

# Ett förslag på en svensk batteriforsknings- och innovationsfärdplan

## 1 FÖRORD

---

Sveriges omställning mot ett mer hållbart och elektrifierat samhälle är i hög grad beroende av tillgången till avancerad batteriteknik. Batterier är en essentiell möjliggörare för klimatomställning, industriell utveckling och energisystemets stabilitet. Samtidigt präglas och påverkas tillgång till batterier och råvaror för batteritillverkning av geopolitisk osäkerhet och hård global konkurrens.

Det föreliggande förslaget på en färdplan har tagits fram i bred samverkan mellan akademi, industri och samhällsliga aktörer, med ambitionen att ge en samlad bild av nuläge, behov och möjligheter. Genom ett gemensamt angreppssätt och agerande vill vi lägga grunden för långsiktiga satsningar som stärker Sveriges position inom forskning och innovation på batteriområdet.

Arbetet har möjliggjorts genom ett starkt engagemang från aktörer längs hela batterivärdekedjan, samt med stöd från Vetenskapsrådet och Energimyndigheten.

## 2 INTRODUKTION


---

Batterier är en central teknologi i vårt alltmer elektrifierade samhälle. Sedan tidigt 1990-tal har moderna batterier, främst litiumjonbatterier, utgjort en förutsättning för all bärbar elektronik och därmed för hur vårt nutida samhälle fungerar och är uppbyggt. Idag är batterier dessutom helt nödvändiga för att reducera utsläppen från och energieffektivisera vår transportsektor – på och under land, till havs, och framgent även i luften.

Till detta kommer stora energilagrar av batterier för optimering och balansering av förnybar energi och ökad kvalitet i vårt distributionssystem för el. De är också vitala komponenter inom delvis nya tillämpningar och användningsområden som datacentra, robotik, drönare, jord- och skogsbruk, med mera.

Denna bredd av samhällsviktiga tillämpningar visar tydligt varför batterier är helt nödvändiga för Sveriges industri, och i bred bemärkelse för välbefinnande, resiliens, säkerhet och reduktion av växthusgaser.

Inte minst geopolitisk osäkerhet och en svår global konkurrens gör att det finns stora utmaningar för utveckling och produktion av batterier. Stora satsningar görs och har gjorts under senare år för att säkerställa en europeisk batterivärdekedja, omfattande



råvaror, produktion, systemintegration och återvinning. Detta borde även återspeglas i de satsningar som görs i Sverige.

Som land är Sverige litet men med en hög kunskapsnivå inom stora delar av batteriets värdekedja, och kan därför spela en relativt stor roll såväl inom EU som globalt – men bara givet politisk prioritering samt ett ännu starkare samarbete och koordinering mellan akademi, industri och omgivande samhälle.

### 3 ARBETSSÄTT

---

Arbetet med färdplanen har koordinerats av Uppsala universitet och utförts av representanter för det svenska batteriekosystemet längs hela batterivärdekedjan.

Startpunkten var en större workshop 27:e november 2025, där utgångspunkten var att sätta en *Roadmap* framtagen av det europeiska projektet Battery 2030+<sup>1</sup> i en svensk kontext. Vid workshopen deltog representanter från stora delar av batteri-Sverige: industri, akademi, myndigheter.

Sex centrala tematiska behovsområden arbetades fram, vilka i sin tur utgjorde startpunkten för sex fokusarbetsgrupper. Dessa grupper vidareutvecklade under våren 2026 de olika områdena till den aktuella färdplanen.

Baserat på resultatet från workshopen och arbetsgruppernas arbete har en övergripande vision, syften och mål samt konkreta behov på kort och lång sikt utvecklats inom tre insatsområden.

Arbetet har även baserats på tidigare strategiska dokument, såsom Fossilfritt Sveriges Strategier för en hållbar batterivärdekedja (2020)<sup>2</sup>, samt myndighetsrapporter från Energimyndigheten, Naturvårdsverket och SGU (2022–2025)<sup>3</sup>. Dessa lyfter särskilt fram behovet av forskning, kompetensutveckling och ett helhetsperspektiv på batterivärdekedjan.

Vidare har EU:s Strategic Research & Innovation Agenda (SRIA) for Batteries (2024)<sup>4</sup> utgjort en viktig inspirationskälla.

---

<sup>1</sup> <https://battery2030.eu/research/roadmap/>

<sup>2</sup> <https://fossilfritt Sverige.se/strategier/hallbar-batterivardekedja/>

<sup>3</sup> Energimyndigheten, Naturvårdsverket och SGU: Fortsatt samverkan kring Sveriges delar av en hållbar europeisk batterivärdekedja, ER 2023:24, dec 2023

Energimyndigheten, Naturvårdsverket, SGU, Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier, ER 2022:14, okt 2022

<sup>4</sup> <https://horizoneuropencpportal.eu/sites/default/files/2025-07/batt4eu-strategic-research-and-innovation-agenda-sria-2024.pdf>



## 4 SAMMANFATTNING

---

Denna färdplan presenterar en samlad strategi för att stärka svensk batteriforskning och innovation, och därigenom även industriell konkurrenskraft, i ett tioårsperspektiv.

Batterier är en avgörande möjliggörare för elektrifiering, klimatomställning och utvecklingen av ett resilient energisystem, samtidigt som de utgör en strategisk komponent för Sveriges välstånd och säkerhet.

Trots Sveriges begränsade storlek finns en stark kunskapsbas och närvaro längs stora delar av batterivärdekedjan – från råmaterial och materialutveckling till systemintegration och återvinning. För att fullt ut realisera denna potential krävs dock tydliga politiska prioriteringar, långsiktiga investeringar och en starkare koordinering mellan akademi, industri och samhälle.

Färdplanen identifierar sex centrala tematiska behovsområden: nya batterikemier och -teknologier, accelererad materialutveckling, batteristyrning och smarta system, tillverkning och digitala tvillingar, cirkulära och hållbara värdekedjor samt samspelet mellan vetenskap och samhälle. Dessa områden speglar behovet av en helhetssyn där forskning och innovation och även industrialisering utvecklas parallellt och integrerat.

En central slutsats är att utvecklingen måste ske över hela batterivärdekedjan och samordnat mellan dess olika delar, och inte i isolerade segment. Grundläggande materialforskning, processutveckling, systemintegration och hållbarhetsanalys behöver kopplas samman i ett tidigt skede för att säkerställa att nya teknologier kan skalas upp och implementeras. Samtidigt krävs en balans mellan långsiktig, explorativ forskning och mer kortsiktiga, tillämpningsnära satsningar för att möta industrins behov.

Färdplanen betonar särskilt vikten av att utnyttja digitaliseringens möjligheter, inklusive AI, maskininlärning och digitala tvillingar, för att accelerera utvecklingen av material, processer och system. Datadrivna arbetssätt, gemensamma dataplattformar och integrerade modeller bedöms vara avgörande för att minska utvecklingstider och stärka Sveriges konkurrenskraft.

För att möjliggöra denna utveckling pekar färdplanen ut tre tvärgående insatsområden:

1. **Samverkan och koordinering** genom ett nationellt batteriforsknings- och innovationsforum som samlar aktörer, stärker strategisk riktning och växelverkan samt möjliggör effektivare resursanvändning.



2. **Accelererad utveckling och uppskalning** via pilotlinor och forskningsinfrastruktur, som minskar gapet mellan laboratorieforskning och industriell produktion samt lyfter kunskapsnivåerna avseende batterimaterial och batteriproduktion.
3. **Utbildning och kompetensförsörjning**, där behovet av både spetskompetens och breddad utbildning längs hela värdekedjan lyfts som en kritisk faktor.

Vidare adresserar färdplanen vikten av cirkularitet, resurseffektivitet och livscykelperspektiv, där återvinning, återanvändning och hållbar råmaterialförsörjning integreras i både forskning, innovation och industriell utveckling. Samtidigt identifieras betydande utmaningar kopplade till globala försörjningskedjor, datatillgång, regelverk och kompetensbrist.

Den övergripande visionen är att Sverige inom tio år ska ha etablerat en världsledande, sammanhållen och internationellt konkurrenskraftig forsknings- och innovationsmiljö inom batteriområdet, vilken samspelar med europeiska satsningar inom området. Genom nära samverkan mellan akademi, industri och offentlig sektor ska Sverige kunna utveckla och producera nästa generations hållbara batterier, stärka sin roll i den europeiska batterivärdekedjan och bidra till en långsiktigt hållbar samhällsutveckling.



## 5. VISION

---

Sverige ska på tio års sikt kunna bedriva världsledande forskning och innovation över hela batterivärdekedjan (se bilaga 1), genom att akademi, industri och det omgivande samhället tillsammans har byggt upp en sammanhållen och stark forsknings- och utvecklingsmiljö.

