

Batteriproduksjon i Innlandet

- en mulighetsstudie



Illustrasjonsfoto

Innhold

Oppsummering og anbefalinger	3
Innledning	6
Kort om partene	6
Formål	6
Bakgrunn	7
Hva er en «gigafabrikk»	10
Batterimarkedet frem til 2030	11
Etterspørsel og forventet vekst	11
Kunder	13
Neste generasjons batteriteknologi	14
Innlandets forutsetninger for etablering av batteriindustri	14
1. Økonomiske forutsetninger	15
2. Tekniske forutsetninger	16
2.1 Relevant kompetanse / arbeidskraft	16
2.2 Relevant industri i nærheten (industriklynge)	17
2.3 Tilgang til relevante FoU-miljøer	18
2.4 Rikelig og billig tilgang på elektrisitet	18
2.5 Tilgang til råvarer	20
2.6 Lav luftfuktighet og rent vann	20
3. Miljø- og klimamessige forutsetninger	20
3.1 CO2-fotavtrykk	21
4. Logistiske forutsetninger	21
5. Politiske forutsetninger og incentiver	22
Kilder	23

Oppsummering og anbefalinger

I denne mulighetsstudien har Miljøstiftelsen Bellona i samarbeid med Eidsiva Energi AS undersøkt forutsetninger for etablering av batteriindustri i Innlandet.

Verden står midt i en global energirevolusjon. Økende tilgang til billig og fornybar energi, kombinert med stadig mer konkurransedyktig og lett tilgjengelig energilagring muligheter fører til en demokratisering av energiproduksjonen og muliggjør den akselererende elektrifisering av transportsektoren verden over. Sist når energiverden forandret seg så grunnleggende var når oljefyrte motorer erstattet hestene og store sentrale kraftverk og nett erstattet hjemme-fyring og stearinlys.

Batterier er en sentral del av denne revolusjonen og der ingenting som tilsier at den eventyrlige veksten i batterimarkedet kommer til å ta slutt med det første. Tvert i mot kommer den mest sannsynligvis til å fortsette enda sterkere i årene som kommer. Vi mener at Norge bør være i stand til å delta i denne revolusjonen både som lokasjon for internasjonale produsenter og som leverandør til den internasjonale industrien. Norges fremtidige velferd er avhengig av en reindustrialisering. Dagens energisystemene er i endring og vi kan stole hverken på etterspørsel etter olje og gass eller en stabilt høy strømpris for å sikre vår velstand. En foredling av Norges råvarer her hjemme er dermed en viktig utfordring som må tas fatt på snarest. Energikrevende storskala batteriproduksjon kan være en del av dette.

Denne mulighetsstudien viser at Norge, og spesielt Innlandet, har gode forutsetninger for å delta i dette nye industrieventyret. Innlandet kan tilby noe av Europas beste pris for industrikraft, som også kommer fra fornybare energikilder. Dette kan bli et betydelig konkurransefortrinn når man skal levere til bransjer som er avhengig av de grønne egenskapene til sine produkter. I tillegg har Innlandet fordelaktige rammebetingelser i form av viktige industriklynger, konkurransedyktig arbeidskraft, forskningsmiljø og transportforbindelser. Potensielle vertskommunene i regionen, som f.eks. Vestre Toten, Hamar eller Ringsaker, har også vist evnen til å tiltrekke seg svært suksessfulle bedrifter. Mange av disse bedriftene har bevist at de kan konkurrere på det globale markedet, basert på en høy grad av automasjon og innovative produksjonsprosesser. Dette er kritisk for å kunne ta en posisjon i det globale batterimarkedet.

Det vil være mulig å hente inn teknologi og ekspertise utenfra for å sette opp en «nøkkelferdig gigafabrikk» for Li-ion batterier i Innlandet. Denne vil forbruke i størrelsesorden 10 TWh/år og fordelen med billig og grønn elektrisitet vil være betydelig. Hvis Innlandet kan tilby elektrisitet til en lavere pris enn konkurrerende lokaliteter vil hvert øre i differanse utgjøre en besparelse på flere hundre millioner kroner. Men det finnes også andre lokasjoner i Europa som har gode betingelser, og er i gang med å etablere batteriproduksjon. Tatt i betraktning denne harde internasjonale konkurransen, må rammebetingelser Innlandet kan tilby være veldig gode, og insentivordninger vil trolig være

avgjørende for å kunne tiltrekke seg aktører som bygge storskala batteriproduksjon i Innlandet.

I stedet for å tiltrekke seg en eksisterende batteriaktør, kan man bygge opp et lokalt batterimiljø steg for steg. Dermed blir man del av jakten på batteriløsninger som gjør Norge og Innlandet interessant for internasjonal batteriindustri. Ambisjonen her må være på sikt å bygge batteriindustri i Norge som står på egne ben.

Her er det hensiktsmessig å utnytte eksisterende kompetanse, komparative fortrinn og etablerte hjemmemarkeder. En mulighet kan i så fall være å satse på produksjon av komponenter til den internasjonale batteriindustrien. For eksempel basert på den kompetansen Innlandet har innen avansert materialteknologi som aluminium, eller basert på forskning og start-up bedrifter som kunne tiltrekkes Innlandet. I tillegg til å etablere et eget verdifull batterimiljø vil regionen bli "satt på kartet" og også øker sjansen for å tiltrekke seg internasjonale aktører som har interesse til å etablere batteri industri i Innlandet. En annen mulighet er å fokusere på batterisystem, slik de få etablerte batteri produsentene i Norge har gjort. I dette tilfellet kan det være en fordel å rette seg mot nisjemarked som allerede finnes i Norge som for eksempel maritim sektor, skogsdrift eller en elektrifisert anleggsbransje.

På litt lengre sikt vil nyere teknologier ta over for Li-ion batteriteknologien, og dette vil dermed utgjøre en tredje mulighet for Innlandet. I Norge har vi kunnskap som vil gjøre det mulig å utvikle slik teknologi og dermed etablere produksjon basert på norskutviklet teknologi. Innlandet kan benytte seg av forskningsmiljøet i Gjøvik, og innovative bedrifter til å utvikle og kommersialisere fremtidens batteriplattform.

Studiets anbefalinger for mulige tiltak

For å tiltrekke utenlandske batteriselskap til storskala produksjon, bør et prospekt utarbeides som gir et konkret tilbud til interesserte aktører. Dette prospektet bør være godt forankret i en utvidet strategi for å tiltrekke disse aktørene.

På sikt vil nye batteriteknologi ta over for Li-ion batteriteknologien i noen bruksområder og ikke minst åpne for helt nye områder der batterier ikke er en reell alternative per i dag. I Norge har vi kunnskap som vil gjøre det mulig å utvikle slik teknologi og dermed etablere produksjon basert på norskutviklet teknologi. Denne utviklingen kan Innlandet ta en ledende posisjon i.

For å tiltrekke seg internasjonal batteriindustri og posisjonere Innlandet som vertsregion for internasjonal batteriindustri bør innlandet oppnå konkurransedyktig kunnskap om batteriproduksjon og et eget FoU-miljø for batteriteknologi som også jobbe med å utvikle neste generasjons batteriteknologi.

Sammen med interesserte bedrifter bør det utredes hvilke komponenter eksisterende selskap i Innlandet kan levere til dagens og neste generasjons batteriteknologi. Gjerne i samarbeid med det eksisterende batterimiljøet i Norge.

Kartlegge mulighetene for å produsere batterisystem i nisjemarkeder, som for eksempel maritimt, skogsdrift eller bygg- og anleggsbransjen.

Støtte forskning og utviklingsarbeidet i regionen ved for eksempel å etablere et testsenter for batteriutvikling og sertifisering som samler relevante bedrifter og FoU miljøer i hele Norge.

