Tillväxttakten avtar över tid och produktionskapaciteten förväntas nå 152 GWh/år vid år 2035 och förbli ungefär på samma nivå till år 2050.



Figur 13: *Diagram av den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen som anpassats till data i kolumnerna [Nuvarande kapacitet], [Framtida kapacitet] och [Färdigt till år] i Tabell 5. Produktionskapacitet adderas kumulativt år till år. De markerade predicerade produktionskapaciteterna avser åren 2035, 2040 och 2050.*

Tabell 10: *Parametrar för den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen i ekvation 2.3 som anpassades till data i Figur 13.*

Parameter	**Värde**
L	188
k	0,49
C	-35

Tabell 11: *Matematiska mått på den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen som anpassades till data i Figur 13. CAGR använder data i [Nuvarande kapacitet] i Tabell 5 som produktionskapacitet för år 2025.*

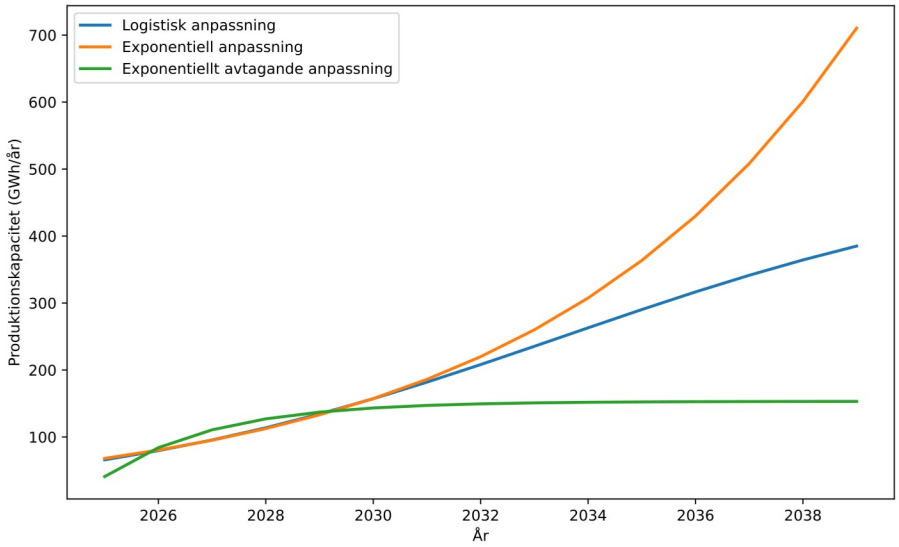
Mått	**Värde**
$CAGR$ (2025-2034)	16 %
$CAGR$ (2025-2050)	5,5 %
MAE	3,7
R^2	0,98
$RMSE$	5,1

Utvecklingen över tid i kurvan i Figur 13 återger en CAGR på 16% mellan år 2025 och 2034 och en CAGR på 5,5% mellan år 2025 och 2050, se Tabell 11. Tillväxttaken har beräknats enligt definitionen i ordlistan. R^2-värdet för modellen är 0,98 och därmed kan den exponentiellt avtagande tillväxtmodellen förklara en betydande majoritet av variansen hos insamlad data.

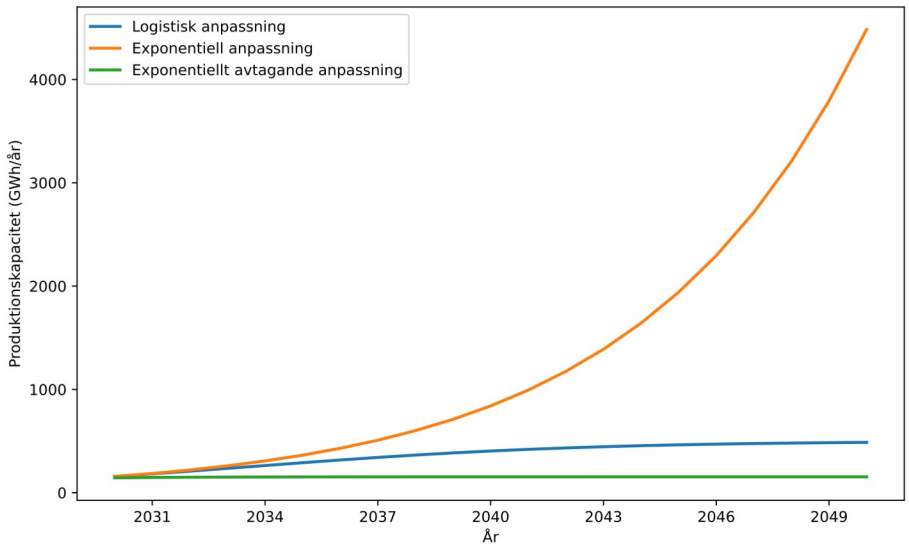
4.5.4 Jämförelse av tillväxtmodeller

En jämförelse av de olika modellerna åskådliggör ett flertal anmärkningsvärda likheter och skillnader. I första hand växer den logistiska och exponentiella modellen väldigt lika under perioden 2025-2030, se Figur 14. Efter denna period divergerar kurvorna och vid år 2050 predicerar den exponentiella modellen en mer än nio gånger högre produktionskapacitet än den logistiska, se Figur 11 och 12. Vidare skiljer sig den exponentiellt avtagande modellen markant från de övriga utmed hela perioden 2025-2050. Dess tillväxttakt är högre till en början, men redan efter år 2026 avtar den och några år därefter blir den försumbar relativt de övriga modellernas. Den exponentiellt avtagande modellens predicerade produktionskapacitet för år 2050 avviker därmed markant från de övriga modellernas.

Sammantaget uppvisar den exponentiella modellen den högsta genomsnittliga tillväxttakten under perioden 2025-2050, med en $CAGR$ på 21%, se Tabell 12. Därefter har den logistiska respektive exponentiellt avtagande modellen en $CAGR$ på 11% respektive 5,5%.



Figur 14: *Diagram som jämför tillväxtmodellerna i avsnitt 4.5.1, 4.5.2 och 4.5.3 för perioden 2025-2040.*



Figur 15: *Diagram som jämför tillväxtmodellerna i avsnitt 4.5.1, 4.5.2 och 4.5.3 för perioden 2030-2050.*

En utvärdering av hur bra modellerna passar insamlad data är likaså relevant. För detta ändamål jämförs deras respektive MAE, R^2 och $RMSE$, se Tabell 12. Inledningsvis kan det konstateras att den exponentiellt avtagande modellen har det lägsta värdet av MAE och $RMSE$, samt det högsta av R^2. Det innebär att skillnaden mellan insamlad data och dess predicerade värde är som lägst hos den exponentiellt avtagande modellen. Därutöver följer att modellen är bäst på att förklara variansen av insamlad data. Beträffande de övriga modellerna har den logistiska något lägre MAE och $RMSE$ än den exponentiella och dess R^2 är dessutom något högre. Måtten är dock mycket snarlika för den exponentiella och logistiska modellen.

Tabell 12: *Jämförelse av tillväxtmodeller baserat på olika matematiska mått. $CAGR_1$ avser perioden 2025-2034 och $CAGR_2$ perioden 2025-2050*

Tillväxtmodell	$CAGR_1$	$CAGR_2$	MAE	R^2	$RMSE$
Exponentiell	25%	21%	13	0,81	16
Logistisk	23%	10,5%	12	0,83	15
Exponentiellt avtagande	16%	5,5%	3,7	0,98	5,1

4.5.5 Utomstående prediktioner

Avsnittet redogör för och jämför prediktioner av litiumjärnfosfat- och natriumjonbatterimarknaden. Dessutom redogörs för en prediktion av batterimarknaden som helhet.

Den genomsnittliga årliga tillväxttakten av marknaden för LFP-batterier redogörs för i Tabell 13. Fyra olika prediktioner redovisas. Energy News (2025) spår en CAGR på 9,9% och InsightAce Analytic (2024) en på 14%. Bhatia (2025) spår en CAGR på 15% och Fortune Business Insights (2025) en på 26%.

Först och främst noteras en hög varians av $CAGR$ värdena, där högsta respektive lägsta värdet är 26% respektive 9,0%. De avser emellertid olika perioder, vars början varierar mellan år 2023 och 2024 och slut mellan år 2031 och 2037.