Denna miljö ska möjliggöra att nästa generation mer hållbara och miljövänliga batterier utvecklas och produceras i Sverige, samtidigt som konkurrenskraften stärks för den svenska industri som är beroende av batteriteknik, inte minst fordonsindustrin.

## 6. MISSION

---

- För att nå visionen fortsätter Sverige att utveckla existerande starka miljöer för samarbete mellan akademi och industri för att skapa nya kunskaper och innovationer, samt utveckla och testa nya tekniker inom batteriområdet.
- Detta lägger grunden för att Sverige på sikt blir självförsörjande inom material och teknologi inom det strategiskt viktiga batteriområdet.
- Forskningsprogram med långsiktighet och uthållighet, där långsiktig "blue sky"-forskning balanseras med mer fokuserade kortsiktiga och tillämpade insatser, implementeras för att accelerera innovationstakten.
- Samarbeten inom Norden och Europa, och kunskapsutbyten med andra ledande och samarbetsorienterade batteriutvecklingsnationer som Japan och Sydkorea, intensifieras.
- På råvarusidan ökar svenska forskare och svensk industri sitt samarbete med aktörer i strategiskt viktiga länder och områden som Kanada, Australien, Afrika och Sydamerika.
- Forskning och utvecklingsarbete för batterier tar hänsyn till skalbarhet för tillverkning, också sett till råmaterial och möjligheten till kostnadseffektiv återvinning. Återanvändning av komponenter vägs in.
- Regelverk och affärsmodeller för cirkulär ekonomi utvecklas och blir väletablerade.
- Kunskapen fördjupas om klimatpåverkan och annan hållbarhetsproblematik avseende olika försörjningsvägar till produktion av de dominerande och lovande framtida batterikemier och -teknologier.
- Innovationer inom batteriområdet bygger i stor utsträckning på analys i ett livscykelperspektiv.

- Sex centrala tematiska behovsområden och tre insatsområden

## 7. BAKOMLIGGANDE BEHOV

---

Utgående från vision och mission presenteras de överväganden och resultat som de sex tematiska behovsområdena gjort och framställt, vilka i mera detalj utgör bakgrund och själva fundamentet för färdplanens insatsområden och rekommendationer. Varje behovsområde har unika förutsättningar i både nuläge och framtid, vilket avspeglas i att materialet inom respektive tema tydligt skiljer sig åt i såväl struktur som innehåll. De sex centrala tematiska områdena är:

- 1) Nya batterikemier och -teknologier
- 2) Accelererad materialutveckling för batteriforskning och -innovation i Sverige
- 3) Kontroll av batterier och smarta battericeller
- 4) Tillverkning och digitala tvillingar
- 5) En cirkulär och hållbar värdekedja
- 6) Vetenskap och samhälle

Därutöver identifieras tre insatsområden som stödjer implementationen av de sex tematiska områdena:

- 1) Samverkan, ett strategiskt batteriforsknings- och innovationsforum/arena
- 2) Accelererad utveckling via pilotlinor och storskalig forskningsinfrastruktur
- 3) Utbildning och kompetensförsörjning

## TEMA 1. NYA BATTERIKEMIER OCH -TEKNOLOGIER

Med en ökande mångfald av tillämpningar för batterier breddas behovet av vad ett batteri ska klara att leverera, samt de ekonomiska och miljömässiga förutsättningarna för olika batteriteknologier. Även om dagens dominerande litiumjonbatteriteknologi baserad på NMC- eller LFP-katoder och grafitanoder är kraftfull finns det både behov av och utvecklingspotential för nya kemier och teknologier. Det existerar ett antal olika koncept med olika mognadsgrad, och i Sverige bedrivs världsledande forskning som bygger kompetens för konkurrenskraft inom dessa.


Färdplanen för Battery 2030+ kopplar samman forskning kring morgondagens teknologier med innovation och kompetensutveckling. Detta lägger också grunden för att Sverige på sikt blir oberoende av försörjningskedjor och teknologi inom detta strategiskt viktiga område.

Men för att ta en idé från laboratoriet till produkt behövs både grundläggande och tillämpad forskning. Forskning kring nya material och grundläggande reaktionsmekanismer är basen för nya upptäckter inom området, samtidigt som eventuella fundamentala hinder kopplade till materialens uppskalning och tillverkningsmetoder, miljö och hållbarhetsaspekter samt lagstiftning måste tas i beaktande samtidigt. Kriterier som är viktiga vid utvärdering av nya batterier är främst (i) låg kostnad, (ii) hållbarhet och återvinningsbarhet, (iii) elektrokemisk prestanda och (iv) säkerhet.

En robust analys av ovanstående kriterier bör ligga till grund för om en ny batterikemi eller -teknologi kan matchas mot relevanta tillämpningar. Även om fordonstillämpningar under längre tid dominerat och drivit utvecklingen inom området behövs också batterier i många andra sammanhang. Detta gäller var energioptimerade eller effektoptimerade battericeller bäst finner sin roll, om cellkonceptet kan användas vid hög respektive låg temperatur, vilken flexibilitet det finns i format, etc. Detta skapar olika ramverk för tekniska frågeställningar.

### Nya kemier och teknologier kan grovt delas in i följande kategorier:

- Nästa generations litiumjonbatterier baserade på nya katod- (ex. LMFP, LMR, DRX (*disordered rock salt*), LMNO, m. fl.) och/eller anodmaterial (legerade anoder, t. ex. Si). Dessa bidrar till lägre kostnad, högre energitäthet och är fria från kobolt.
- Batterier baserade på Na, K (monovalenta), Mg, Ca, Al eller Zn (multivalenta). Av dessa börjar natriumjonbatterier finnas tillgängliga kommersiellt, men mycket komponentutveckling återstår: katoder (oxider, polyjoniska material, och varianter av preussiskt blått), anoder (kolmaterial, legerande material) samt uppskalningsprocesser. För de andra teknologierna behövs mer grundläggande forskning kring nya material och elektrokemiska processer för att möjligen nå storskalig kommersialisering.
- Metallbatterier, vilka utgör en vidareutveckling av litiumjonbatteriet, men där man i stället för grafit använder litiummetall som anod för att öka energitätheten. Metallelektroder kan också tillämpas för de andra metallerna, vilket i många fall är en förutsättning för att teknologin ska bli konkurrenskraftig (K, Mg/Ca/Al/Zn).
- Fastfasbatterier, där vätskeelektrolyter ersätts av en fast elektrolyt, som kan vara baserad på en polymer, ett glas, en keram eller en hybrid av dessa. Fördelarna är framför allt potential för ökad energitäthet (om de implementeras med metallelektroder) och ökad säkerhet då fastfaselektrolyter inte är brandfarliga.
- Batterier baserade på omvandlingskemi (*conversion chemistries*) i stället för interkalation, exempelvis Li-S och Li-O<sub>2</sub>. Här finns potential för både ökad energitäthet och bättre hållbarhet ur materialsynpunkt, men de utgör kemiskt svårbemästrade teknologier.

- 
- Organiska elektrodmaterial, där de aktiva materialen kan vara generade från biomassa.
  - Flödesbatterier, där de aktiva materialen befinner sig i lösning istället för i fasta elektroder. Dessa möjliggör att energi- och effekt bättre kan skalas oberoende av varandra.

Dessa nya teknologier behöver utvecklas för att bättre förstå deras potential och tillkortakommanden, men olika tidsskalor gäller beroende på mognadsgrad för respektive teknologi. Det finns också stora skillnader i vad man kan förvänta sig prestandamässigt från olika sorts teknologier. Att från början ha ett applikationsdrivet angreppssätt i grundforskningen hjälper dock för att accelerera utvecklingen mot produkt. På **kort sikt** kan avancerade Li- och Na-baserade teknologier få genomslag, på **medellång sikt** Li-metallbatterier (eventuellt även Na- och Zn-metallbatterier), fastfasbatterier samt flödesbatterier för storskalig energilagring, och på **lång sikt** multivalenta metallbatterier, omvandlingskemier, organiska batterier och så kallade "anodlösa" batterier, där metallanoden skapas under uppladdning i batteriet.

För dessa nästa generation batteriteknologier behövs forskning långs från grundläggande materialvetenskap och elektrokemiska mekanismer till processteknologi, hållbarhet och återvinning. Det finns dock avsevärda vinster att göra om de olika delarna av värdekedjan integreras i ett relativt tidigt skeende för att öka potentialen för nya material, kemier och teknologier att ta sig hela vägen från idé till produkt. En annan viktig aspekt är att "*best practices*" behöver tas fram för att kunna utvärdera och jämföra resultat från forsknings-studier kring nya kemier och koncept. Detta kommer i sin tur att underlätta användandet av datadrivna metoder.