Det er nødvendig at det samarbeides målrettet i Innlandet for å etablere et batterimiljø og bygge industri rundt dette. En batterigruppe ("battery task force Innlandet") med engasjerte aktører innenfor forskning, offentlig sektor og bedrifter med relevant kompetanse bør etableres.

En sånn gruppe bør aktivt arbeidet for å samle de gode kreftene for å etablere batteri industri i Innlandet ved å bl.a.

- Arrangere nettverksmøter

- Tilbyr tjenester til å søke offentlig støtte regionalt, nasjonalt og internasjonalt

- Støtte lokale bedrifter med å utvikle tilgang til internasjonalt batteriindustri, f.eks. som leverandør av komponenter eller produksjonsutstyr

- Være kontaktpunkt for Innlandet mot andre norske batteri-aktiviteter

- Støtter Innlandets bedrifter og andre organisasjoner med partnersøk i utlandet

- Utgi regelmessige nyhets- og innovasjons-brev

Innledning

Kort om partene

Eidsiva Energi AS er Innlandets energiselskap med virksomheter innen infrastruktur av nett og bredbånd, produksjon og salg av fornybar energi fra regionens ressurser innen vannkraft, biomasse og vindkraft. Selskapet eies av fylkeskommuner og kommuner i Hedmark og Oppland og har som visjon å være en «Drivkraft for oss i Innlandet».

Miljøstiftelsen Bellona er en uavhengig ideell stiftelse som arbeider for å løse verdens klimautfordringer blant annet gjennom å identifisere og gjennomføre bærekraftige klimaløsninger, og arbeider med økt økologisk forståelse og vern av natur, miljø og helse. Bellona er engasjert i de viktigste nasjonale og internasjonale miljøspørsmål i verden i dag. Bellona har en lang historie med elektrifisering av transport, og har vært primus motor for dagens elbilpolitikk samt elektrifiseringen av Norges ferger. I tillegg jobber Bellona nå aktivt med blant annet utslippsfrie byggeplasser, der stiftelsen er involvert i Pilot-E prosjekter for å bygge om ulike anleggsmaskiner til elektrisk drift. Bellona Holding er et selskap som driver separat fra Miljøstiftelsen Bellona, og er involvert i utvikling av miljøteknologi, hybride skip og batteriselskap med forskjellig kompetanse.

Formål

Formålet med denne studien er å undersøke betingelsene for regional forretningsutvikling av Innlandet basert på ressurser som billig og miljøvennlig fornybar elektrisitet:

- Storskala kraftkrevende batteriproduksjon i Innlandet med utgangspunkt i fornybar energi
- Utviklings- og innovasjonsklynge for batteriteknologi i Innlandet

I tillegg vil rapporten anbefale neste steg for videre arbeid med utvikling av batteriindustri i Innlandet.

Om Innlandet

Regionen Innlandet dekkes av fylkene Hedmark og Oppland og ligger mellom Osloregionen og Trøndelag.

Sentrale organisasjoner knyttet til næringslivet er tilstede i Innlandet:

- Innovasjon Norge, og Regionale Forskningsfond Innlandet,
- IKT ressursforum Innlandet,
- NHO Innlandet
- En av Norges største industriparkeer, i Raufoss.
- Høy akademisk kompetanse både ved Høyskolen i Innlandet og NTNU i Gjøvik.
- SINTEF
- VRINN

Batteri

Økningen i etterspørsel for batterier har vært en avgjørende driver for vekst av interesse, kompetanse og spesialiserte bedrifter. Ikke bare er Norge klart ledende i verden på batteridrift av skip, det er også etablerte selskaper som leverer batterisystemer. Faktisk, er fire av de fem store leverandørene av maritime batterisystemer basert i Norge. Blant disse er Zem Energy, Grenland Energy, PBES og Siemens som alle leverer litium-batterisystemer. Hovedkvarteret til Siemens i Tyskland har bestemt at Siemens Trondheim skal produsere og levere batterier til selskapets hele globale etterspørsel. PBES er et Canadisk selskap som i 2016 flyttet hele produksjonen til Trondheim, mye på grunn av markedsveksten for batterier i Norge. Corvus er et Canadisk selskap som er markedsledende på maritime batterier, og er sterkt etablert i Norge og har hovedsakelig norske eiere som Statoil og Hydro. I tillegg er Graphene Batteries et norsk selskap som utvikler ny cellekjemi for slike batterisystemer.

Ordforklaring:

Energitetthet- $\rho = \frac{E}{V}$ hvor E er energi og V er volum. Effektivitet- $\eta = \frac{P_{\text{ut}}}{P_{\text{in}}}$ hvor P_{ut} er utgangseffekt og P_{in} er inngangseffekt. Selskaper- P_c er prosentvis $P_c = \frac{P_{\text{ut}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$. ρ er energi per volum. η er effektivitet. P_c er prosentvis. ρ er energi per volum. η er effektivitet. P_c er prosentvis.

Effektivitet- $\eta = \frac{P_{\text{ut}}}{P_{\text{in}}}$ hvor P_{ut} er utgangseffekt og P_{in} er inngangseffekt. Selskaper- P_c er prosentvis $P_c = \frac{P_{\text{ut}}}{P_{\text{in}}} \times 100\%$. ρ er energi per volum. η er effektivitet. P_c er prosentvis. ρ er energi per volum. η er effektivitet. P_c er prosentvis.

Bakgrunn

Batterier har en sentral plass i det "grønne skiftet", som vi mener bør kalles "grønne akselerasjonen" siden vi står midt opp i dette skiftet allerede, mens farten øker. Økende tilgang til konkurransedyktig fornybar energi, sammen med de stadig bedre tekniske egenskaper til stadig fallende pris, gjør at markedet for batterier vokser drastisk. Med stadig forbedring av batterienes egenskaper, kombinert med fremgangen i fornybar energi, kan dette representere en av de største industrielle revolusjonene verden har sett.

Et lite batterimiljø er allerede under etablering i Norge. Omleggingen fra forbrenningsmotor til batterielektrisk drift i fergenæringen har vært en avgjørende driver for vekst av interesse, kompetanse og spesialiserte bedrifter. Ikke bare er Norge klart ledende i verden på batteridrift av skip, det er også etablerte selskaper som leverer batterisystemer. Faktisk, er fire av de fem store leverandørene av maritime batterisystemer basert i Norge. Blant disse er Zem Energy, Grenland Energy, PBES og Siemens som alle leverer litium-batterisystemer. Hovedkvarteret til Siemens i Tyskland har bestemt at Siemens Trondheim skal produsere og levere batterier til selskapets hele globale etterspørsel. PBES er et Canadisk selskap som i 2016 flyttet hele produksjonen til Trondheim, mye på grunn av markedsveksten for batterier i Norge. Corvus er et Canadisk selskap som er markedsledende på maritime batterier, og er sterkt etablert i Norge og har hovedsakelig norske eiere som Statoil og Hydro. I tillegg er Graphene Batteries et norsk selskap som utvikler ny cellekjemi for slike batterisystemer.








I tillegg til faktisk batteriproduksjon, er det også en voksende interesse i forskningsmiljøene der både Sintef og NTNU har åpnet hver sine batteri-laboratorium, og IFE forsker på hvordan silisium kan forbedre dagens Li-ion celler. Også verdt å nevne er at klasseselskapet

DNV GL var først i verden med å etablere notasjoner for batteridrift, og har i tillegg etablert Maritime Battery Forum (som er en interesseorganisasjon for maritim batterinæring). Kompetansemiljøet for batteriteknologi som allerede er under sterk utvikling i Norge er en klar fordel for å bygge videre på batteriindustri i landet. Det er fordelaktig at batterimiljøene er tett tilknyttet sluttbrukere som kan utveksle erfaringer, og er en viktig forutsetning for relevant teknologiutvikling.