Tabell 13: *Prediktionsdata för LFP-batterimarknaden. Data i [Startvärde] och [Slutvärde] är angiven i miljarder dollar. [Varians] avser variansen av data i [CAGR (%)] och har beräknats utifrån definitionen i ordlistan.*

Startvärde	Slutvärde	Period	CAGR (%)	Varians
8,6	17	2024-2031	9,9	37
18	49	2024-2031	14	
19	118	2025-2037	15	
19	124	2024-2032	26	

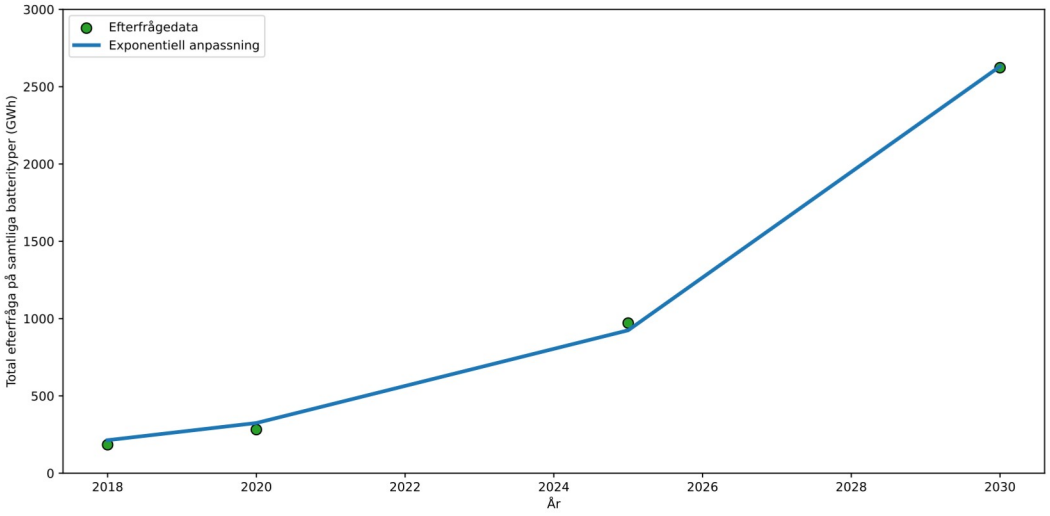
Den genomsnittliga årliga tillväxttakten av marknaden för natriumjonbatterier redogörs för i Tabell 14. Fem olika prediktioner redovisas. Grand View Research (u.å.) spår en CAGR på 16% och BCC Research (u.å.) en på 19%. MarketsandMarkets (2024) spår en CAGR på 22% och Yahoo Finance (2025) en på 22%. Till sist spår Global Market Insights (2025) en CAGR på 26%.

Variansen av $CAGR$ värdena är inte lika hög som den i Tabell 13 och högsta respektive lägsta värdet är 26% respektive 16%. Början för deras perioder varierar mellan år 2023 och 2025 och sluten mellan år 2028 och 2034. Till sist noteras att marknaden för LFP-batterier värderas betydligt högre än den för natriumjonbatterier.

Tabell 14: *Prediktionsdata för natriumjonbatterimarknaden. Data i [Startvärde] och [Slutvärde] är angiven i miljarder dollar. [Varians] avser variansen av data i [CAGR (%)] och har beräknats utifrån definitionen i ordlistan.*

Startvärde	Slutvärde	Period	CAGR (%)	Varians
0,32	0,93	2024-2030	16	11
0,32	0,84	2024-2029	19	
0,50	1,2	2023-2028	22	
0,44	2,1	2025-2033	22	
0,34	2,7	2025-2034	26	

Den totala predicerade efterfrågan på samtliga batterityper av World Economic Forum (2019) visas i Figur 16. Det är tydligt att efterfrågans tillväxttakt ökar. Dess storlek förväntas öka med mer än 14 gånger under perioden 2018-2030, vilket samstämmer väl med tillväxttakten hos den exponentiella anpassningen.



Figur 16: *Diagram för utvecklingen av efterfrågan på hela batterimarknaden med en exponentiell tillväxtmodell anpassad till den. (World Economic Forum, 2019).*

En utvärdering av den exponentiella anpassningen av efterfrågedata i Figur 16 redogörs för i Tabell 16. Modellen har ett mycket högt R^2 värde och kan således nästan förklara all varians av data. Vidare är dess MAE och $RMSE$ relativt höga jämfört med tidigare modeller, se Tabell 12. Emellertid har den exponentiella modellen i Figur 16 anpassats till data av mycket högre magnitud och därmed är de relativt höga värdena på MAE och $RMSE$ förväntade.

Tabell 15: *Parametrar för den exponentiella tillväxtmodellen i ekvation 2.1 som anpassades till efterfrågedata i Figur 16*

Parameter	**Värde**
F_0	135
k	0,21
x_0	2015

Tabell 16: *Matematiska mått på den exponentiella tillväxtmodellen som anpassades till efterfrågedata i Figur 16.*

Mått	**Värde**
MAE	32
R^2	0,999
$RMSE$	35

4.6 Intervjuresultat

Avsnittet redogör för de två intervjuerna som genomfördes under projektet. Intervjuerna baserades på intervjuguiderna som återfinns i Bilaga C.

Det ena intervjuobjektet var Patrik Johansson, professor i fysik på Chalmers tekniska högskola. Patrik har en mångårig bakgrund inom forskning på natriumjonbatterier, där han specialiserat sig på forskning om nya material. Denna intervju spelades in och varade i cirka 36 minuter. Intervjun genomfördes tidigt i studien och syftade till att bidra med initiala insikter och vägledning inom området. Bland annat behandlades diverse fördelar och nackdelar med natriumjonbatterier, där exempelvis fördelen att kunna transportera natriumjonbatterier i ett urladdat tillstånd framhölls (P. Johansson, personlig kommunikation,

3 mars, 2025). Även lämpliga användningsområden berördes, där Johansson menade att natriumjonbatterier ska ses som ett komplement till litiumjonbatterier och kan appliceras i exempelvis hybridlösningar och hissar. Dessutom berörde intervjun marknaden och dess aktörer, där CATL, Tiamat, Faradion och Altris framhölls som intressanta sådana. Tre av dessa företag återfinns även i Tabell 5. Slutligen behandlade intervjun lagar och direktiv och hur dessa påverkar framtiden för natriumjonbatterier. Johansson hävdade att batteridirektiven bidrar med tydliga spelregler och direktiv för återvinning och återanvändning. Samtidigt berörde han hur natriumjonbatterier missgynnas av att kategoriseras tillsammans med litiumjonbatterier då deras särskilda egenskaper såsom möjligheten att transporteras kortslutna förbises.

Det andra intervjuobjektet var Reza Younesi, lektor vid institutionen för kemi på Uppsala universitet. Younesi är medgrundare till företaget Altris som är verksamma inom produktion och utveckling av ett positivt elektrodmaterial för natriumjonbatterier, specifikt preussiskt vitt. Intervjun syftade till att erhålla information om industrin som helhet, men även information om företaget Altris och dess produkt. Denna intervjun spelades inte in men varade i cirka 30 minuter. I jämförelse med övriga batterier inom industrin uppgav Younesi att det finns flertalet fördelar med natriumjonbatterier, bland annat: lägre kostnad, bättre hållbarhet och en säkrare leveranskedja (R. Younesi, personlig kommunikation, 14 mars, 2025). Younesi hävdade även att det inte råder några inträdeshinder för natriumjonbatterier i vissa sektorer såsom stationär energilagring och billigare elfordon. I de sektorer där energidensitet är centralt, exempelvis för laptops, mobiltelefoner och dyrare elbilar, menade intervjuobjeketet däremot att litium-baserade batterier fortsatt kommer att dominera. Beträffande lagar och regleringar uppgav Younesi att det finns få stödjande såväl som hindrande regleringar för natriumjonbatterier.

5 Diskussion

Kapitlet diskuterar studiens resultat och begränsningar. Inledningsvis i avsnitt 5.1 diskuteras resultatet av tillväxtmodellerna och vilken av dessa som är lämpligast att använda som prediktionsmodell. Därefter i avsnitt 5.2 diskuteras vilka utmaningar natriumjonbatterimarknaden står inför och hur dessa påverkar prediktionens giltighet. Avsnitt 5.3 diskuterar företagens batterier och deras teknik och användningsområden. Till sist redogör avsnitt 5.4 för källor till osäkerhet i studien och dess begränsningar.