Det bör hållas i minnet att Sverige, i egenskap av att vara en liten nation, inte långsiktigt kan upprätthålla spetskompetens och världsledande status inom samtliga områden. Medan Sverige bör upprätthålla en bred kompetens inom fältet behöver också ett fåtal områden utkristalliseras där svenska forskargrupper kan göra avgörande bidrag i samarbete mellan akademi och industri. Dessa områden behöver dock fortsatt utkristalliseras, och förutsättningar måste finnas för teknikdriven grundforskning inom en rad olika batterikemier och -teknologier. Kunskap om grundläggande kemiska förlopp och material kan också smidigt föras över till angränsande teknikområden, vilket bör stimuleras så att dessa forskningsfält korsbefruktas. Det är i detta sammanhang också av stor vikt med en ansvarsfull och synergidriven internationalisering, där Sverige kan bygga på existerande samarbeten med exempelvis forskargrupper i Sydkorea, Japan och Taiwan, vilka är starka inom olika områden.



## TEMA 2. ACCELERERAD MATERIALUTVECKLING FÖR BATTERIFORSKNING OCH INNOVATION I SVERIGE

För att skapa en taktisk fördel i den hårda internationella konkurrensen inom batteriområdet bör svenska och europeiska forskare ta vara på den snabba utveckling som sker inom digitaliseringen (AI och ML). Dessa tekniker kommer att accelerera utvecklingen och förståelsen av material- och batterikoncept. Vi behöver i så fall röra oss från ett linjärt till ett integrerat tänkande. Det innebär att experimentella data för batterier används för att skapa bättre algoritmer och modelleringsverktyg. Utifrån detta föreslås fem strategiska forskningsinriktningar.

### 1. AI-driven multifysikmodellering på pack- och systemnivå

Utveckla AI-drivna fysikbaserade digitala tvillingar som integrerar elektrokemi, mekanik och termiskt beteende, från partikel- till packnivå. Kalibrerade, osäkerhetsmedvetna modeller kommer att möjliggöra snabbare design, validering och modellbaserad säkerhetsanalys som komplement till fysiska tester.

### 2. Kravdriven inversdesign för strategiska materialval

Utgå från industriella krav avseende säkerhet, kostnad, klimatprestanda och livslängd, och härled därifrån materialval och cellarkitekturer med flermålsmetoder (t.ex. bayesiansk optimering). I design av dessa metoder bör även råvarutillgång, återvinningsbarhet och regulatoriska krav vägas in. Denna inriktning fokuserar på att generera och jämföra alternativa designkoncept, principval och motsättningar givet kravspecifisering.

### 3. Integrerade MAP-arbetsflöden (*Materials Acceleration Platform*)

Koppla samman multiskala-simulering, autonom experimentell syntes och höggenomströmningstestning i slutna loopar styrda av AI och maskininlärning. Målet bör vara att gå från hypotes till validerad labbcell på under sex månader, och därmed korta vägen från labb till pilot väsentligt.

### 4. Säker, skiktad data- och modellinfrastruktur

Utveckla gemensamma dataontologier, API:er och versionshantering. En skiktad infrastruktur bör skilja på öppna forskningsdata, konfidentiella industridata och regulatoriska spårbarhetsdata. Samverkande modellträning, inklusive metoder som federerad inlärning, bör möjliggöras så att modeller tränas över dessa dataskikt utan att rådata behöver flyttas och kompromettera datasäkerhet. Avancerade modeller ska kunna erbjudas som säkra tjänster även till små och medelstora företag.

### 5. Design för tillverkningsbarhet, användning och cirkularitet

Integrera tillverkningsbarhet, återvinna materialflöden och batteridata tidigt i material-, cell- och packdesign och använd AI-drivna flöden tillsammans med avancerade materialsimuleringsmodeller. Därmed kan insikter från pilotstudier, användning och återvinning kontinuerligt föras tillbaka till uppdaterade designregler och krav inför efterföljande designcykler.

### Implementeringsstrategi



<i>Initiativ</i>	<i>Beskrivning</i>
Swedish Battery Models API	Validerade modeller och kopplade arbetsflöden för multifysik, diagnostik och osäkerhetskvantifiering som säkra tjänster via nationell och europeisk HPC/AI-infrastruktur
Nationell MAP-allians	Sammanhållet arbetsflöde som kopplar multiskalesimulering, autonoma experiment och cellvalidering vid testcenter (t.ex. RISE/SEEL) mellan svenska noder, med nordisk koppling där det ger tydligt mervärde
Nationell digital tvillingplattform	Gemensamma datascheman, ontologier och gränssnitt för simuleringar, experiment och validering, pilotprovade i svenska testfall

Tre demonstratorer föreslås till 2028, vilka alla kan ge tydligt internationellt genomslag:

**D1:** Osäkerhetskvantifierad AI-driven multiskalemodell för ett svenskt fall avseende tunga fordon (storleksordningar snabbare än konventionell simulering).

**D2:** Samverkande MAP-flöde från beräkning till validerad labbcell med högst två manuella handgrepp, d.v.s. med mycket hög grad av automation.

**D3:** Skiktad data- och modellplattform verifierad tillsammans med minst en industripartner via säker inläring (enklav eller federerad).

Sverige har goda förutsättningar att vara ett föregångsland i detta avseende. Det finns (i) en sammanhållen kedja från material till system av starka miljöer vid olika lärosäten, nationell HPC/AI-infrastruktur, samt pilotmiljöer som SEEL och RISE; (ii) ett industrinära behov som utgörs av svenska OEM:er (t.ex. Volvo, Scania), energibolag (t.ex. Vattenfall) och återvinningsaktörer vilka behöver applikationsanpassade lösningar för pack, system, säkerhet, livslängd och cirkularitet (snarare än att enbart förlita sig på standardceller från internationella distributörer); och (iii) en rik flora av befintliga plattformar och samarbetsstrukturer som Battery 2030+, BASE, SEEL, Compel och Swedish Electromobility Centre. Dessa tillitsbaserade relationer mellan akademi, institut och industri gör gemensamma data- och testmiljöer praktiskt genomförbara. Genom att knyta an till andra satsningar som WASP och WISE kan Sverige samla en bred tvärvetenskaplig kompetens, stärka finansiering och underlätta kunskapsöverföring mellan akademi och industri.

### TEMA 3. KONTROLL AV BATTERIER OCH SMARTA BATTERICELLER

Styrning av batterier, ofta realiserad genom ett *Battery Management System* (BMS), är en central komponent i elektrifieringen av transportsektorn, energisystemet och ett växande antal industriella och samhällskritiska tillämpningar. Batteristyrningen ansvarar för säker, effektiv och kostnadsoptimerad drift av batterier genom övervakning, tillståndsestimering, styrning och skydd. Traditionellt har området dominerats av relativt enkla modellbaserade metoder baserade på ekvivalentkretsmodeller och begränsade sensordata avseende främst ström, spänning och temperatur.

Under de senaste åren har dock området utvecklats snabbt. Ökad elektrifiering, krav på snabbbladning, längre livslängd och högre säkerhet har drivit fram mer avancerade metoder baserade på maskininlärning och detaljerade fysikaliska modeller. Samtidigt breddas forskningsfältet geografiskt och tillämpningsmässigt, från bilar, bussar och lastbilar till bl.a. energilagringssystem (BESS), specialfordon, militära tillämpningar och fordon till nät (V2G). När kostnad, säkerhet och funktionalitet framstår som övergripande drivkrafter, blir smart styrning ett centralt verktyg för att utnyttja batteriers fulla potential, hantera variationer i kvalitet. Dessutom kan verktygen möjliggöra flexibilitet när kemier, teknologier, cellformat och tillämpningar förändras.

#### Vision och mål för närmaste tioårsperiod

Inom tio år bör Sverige ha etablerat en internationellt ledande position inom intelligent, adaptiv och kostnadseffektiv styrning av batterier. Visionen är batteristyrningssystem som är kemi- och teknologineutrala, lärande och resilienta, och som på ett säkert sätt kan utnyttjas nära sina gränser över hela livscykeln – från första användning till återbruk och *last life*.

Centralt i detta är modellbaserad batteristyrning som integreras tidigt i utvecklingen av nya kemier och teknologier, såsom natriumjonbatterier och fastfasbatterier. BMS ska därmed inte vara ett tillägg i slutet av utvecklingsprocessen, utan en möjliggörare som formar hur celler, moduler och system designas. För befintliga litiumjonbatteribaserade system är målet att kraftigt förlänga livslängden, möjliggöra robust snabbbladning och minska systemkostnader genom avancerad styrning snarare än dyr hårdvara.

Vidare bör framtida batteristyrning bygga på mer detaljerade fysikaliskt baserade modeller som fortfarande är numeriskt hanterbara i realtid. Dessa modeller ska utgöra grunden för så kallad *soft sensing*, där tillstånd som åldringsgrad, säkerhetsstatus och latent fel kan estimeras digitalt och virtuellt utan omfattande sensorsystem. Området "*state of safety*" blir här centralt: tidig identifiering av riskceller och felmekanismer ska vara standard.