Ikke minst er Norge et foregangsland med tanke på introduksjon av elbiler, elektrifisering av sjøfarten og i økende grad andre sektorer. Dette gjør at det er en høy grad av aksept i befolkningen for at batteri-elektriske løsninger er et godt alternativ. Generell aksept og interesse for batteriteknologi er et positivt utgangspunkt for næring knyttet til energilagring og elektrifisering.

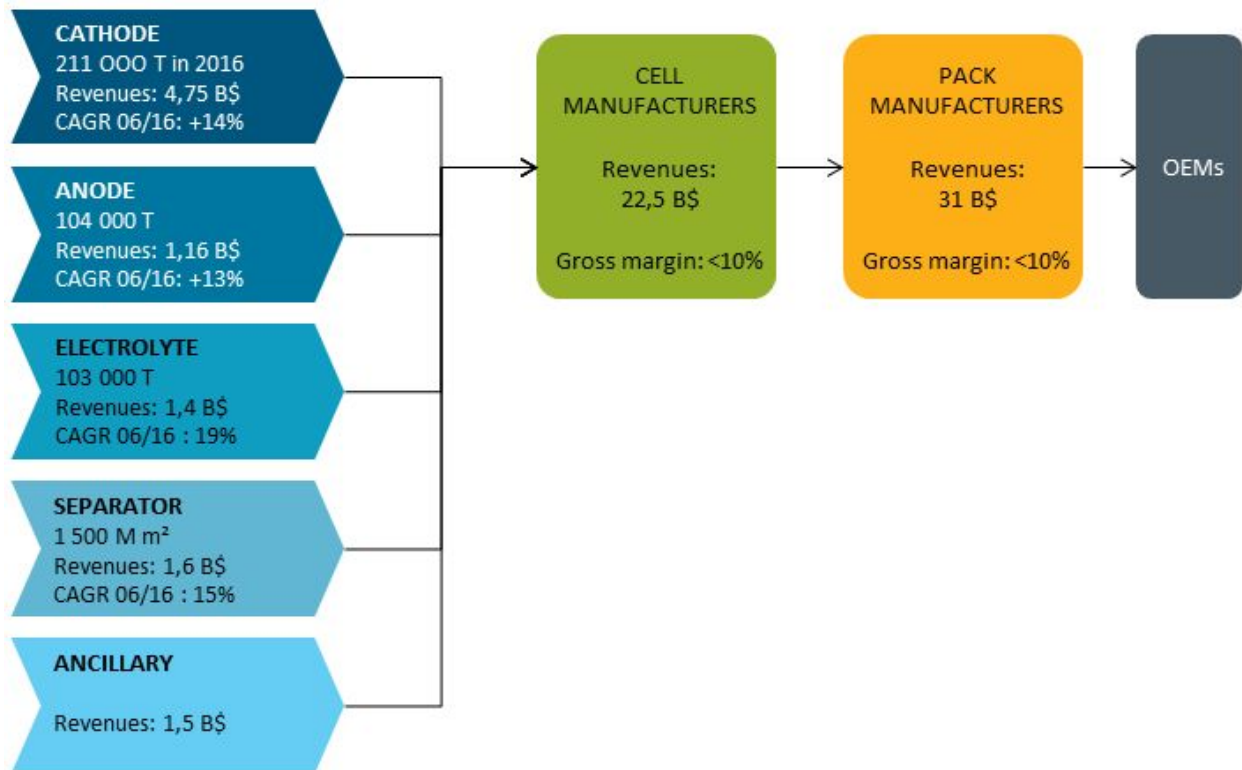
Verdikjeden

De ulike leddene i verdikjeden for en batteriproduksjon:

Komponent- produksjon		Råmaterialer som mottatt fra leverandør blir behandlet for å produsere anoder, katoder, aktivt materiale, bindemiddel, elektrolytt og separator med optimaliserte egenskaper.
Celle- produksjon		Enkeltceller blir produsert fra komponentene
Modul- produksjon		Cellene blir plassert i større moduler sammen med noen elektroniske modifikasjoner
Batteripakke montering		Modulene blir koblet sammen i et system som kontrollerer kraft, lading og temperatur
Bil- installasjon		Batteripakken blir tilpasset og installert i kjøretøyet
Bruk		Batteripakken brukes i kjøretøyet i X antall sykluser før ytelsen blir for lav
Resirkulering		Materialer som kan gjenbrukes blir resirkulert

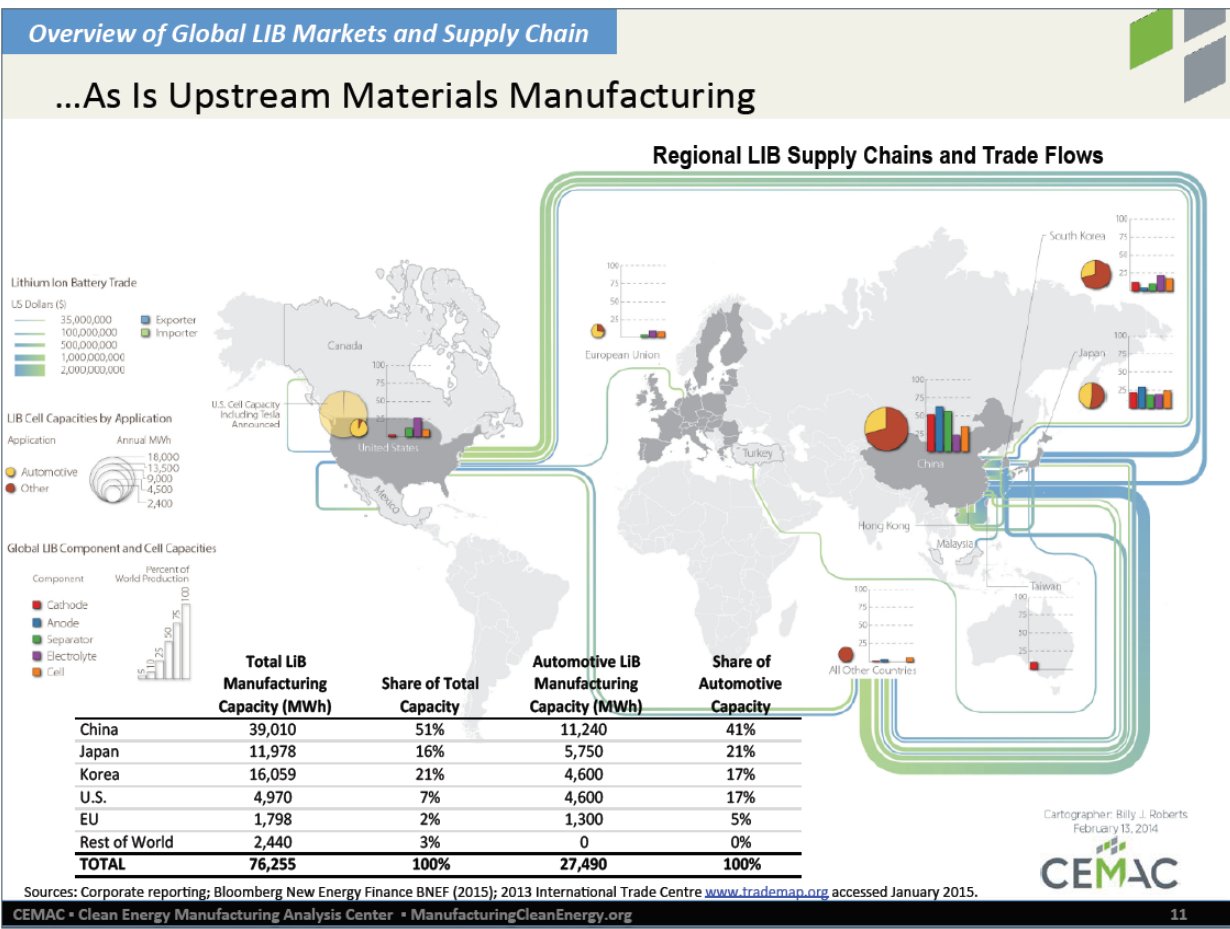
Figur 1. Forenklet bilde av verdikjeden i en batteriproduksjon. Kilde: Modifisert fra Dinger et al. (2010)

Figur 2 gir en mer detaljert beskrivelse av verdiskaping de enkelte cellekomponentene bidrar med.