5.1 Tillväxtmodeller

För att kunna utse det lämpligaste valet av tillväxtmodell krävs både kvantitativa såväl som kvalitativa överväganden. I första hand presterar den exponentiellt avtagande modellen bäst på de matematiska utvärderingsmåtten, med lägst MAE och $RMSE$ samt högst R^2, se Tabell 12. En kvantitativ analys av modellerna understöder därmed att den exponentiellt avtagande är mest lämplig. Däremot är denna prestation förväntad med tanke på den stagnation som noteras i Figur 5. Dessutom visar Tabell 14 att flera olika institutioner har skattat tillväxten för natriumjonbatterimarknaden betydligt högre än vad den exponentiellt avtagande modellen gör. Förvisso avser $CAGR$ i Tabell 14 inte samma sak som i Tabell 11, men skillnaden dem emellan indikerar ändå att modellens tillväxtakt är orimligt låg.

Beträffande den exponentiella tillväxtmodellen så växer den väldigt snarlikt den logistiska under perioden 2025-2030, se Figur 14. Som tidigare nämnts divergerar kurvorna därefter och den exponentiella modellen når en många gånger högre produktionskapacitet än de övriga år 2050. Sedan innan är det teoretiskt etablerat att modellens huvudsakliga begränsning är dess obegränsade tillväxttakt och de orimligt stora värden som följer, se avsnitt 2.2.1. Det gör den logistiska modellen mer realistisk, och den exponentiella modellen blir olämplig att använda som modell bortom dess avvikning från den logistiska. Även bortsett från kvalitativa hänsynstaganden framstår den logistiska modellen som lämpligare. Skillnaderna är förvisso små, men den logistiska har både lägre MAE och $RMSE$, samt högre R^2. Alltså avviker dess kurva mindre från datapunkterna än den exponentiella modellen och förklarar dessutom deras varians bättre.

Sammantaget är den logistiska modellen lämpligast att använda som tillväxtmodell. Dess överlapp med den exponentiella modellen argumenterar för att natriumjonbatterimarknaden kommer befinna sig i en exponentiell fas under perioden 2025-2030. Även utvecklingen för hela batterimarknaden verkar vara exponentiell. Den exponentiella kurvan i Figur 16 passade batterimarknadens efterfrågedata väldigt bra, se R^2 i Tabell 16, vilket antyder att World Economic Forum möjligtvis använt en exponentiell tillväxtmodell för att predicera marknadens tillväxt. Således finns det precedens för att en exponentiell tillväxtmodell kan förklara utvecklingen av batterimarknader. Därmed är det troligt att natriumjonbatterimarknaden kommer utvecklas exponentiellt under perioden 2025-2030.

5.2 Marknadsutmaningar och prediktionens giltighet

Det finns flertalet faktorer som påverkar huruvida den predicerade tillväxtmodellen kommer överensstämma med det verkliga utfallet. En av dem är tillväxten för LFP-batterier. Enligt Yao et al., (2025) påverkar priset och materialtillgång för LFP- batterier priset för natriumjonbatterier. Marknaden för LFP-batterier förväntas uppvisa en fortsatt tillväxt i framtiden, se Tabell 13. I samtliga fall förväntas även det framtida marknadsvärdet vara mycket högre än det för natriumjonbatterier. Eftersom batterityperna inom vissa användningsområden utgör substitut för varandra kan en fortsatt tillväxt för LFP-batterier hämma den exponentiella trend som återges i prediktionen i Figur 12. En sådan påverkan förutsätter att LFP-batterier och dess ingående ämnen kan upprätthålla ett relativt lågt pris. Utifrån de utomstående prediktionerna i Tabell 13 och den tillväxt som påvisas verkar detta vara fallet. För att öka konkurrenskraften hos natriumjonbatterier så snabbt och säkert som möjligt uppger Yao et al., (2025) att man bör minska materialåtgången genom att öka batteriets energidensitet. Utöver en sådan förbättring finns det vissa fördelar med natriumjonbatteriet som kan bli mer avgörande i framtiden. Patrik Johansson belyser en av dessa, nämligen att natriumjonbatterier kan transporteras i ett urladdat tillstånd. Det kan medföra fördelar ur både ett säkerhets- och logistikperspektiv och är något som eventuellt kan öka dess konkurrenskraft i framtiden.

En ytterligare faktor som kan komma att påverka det verkliga utfallet är företagens geografiska fördelning. Från avsnitt 4.4.4 kan man dra slutsatsen att ungefär två tredjedelar av alla företag i studien har sin huvudverksamhet i Kina. Dessutom finns även 92% av all nuvarande produktionskapacitet i Kina. Trots stora investeringar i europeiska batteriföretag så står Europa år 2025 för mindre än 5% av den globala produktionskapaciteten. Ett exempel på dessa investeringar är företaget Northvolt AB som hade planer för produktion av både litium- och natriumjonbatterier. Dock så ansökte företaget om konkurs år 2025 (Northvolt, 2025), vilket troligtvis negativt påverkar den europeiska investeringsviljan i tekniken. Således är Europa i ett prekärt läge, där de både behöver hantera sin låga marknadsandel och de eventuellt sviktande investeringarna i natriumjonbatteritekniken.

Att en ensam aktör, i detta fallet Kina, kontrollerar världens tillförsel av natriumjonbatterier introducerar också osäkerhet till vår prediktion. En så pass stor aktörs agerande kan i hög grad påverka prediktionerna i jämförelse med om resurserna vore mer utspridda. Kina har tidigare utnyttjat en maktdynamik likt denna till sin fördel. År 2023 införde Kina exportrestriktioner på grafit som är det vanligaste negativa elektrodmaterialet för litiumjonbatterier

(Reuters, 2025). Möjligheten finns att liknande restriktioner även drabbar natriumjonbatterier och dess ingående ämnen. En exportrestriktion inom litiumbranschen, som i synnerhet påverkar det konkurrerande LFP-batteriet, hade kunnat påskynda natriumjonbatteriers adoptionstakt. Å andra sidan kan diverse exportrestriktioner för ämnen i natriumjonbatteriet komma att öka LFP-batteriernas fortsatta tillväxt. Utomstående påverkan kan alltså både positivt och negativt påverka den tillväxttakt som natriumjonbatterimarknaden uppvisar i framtiden, vilket introducerar ytterligare osäkerhet i prediktionen.

Som redogörs för i introduktionen finns även majoriteten av förädling och forskning för litiumjonbatterier i Kina (Fraunhofer ISI, 2023). Det antyder tillsammans med studiens resultat i avsnitt 4.4.4 att Kina inte bara dominerar inom litiumjonbatterier, utan även inom natriumjonbatterier. Det tidigare påståendet om att natriumjonbatterier eventuellt kan bryta denna trend och minska det rådande importberoendet i övriga världen verkar åtminstone vid tidpunkten för studiens genomförande inte gälla. Samtidigt visar resultatet i Figur 9 på en trend där USA tar fler andelar av produktionskapaciteten i framtiden, men trots detta förväntas Kina fortfarande stå för tre fjärdedelar av marknaden år 2030. En möjlig förklaring till Europas minimala position på marknaden kan vara till följd av förändringsagenter. Dessa är individer som kan verka för att antingen hindra eller uppmuntra till diffusionen av en innovation. Förändringsagenten kan i detta fallet vara de vars intresse ligger i att bibehålla marknadskoncentrationen i Kina. Exempelvis kan det handla om individer med starkt inflytande som investerat i den kinesiska batterimarknaden.

Om övriga världen ska bli mindre beroende av Kina kan det krävas vad Rogers (1983) benämner som auktoritära beslut. Enligt studiens ena intervjuobjekt R. Younesi (personlig kommunikation, 14 mars, 2025) finns det få stödjande såväl som hindrande regleringar för natriumjonbatterier, vilket tyder på att innovationsbesluten hittills varit frivilliga eller kollektiva. Auktoritära beslut kan exempelvis utgöras av direktiv från EU som skapar incitament för ökade investeringar i tekniken. Ett exempel på ett sådant beslut är EU:s förbud av försäljning av nya diesel-och bensinbilar efter år 2035 (Europaparlamentet, 2022), som bland annat förväntas öka efterfrågan på elfordon. Sådana auktoritära beslut menar Rogers (1983) återger en hög initial adoptionstakt som dock på längre sikt tenderar att kringgås. Författaren belyser också vikten av kommunikationskanaler. Kommersialiseringen av natriumjonbatteriet är i en tidig fas och således besitter möjligtvis inte alla intressenter den kunskap som krävs. Genom att utnyttja vad Rogers (1983) benämner som massmediakanaler kan Europa och övriga världen sprida den kunskap och information som idag saknas och på så vis skapa incitament för fler aktörer att inträda på marknaden.