Ett viktigt mål är också att realisera omkonfigurerbara batterisystem, där elektrisk arkitektur och styrning möjliggör dynamisk koppling av celler och moduler. Detta kan göra att svaga celler inte längre begränsar hela systemet, möjliggöra blandning av olika batteri- och celltyper samt minska behovet av externa komponenter såsom omvandlare. Samtidigt kräver detta nya metoder för tillståndsestimering och styrning.

Batteristyrning bör därmed inom en tioårsperiod vara datadriven på flera nivåer. Lokala, inbyggda BMS ska samverka med molnbaserad övervakning och analys, där dataströmmar från många enheter används för kontinuerligt lärande, optimering och uppdatering av modeller och algoritmer. Lokal adaptering kommer tillämpas för att anpassa till både initiala individvariationer mellan celler och pack, och för att motverka åldring.



## Rekommendationer för svensk forskning och innovation

För att nå ovanstående vision krävs ett antal strategiska satsningar inom svensk forskning och innovation. Sverige bör medvetet bedriva två parallella forskningsspår. Det ena fokuserar på nästa generation batterikemier och -teknologier, där styrning, modellering och diagnostik utvecklas integrerat och i takt med material- och cellforskningen. Det andra spåret fokuserar på dagens kommersiella celltyper som kommer dominera de närmaste 5–10 åren, för att säkerställa att svensk industri förblir konkurrenskraftig på kort och medellång sikt.

Därutöver krävs tydliga satsningar på modellutveckling och datakvalitet. Forskning bör prioritera fysikaliskt informerade modeller som kan kalibreras effektivt, kombineras med EIS och andra avancerade mätmetoder, och anpassas över tid genom adaptiv och lärande modellering. Här har Sverige goda förutsättningar genom stark materialforskning och växande kompetens inom dataplattformar och AI, samt begynnande samverkan däremellan.

Vidare bör forskning om funktionsallokering mellan lokala system och molnet stärkas. Detta avser både tekniska frågor – realtidskrav, cybersäkerhet, datahantering – och arkitekturval som kan minska hårdvarukostnader och möjliggöra enklare BMS för vissa applikationer.

Särskild uppmärksamhet bör ges till livscykelperspektivet. För att möjliggöra *second life*, *reuse* och *repurpose* krävs standardiserad och tillförlitlig tillståndsinformation över tid. Här är batteristyrning en nyckelfaktor, och svensk forskning kan spela en central roll i att definiera vilka data och styrstrategier som krävs.

Slutligen, för att bibehålla och stärka Sveriges globala position inom fordonsindustri och kraftelektronik, samt främja det svenska ekosystemet inklusive mindre företag och nya aktörer, bör testbäddar och öppna dataplattformar i samverkan mellan industri, akademi och offentliga aktörer prioriteras. En sådan satsning kan katalysera tvärfunktionell forskning och innovation inom batteristyrning och angränsande områden och möjliggöra för Sverige att bygga ett ekosystem där avancerad batteristyrning blir en konkurrensfördel.

## TEMA 4. TILLVERKNING OCH DIGITALA TVILLINGAR

Sverige har mycket goda förutsättningar för batteriproduktion genom fossilfri el, konkurrenskraftiga energipriser och stora energilagrar för snabbreglerad kraftproduktion. Därtill kommer en stark industriell tradition av integrerad produkt- och produktionsutveckling. Samtidigt har uppbyggnaden av akademisk kompetens och industriell kapacitet inom denna del av batterivärdekedjan varit relativt svag, vilket innebär att centrala industriella erfarenheter inte fullt ut har systematiserats och kunnat nyttjats i forskning och utbildning. Här behövs uppbyggnad och vitalisering, samtidigt som avgörande steg inom hela produktionsprocessen behöver utvecklas för att skapa förutsättningar för att ligga i den internationella framkanten.

### Elektroproduktion


Elektroproduktionen dominerar energi-, kostnads- och kvalitetsutfall i battericelltillverkning, men utvecklas fortfarande ofta receptbaserat. En övergång till data- och simuleringsdriven utveckling är avgörande, där reologi, beläggning, torkning och kalandrering behandlas som ett integrerat fysikaliskt system. Multifysikaliska- och multiskala-modeller, från partikel- till processnivå, behöver kombineras med reducerade modeller och maskininläring för realtidsnära optimering. Detta möjliggörs av avancerad inline-sensorik, inklusive EIS, optiska och laserbaserade system, röntgen/laminografi samt neuromorfa sensorer, vilket skapar multimodala datamängder för slutna reglerloopar. Parallellt krävs en övergång till mer hållbar processkemi, torr beläggningsteknik, vattenbaserade processer och kompatibilitet med nya elektrolytssystem. Metallbatterier och fastfasbatterier innebär förändrade produktionsparadigm med nya krav på gränssytor, hantering och kvalitetssäkring. För att göra Europa oberoende av basmetallflöden (t.ex. genom utvecklingen av LFP-kemier), krävs integrerad optimering från råvarukarakterisering till elektrod- och cellprestanda, där variation i insatsmaterial hanteras genom datadrivna modeller och adaptiva processer.

### Battericellsmontering

Sammanbyggnad av komponenter till en färdig battericell kräver högautomatiserad produktion i kontrollerade miljöer. Kritiska processteg som stapling, skärning och svetsning utgör flaskhalsar och kräver mikrometerprecision, djup processförståelse och avancerad online-karakterisering. Variation i material och geometri ställer krav på adaptiva och robusta produktionssystem. Elektrolytutfyllning är ett särskilt utmanande processteg som styrs av komplexa transportfenomen kopplade till porstruktur, viskositet och ytväxelverkan. Optimering kräver därför en kombination av modellering, *operando*-mätningar och nya fyllningsstrategier. Formering och åldring är avgörande och energiintensiva steg, där modell- och datadriven reglering möjliggör adaptiva laddningsstrategier, förbättrad kvalitet och tidig detektion av avvikelser. Integrerat i digitala tvillingar kan varje cell behandlas individuellt, vilket ökar robusthet och effektivitet.

### Modul-, pack- och systemmontering

På systemnivå integreras elektrokemiska, mekaniska, termodynamiska och elektroniska delsystem, vilket kräver en konsekvent tillämpning av integrerad produkt- och produktionsutveckling. Dagens design optimeras ofta för applikation snarare än för produktion, vilket leder till komplexa och svårskalade monteringsprocesser. Framtida system behöver utvecklas med produktion som en designparameter, där cell-till-pack och modulära koncept möjliggör högre automatiseringsgrad. Sammanfogningstekniker ska balansera prestanda, cykeltid och återvinningsbarhet. BMS blir här en central nod som kopplar samman drift- och tillverkningsdata och möjliggör spårbarhet, prediktivt underhåll och kontinuerlig återkoppling till



design och produktion via digitala produktpass. Dessa digitala produktpass möjliggör spårbarhet och kopplar samman materialinnehåll, produktionsdata och användningshistorik, vilket stödjer både regulatoriska krav och cirkulära affärsmodeller. En sammanhängande IT/OT-integration är i detta sammanhang en förutsättning för datadriven produktion och digitala tvillingar, vilket också påverkar samspelet mellan batteriproduktion och det omgivande energiflödet. Detta kräver arkitekturer där data kan flöda mellan sensorer, maskiner och överordnade system. Interoperabilitet är avgörande och förutsätter standardiserade gränssnitt och semantiska datamodeller som säkerställer att data kan tolkas och användas konsekvent genom hela värdekedjan.

### **Infrastruktur**

För att realisera en datadriven och industriellt relevant batteriproduktionsforskning krävs en sammanhängande infrastruktur av pilotlinor och experimentella miljöer som spänner från grundforskning till industriell uppskalning. I dag finns ett tydligt gap mellan laboratorieförsök och fullskalig produktion, vilket försvårar validering av processmodeller, materialkoncept och digitala tvillingar. Vid universitet krävs därför instegsmiljöer och pilotlinor i liten till medelstor skala, tillgängliga nationellt och europeiskt, där fokus ligger på att förstå fundamentala processer och koppla dessa till mätdata och modellering. Dessa miljöer bör möjliggöra kontrollerade experiment över hela processkedjan, från beredning av slurry till elektrod- och celltillverkning, med hög grad av instrumentering och flexibilitet för att stödja forskning och utbildning.

Parallellt behövs dedikerade experimentella uppställningar kopplade till storskalig forskningsinfrastruktur såsom MAX IV och ESS, där avancerad ljus- och neutronbaserad teknik kan användas för att studera processkemi och -fysik *operando*. Detta möjliggör unik insyn i exempelvis strukturutveckling, transportfenomen och gränssytor under realistiska tillverkningsförhållanden, vilket är avgörande för att utveckla och validera fysikbaserade modeller.