Figur 2. Detaljert beskrivelse av verdiskaping i de enkelte trinn fra 2006-2016 (kilde:CEMAC/Avicenne 2017).

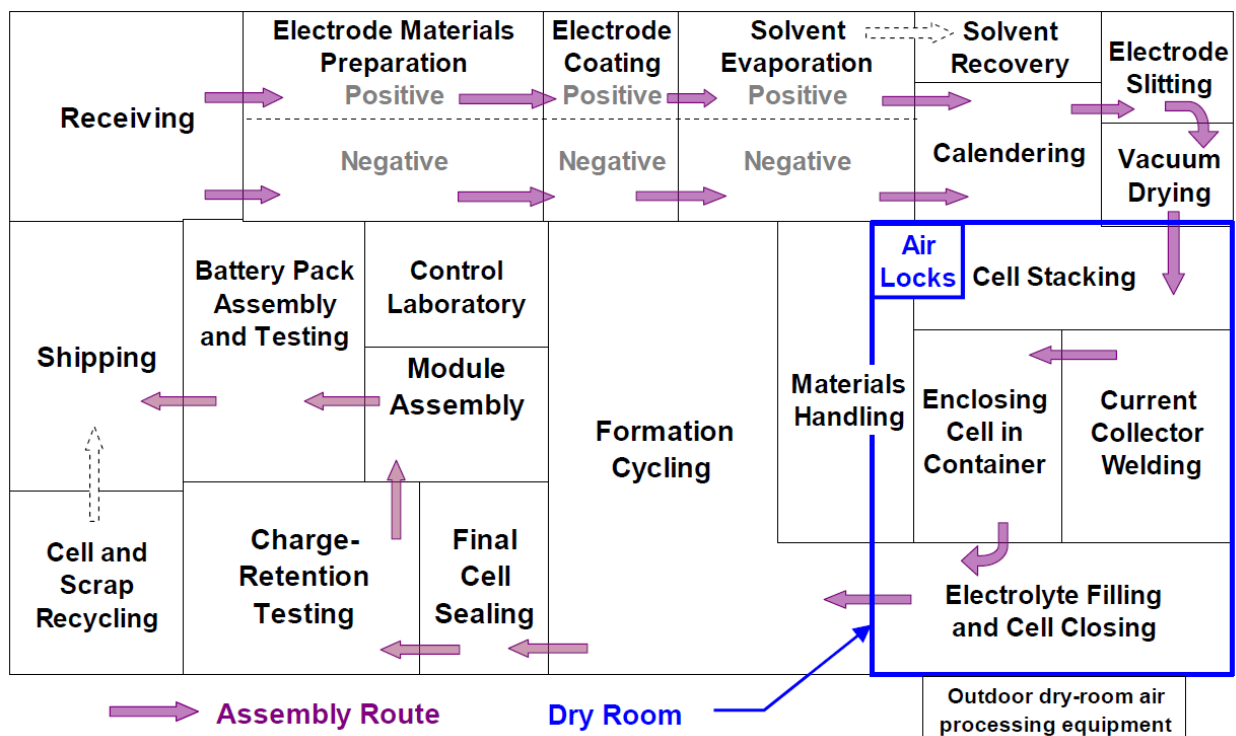
Hvis man ser på dagens produksjon i forhold til hvor forbrukerne befinner seg (Figur 3), ser vi at mesteparten av dagens produksjon foregår i Kina (51%), etterfulgt av Korea (21%), Japan (16%) og USA (7%), mens Europa bare utgjør 2 %. Man kan regne med at når volumene øker vil det lønne seg å legge produksjon nær forbrukerne. Dette skjer allerede ved at Tesla planlegger å lokalisere sin tredje gigafabrikk i Europa.



Figur 3. Dagens lokasjoner for produksjon av batterier og forbrukere (forsyningskjeder).
(kilde: CEMAC)

Hva er en «gigafabrikk»

En gigafabrikk er et stort produksjonsanlegg som samler alle stegene fra råmateriale til sluttprodukt, f.eks. produksjon av elektroder, celler og batteripakker, på samme lokalitet. Ved å samle mange produksjonsledd på samme lokasjon kan kostnadene reduseres betraktelig. Begrepet «gigafabrikk» oppsto med Teslas store batterifabrikk i Nevada som startet produksjon i 2017 og nå omtales som Gigafabrikk 1. Ferdig utbygget er målet å produsere 150 GWt batterier per år, nok til 1,5 millioner Teslaer med 100 kWt batteripakke. Produksjon og raffinering av råmaterialer vil ikke ha en naturlig tilknytning til en batterifabrikk. Figur 4 viser en skjematisk oppstilling av hvordan en slik fabrikk vil se ut.



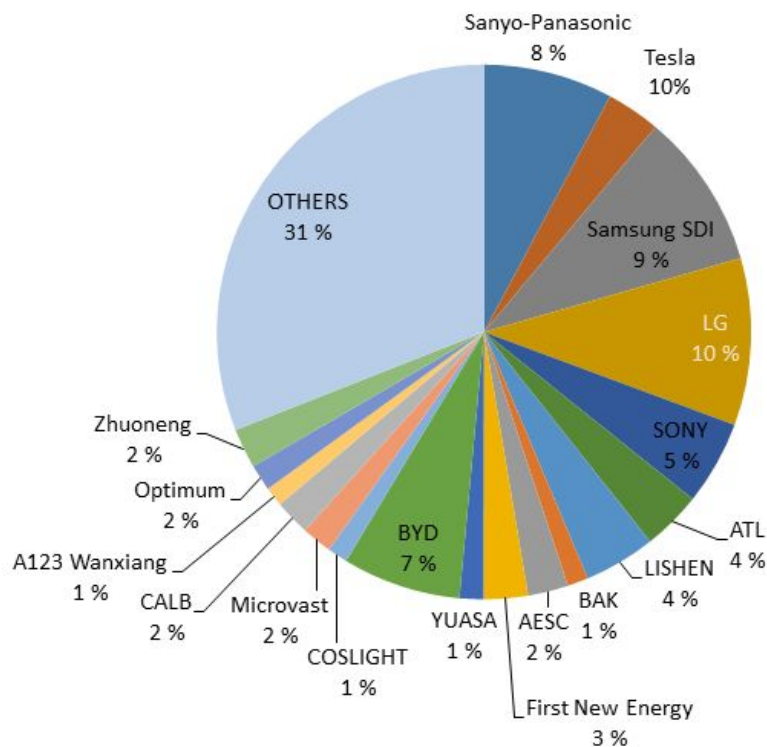
Figur 4. Skjematisk oversikt over en batterifabrikk. Arealene i figuren er omtrentlig proporsjonale med arealene i fabrikk. Kilde: Nelson et al. (2012)

Batterimarkedet frem til 2030

Batterimarkedet er dynamisk og bruksområdene varierer fra mobiltelefoner til transport og lagring av fornybar energi. Den sterke veksten fremover kan ventes innen segmentene landtransport, mellomagring, og det relativt nye segmentet maritim transport. For eksempel, indikeres det at for å nå EUs klimamål i ikke-kvotepiktig sektor, må 30 000 skip i nærskipfarten betraktelig redusere utslippene sine av CO₂, ved for eksempel å gå over til batteri- eller hybrid elektrisk drift. På lengre sikt vil også luffart kunne få god vekst i bruk av batterier.