5.3 Batteriteknik och användningsområden

Som avsnitt 4.4.2 konstaterar är oxidlager, följt av polyanjoner och preussiskt blått/vitt de vanligaste positiva elektrodmaterialen för företagen i studien. Dessa tre typer är precis de tekniker som Volta Foundation väljer att nämna i sin rapport, se avsnitt 2.3. Hårt kol framstår som det vanligaste negativa elektrodmaterialet, vilket likaså motsvarar vad litteraturen anger i avsnitt 2.3. Angående användningsområden är det sedan tidigare teoretiskt etablerat att energilagringssystem och elfordon förväntas bli de främsta sådana för laddbara batterier, vilket samstämmer med dem som avsnitt 4.4.3 anger som vanligast

för natriumjonbatteriet. Även intervjuobjektet R. Younesi (personlig kommunikation, 14 mars, 2025) bekräftar denna fördelning och menar att det inte råder några särskilda inträdeshinder för natriumjonbatterier i just dessa sektorer.

Däremot framgår inget tydligt samband mellan valet av elektrodmaterial och batteriets användningsområde. Företagen i studien producerar ofta flera batteritekniker parallellt och dessutom redovisas användningsområden oberoende av batteritekniken, vilket försvårar möjligheten att urskilja ett tydligt samband. Däremot visar resultatet i avsnitt 4.4.2 att natriumjonbatterier med ett positivt elektrodmaterial av oxidlager tenderar att ha en högre energidensitet, vilken nådde 200 Wh/kg som högst. Litteraturen i avsnitt 2.3 bekräftar denna tendens. Vilken energidensitet som positiva elektrodmaterial av polyanjoner eller preussiskt blått/vitt ger är svårare att avgöra då bara två respektive ett företag anger att de producerar natriumjonbatterier av enbart preussiskt blått/vitt respektive polyanjoner.

5.4 Källor till osäkerhet och begränsningar

Avsnittet redogör för de källor till osäkerhet och begränsningar som förekommer i studien. De som berörs är studiens datainsamling, källor, antaganden, datajämförelser och resultatimplikationer.

5.4.1 Datainsamling

Studien har utfört en datainsamling som initialt inkluderade 65 stycken företag, som senare avgränsades till 30 stycken, se Tabell 1 och 2. Trots detta finns en risk att vissa natriumjonbatterproducerande företag exkluderats. Till exempel noteras en ökning av antalet företag mellan Volta Foundations årsrapporter. Deras rapport år 2023 inkluderade 37 branschaktiva företag (Volta Foundation, 2023) och 2024 ökade denna siffra till 57 stycken (Volta Foundation, 2024). Givet att denna tillväxt fortsatt även under år 2025 bör det finnas nya aktörer som studien inte kunnat inkludera, vilket begränsar dess resultat.

En ytterligare begränsning av studien är att data vid flertalet tillfällen rentav saknats. I en del fall har antaganden kunnat appliceras, i andra har data förblivit obefintlig. Dessutom, till följd av brist på primärdata, har denna studie inte kunnat vara selektiv i valet av källor, då företag ofta varit återhållsamma med att publicera data. Denna brist har medfört att andrahandskällor använts, vilka ibland varit osäkra till följd av deras äldre publiceringsdatum eller oredovisade primärkällor. Det ökar i sin tur risken för att insamlad data är utdaterad eller felaktig, vilket medför en ökad osäkerhet hos tillväxtmodellerna.

5.4.2 Antaganden

En källa till ökad osäkerhet är de antaganden som applicerats på flera av studiens företag. Ett sådant antagande är att äldre produktionskapacitetssiffror har antagits gälla även för år 2025 i de fall då nyare data inte påträffats. I en del fall är ett sådant antagande rimligt, men i andra kan nyare data varit opublicerad eller svåråtkomlig. Dock ska antagandet betraktas som ett konservativt estimat i sammanhanget och att företaget åtminstone bibehållit den angivna produktionskapaciteten.

Antagandet om produktionskapacitetsfördelning i avsnitt 4.2.1 är en ytterligare källa till osäkerhet för studien. I brist på fullständiga data baseras antagandet på ett enda företag, BYD och deras dotterbolag Findreams. Antagandet bygger också på att företaget inte annonserat att utöka sin produktionskapacitet av litiumjonbatterier, något som kan förändras. Antagandet appliceras sedan på flera andra företag oavsett storlek, geografi och ekonomiska medel. Alternativt skulle ett mer neutralt antagande om att 50% av produktionskapaciteten utgjordes av natriumjonbatterier kunna applicerats. Däremot skulle en sådan andel återgett orealistiskt höga produktionskapaciteter i vissa fall.

Antagandet för utbyggnadstakten i avsnitt 4.2.2 bör också betraktas som en källa till osäkerhet i studien. Antagandet är grundat på utbyggnadstakten för ett fåtal företag och har ej beaktat företagens respektive storlek, geografi och ekonomiska medel. Dessutom har inget av företagen i Tabell 3 byggt ut en fabrik som har en produktionskapacitet över 10 GWh/år, vilket blir missvisande eftersom en högre produktionskapacitet verkar medföra en högre utbyggnadstakt. Ett relevant exempel är företaget Natrons fabriksutbyggnad med en produktionskapacitet på 24 GWh/år, vars utbyggnadstid riskerar att bli orealistiskt hög vid applicerandet av antagandet.

5.4.3 Jämförandet av produktionskapacitetsdata med marknadsdata

För att utvärdera tillväxtmodellernas trovärdighet i avsnitt 4.5 jämfördes de med prediktioner för tillväxten av litiumjärnfosfatbatterimarknaden som redovisas i avsnitt 4.5.5. Denna tillväxt redovisas i monetära termer, men studiens tillväxtmodeller anger utvecklingen av produktionskapacitet i GWh/år. På längre sikt bör en förändring i marknadsvärde förvisso återge en förändring i produktionskapacitet, men det behöver inte gälla i samtliga fall. Exempelvis behöver ett företag inte alltid nyttja sin totala produktionskapacitet, vilket kan vara en följd av en överskattad efterfrågan. Alltså är en jämförelse mellan de två tillväxttakterna en källa till osäkerhet.

6 Slutsats

Rapportens syfte var att predicera och analysera produktionskapaciteten av natriumjonbatterier fram till år 2050. Utöver detta avsåg studien att kartlägga fördelningen av batteriernas tekniska data, materialval och användningsområden.

Studien har utgått från 30 natriumjonbatteriproducerande företag, där data av företagens nuvarande och framtida produktionskapacitet, batteriteknik och användningsområden har samlats in. Studien konkluderar att företagen har en nuvarande produktionskapacitet på totalt 41 GWh/år. Utifrån data om framtida produktionskapacitet anpassades tre tillväxtmodeller för att kunna predicera hur framtiden kan komma att se ut. Tillväxtmodellerna granskades både kvantitativt och kvalitativt utifrån matematiska utvärderingsmått, utomstående prediktioner och modellernas bakomliggande teori. Sammantaget dras slutsatsen att den logistiska tillväxtmodellen är lämpligast för prediktionen av natriumjonbatteriers framtida produktionskapacitet. Enligt tillväxtmodellen prediceras produktionskapaciteten år 2035 och 2040 till 290 respektive 403 GWh/år. År 2050 prediceras produktionskapaciteten till 487 GWh/år. Sammantaget innebär prediktionen en årlig tillväxttakt ($CAGR$) på 23% under perioden 2025-2034 och på 11% under perioden 2025-2050 för natriumjonbatterier.

Utifrån kartläggningen av materialval konkluderas att oxidlager och hårt kol utgör det vanligaste positiva respektive negativa elektrodmaterialet för företagen. Därutöver har studien påvisat att de vanligaste användningsområdena för natriumjonbatterier är energilagringssystem samt elfordon. Denna analys inkluderade även en kartläggning av företagens geografi, utifrån vilken slutsatsen dras att produktionskapaciteten för natriumjonbatterier starkt domineras av Kina. Närmare bestämt är ungefär 92% av den nuvarande produktionskapaciteten lokaliserad i Kina. Denna marknadsdominans har i studien ansetts som en av flera faktorer som kan ha en betydande inverkan på prediktionens trovärdighet. En ytterligare faktor utgörs av konkurrerande batteritekniker, såsom LFP-batterier, som kan påverka efterfrågan på natriumjonbatterier.

Avslutningsvis konkluderas att natriumjonbatteriet är ett tillskott till batterimarknaden som konkurrerar inom användningsområden såsom energilagring och elfordon mot batteritekniker som LFP-batterier. Tillväxtmodellerna återger en viss tillväxttakt baserat på vad företag på marknaden har annonserat, men bortser från en del utomstående faktorer. Alltså kan modellerna kompletteras med fler variabler, vilket ger utrymme åt vidare forskning att undersöka fler scenarion.