Slutligen krävs industriella pilot- och produktionslinor med strukturerad access för akademi och forskningsinstitut. Dessa miljöer möjliggör validering i relevant skala, där processrobusthet, variation och integration med verkliga produktionssystem kan studeras. Detta utgör inte främst en stödjande funktion, utan en strategisk kärnkapacitet. Det är först genom dessa integrerade miljöer som Europa kan accelerera utveckling, minska risk i uppskalning och etablera en verkligt konkurrenskraftig och kunskapsdriven batteriindustri. Genom att kombinera dessa nivåer – från universitetsmiljöer till avancerad forskningsinfrastruktur och industriella linor – kan en sammanhängande utvecklingskedja etableras, där kunskap, data och modeller kontinuerligt överförs och förfinas.

## TEMA 5. EN CIRKULÄR OCH HÅLLBAR VÄRDEKEDJA


Sverige är en av EU:s ledande mineralprospekterings- och gruvnationer och står även väl positionerat inom forskning kring mineralutvinning. Aktiv gruvdrift bedrivs för järnmalm samt bas- och ädelmetaller, och det finns en konstaterad geologisk potential för batteriråvaror som grafit och litium. Sverige var tidigt ute med reglerad avfallshantering och har prioriterat återvinning på grund av en succesivt åtstramad miljölagstiftning. Här finns även pionjärer inom livscykelanalys (LCA) och annan miljöbedömningsmetodik. Akademisk forskning med fokus på batterier växer i dessa fält, och potentialen för att ytterligare stärka Sveriges ställning är god.

Den europeiska färdplanen för Battery 2030+ betonar batteriers roll för en hållbar mobilitet samt ren och säker energi, och tar avstamp i livscykelperspektivet och en cirkulär ekonomi. Återvinning av batterimaterial såsom litium, kobolt, och nickel beskrivs ha en nyckelroll, medan primära råvaror inte ges mycket fokus. Cellproduktion baserad på till stora delar återvunnet material kan förväntas inträffa först när en betydande andel elektriska fordon skrotas samt när batterilager i elnät byts ut mot en ny generation, vilket kan förväntas växa snabbt mot slutet av 2030-talet. Samtidigt kan åtgärder för att uppnå cirkularitet på annat sätt, till exempel celler som återanvänds, fördröja tiden till när återvinning blir aktuell.

Miljöbedömningsstudier inom batteriområdet har visat att växthusgasutsläpp från celltillverkning sjunkit väsentligt det senaste decenniet tack vare storskalig effektiv tillverkning. Samtidigt har det uppdagats dataluckor och kunskapsbrister avseende processer högre upp i försörjningskedjan.

### Utmaningar och åtgärder

- Den nationella mineralstrategin som betonar hållbar resursutveckling, stärkt konkurrenskraft och ökad kunskapsuppbyggnad är för närvarande under revidering för att bättre adressera kritiska råvaror. För att kunna nyttja nya fyndigheter krävs också att det finns effektiva bearbetningsprocesser anpassade för den specifika malmen fram till färdiga förstegsmaterial för celltillverkning.
- Effektiv återvinning för att förse cellproduktion med material är viktig för att sänka kostnader och energiförbrukning, samt ge låga utsläpp. Trots att en stor andel av den globala batteriåtervinningen sker i Kina, vilket skapar ett geopolitiskt beroende, är europeisk och svensk återvinning väsentlig för tillgången av vissa kritiska metaller.
- För vissa ämnen saknas tekniska processer för kostnadseffektiv återvinning, till exempel både litium och grafit, och specifikt återvinning av LFP-batterier.
- Det finns kunskapsluckor avseende automatiserad demontering och urladdning av batteripack, vilket är viktigt både för en bredare industrialisering av en cirkulär ekonomi för batterier, och för effektiv återvinning.
- Viktiga utmaningar som kräver åtgärder är att öka kunskapen om globala försörjningskedjor och flöden av kritiska råmaterial i samhället. Det är avgörande för att klargöra hur miljöeffekter och social påverkan från batterier kan minskas, och för att säkerställa rätt incitamentsstrukturer i systemet.
- Bedömningar av framtida efterfrågan på specifika batteriteknologier, och i vilka applikationer dessa kommer till användning, behövs för att svara på hur batterier kan bidra till största möjliga samhällsnytta.

- 
- Transparent datadelning avseende batterihälsa samt effektiv retur- och cirkulärlogistik behövs för att kunna återanvända och återtillverka celler, moduler och pack, samt skapa förutsättningar för kostnadseffektiv materialåtervinning.
  - Begränsad tillgång till förstahandsdata från batteritillverkare gör också att LCA-studier delvis måste baseras på proxydata. Detta gäller i synnerhet för andra kemier och teknologier än litiumjonbatterier. Kommande digitala produktpass kan delvis avhjälpa detta men kan samtidigt skapa osäkerhet kring hur flera olika regelverk inom EU kommer att samverka och påverka etableringen av cirkulära system.
  - Att vissa cirkulära åtgärder kan fördröja tillgången på återvunnet material utgör en paradox. Maximerad sekundär råvarutillgång och minimerad klimatpåverkan går inte nödvändigtvis hand i hand.

Forskning som syftar till att stärka europeisk och svensk kapacitet inom framställning av primära batteriråvaror bör prioritera förbättrad prospektering och geologisk kartläggning, samt utveckling av effektiva utvinningsprocesser där sådana saknas. **På kort sikt** innebär utmaningen att öka uttaget ur befintliga gruvor. **På lång sikt** bör forskningen inriktas på nya fyndigheter och material, med utgångspunkt i vad annan forskning säger om förväntad framtida efterfrågan. Litiumutvinning har god potential i Europa medan biobaserade material kan bli en unik konkurrensfördel för Sverige. Återvinningsteknik bör i möjligaste mån integreras med den celltillverkning som byggs upp nationellt. Recirkulering av kompletta komponenter eller aktiva material bör kontinuerligt avvägas mot framställning av mer generiska förstegs-material, såsom kobolt- eller litiumsalter, som inte blir låsta till en specifik celldesign.

- Potentialen för framställning av batterimaterial från materialströmmar i andra sektorer behöver beforskas, till exempel spill från industriprocesser, skogsråvaror och fosfor i avloppsslam. Höga renhetskrav gör det dock utmanande att utgå från råmaterial med stora mängde föroreningar.
- Miljösystemanalys och LCA behöver få en tydligare egen roll inom batteriforskningen. I stora EU-projekt krävs ofta LCA, men behandlas generellt utan den rigorositet och metodutveckling som utmärker robust forskning.
- Det finns kunskapsluckor om miljöpåverkan från gruvdrift och förädling av råvaror i de olika delar av världen som försörjer Sverige och EU med batterimaterial.
- Prospektiv och scenario-baserad LCA gör det möjligt att utvärdera nya tekniker tidigt, före produktion i stor skala, och är väsentligt för studier av fordon och BESS. Gedigen livscykelbaserad kunskap är även en förutsättning för att EU-styrmedel relaterat till batterier ska gynna hållbarhet.
- Tvärvetenskaplig forskning och samarbete mellan teknikutveckling och system-analys är prioriterat. Förutsättningar för såväl tillverkning som återvinning och andra cirkulära åtgärder bör kopplas tätare samman med cell- och packdesign. Substitution av kritiska och strategiska råmaterial (t.ex. Cu, Ni, Co, Li) är nödvändigt.



## TEMA 6. VETENSKAP OCH SAMHÄLLE

Batteriforskning och -innovation är en angelägenhet för hela samhället och inbegriper aspekter som standarder, regleringar, utbildning och livslångt lärande. Dessa stärker nödvändiga forskningsmiljöer och kompetensförsörjningen i den svenska batterivärdekedjan.

EU har skapat flera olika regleringar som påverkar batteriområdet: *critical raw materials act*, batteriförordningen (som reglerar bl a återvinning,) kemikalierregleringarna REACH and CLP, är några som både kan bromsa och/eller stärka utvecklingen för batterivärdekedjan i Europa. Sverige har möjligheten att påverka EU:s regelverks- och standardiseringsarbete, vilket är viktigt eftersom de styr de nationella ramarna och den nationella lagstiftningen. Allmänheten och beslutsfattare behöver nås av saklig och balanserad information för ökad förståelse och acceptans för övergripande samhällsförändringar som följer av teknikomställningen och elektrifieringen.


Kompetensförsörjningen är en flaskhals, och lärosätena behöver vara adaptiva och skala utbildning och forskning i takt med samhällets behov. Behovet av fort- och vidareutbildning ökar också i takt med att den tekniska utvecklingen går snabbare och arbetslivet blir längre. För att skapa internationell spetskompetens behövs strategiska satsningar kopplade till excellenta forskningsmiljöer.

**Politisk tydlighet.** Det krävs en gemensam linje mellan akademi, industri, myndigheter och beslutsfattare för att optimera de resurser som redan finns, men långsiktiga resurser för framtidens forskning och innovationer kommer att kräva ytterligare kapital. Många insatser har gjorts, men fler kommer att behövas. Det är viktigt att denna linje är brett förankrad.