Etterspørsel og forventet vekst

Av de forskjellige batteritypene er det Li-ion batterier som har vist størst vekst i industrien, med en gjennomsnittlig årlig vekstrate (CAGR) på over 25% fra 2010 til 2016 (Avicenne Energy, 2017). Hovedbruksområdet til Li-ion batterier er elektroniske enheter, e-transport (bil, buss, etc) og industrielle anlegg. Selv om Li-ion batterier representerer den største veksten er det fortsatt blybatterier som har hoveddelen av det internasjonale batterimarkedet, med 90% markedsandel. Blybatterier brukes typisk som bilbatteri i fossile kjøretøy og lignende, men er dårligere egnet til elektrisk drift, og er i liten grad i konkurranse med Li-ion batterier. Den internasjonale markedsandelen til Li-ion batterier ble estimert til 31 milliarder dollar i 2016. De største industrielle aktørenes markedsandel vises i Figur 5.



Figur 5. Dagens produksjon fordelt på ulike produsenter (BloombergNEF).

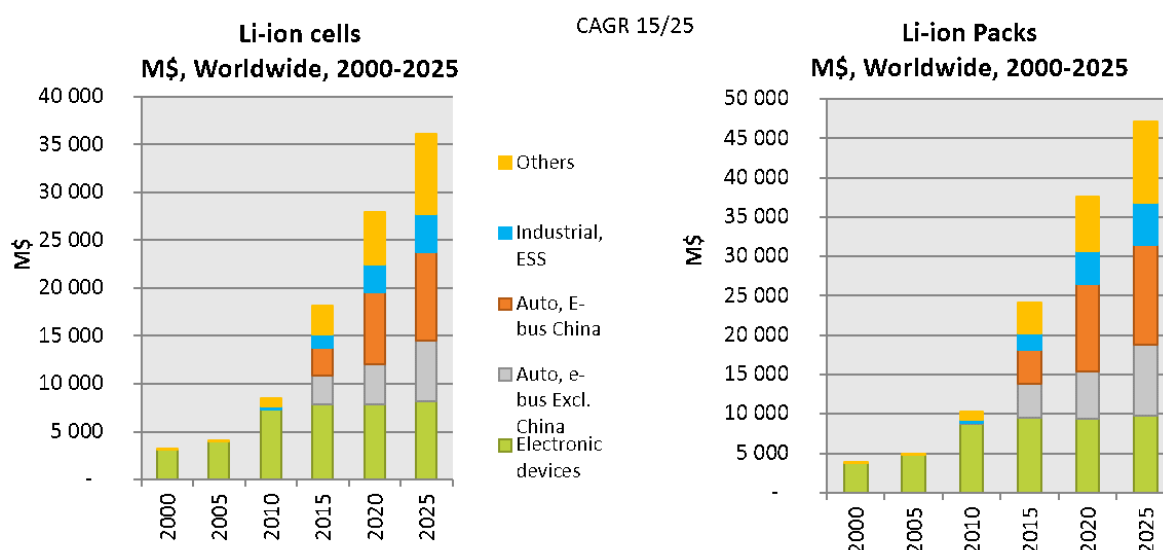
Bloomberg (Curry, 2017) anslår verdens totale produksjon av Li-ion batterier i 2030 å nå nær 1300 GWt kontra 19 GWt i 2015 (en faktor på 68), men hvis man tar hensyn til at prisene anslås å reduseres med 75%, så blir den effektive økningen i verdi en faktor på ca 17. Også Avicenne (2017) anslag er veldig positive, uttrykt som vekst per år (for perioden 2016 – 2025), forventer de en en CAGR på 13 % per år. Dette fordeler seg på 7 % verdiøkning i produksjonsvolum av celler, og en 8 % verdiøkning i produksjonsvolum av batteripakker.

Tidligere prognoser om markedet for Li-ion batterier har vist seg å underestimere den faktiske veksten i dette markedet. Gitt økt fornybar energiproduksjon og fallende priser innen energilagring (Li-ion), vil elektrifiseringen av transportsektoren (og andre sektorer) fortsette å øke i mange land. I tillegg er det sterk politisk vilje til å forsterke denne trenden. Derfor kan det antas at den faktiske veksten kan fortsette å overstige prognosene også i fremtiden.

Med voksende fokus og store planer om å øke produksjon av elektriske fartøy er stadig flere europeiske produsenter nå bekymret for trygg tilgang til batterier. Volkswagen etterspurte til og med at alle europeiske krefter bør samles for å produsere batterier til el-mobilitet i Europa, for å sikre trygg tilgang og ikke overlate hele markedet til asiatiske produsenter. Det er altså ikke usannsynlig at sikker tilgang til batterier vil bli en europeisk prioritet på lik linje med tilgang til kritiske råmaterialer. Her vil norsk, og dermed europeisk, produksjon har en stor fordel som sikkert og forutsigbar.

Kunder

I motsetning til produsentene, er kundene generelt spredt over hele verden, med tyngdepunkt i høyt utviklede økonomier. For en eventuell produksjon av batterier eller komponenter i Innlandet i Norge vil nok de mest opplagte kundesegmentene i nær fremtid være for eksempel Europeisk bilindustri, energilagring og maritim industri. Det er også sannsynlig at batterier vil bli brukt i nye anvendelser som elektrifisering av anleggsmaskiner, skogsdrift o.l. Eksakte kundesegmenter er vanskelig å forutse, men det er rimelig å anta at det vil bli et internasjonalt marked. Prognosene (Figur 6) indikerer at forbrukerelektronikk vil flate ut, mens elektriske kjøretøy, stasjonær energilagring og nye anvendelser vil få en markedsøkning.



Figur 6. Segmentering av batterimarkedet for perioden 2000 – 2025 (kilde: Avicenne energy 2016).

Trenden tilsier at det vil komme «gigafabrikker» på 40 – 50 steder på kloden i løpet av overskuelig fremtid. Hver fabrikk må da enten betjene nærområdene med «standard-batterier» eller hele kloden med «nisje-batterier». Ifølge Northvolt vil behovet i 2030 være tilsvarende 50 gigafabrikker (Northvolt AB, 2017).

Markedet - nøkkelfakta

- Utviklingen av Li-ion batterier er i dag hovedsakelig styrt av industrielle applikasjoner og bilindustrien.
- Plug in-hybrid, elbil og elbusser vil bruke Li-ion: 15 B\$ markedsverdi i 2016 - 28 B\$ i 2020 og 38 B\$ i 2025 med stor vekst i Kina.
- Blybatteriene vil fortsatt være det største markedet i 2025 med hensyn på volum, men Li-ion vil være større i verdi fra 2020.
- Nye batteriapplikasjoner: Avbruddsfri strømforsyning, telekommunikasjon, gaffeltruck, medisin, lagring for husholdninger, strømnnettbalansering: CAGR > 10% i løpet av de neste 15 årene
- Batterier for strømnnettbalansering for stasjonære og industrielle applikasjoner vil nå 10 B\$ i markedet på pakkenivå i løpet av de neste 5 årene

Neste generasjons batteriteknologi

På kort sikt er det Li-ion batterier som er mest aktuelt for de fleste bruksområder, men på 15-års sikt må det antas at ny teknologi tar over i enkelte markedssegmenter.

Det er vanskelig å si nøyaktig hva neste generasjon batteri vil bestå av, da dette i stor grad vil være avhengig av bruken (f.eks. stasjonær lagring vs. bil). Men det er mulig å si noe basert på visse trender, i hvert fall innenfor Li-ion batterier. Den første er bruk av materialer som kan lagre mer kapasitet. Av de materialene som kan lagre mest kapasitet (teoretisk), har vi svovel (1672 mAt/g), litiummetall (3860 mAt/g) og silisium (4200 mAt/g). Det andre man må vurdere er at siden behovet for litiumbatterier stadig øker, så vil materialkostnadene også øke, da spesielt med tanke på prisen av NMC katoden (som består av nikkel, mangan og kobolt) og rent litiummetall. Dette vil forsterke behovet for teknologiutvikling der andre råstoffer brukes i batteriproduksjon. Dette kan f.eks. innebære å benytte silisium som anodematerialet, eller bytte ut katoden med andre forbindelser som binder litium med høyere teoretisk kapasitet, som f.eks. Li-svovel, Li-oksigen. Eller det kan også være å bytte ut litiumioner med natriumioner. Av disse alternativene er både Li-oksigen og natriumioner relativt "unge" teknologier som nok krever endel forskning.