Litteraturförteckning

Acculon. (u.å.). *About Us*. Hämtad 10 april, 2025, från https://acculonenergy.com

Amandarry. (u.å.). *About Us*. Hämtad 8 april, 2025, från https://www.amandarry.com/index.php?id=aboutus

BCC Research. (u.å.). *Sodium-ion batteries: Materials, technologies and global markets*. Hämtad 17 april, 2025, från https://www.bccresearch.com/market-research/fuel-cell-and-battery-technologies/sodium-ion-batteries-materials-technologies-and-global-markets.html

Berg, H. (2015). *Batteries for Electric Vehicles: Materials and Electrochemistry*. Cambridge University Press: Cambridge.

Bhatia, D. (2025, 18 februari). *Lithium iron phosphate (LiFePO4) battery market*. Research Nester. Hämtad 15 april, 2025, från https://www.researchnester.com/reports/lithium-iron-phosphate-lifepo4-battery-market/3676

Blomkvist, P., & Hallin, A. (2015). *Method for engineering students: Degree projects using the 4-phase model*. Studentlitteratur AB.

Business Wire. (2024, 15 augusti). *Natron Energy Announces Plans for $1.4 Billion Giga-Scale Sodium-Ion Battery Manufacturing Facility in North Carolina*. Hämtad 11 mars, 2025, från https://www.businesswire.com/news/home/20240815622233/en/Natron-Energy-Announces-Plans-for-1.4-Billion-Giga-Scale-Sodium-Ion-Battery-Manufacturing-Facility-in-North-Carolina

CBAK. (2024, 25 december). *CBAK Energy Enters Into Strategic Agreements with HiNa Battery and Hello Tech*. Hämtad 17 april, 2025, från https://ir.cbak.com.cn/news-detail-1/24.html

CBAK. (2025). *Annual Report 2024*. https://ir.cbak.com.cn/viewfilebizce/1906517317064400896/Annual%20Report%202024.pdf

Cham New Energy. (2024, 23 augusti). *High Safety, High Cost-Effectiveness: Cham New Energy Launches High-Speed Digital Production Line for Large Cylindrical Batteries*. Hämtad 20 april, 2025, från https://www.cham.com.cn/en/aboutus/news/company-news/63

De-Leon, S. (2023, maj). *Sodium Ion (Na-Ion) Battery Market 2023 – "The Next Technology on Battery Mass Production"* [Konferenssession]. The Battery Show Europe 2023, Stuttgart, Germany. https://www.thebatteryshow.eu/content/dam/Informa/amg/stuttgart/2023/conference/1520-1540-Shmuel-De-Leon.pdf

Economic Times Energy. (2024, 18 januari). *GODI India to set up lithium giga factory in Telangana*. Hämtad 25 mars, 2025, från https://energy.economictimes.indiatimes.

com/news/power/godi-india-to-set-up-lithium-giga-factory-in-telangana/106942981

Edström, K., Ayerbe, E., Cekic-Laskovic, I., Dominko, R., Fichtner, M., Grimaud, A., Kumberg, J., Perraud, S., Punckt, C., & Vegge, T. (2020). *BATTERY 2030+ Roadmap – Inventing the Sustainable Batteries of the Future*. Battery 2030+. https://doi.org/10.5281/zenodo.10548733

Energy News. (2025, 14 mars). *The LFP battery market is set to grow at a 9.9% CAGR, driven by EVs and renewable energy storage*. Hämtad 15 april, 2025, från https://energynews.pro/en/the-lfp-battery-market-is-set-to-grow-at-a-9-9-cagr-driven-by-evs-and-renewable-energy-storage/

EnergyTrend. (2022, 26 december). *Highstar to Build 1.3GWh Factory for Producing Li-Ion and Na-Ion Batteries*. Hämtad 2 april, 2025, från https://www.energytrend.com/news/20221226-30697.html

EnergyTrend. (2023, 26 september). *Multiple Production Line Will be Put Into Production; Sodium-ion Batteries Will Welcome the Mass Production Stage*. Hämtad 18 april, 2025, från https://www.energytrend.com/research/20230926-37730.html

Europaparlamentet. (2022, 28 oktober). *EU:s förbud mot försäljning av nya bensin- och dieselbilar*. Hämtad 2 maj 2025, från https://www.europarl.europa.eu/topics/sv/article/20221019STO44572/eu-s-forbud-mot-forsaljning-av-nya-bensin-och-dieselbilar?.com

Faradion. (2021, 31 december). *Reliance New Energy Solar to acquire Faradion Limited*. Hämtad 23 april, 2025, från https://faradion.co.uk/reliance-new-energy-solar-to-acquire-faradion-limited/

Farasis Energy. (2024, 13 februari). *The world's first EV powered by Farasis Energy's sodium-ion batteries rolls off the assembly line*. Hämtad 28 mars, 2025, från https://www.farasis-energy.com/en/the-worlds-first-ev-powered-by-farasis-energys-sodium-ion-batteries-rolls-off-the-assembly-line/

FAW Fudi New Energy Technology Co., Ltd. (). *Development History*. Hämtad 3 april, 2025, från https://www.fawfdbatt.com.cn/history.html

Fortune Business Insights. (2025, 21 april). *Lithium-ion (Li-ion) phosphate batteries market*. Hämtad 14 april, 2025, från https://www.fortunebusinessinsights.com/lithium-ion-li-ion-phosphate-batteries-market-102152

Fraunhofer ISI. (2023). Alternative battery technologies – Roadmap 2030+. *Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)*. https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2023/abt-roadmap.pdf

Frisk, E. (2018). *Residual*. Hämtad 25 april, 2025, från https://www.statistiskordbok.se/ord/residual/

Global Market Insights. (2025, februari). *Sodium Ion Battery Market Size*. Hämtad 18 april, 2025, från https://www.gminsights.com/industry-analysis/sodium-ion-battery-market

Grand View Research. (u.å.). *Sodium-ion battery market size, share & trends analysis report*. Hämtad 16 april, 2025, från https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/sodium-ion-battery-market-report

Granstrand, O. (2018). *Industrial Innovation Economics and Intellectual Property*. Svenska Kulturkompaniet.

GreatPower. (2023, 21 november). *Great Power Launches Next-Generation Battery Technology*. Hämtad 1 april, 2025, från https://www.greatpower.net/en/news/55.html

Grubler, A. (1998). *Technology and Global Change*. Cambridge University Press: Cambridge.

Hedvall, M. (2008). *Investeringar i flexibilitet – att hantera en osäker framtid*. FOI. https://www.foi.se/rest-api/report/FOI-R--2579--SE

Highstar. (2023, 23 december). *Highstar and Haiji New Energy Reach Strategic Cooperation*. Hämtad 10 april, 2025, från https://www.highstar.com/companynews/311

HiNa Battery. (u.å). *Company Profile*. Hämtad 23 april, 2025, från https://hinabattery.com/en/index.php?catid=7&utm_

Inigo, M., Jameson, J., Kozak, K., Lanzetta, M., & Sonier, K. (u.å.). *4.4: Natural Growth and Logistic Growth*. Hämtad 24 april, 2025, från https://math.libretexts.org/Bookshelves/Applied_Mathematics/Book%3A_College_Mathematics_for_Everyday_Life_(Inigo_et_al)/04%3A_Growth/4.04%3A_Natural_Growth_and_Logistic_Growth

InsightAce Analytic. (2024, 7 mars). *Lithium iron phosphate batteries market*. Hämtad 15 april, 2025, från https://www.insightaceanalytic.com/report/lithium-iron-phosphate-batteries-market/2226

Kang, L. (2022, 2 december). *World's first GWh-class sodium-ion battery production line sees first product off line*. Hämtad 23 april, 2025, från https://cnevpost.com/2022/12/02/hina-gwh-sodium-ion-battery-production-line-first-product/

Kang, L. (2024, 5 januari). *BYD's 1st sodium-ion battery facility begins construction*. Hämtad 16 april, 2025, från https://cnevpost.com/2024/01/05/byd-sodium-battery-facility-begins-construction/

Kang, L. (2025, 11 februari). *Global EV battery market share in 2024: CATL 37.9%, BYD 17.2%*. Hämtad 9 april, 2025, från https://cnevpost.com/2025/02/11/global-ev-battery-market-share-2024

Khan Academy. (u.å.). *Exponential Logistic Growth*. Hämtad 24 april, 2025, från https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/ecology-ap/population-ecology-ap/a/exponential-logistic-growth

LiFun Technologies. (2025, 9 januari). *Sodium-ion Battery Solutions*, från http://lifuntech.com/en-US/gs/647.html