**Forskningsfokus.** Batteriteknik är central för flera olika industrisektorer, men val av cellkemi, prestandaoptimering och systemtekniska lösningar varierar mycket. Sverige bör utveckla en gemensam målbild och strategi, samtidigt som man måste tillse att det finns en bredd i forskningen. Man bör använda den goda forskningskompetens som finns avseende batterier i svensk fordonsindustri och akademi. Centralt är att skapa miljöer för samverkan mellan de allra bästa forskarna för att accelerera och bidra till kompetensbyggande, innovationskraft och marknadsetablering för strategiska områden utan att bryta mot konkurrenslagstiftningen. Redan etablerade plattformar som Swedish Electromobility Center (SEC) och Batteries Sweden (BASE) spelar viktiga roller, men skulle med alternativa finansieringsmodeller utan strikta medfinansieringskrav kunna skapa bättre förutsättningar för gemensam spetsforskning.

**Nya arbetssätt för myndigheter och finansiärer i samråd med akademi och industri.** Myndigheter, akademi och industri bör hitta nya sätt att för att kunna adressera större och mer heltäckande frågeställningar från mikro- (material) till makro- (batterisystem) nivå med ett portföljperspektiv. Dagens utlysningssystem har fördelar i form av sund konkurrensutsättning, men skapar ofta långa processer innan nya projekt kan starta. För att skapa finansieringsinstrument för helhetsgrepp krävs samarbete mellan ansvariga myndigheter och forskningsfinansiärer. Här kan vi kan lära av andra länder, till exempel Kina och Sydkorea, i frågor om risktagandekultur, snabba iterationer och industriell experimentering.

**Mobilitet mellan akademi och industri.** Ytterligare en nyckelfaktor är ett system som underlättar och gynnar kontinuerlig mobilitet inom och mellan akademi och industri, för att kunna tillvarata



och kapitalisera den kollektiva kunskapen i form av innovation, produktifiering och industrialisering.

**EU-kommissionens riktade stöd.** För att säkra att Sverige får ta del av EU-kommissionens kommande riktade stöd i Batteristrategin (COM/2026/682) behövs en proaktiv och hög röst för svenska intressen i EU som driver evidens- och faktabaserade lagkrav och standarder.

**Kompetensförsörjning.** Utmaningarna för kompetensförsörjning handlar om att attrahera utländsk nyckelkompetens till landet, behålla den kompetens som finns i landet och om utbildningssystemens förmåga att locka ungdomar att söka sig till STEM-yrken. Befintlig arbetskraft måste tillvaratas bättre genom återkommande fort- och vidareutbildningsinsatser under yrkeslivet för att hållas aktuella i takt med den tekniska utvecklingen. Kompetensbrister finns inom systemtänkande, dataanalyskompetens, tillverkningsbarhet och förståelse för integrerade tillverkningsprocesser.

### **Vision och målbild på 10 års sikt**

Inom tio år ska Sverige ha en livaktig, diversifierad och internationellt konkurrenskraftig batterisektor. Sverige ska vara ett föregångsland för batteriforskning och -innovation där akademi, industri och politik tillsammans skapar skalbara, grundforsknings- och produktionsnära forskningsmiljöer. Attraktiva och stabila karriärvägar ska säkerställa långsiktig kompetensförsörjning och locka internationella topptalanger.

### **Föreslagna åtgärder för att uppnå målen**

Det finns ett behov av att etablering av en nationell koordineringsgrupp/arena med representanter från ledande forskningsmiljöer, industrins FoU samt myndigheter. En sådan arena ska stödja en strategisk inriktning av forskningsfinansiering, kortare starttider för projekt, färre men mer kraftfulla satsningar, samt bättre förutsättningar för tillämpad och industridriven forskning att ta del av EU-medel ur Horizon Europe och Konkurrenskraftsfonden.

## 8. SLUTSATSER

Alla sex teman pekar på ett behov av långsiktig forskning med avseende på alla delar av batterivärdekedjan och att detta paras med ett behov av tidsbegränsade insatser för att främja innovation och ett starkt samarbete mellan akademi och industri. Inom tio år ska Sverige ha en livaktig, diversifierad och internationellt konkurrenskraftig batterisektor. Sverige ska vara ett föregångsland för batteriforskning och -innovation där akademi, industri och politik tillsammans skapar skalbara, grundforsknings- och produktionsnära forskningsmiljöer. Detta kräver uthålliga och robusta insatser.

De sex temana pekar på specifika insatser på kort och lång sikt:

	<b>Kort sikt</b>	<b>Lång sikt</b>
Tema 1	<p>Forskningsinsatser avseende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Nästa generations Li- och Na-baserade kemier, exempelvis LMFP, LMR, DRX (disordered rock salt), LMNO, legeringsanoder (Si, Sn)</li> <li>-litiummetallbatterier (ev. även Na och Zn)</li> <li>-Fastfasbatterier: keramer/polymer/hybrider</li> </ul> <p>Övriga insatser</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Resurser för en kritisk massa vad gäller forskargrupper längs batterivärdekedjan och val av batteriforskningsfrågeställningar är etablerad och som borgar för långsiktighet som stöd för innovation.</li> <li>-En plattform etablerad för dialog att tillverknings-, återvinnings- och hållbarhetsaspekter kommer in i ett tidigt skede för att säkerställa att resurser läggs på batterikoncept med potential för framtiden.</li> </ul>	<p>Forskningsinsatser avseende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Multivalenta batterier (Ca, Mg, Al)</li> <li>- Omvandlingskemier (O, S, etc....)</li> <li>- Organiska batterier/biomassa för energilagring</li> <li>- Flödesbatterier</li> </ul> <p>Övriga insatser</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-En utarbetad ansvarsfull internationaliserings-strategi för att skapa samarbeten som ger synergier.</li> <li>- Nya kemier och teknologier för batterier har en bas i stark grundforskning kring material, processer och cell-koncept.</li> <li>-Tillgång till avancerade analysmetoder på universitet och storskaliga forskningsanläggningar är tillgängliga för att studera material och kemiska processer vid så realistiska betingelser som möjligt, genom <i>ex situ</i>, <i>in situ</i> och <i>operando</i> experiment på komponenter och celler.</li> </ul>
Tema 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En stegvis uppbyggnad av en <i>Materials Acceleration Platform</i> (MAP) där modellering från atomnivå till system bryggas med nya algoritmer baserad på experimentella data, AI och ML.</li> <li>-Utveckling av en plattform för enhetlig rapportering av resultat samt tillgång till data för olika aktörer.</li> <li>-Samverkande modellträning bör utvecklas så att modeller tränas över olika dataskikt utan att rådata behöver flyttas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En reducerad utvecklingstid från grundforskning till produkt ca 10 ggr jämfört med idag. En MAP implementerad för både akademi och industri.</li> <li>- Utvecklade gemensamma dataontologier, API:er och versionshantering. En skiktad infrastruktur som skiljer på öppna forskningsdata, konfidentiella industridata och regulatoriska spårbarhetsdata.</li> <li>-</li> <li>-Skiktad modellinfrastruktur med avancerade modeller som kan erbjuda</li> </ul>