Li-svovel trenger også en del forskning, men her ser vi allerede at teknologien nærmer seg en markeder da det dukker opp firmaer, f.eks i England, som fokuserer utelukkende på produksjon av Li-svovel batterier. Uansett hva neste generasjon teknologi vil være, må man regne med at når volumene øker vil det bli mer differensiering slik at hvert bruksområde får sin optimaliserte teknologi. De viktigste parameterne som vil avgjøre bruksområdet er; $\lambda \} \wedge \{ * \tilde{x} \omega @ \tilde{d} \tilde{A} \sim \wedge \} \omega \omega @ \tilde{d} \tilde{A} \tilde{c} \wedge \tilde{c} \tilde{E} \tilde{A} \tilde{a} \wedge \} @ \tilde{d} \tilde{A} * \tilde{A} \tilde{a}$ (se ordforklaring for detaljert beskrivelse av $\lambda \} \wedge \{ * \tilde{x} \omega @ \tilde{d} \tilde{A} \sim \wedge \} \omega \omega @ \tilde{d} \tilde{A} \tilde{c} \wedge \tilde{c} \tilde{E} \tilde{A} \tilde{a} \wedge \} @ \tilde{d} \tilde{A} * \tilde{A} \tilde{a}$).

Li-svovel har f.eks. potensialet til nå mye høyere gravimetrisk energi (Wt/kg) enn nåværende Li-ion teknologi, men vil mest sannsynligvis ikke være like konkurransedyktig på volumetrisk energitetthet (Wt/L), der dagens Li-ion teknologi er virkelig sterk (mer enn 700 Wt/L). Dette tilsier at Li-svovel vil være mer nyttig på områder der vekt er viktigere enn volum.

Innlandets forutsetninger for etablering av batteriindustri

Vi ser her nærmere på forutsetningene for lokalisering av batteriindustri, og hvordan Innlandet stiller med tanke på disse forutsetningene. Forutsetningene, og dermed Innlandets forutsetninger, vil avhenge av teknologi og markedssegment det satses på. Den opplagt grunnleggende viktigste forutsetningen er konkurransedyktighet, d.v.s. totalt kostnadsnivå. Dette vil bli behandlet først. Deretter vil andre viktige og mindre viktige forutsetninger bli behandlet.

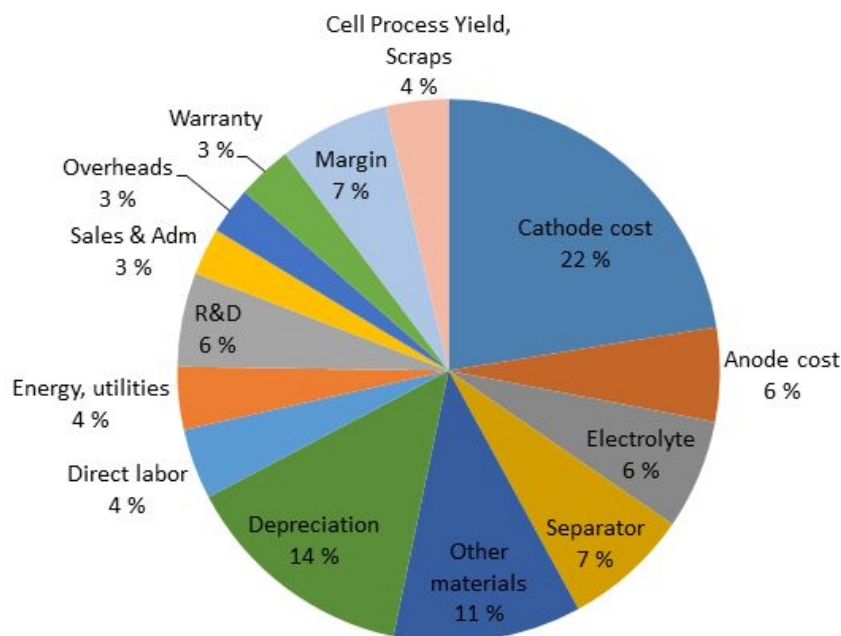
Vi deler inn forutsetningene i fem grupper

1. Økonomiske
2. Tekniske
3. Miljø- og klimamessige

4. Logistiske
5. Politiske

1. Økonomiske forutsetninger

For produksjon av Li-ion batterier er det naturlig å sammenligne Innlandet med land som Polen, Ungarn og Sverige, hvor det nå er konkrete planer om å etablere storskala batteriproduksjon. Figur 7 gir et anslag på hvor mye de ulike komponenten bidrar til den totale kostnaden ved batteriproduksjon.

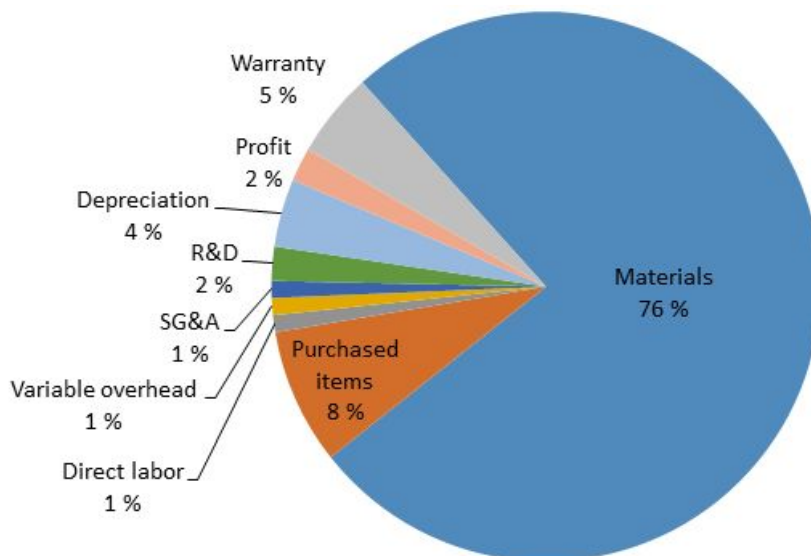


Figur 7. Kostnader av de ulike komponenten i batteriproduksjon per i dag (kilde: Avicenne energy 2017).

- Lønnsnivået i Norge er høyt men mange andre kostnader er lave. Dessuten er lønnsnivået noe lavere i Innlandet enn i andre deler av det sydlige Norge. Som figur 7 viser utgjør direkt arbeidskostnad bare en liten del av total kostnaden. Med høy kompetanse og erfaring innen automatisering i Innlandet ville denne andelen trolig være enda lavere. Norge er også et av de landene i verden med høyest produktivitet per arbeidstaker. Og med nedgang i olje- og gassindustrien er det grunn til å tro at tilgang til høyt kvalifiserte arbeidstakere vil være god.
- Man må regne med høy grad av automatisering og dette koster ikke mer i Norge enn i andre land. Det er god kompetanse på automatisering i Norge, da spesielt i områdene rundt Raufoss og NTNU Gjøvik.
- Materialkostnadene er prinsipielt de samme over alt i verden og vil om noen år utgjøre ca. $\frac{3}{4}$ av de totale kostnadene i en moderne gigafabrikk. Trenden ser ut til å være at materialene nå går opp i pris mens en del andre kostnader går ned. Ved å også etablere et resirkuleringsanlegg vil kostnadene kunne bli betraktelig lavere.
- Transportkostnader til sluttbruker vil være noe høyere i Norge enn fra konkurrenter mer sentralt i Europa

- Strøm er billig. Eidsiva anslår en pris på ca 28 øre/kWt. For å sammenligne med andre land, viser tall fra SSB at gjennomsnittspris for strøm i Norge var 33,3 øre/kWt i 2017 (0,04 dollar/kWt med dagens kurs-4 des 2017). Tilsvarende tall fra USA viser en strømpris på 0,21 dollar/kWt (kilde: Statista.com).