MarketsandMarkets. (2024, april). *Sodium-ion battery market by technology, application, and region – Global forecast to 2031*. Hämtad 18 april, 2025, från https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/sodium-ion-battery-market-207269067.html

Naturvårdsverket. (2024). Analys av Kommissionens meddelande Att säkra vår framtid – Europas klimatmål till 2040 och vägen till klimatneutralitet senast 2050. https://www.naturvardsverket.se/49279b/globalassets/om-oss/pagaende-regeringsuppdrag/analys-meddelande-att-sakra-var-framtid-europas-klimatmal-till-2040-och-vagen-till-klimatneutralitet-senast-2050.pdf

Newcastle University. (u.å.). *Coefficient of Determination, R-squared*. Hämtad 27 april, 2025, från https://www.ncl.ac.uk/webtemplate/ask-assets/external/maths-resources/statistics/regression-and-correlation/coefficient-of-determination-r-squared.html

Northvolt. (2025, 12 mars). *Northvolt files for bankruptcy in Sweden*. Hämtad 7 april, 2025, från https://northvolt.com/articles/northvolt-files-for-bankruptcy-in-sweden/

Peachey, A. (2022, 24 augusti). *AMTE Power announces significant progress on battery cell development*. Hämtad 17 mars, 2025, från https://transportandenergy.com/

2022 / 08 / 24 / amte - power - announces - significant - progress - on - battery - cell - development/

PR Newswire. (2025, 13 januari). *Singapore's Sodion Energy Secures MWh Supply of US-Developed Advanced Sodium-Ion Batteries from UniGrid*. Hämtad 9 april, 2025, från https://www.prnewswire.com/apac/news-releases/singapores-sodion-energy-secures-mwh-supply-of-us-developed-advanced-sodium-ion-batteries-from-unigrid-302347661.html

PV Magazine India. (2023, 28 augusti). *Reliance chairman talks HJT solar module, sodium-ion battery plans*. Hämtad 26 april, 2025, från https://www.pv-magazine-india.com/2023/08/28/reliance-chairman-talks-hjt-solar-module-sodium-ion-battery-plans/

Reliance. (u.å). *New Energy New Materials*. Hämtad 4 april, 2025, från https://www.ril.com/businesses/new-energy-materials

Reuters. (2025, 4 april). *China's curbs on exports of strategic minerals raise global concerns*. Hämtad 28 april, 2025, från https://www.reuters.com/world/china/chinas-curbs-exports-strategic-minerals-2025-02-04/

RhoMotion. (2024, 18 december). *Sodium-Ion Battery Update: Progress in Technology and Market Expansion Amid Challenges*. Hämtad 12 april, 2025, från https://rhomotion.com/news/sodium-ion-battery-update-progress-in-technology-and-market-expansion-amid-challenges-industry-update/

Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of innovations*(3. uppl.) The Free Press.

Runborg, O. (2011). Föreläsning 6: Ickelinjär modellanpassning [Kursmaterial]. https://www.csc.kth.se/utbildning/kth/kurser/DN1240/numfcl11/Lecture6.pdf

Shanghai Metals Market. (2022, 6 maj). *CATL: Battery Capacity to Exceed 670GWh by 2025*. Hämtad 24 april, 2025, från https://news.metal.com/newscontent/101823336/CATL:-Battery-Capacity-to-Exceed-670GWh-by-2025/

Spoerke, E. D. (2022, oktober). *Sodium Battery Technologies Overview* [Konferenssession]. DOE Office of Electricity Virtual Peer Review 2022, USA. https://www.sandia.gov/app/uploads/sites/82/2022/10/400_Spoerke_Sodium.pdf

Tapia-Ruiz, N., Armstrong, A. R., Alptekin, H., Amores, M. A., Au, H., Barker, J., Boston, R., Brant, W. R., Brittain, J. M., Chen, Y., Chhowalla, M., Choi, Y.-S., Costa, S. I. R., Ribadeneyra, M. C., Cussen, S. A., Cussen, E. J., David, W. I. F., Desai, A. V., Dickson, S. A. M., … Younesi, R. (2021). 2021 roadmap for sodium-ion batteries. *Journal of Physics: Energy*, *3*(3), 1–89. https://doi.org/10.1088/2515-7655/ac01ef

Titirici, M., Johansson, P., Ribadeneyra, M. C., Au, H., Innocenti, A., Passerini, S., Petavratzi, E., Lusty, P., Tidblad, A. A., Naylor, A. J., Younesi, R., Chart, Y. A., Aspinall, J., Pasta, M., Orive, J., Babulal, L. M., Reynaud, M., Latham, K. G., Hosaka, T., … Antuñano, N. (2024). 2024 roadmap for sustainable batteries. *Journal of Physics: Energy*, *6*(4), Artikel 041502. https://doi.org/10.1088/2515-7655/ad6bc0

Titirici, M.-M., Adelhelm, P., & Hu, Y.-S. (2022). *Sodium-Ion Batteries: Materials, Characterization, and Technology*. Wiley-VCH. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epub/10.1002/9783527825769

Transimage. (u.å). *Transimage Sodium-Ion Battery Technology's era of sodium electricity*. Hämtad 9 april, 2025, från https://www.transimage.cn/?m=home&c=Lists&a=index&tid=14&lang=en

Unigrid Battery. (u.å.). *Technology*. Hämtad 9 april, 2025, från https://unigridbattery.com/technology/

University of Texas at San Antonio. (2021, 24 november). *Logistic Growth Model*. Hämtad 24 april, 2025, från https://mathresearch.utsa.edu/wiki/index.php?title=Logistic_Growth_Model

University of Wyoming. (2013, 28 januari). *Lecture 6: Inflection of the Logistic Curve and Asymmetric Gompertz Curve*. Hämtad 24 april, 2025, från https://www.uwyo.edu/dbmcd/popecol/feblects/lect06.html

Veken Co., L. (2023, december). *Veken Technology wins first prize for technical invention from China Petroleum and Chemical Industry Federation*. Hämtad 3 april, 2025, från http://www.veken.com/en/news_detail/id/222.html

Volta Foundation. (2023). *2023 Battery Report*. https://volta.foundation/battery-report-2023

Volta Foundation. (2024). *2024 Battery Report*. https://volta.foundation/battery-report-2024

World Economic Forum. (2019). *A vision for a sustainable battery value chain in 2030*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf

Wu, K., Dou, X., Zhang, X., & Ouyang, C. (2023). The Sodium-Ion Battery: An Energy-Storage Technology for a Carbon-Neutral World. *Engineering*, *21*(2), 36–38. https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.04.011

Yahoo Finance. (2025, 2 april). *Sodium-Ion Battery Market to Worth Over US$ 2,104 Million By 2033 | Market is Flooding with Investment, Set to Challenge Dominance of Lithium-Ion Batteries Says Astute Analytica*. Hämtad 17 april, 2025, från https://finance.yahoo.com/news/sodium-ion-battery-market-worth-140100759.html

Yao, A., Benson, S. M., & Chueh, W. C. (2025). Critically assessing sodium-ion technology roadmaps and scenarios for techno-economic competitiveness against lithium-ion batteries. *Nature Energy*, *10*, 404–416. https://doi.org/10.1038/s41560-024-01701-9

Yu, H., & Wilamowski, B. M. (2011). Levenberg–Marquardt Training. I *The Industrial Electronics Handbook, Intelligent Systems* (s. 12-1–12-15). CRC Press. https://www.eng.auburn.edu/~wilambm/pap/2011/K10149_C012.pdf

Zhang, P. (2023, 24 juli). *Transimage secures order for sodium-ion batteries from German automaker, deliveries to begin in Q4*. CNEV Post. Hämtad 9 april, 2025, från https://cnevpost.com/2023/07/24/transimage-secures-order-for-sodium-ion-batteries-german-automaker/

Zhang, P. (2025, 21 april). *CATL unveils sodium-ion, 12C Shenxing, Freevoy dual-power batteries to show tech muscle*. CNEVPost. Hämtad 24 april, 2025, från https://cnevpost.com/2025/04/21/catl-sodium-ion-12c-shenxing-freevoy-dual-power-batteries/

Zoolnasm. (2023, 20 november). *Zhongna Energy's Guangde Xunna Sodium-Ion Battery Manufacturing Base Project Breaks Ground*. Hämtad 9 april, 2025, från http://www.zoolnasm.com/?m=home&c=View&a=index&aid=634

Zoolnasm. (u.å.). *Zoolnasm begins construction of its first sodium-ion battery production base*. Hämtad 23 april, 2025, från http://www.zoolnasm.com/?m=home&c=Lists&a=index&tid=33

Bilaga A Datakällor

Nedan listas de källor som använts i studiens tabeller. Siffran innan källan motsvarar siffran i tabellerna. Datakälla [1-5] behandlar källorna i Tabell 3. Datakälla [6-54] behandlar källorna i Tabell 5. Notera dock att det finns ett visst överlapp mellan tabellernas källor.