		<p>säkra tjänster även till små och medelstora företag.</p> <p>-Starka miljöer inom modellering och AI-utveckling som accelererar utveckling av nya kemier.</p>
Tema 3	<p>-Forskning om funktionsallokering mellan lokala system och molnet ska stärkas. Det handlar både om tekniska frågor – realtidskrav, cybersäkerhet, datahantering – och om arkitekturval som kan minska hårdvarukostnader och möjliggöra enklare BMS för vissa applikationer.</p> <p>- Livscykelperspektivet bör prioriteras för att möjliggöra <i>second life</i>, <i>reuse</i> och <i>repurposing</i>. För detta krävs standardiserad och tillförlitlig tillståndsinformation över tid. Data och styrstrategier för batteristyrning bör definieras.</p> <p>-Testbäddar och öppna dataplattformar i samverkan mellan industri, akademi och offentliga aktörer bör prioriteras.</p>	<p>-Utveckling av en intelligent, adaptiv och kostnadseffektiv plattform för styrning av batterier.</p> <p>-Utveckling av batteristyrssystemen som är kemineutrala, lärande och resilienta, och som kan utnyttjas på ett säkert sätt över hela livscykeln – från första användning till återbruk och last life.</p> <p>-Göra avancerad batteristyrning till en konkurrensfördel internationellt.</p>
Tema 4	<p>-Etablering av instegsmiljöer och pilotlinor i liten till medelstor skala vid universitet, tillgängliga nationellt och europeiskt, där fokus ligger på att förstå fundamentala processer och koppla dessa till mätdata och modellering.</p> <p>-Stödja forskning och utbildning genom att dessa miljöer möjliggör kontrollerade experiment över hela processkedjan, från slurry-beredning till elektrod- och celltillverkning, med hög grad av flexibilitet.</p> <p>-Dedikerade experimentella uppställningar kopplade till storskalig forskningsinfrastruktur som MAX IV och ESS, där avancerad ljus- och neutronbaserad teknik kan användas för att studera processfysik <i>operando</i> ska tillhandahållas.</p>	<p>-Skapa industriella pilot- och produktionslinor med strukturerad access för akademi och forskningsinstitut som möjliggör validering i relevant skala, där processrobusthet, variation och integration med verkliga produktionssystem kan studeras.</p> <p>-Kombinera dessa nivåer – från universitetsmiljöer till avancerad forskningsinfrastruktur och industriella linor – till en sammanhängande utvecklingskedja där kunskap, data och modeller kontinuerligt överförs och förfinas.</p> <p>- Skapa strategisk kärnkapacitet på europeisk nivå genom pilotlinor, där integrerade miljöer kan accelerera utveckling, minska risk i uppskalning och etablera en verkligt konkurrenskraftig och kunskapsdriven batteriindustri.</p>
Tema 5	<p>-Öka uttaget av batterimaterial ur befintliga gruvor och etablera nya gruvor. Forskningen bör inriktas på nya fyndigheter och material, med utgångspunkt i förväntad framtida efterfrågan.</p> <p>Litiumutvinning har god potential i Europa medan biobaserade material kan bli en unik konkurrensfördel för Sverige.</p>	<p>-Framställning av batterimaterial från materialströmmar i andra sektorer som t.ex. spill från industriprocesser, skogsråvaror och fosfor i avloppsslam.</p> <p>-Forskning inriktad på nya fyndigheter och material, med utgångspunkt i förväntad framtida efterfrågan.</p> <p>-</p>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Återvinningsteknik bör integreras med den celltillverkning som byggs upp nationellt.</li> <li>-Recirkulering av kompletta komponenter eller aktiva material, det vill säga kortast möjliga återvinnings-loopar, bör kontinuerligt avvägas mot framställning av mer generiska förstegs-material, såsom kobolt- eller litiumsalter.</li> <li>-En mer dedikerad roll inom batteriforskningen för miljösystemanalys och LCA.</li> <li>- Miljöpåverkan från gruvdrift och förädling av råvaror i de olika delar av världen som försörjer Sverige och EU med batterimaterial bör beforeskas.</li> <li>-Prospektiv scenario-baserad LCA bör implementeras då det gör det möjligt att utvärdera nya tekniker tidigt, före produktion i stor skala.</li> <li>-En större vikt vid LCA-studier om hur batterier används i olika applikationer, i synnerhet elfordon och stationär energilagring.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mer grundligt etablera tvärvetenskaplig forskning och samarbete mellan teknikutveckling och systemanalys.</li> <li>-Inrättande av en plattform för såväl tillverkning som återvinning och andra cirkulära åtgärder, vilka kopplas tätare samman med cell- och packdesign.</li> <li>-Utveckling av metoder för substitution av kritiska och strategiska råmaterial (t.ex. Cu, Ni, Co, Li).</li> </ul>
Tema 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inrättande av en nationell tvärvetenskaplig forskarskola som täcker hela batterivärdekedjan.</li> <li>-Utveckla ett policyramverk för öppen men skyddad hantering av batteridata och IP, inklusive skydd mot internationell datainsamling.</li> <li>-Inventera kompetensbehov längs batteriets värdekedja, samt längs hela skalan från operatör till specialist.</li> <li>-Utveckla ett svenskt policyramverk för att underlätta mobilitet mellan och inom akademien och industrin, till exempel adjungering och affiliering av forskare samt utbyte av lärare.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Skapandet av starka flexibla system för livslångt lärande i takt med kunskapsfronten.</li> <li>-Bred kunskapsspridning om batterier i samhället genom lättillgänglig, uppdaterad information som kan användas på grund- och gymnasieskolan samt för en intresserad allmänhet.</li> <li>-Utveckling av batterikompetens i relevanta högskoleutbildningar, även utanför traditionella STEM-områden.</li> </ul>

## 9. TRE CENTRALA INSATSOMRÅDEN

---

Här presenteras tre centrala insatsområden som stöd till alla tematiska områdena.

### **INSATSOMRÅDE 1: SAMVERKAN, ETT STRATEGISKT BATTERIFORSKNINGS- OCH INNOVATIONSFORUM ELLER EN ARENA**

Samordning och samverkan är avgörande för att vi ska kunna ta tillvara och utveckla den excellens och gemensamma expertis som finns inom landet. Genom att etablera ett geografiskt spritt men nationellt och organisatoriskt sammanhållet forum – en arena för forskning och innovation inom batteriområdet – skapas förutsättningar för ett visionärt och framåtblickande arbetssätt. Arenan är tänkt omfatta hela batterivärdekedjan, samla alla relevanta aktörer inom forskning och innovation (inklusive myndigheter och finansörer) och bidra till underlag för strategiskt viktiga beslut som stärker Sveriges position inom området.

Syftet är att arbeta för att:

- Nationella batterirelaterade projekt och övriga infrastrukturella satsningar så som pilotlinor är samordnade och koordinerade,
- Forsknings-, utvecklings- och innovationssatsningar, inkluderande nya och befintliga pilotlinor, är ändamålsenliga och administrativt kostnadseffektiva,
- Satsningarna görs på en mångfald av batterikemier och -teknologier, både dagens (Li-jon och Na-jon) och morgondagens (nästa generations batterier),
- Framtida projekt utgörs av såväl grundforskning som applikationsinspirerad och tillämpad forskning för en bredd av olika tillämpningar,
- Öka antalet internationella strategiska samarbeten,
- Hållbar utveckling och cirkularitet genomsyrar svensk strategisk batteri-F&I på ett positivt och öppet, icke-begränsande, sätt. Aspekter och arbetsmetodik att bevaka och befästa inkluderar CRMs, PFAS, SSbD, LCA och pLCA, MSA, roll av återvunna material i process och produktion, materialkritikalitet, samt YIMBY (t.ex. socialt accepterad prospektering och gruvdrift),
- Tillse att olika aspekter av AI och data-drivna arbetssätt och verktyg (exempelvis generativ AI, API:er, data-formar/överföring/lagring, cybersäkerhet och digitala tvillingar) integreras ansvarsfullt men effektivt inom akademi-institut-industri.

#### **Strategisk samtalspartner**

- Arenan ska bli den naturliga samtalspartnern för omgivande samhälle och motsvarande internationella initiativ.
- Arenan ska arbeta för att svensk batteriforskning och -innovation får en stärkt roll inom EU.
- Stärka förutsättningarna för små och medelstora företag inom ekosystemet och verka för ett framtida självfinansierat nationellt nätverk av SME:er.
- Arbeta nationellt och internationellt med standardisering och reglering – t ex "battery passport", ontologier, "best practices", policy, och tekno-ekonomiska bedömningar, utvärderingar, scouting och kartläggningar.

- 
- Hantera IP-utveckling/strategi/policy.

#### **Utvärdering och uppföljning**

- Utveckla och följa upp KPIer anpassade för svenska förhållanden, industriella kriterier och slutanvändares krav.

DRAFT



## **INSATSOMRÅDE 2: ACCELERERAD UTVECKLING VIA PILOTLINOR OCH STORSKALIG FORSKNINGSFRASTRUKTUR**

Batteriforskning och -utveckling behöver tillgång till avancerad specialiserad experimentell utrustning och integrera detta med en bred användning av nationell (dedikerad) beräkningskapacitet, inte minst för att möjliggöra accelererad materialutveckling som nyttjar olika varianter av AI och digitala tvillingar.

För att öka relevansen av den akademiska forskningen och förkorta tiden från upptäckt till innovation och tillämpning, och för att stärka Sveriges konkurrenskraft behöver ett flertal olika typer av pilotlinor implementeras på universitet och institut, i samverkan med industrin.