I en rapport utarbeidet av Argonne National Lab, er det bl.a. vist hvordan kostnadene må fordele seg i Teslas gigafabrick hvis de skal oppnå målet om 30 % kostnadsreduksjon frem til 2020 (Figur 8). Siden materialprisene snarere forventes å gå opp enn ned, vil alle de andre kostnadene måtte reduseres med mer enn 50 %. Dette er bare mulig ved å ha stor og rask produksjon samt høy grad av automatisering.



Figur 8. Kostnadsfordeling som Teslas gigafabrick vil måtte ha i 2020 for å kunne redusere toalkostnadene med 30 %. Siden materialkostnadene ikke kan antas å kunne reduseres, må de øvrige kostnadene reduseres med ca. 50 % (kilde: Argonne National Lab).

2. Tekniske forutsetninger

2.1 Relevant kompetanse / arbeidskraft

Regionen Innlandet tilbyr ingeniører, operatører og produksjonsmedarbeidere med høyt kompetansenivå, spesielt når det gjelder industriparken på Raufoss. For norskutviklet teknologi vil denne forutsetningen i stor grad være til fordel for etablering i Norge. I Norge har vi ikke spesialisert kompetanse innen storskala batteriproduksjon. Dette medfører at kompetanse må overføres til Norge, både for ingeniører, operatører, underleverandører av varer og tjenester.

Vi har i Innlandet og i Norge for øvrig god kompetanse på materialer og fabrikking av «deler», spesielt aluminium og kompositt. Vi har også en viss batterikompetanse på forskningsnivå spredt på ulike universiteter og institutter, samt noen etablerte selskaper og oppstartsselskaper. For å bygge en storskala Li-ion batterifabrick må imidlertid mye av kompetansen komme utenfra. Selv om arbeidskraft er dyr i Norge så vil

produksjonsprosessen i høy grad være automatisert, så det er arbeidskraft med høy kompetanse det blir behov for.

2.2 Relevant industri i nærheten (industriklynge)

Regionen Innlandet spenner fra Osloregionen til Trøndelag og representerer et veldig attraktivt området for industri og næringsliv. Innlandet er ikke kun geografisk attraktivt, men inkluderer viktige institusjoner, akademisk høy kompetanse og erfaring med industri.

For eksempel ligger industriparken i Raufoss omtrent 118 km fra Oslo og 93 km fra Gardermoen. I dag er det mellom 30 og 40 bedrifter innenfor fabrikkområdet på Raufoss med til sammen ca. 3.000 medarbeidere. Det finnes både produksjons- og servicebedrifter med 60.000 besøkende hvert år. Noen nøkkeltall om Raufoss industriparken: Parken har 2.864 dekar industriområde (1.848 dekar i Vestre Toten, resten i Gjøvik). Ca. 10.000 fulle vogntog kjører til og fra parken hvert år. NCE Raufoss er et konsortium av 22 bedrifter, hvorav et flertall er internasjonalt konkurransutsatte vareproduserende bedrifter. De er Norges ledende kompetansemiljø og industriklynge innen vareproduserende industri.

Et eksempel på en bedrift i NCE Raufoss som har klart seg meget bra er Hexagon Ragasco, som ble kåret til Norges smarteste industribedrift i 2015. Selskapet har ved å ta i bruk teknologisk løsninger klart å redusere produksjonstiden fra 74 til 14 sekunder per enhet. De eksporterer ca 95 % av sine produkter, noe som gjenspeiler muligheten til å kunne konkurrere internasjonalt hvis man har et godt produkt og en god produksjonslinje.

Økonomien i Norge har vært basert på olje- og gassindustrien veldig lenge, men i de siste årene har vi brukt mer av oljeinntektene enn vi tjente. Dette viser at vi trenger nye og bærekraftige forretningsområder her i landet. Vi ser i dag at teknologiutviklingen i verden er stor, og drives av automatiske og digitale løsninger, og i Norge er næringslivet sterkt påvirket av denne trenden.

Kompetansenivået i regionen innen automatiserte løsninger til industrien vil hjelpe til å redusere kostnader knyttet til produksjon av batterier. Industriklyngen Raufoss har røtter tilbake til den første industrialiseringen i Norge, og har i kraft av historien blitt et sterkt bevis på industriens evne til å omstille seg for å forbli konkurransedyktige og bærekraftige. Innlandet er en region som har klart seg uten nevneverdig olje- og gassindustri, og er i så måte bedre rustet enn resten av Norge til å skape verdier etter oljen.

Innlandet - komparative fortrinn

Norge og dermed Innlandet kan tilby Europas beste prisbetingelser for industrikraft.

Innlandet har et lavere kostnadsnivå enn andre forretnings- og industriklynger i Norge.

Innlandets eksisterende industriklynger er relevante i forhold til utvikling og storskala produksjon av batterier.

Innlandets eksisterende innovasjons- og utdanningsklynger er relevante i forhold til utvikling av batteriteknologi og storskala produksjon av batterier.

2.3 Tilgang til relevante FoU-miljøer

Innlandet tilbyr et stort fagmiljø som positivt påvirker de teknologiske- og industriutvikling i regionen. SINTEF Raufoss Manufacturing AS (SRM) er et allmennyttig forsknings- og utviklingsselskap med hovedkontor på Raufoss. Selskapet fungerer som et slags kunnskapssenter i NCE Raufoss, og har et tett samarbeid med andre enheter i SINTEF og NTNU. SRM har SINTEF som majoritetseier, men har også SIVA som deleier sammen med industribedriftene Hydro, Benteler, Nammo, Raufoss Technology, Kongsberg Automotive og Hexagon Composite. Dette gjør at SRM har en unik posisjon med forankring i både akademia og industri.

Forskningsrådet har nylig (2017) bevilget 100 millioner kroner til NTNU for å støtte grunnforskning på vareproduksjon. Midlene skal brukes til et nytt laboratorium kalt MANULAB. Laboratoriet skal styres av Nasjonalt senter for forskning på vareproduksjon, som nylig ble åpnet på NTNU Gjøvik, og er i samarbeid med SRM (som vil være et viktig ledd i å konvertere forskning til innovasjon). Den nye forskningsinfrastrukturen skal ha lokasjoner i Oslo, Trondheim, Ålesund og Gjøvik, og skal i teorien muliggjøre samarbeid for alle partene i et slags "virtuelt" laboratorium. Man skal kunne befinne seg hvor som helst i verden og utføre forsøk på utstyr som befinner seg på en av lokasjonene.

IKT Ressursforum har de siste årene jobbet med automatiserte og digitale løsninger i industrien, i samarbeid med Innovasjon Norge og NTNU Gjøvik. I tillegg til dette har Innovasjon Norge sammen med NHO jobbet med å bygge grønn teknologi inn i «merkevaren Norge». Dette kan bidra til en raskere overgang til grønne løsninger i andre land, samtidig som det øker eksportinntektene vi trenger når oljen ikke lenger er den største bidragsyteren i norsk økonomi.

En annen institusjon som er relevante i FoU-miljøet er det Regionale Forskningsfondet (RFF) i Innlandet, som skal bidra til forskningsdrevet innovasjon og regional utvikling. RFF Innlandet støtter prosjekter med klar regional relevans og med tydelig potensiale for regional verdiskaping. RFF vil kunne være en relevant aktør i utviklingen av en batteriindustri i Innlandet.