[1] Kang, L. (2022, 2 december). *World's first GWh-class sodium-ion battery production line sees first product off line*. Hämtad 23 april, 2025, från https://cnevpost.com/2022/12/02/hina-gwh-sodium-ion-battery-production-line-first-product/

[2] Maisch M. (2024, 19 januari). *Tiamat secures funding for sodium-ion gigafactory in France*. CNEVPost. Hämtad 23 april 2025, från https://www.pv-magazine.com/2024/01/19/tiamat-secures-funding-for-sodium-ion-gigafactory-in-france/

[3] Colthorpe, A. (2024, 19 juli). *Sodium-ion startup Peak Energy closes Series A, targets mass production in 2027*. Hämtad 6 april 2025, från https://www.energy-storage.news/sodium-ion-startup-peak-energy-closes-series-a-targets-mass-production-in-2027/

[4] Vision Battery. (2023, 13 februari). *Vision Battery's 15GWh lithium and 10GWh sodium industrial park projects successfully signed*. Hämtad 13 april, 2025, från https://www.vision-batt.com/en/news/vision-batterys-15gwh-lithium-and-10gwh-sodium-industrial-park-projects-successfully-signed/

[5] Zoolnasm. (2023, 20 november). *Zhongna Energy's Guangde Xunna Sodium-Ion Battery Manufacturing Base Project Breaks Ground*. Hämtad 9 april 2025, från http://www.zoolnasm.com/?m=home&c=View&a=index&aid=634

[6] Acculon. (u.å.). *About Us*. Hämtad 10 april, 2025, från https://acculonenergy.com

[7] Amandarry. (u.å.). *About Us*. Hämtad 8 april, 2025, från https://www.amandarry.com/index.php?id=aboutus

[8] Colthorpe, A. (2022, 24 augusti). *UK battery maker AMTE claims sodium-ion cells are nearly ready to send to customers*. Hämtad 23 april 2025, från https://www.energy-storage.news/uk-battery-maker-amte-claims-sodium-ion-cells-are-nearly-ready-to-send-to-customers/

[9] Peachey, A. (2022, 24 augusti). *AMTE Power announces significant progress on battery cell development*. Hämtad 17 mars 2025, från https://transportandenergy.com/2022/

08/24/amte-power-announces-significant-progress-on-battery-cell-development/

[10] Morris, C. (2023, 22 november). *Chinese companies begin production of sodium-ion batteries*. Hämtad 23 april 2025, från https://chargedevs.com/newswire/chinese-companies-begin-production-of-sodium-ion-batteries/

[11] EnergyTrend. (2024, 20 november). *CATL Unveils Second-Generation Sodium-Ion Battery with Enhanced Performance, Targeting Market Release in 2025*. Hämtad 14 april 2025, från https://www.energytrend.com/news/20241120-48798.html

[12] Contemporary Amperex Technology Co., Ltd. (2021, 29 juli). *CATL Unveils Its Latest Breakthrough Technology by Releasing Its First Generation of Sodium-ion Batteries*. Hämtad 23 april 2025, från https://www.catl.com/en/news/665.html

[13] Contemporary Amperex Technology Co., Ltd. (u.å.). *Passenger Vehicles Solutions*. Hämtad 12 april 2025, från https://www.catl.com/en/solution/passengerEV/

[14] CBAK. (2025). *Annual Report* 2024. https://ir.cbak.com.cn/viewfilebizce/19065 17317064400896/Annual%20Report%202024.pdf

[15] Shenzhen A&S Power Technology Co., Ltd. (2023, 10 juli). *Lithium battery company CBAK New Energy announced the mass production of sodium-ion batteries*. Hämtad 23 april 2025, från https://www.szaspower.com/news/Lithium-battery-company-CBAK-New-Energy-announced-the-mass-production-of-sodium-ion-batteries.html

[16] Cham New Energy. (u.å.-a). *220Ah Sodium Battery*. Hämtad 12 april 2025, från https: //www.chamglobal.com/products/220ah-sodium-battery/

[17] Cham New Energy. (u.å.-b). *32140 Sodium-ion Battery*. Hämtad 12 april 2025, från https://www.chamglobal.com/products/32140-sodium-ion-battery/

[18] Volta Foundation. (2023). *2023 Battery Report*. Hämtad 12 mars 2025, från https: //volta.foundation/battery-report-2023

[19] EVE Energy Co., Ltd. (2024, 22 juni). *EVE Energy has attracted attention at The Battery Show Europe 2024 with its full-scenario lithium battery solution*. Hämtad 23 april 2025, från https://www.evebattery.com/en/news-1820

[20] Reliance. (u.å.). *New Energy New Materials*. Hämtad 4 april, 2025, från https://www.ril.com/businesses/newenergy-materials

[21] Faradion Limited. (u.å.). *Applications*. Hämtad 4 april 2025, från https://faradion.co. uk/applications/

[22] Farasis Energy. (2024, 13 februari). *The world's first EV powered by Farasis Energy's sodium-ion batteries rolls off the assembly line*. Hämtad 28 mars 2025, från https://www.farasis-energy.com/en/the-worlds-first-ev-powered-by-farasis-energys-sodium-ion-batteries-rolls-off-the-assembly-line/

[23] Kang, L. (2024, 5 januari). *BYD's 1st sodium-ion battery facility begins construction*. CNEVPost. Hämtad 16 april, 2025, från https://cnevpost.com/2024/01/05/byd-sodium-battery-facility-begins-construction/

[24] Tycorun Energy. (2023, 28 december). *BYD sodium ion battery*. Hämtad 14 april 2025, från https://www.tycorun.com/blogs/news/byd-sodium-ion-battery

[25] The China Academy. (2024, 30 juni). *BYD Invests 10 Billion to a Game-Changing Battery Technology*. Hämtad 23 mars 2025, från https://thechinaacademy.org/byd-invests-10-billion-to-a-game-changing-battery-technology/

[26] Economic Times Energy. (2024, 18 januari). *GODI India to set up lithium giga factory in Telangana*. Hämtad 25 mars 2025, från https://energy.economictimes.indiatimes.com/news/power/godi-india-to-set-up-lithium-giga-factory-in-telangana/106942981

[27] GODI Energy. (u.å.). *The New Dawn Of Energy Technology*. Hämtad 18 mars 2025, från http://www.godienergy.com

[28] Great Power. (2024, 13 september). *Great Power Unveils Full-Stack New Energy Storage Solutions at RE+ 2024*. Hämtad 5 april 2025, från https://www.greatpower.net/en/news/296.html

[29] Great Power. (u.å.). *Energy Storage Cells | Safe Durable and Dependable*. Hämtad 7 april 2025, från https://www.greatpower.net/en/product/index.html

[30] Highstar. (u.å.). *Sodium-ion Battery*. Hämtad 30 mars 2025, från https://www.highstar.com/solution

[31] Kang, L. (2025, 28 mars). *Hina's sodium-ion battery solution now used in commercial vehicles*. Hämtad 11 april 2025, från https://cnevpost.com/2025/03/28/hina-sodium-ion-battery-solution-commercial-cars/

[32] HiNa Battery. (u.å.). *Company Profile*. Hämtad 23 april 2025, från https://hinabattery.com/en/index.php?catid=7&utm

[33] Indienergy. (2024). *Sodium-Ion Batteries*. Hämtad 23 mars 2025, från https://indienergy.in/sodium-ion-batteries/

[34] LiFun Technologies. (2022, 20 april). *The sodium-like wonderful "core"has arrived*. Hämtad 26 april 2025, från http://www.lifuntech.com/mobile/gs/584.html

[35] LiFun Technologies. (2025, 9 januari). *New Breakthrough! LiFun Begins to Churn out Sodium-ion Battery Product with Over 10,000 Cycle Li*. Hämtad 26 april 2025, från http://lifuntech.com/en-US/gs/647.html

[36] LiFun Technologies. (u.å.). *About Us – LiFun Technologies*. Hämtad 26 april 2025, från http://www.lifuntech.com/mobile/en-US/hz.html