Syften och mål:

- Etablera ett flertal pilotlinor; vid institut och industri designade för produktion, och vid akademi som instegspiloter för undervisning och utveckling. Dessa ska vara anpassade för olika kemier och teknologier för att hantera LIBs – optimering av torra processer, formeringscykler, åldringsstudiematerial – och NGBs – innovativa och flexibla lösningar – olika behov m a p metodutveckling och TRL. Pilotlinorna ska även kunna hantera introduktion av återvunna material med renhetsgradsoverväganden, användande av alternativa materialströmmar och cirkularitetsprinciper. Användningen av pilotlinorna ska avspegla produktionskrav, tillverkningsbarhet, och ta in material-cell-pack-systemdesignfrågor samt hanterar applikationskrav. Samtidigt måste storleken och mängden pilotlinor skalas mot investerings- och operationskostnader samt nuvarande och framtida behov – flertalet bör därför vara små och modulära.
- Integrera digitala tvillingar och in-line sensorer och koppla dessa mot kalibrerade modeller – design, validering, säkerhetstest och möjliggöra inversdesign.
- Samverka med och vidareutveckla BMS med smart styrning, algoritmer, data-drivna system, sensorer, behov och funktionalitet, cell-pack nivåer och fysikaliska modeller. Dessa data skall vara hanterbara i realtid, för att också ytterligare kopplas mot både AI/HPC och Max-IV/ESS experiment. Differentierade mål bör följa med i utvecklingskedjan material–cell för flertalet olika cellkemier.
- Utveckla digital infrastruktur och beräkningsresurser för multifysikmodellering för partikel- till packnivå, för att möjliggöra att automatiserade labb kan utföra höggenomströmningstester kopplat till AI/ML-hantering.
- Samverka mellan NAISS, pilotlinor och annan storskalig infrastruktur för att dedicera lagringsresurser för datahantering. Verka för öppen, konfidentiell, och spårbar data.
- Etablera och utöka batteriforskningsmiljöer vid Max-IV och ESS med avancerad cell-utveckling för realistiska operando/realtidstudier av material och processer.

### INSATSOMRÅDE 3: UTBILDNING OCH KOMPETENSFÖRSÖRJNING

För att stärka Sveriges position inom batteriforskning och -innovation behövs avsevärt fler utbildade personer och därmed utbildningsinsatser; alltifrån att skapa ett intresse för området på grundskole- och gymnasieskolenivå, vilket även är folkbildande, till yrkesutbildning inom process och produktion, samt att aktiva inom industrin kan vidareutbilda sig (livslångt lärande) och grundläggande och avancerad universitetsutbildning (forskarskola). Individuer på ledningsnivå i olika organisation i samhället behöver ha kompetens inom teknikområdet.

För att ytterligare stärka och utöka det svenska ekosystemet inom batteriområdet behövs därmed utbildningsinsatser på olika nivåer:

- Attrahera internationell spetskompetens,
- Ta tillvara på den mångfald av erfarenheter från akademi och industri som finns för att skapa förståelse för de olika krav och villkor som finns inom olika delar av systemet (akademi-industri och värdekedjans olika delar). Exempelvis kan mobilitetsinsatser vara aktuella.
- stimulera entreprenörskap och mobilitet längs hela värdekedjan.

#### Syften och mål:

- Skapa en nationell bred och spetsig, fokuserad och flexibel, forskarskola som integrerar batteriproduktion och -processer med användningsfasen och avancerad styrning med grunderna i kemi-fysik-materialvetenskap-mekanik-elektronik och längs råvaror-material-komponent-cell-pack-system-kedjan. Koppla upp denna forskarskola mot storskaliga forskningsanläggningar som t.ex. pilotlinorna.
- Öka utbildningskapaciteten vid universiteten för att tillvarata akademisk excellens såväl som industriella erfarenheter och behov tidigare och tydligare. Betona särarter, mognadsskillnader, grundläggande kunskap och vetenskap för både LIBs och NGBs samt bredda spridning av industrins teknologiska "know-how" baserat på faktiska behov och en kritisk hållning för att både värdera och stimulera vetenskap, utveckling och innovation.
- Arbeta med att få in ökad kompetens längs hela värdekedjan, även utanför STEM: resurser, råvaror, prospektering, geologi, materialflöden, juridik, cirkulär ekonomi, konflikthantering, etc. Vara tydlig med att hantera olika tidshorisonter och komplicerade beroenden. Låta AI och andra generiska verktyg genomsyra utbildningsinsatser.
- Fördjupa och bredda dagens utbildningsinsatser. Tillse att det finns aktuellt och uppdaterat informationsmaterial och läromedel för allt ifrån praktiska moment som demontering och urladdning av batterier till regleringar, lagstiftning, systemperspektiv, sociala effekter och samhällsnytta. Arbeta med folkbildning och livslångt lärande, inkl. mot nästa generation via sociala medier och influencers, etc.
- Stimulera mobilitet mellan akademi och industri för ökad förståelse av verkligheter, krav och behov – återkoppla och sprida lärdomar.



- Utnyttja internationella kontakter och nätverk för spetsrekryteringar och utbyten på alla nivåer inom ekosystemet.
- Stimulera skapade av spin-offs/outs genom utbildningar inom entreprenörskap.

DRAFT



## **BILAGA 1      ARBETSGRUPPER OCH DELTAGARE I WORKSHOPEN**

---

Ett antal experter har i arbetet fungerat som gruppleddare för varsitt område i färdplanen. I denna roll har de ansvarat för att strukturera och driva arbetet framåt, inklusive att ta fram underlag, identifiera forsknings- och innovationsbehov samt formulera prioriteringar inom sina respektive områden.

Följande personer har haft ansvar för respektive område:

1. Aleksandar Matic (Chalmers) – Nya batterikemier och -tekniker (material)
2. Peter Broqvist (Uppsala Universitet) – Accelererad materialutveckling (modellering, AI och data)
3. Verena Klass (Scania/Traton) – Kontroll av batterier och smarta battericeller
4. Martin Karlsson (Luleå Tekniska Universitet) – Tillverkning och digitala tvillingar (inklusive nästa generations batterier)
5. Anders Nordelöf (Chalmers) – En cirkulär värdekedja (livscykelanalys, råmaterial, återvinning)
6. Annika Ahlberg Tidblad (Volvo Cars) – Vetenskap och samhälle (standarder, regleringar, utbildning, livslångt lärande)

Som en central del av uppdraget har gruppleddarna aktivt engagerat och samverkat med relevanta aktörer från akademi, industri och forskningsinstitut för att säkerställa att innehållet är väl förankrat och speglar både vetenskapliga framsteg, industriella behov och bredare samhällsperspektiv. Detta har skett genom riktade dialoger, avstämningar och inhämtning av inspel från nyckelpersoner inom respektive område.

Arbets sättet har använts för att skapa en bred och tvärsektoriell förankring, i syfte att stärka kvaliteten och relevansen i de framtagna rekommendationerna.

## BILAGA 2 BATTERIETS VÄRDEKEDJA

Batteriets värdekedja kan beskrivas i både en linjär och en cirkulär form. Den klassiska bilden som är framtagen på EU-nivå i SET-plans-arbetet tolkat av EBA250<sup>5</sup> visas i Figur 1. Ibland visas denna cirkel med råmaterialen (raw materials) utanför cirkeln för att markera att råmaterial från gruvor måste fyllas på kontinuerligt då det är tveksamt att återvinna metaller kommer att räcka för våra behov av batterier i framtiden. Ibland visas också en del mellan *active materials* och *cell manufacturing* som indikerar att materialen måste balanseras och optimeras i en typisk cellkemi.

Den svagaste länken i denna kedja, både i Europa och Sverige, anses vara celltillverkningen.



Figur 1. Batteriets värdekedja enligt SET-Plan och EBA250

<sup>5</sup> EBA250 <https://www.eba250.com/>



## BILAGA 3 FÖRKORTNINGAR

---

- **AI** – Artificiell intelligens
- **API** – Application Programming Interface
- **BASE** – Batteries Sweden (kompetenscenter)
- **BESS** – Battery Energy Storage System
- **BMS** – Battery Management System
- **CLP** – Classification, Labelling and Packaging
- **CRMs** – Critical Raw Materials
- **DRX** – Disordered Rock Salt
- **EU** – Europeiska unionen
- **FoU** – Forskning och utveckling
- **HPC** – High Performance Computing
- **HTS** – High-Throughput Screening
- **IP** – Intellectual Property
- **LCA** – Life Cycle Assessment
- **LFP** – Lithium Iron Phosphate
- **LIB** – Litiumjonbatterier
- **LMFP** – Lithium Manganese Iron Phosphate
- **LMNO** – Lithium Manganese Nickel Oxide
- **LMR** – Lithium Manganese Rich
- **MAP** – Materials Acceleration Platform
- **ML** – Maskininlärning
- **MSA** – Material System Analysis
- **NAISS** – Nationell akademisk infrastruktur för superdatorer i Sverige
- **NGB** – Next Generation Batteries
- **NMC** – Nickel Manganese Cobalt
- **OEM** – Original Equipment Manufacturer
- **PFAS** – Per- och polyfluorerade alkylsubstanser
- **RISE** – Research Institutes of Sweden
- **SDL** – Self-Driving Laboratory
- **SEC** – Swedish Electromobility Center
- **SEEL** – Svenskt testcenter för elektromobilitet
- **SGU** – Sveriges geologiska undersökning
- **SIB** – Natriumjonbatterier
- **SMF** – Små och medelstora företag
- **SRA** – Strategic Research Agenda
- **SSbD** – Safe and Sustainable by Design
- **STEM** – Science, Technology, Engineering, Mathematics
- **TRL** – Technology Readiness Level
- **pLCA** – Prospektiv livscykelanalys
- **v2g** – Vehicle-to-Grid