[37] Natron Energy. (2024, 15 augusti). *Natron Energy Announces Plans for $1.4 Billi-*

on Giga-Scale Sodium-Ion Battery Manufacturing Facility in North Carolina. Hämtad 11 mars 2025, från https://www.businesswire.com/news/home/20240815622233/en/Natron-Energy-Announces -Plans-for-1.4-Billion-Giga-Scale-Sodium-Ion-Battery-Manufacturing-Facility-in-North-Carolina

[38] Natron Energy, Inc. (2020, 10 september). *BlueTray™ 4000 Rack-Mounted Battery Pack Datasheet*. Hämtad 20 april 2025, från https://natron.energy/files/bt4000_data_sheet_061324-1.pdf

[39] Paragonage. (u.å.). *Home*. Hämtad 23 mars 2025, från https://www.paragonage.com/en

[40] Kamoji, J. (2023, oktober). *Peak Energy moves toward establishing a domestic market for sodium-ion energy storage systems*. Pv Magazine. Hämtad 15 april 2025, från https://pv-magazine-usa.com/2023/10/19 /peak-energy-moves-toward-establishing-a-domestic-market-for-sodium-ion-energy-storage-systems/

[41] Peak Energy. (u.å.). *Peak Energy: The New Storage Standard*. Hämtad 22 mars 2025, från https://www.peakenergy.com/

[42] Phylion Battery. (u.å.). *Seizing Sodium Seizing the Chance*. Hämtad 22 mars 2025, från https://www.phylion.com/lists/50.html

[43] De-Leon, S. (2023, maj). *Sodium Ion (Na-Ion) Battery Market 2023 – "The Next Technology on Battery Mass Production"* [Konferenssession]. The Battery Show Europe 2023, Stuttgart, Germany. https://www.thebatteryshow.eu/content/dam/Informa/amg/stuttgart/2023/conference/1520-1540-Shmuel-De-Leon.pdf

[44] Shenzhen Powealthy Times New Energy Technology Co., Ltd. (u.å). *Products and Services*. Hämtad 19 april 2025, från https://www.powealthy.com/en/product.html

[45] Kang, L. (2022, 22 december).*Svolt Energy completes development of 1st-gen sodium-ion battery with energy density of 110 Wh/kg*. Hämtad 23 mars 2025, från https://cnevpost.com/2022/12/22/svolt-energy-completes-development-of-1st-gen-sodium-ion-battery/

[46] SVOLT Energy. (u.å.). *SVOLT Official Website*. Hämtad 23 mars 2025, från https://svolt.cn/en

[47] Tiamat Energy. (u.å.). T*iamat Energy: High Power and Fast Charge Sodium-Ion Batteries*. Hämtad 13 mars 2025, från https://www.tiamat-energy.com

[48] EcoTeardown. (2024, 26 februari). *List of Main Sodium-Ion Battery Manufacturers*. Hämtad 11 april 2025, från https://ecoteardown.top/list-of-main-sodium-ion-battery-manufacturers/

[49] Unigrid Battery. (u.å.). *Technology*. Hämtad 13 april 2025, från https://unigridbattery.com/technology/

[50] Jowett, P. (2024, 6 maj). *German initiative to develop scalable sodium-ion batteries*. Hämtad 12 april 2025, från https://www.pv-magazine.com/2024/05/06/german-initiative-to-develop-scalable-sodium-ion-batteries/

[51] Veken Co., Ltd. (2023, december). *Veken Technology wins first prize for technical invention from China Petroleum and Chemical Industry Federation*. Hämtad 3 april 2025, från http://www.veken.com/en/news_detail/id/222.html

[52] Veken Co., Ltd. (u.å.). *New Energy*. Hämtad 3 april 2025, från http://www.veken.com/en/area/id/3.html

[53] Zoolnasm. (u.å.-b). *RD and manufacturing*. Hämtad 22 mars 2025, från http://www.zoolnasm.com/?m=home&c=Lists&a=index&tid=52

[54] Zoolnasm. (u.å.-a). *Product center*. Hämtad 22 mars 2025, från http://www.zoolnasm.com/?m=home&c=Lists&a=index&tid=35

Bilaga B Övriga tabeller

Tabell 17: *Företag som producerar natriumjonbatterier och var de är geografiskt verksamma*

Företag	**Land**	**Världsdel**
Acculon Energy	USA	Nordamerika
Adena Power	USA	Nordamerika
Amandarry & Sodium Power	Kina/USA	Asien/Nordamerika
AMTE Power (Lionvolt)	Skottland	Europa
Beijing Xuexiong Technology	Kina	Asien
CATL	Kina	Asien
CBAK Energy	Kina	Asien
Cham Battery Technology	Kina	Asien
EVE energy	Kina	Asien
Faradion (Reliance)	Indien	Asien
Farasis Energy	Kina	Asien
Findreams (BYD)	Kina	Asien
Godi Energy	Indien	Asien
Great Power	Kina	Asien
Highstar	Kina	Asien
HiNa	Kina	Asien
Indi Energy	Indien	Asien
LiFun Technologies	Kina	Asien
Natron	USA	Nordamerika
Paragonage	Kina	Asien
Peak Energy	USA	Nordamerika
Phylion	Kina	Asien
Shenzhen Puna Times Energy	Kina	Asien
Svolt Energy	Kina	Asien
Tiamat	Frankrike	Europa
Transimage	Kina	Asien
Unigrid Battery	USA	Nordamerika
Varta	Tyskland	Europa
Veken Technology	Kina	Asien
Vision Group	Kina	Asien
Zoolnasm (Zhongna Energy)	Kina	Asien

Bilaga C Intervjuguider

Nedan bifogas de två intervjuguiderna som användes som stöd under intervjuerna.

Intervju med Reza Younesi

Introductory Questions

- Is it okay if we record the interview?
- Is it okay if we quote or paraphrase your answers in our report?
- What is your name, and what is your primary occupation?
- How does your profession relate to sodium-ion batteries?

General Questions

- What potential do you see for sodium-ion batteries? (e.g., lower cost, sustainability, longer lifespan, etc.)
- What role does Altris play in the battery market?
- What material are Altris producing for sodium-ion batteries?
- How come Altris has opted out of the battery manufacturing market and instead acts as a subcontractor?
- What factors do you think will be crucial for sodium-ion batteries to compete with lithium-ion batteries?
- Is there a risk that they will never fully break through? Are there any major obstacles (showstoppers”)?
- What role do laws, geopolitics, and regulations play in the development of sodium-ion batteries?

Growth Model & Prediction

- Do you have experience or knowledge of making forecasts in this field? If so, what kind? (Exponential, logistic, or other models?)
- Future for Altris and their planned production:
  - How is the partnership with Northvolt progressing?
  - What can you tell us about your future production?
  - When companies state GWh capacity metrics, do they refer to the maximum yearly capacity or do they refer to how much they will produce that year and onwards per year?

Concluding Questions

- Can you refer us to any other experts in this field?
- Is there anything else we should know for our project?

Intervju med Patrik Johansson

Inledande frågor

- Vad är ditt namn och vad är din huvudsakliga sysselsättning?
- Hur anknyter ditt yrke till Na-jonbatterier?
- Är det ok att vi spelar in? Är det ok att vi citerar/parafraserar det du säger i rapporten?

Generella frågor

- Vilken potential ser du med Na-jonbatterier? Ex lägre kostnad, hållbarhet, längre livscykel etc.
- Vilka applikationsområden finns för Na-jonbatteriet?
- Vilka faktorer tror du kommer att vara avgörande för att Na-jonbatterier ska kunna konkurrera med litiumjonbatterier?
- Finns det någon risk att de aldrig riktigt slår igenom/showstoppers?
- Massproduktion och bred marknadsanvändning?
- Vilka tillverkare/företag är mest prominenta?
- Vilken roll spelar lagar, geopolitik och regleringar för Na-jonbatteriets utveckling?

Modellen & Predicering

- Vad har du för uppfattning om tillväxttakten i dess användning och produktion?
- Kan du hänvisa oss till några specifika data?
- Har du någon erfarenhet eller kunskap om att göra prognoser i dessa sammanhang? Vad i så fall? Exponentiell/logistisk - eller andra typer?
- Var skulle du börja? Hur hittar vi relevant data – saker att tänka på/undvika?
- Vad gör vi vid databrist?
- Utöver statistiska mått, hur skulle du utvärdera modellernas giltighet?
- Vilka faktorer har historiskt varit bra indikatorer för batteriteknikens utveckling?

Avslutande frågor

- Finns det någon annan sakkunnig du kan hänvisa oss till?

- Finns det något annat vi bör veta inför vårt projekt?

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR ENVIRONMENTAL SYSTEMS ANALYSIS
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

CHALMERS