2.4 Rikelig og billig tilgang på elektrisitet

Det finnes ikke mange gigafabrikker ennå og det er noe usikkerhet knyttet til faktisk energiforbruk, siden dette kan variere mellom forskjellige produksjonsanlegg og metode og det er ikke alltid klart hvorvidt estimerer inkludere energiforbruk tidlig i verdikjeden, f.eks. i utvinning av råmaterialer og lignende. Etter omstendig litteraturgjennomgang mener vi at 108kWt i selve fabrikken per kWt batteri et godt estimat.

Yuan et al. (2017) har analysert energibruken i hvert trinn i produksjon av Li-ione batterier, se Tabell 1. De ulike bidragene summerer opp til 13,28 kWt for fremstilling av en celle med kapasitet 123,2 Wt. Det tilsvarer 108 kWt for å produsere 1 kWt batteri ferdig i batteripakke. Da er bare energiforbruk i fabrikken tatt med og ikke produksjon og raffinering av råvarene.

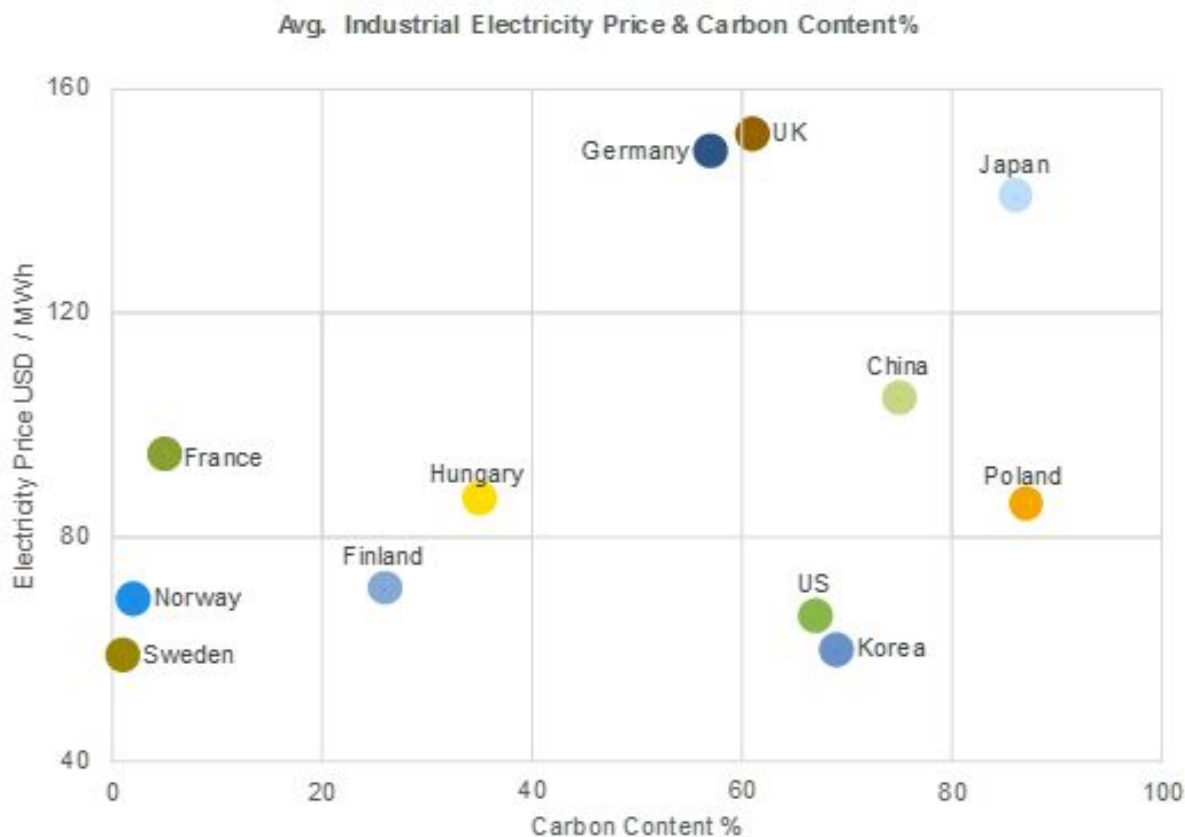
Væ^||FEO} ^i* a[!a!~ \AÁ |ã^Aá } AÁ ![á~ \•b } ^} Aæ Sã } Aæc /ã /Eãã^Nÿ æ AóãEÁ

Produksjonstrinn	Tid (min)	Energibruk per celle (kWt)	Energibruk per pakke (kWt / kg)
Mixing	1,0	0,11	0,12
Coating	0,3	0,18	0,21
Drying	192,0	6,22	19,29
Calendaring	1,2	0,38	1,15
Notching	3,0	0,71	2,14
Stacking	3,0	0,77	2,36
Welding & sealing	1,2	0,25	0,72
LiPF ₆ filling	1,2	0,59	0,20
Final sealing	3,6	0,10	1,87
Pre-charging	93,7	0,07	0,30
Dry room	13,2	3,9	21,78
Battery pack assembly			0,03

Med antatt 108 kWt per produsert kWt batteri så vil Teslas Nevada-fabrikk med planlagt produksjon på 150 GWt ha et strømforbruk på rundt 16 TWt per år. Med antatt kostnad for strømmen på for eksempel 40 øre per kWt så tilsvarer dette 6,4 milliarder kroner per år. Med en antatt total produksjonskostnad på i underkant av 100 USD per kWt batteri som tilsvarer en total produksjonskostnad på maksimalt 15 milliarder USD tilsvarende 125 milliarder NOK, så vil kostnaden for elektrisitet utgjøre ca 5 % av de totale produksjonskostnadene. Avicenne Energy har et litt lavere anslag for elektrisitetsforbruket på 4 % av de totale kostnadene (Figur 7), men det er usikkert hvilken energipris de har brukt.

Prisene på batterier har falt kraftig siden 2014 og forventes fortsatt å falle, så andelen av de totale kostnadene per produsert enhet som går til elektrisitet vil bli høyere fremover. Hvis Innlandet kan tilby elektrisitet til en lavere pris enn konkurrerende lokaliteter vil hvert øre i differanse utgjøre en besparelse på flere hundre millioner kroner.

Riktignok er det også andre steder i verden som har tilgang på billig elektrisitet. Ifølge Northvolt ligger prisnivået i Sverige lavere enn i Norge (Figur 9), og de «selger» også sin elektrisitet som «grønn». Tesla vil til og med dekke en del av sitt strømforbruk med egne solceller, og planlegger i tillegg vindmøller. Dette vil sannsynligvis kun dekke en liten del av det totale forbruket til en forholdsvis høy pris. Selv om man må regne med at sol- og vindenergi stadig blir billigere, kan man anta at norsk strøm fortsatt vil være svært konkurransedyktig i overskuelig fremtid.



Figur 9. Pris og CO₂-fotavtrykk for elektrisitet i ulike land. Kilde Northvolt.

2.5 Tilgang til råvarer

Råmaterialer representerer i dag ca. 50 % av totalkostnadene ved batteriproduksjon. I løpet av få år antas det at råvarenes andel vil øke til rundt 75 % fordi andre kostnader reduseres mens råvarene kan antas å øke i pris ettersom det vil bli økt etterspørsel. Dette er i dag likt for alle batteriprodusenter i Europa, og vil verken utgjøre en fordel eller ulempe for Innlandet.

Norge er et av få vestlige industriland land som har egen grafittproduksjon, Skalands grafitt på Senja. Skalands grafitt er av høy kvalitet og de har nylig gjennomført en studie som har vist at den er svært velegnet for fremstilling av såkalt «sfærisk grafitt» som brukes i anodene til Li-ion batterier.

2.6 Lav luftfuktighet og rent vann

Luften i en batterifabrikk må ha veldig lav luftfuktighet. Innlandet har generelt lav luftfuktighet, noe som vil kunne gi besparelse med tanke på avfukking av anlegget. Dette utgjør en betydelig del av det totale energiforbruket (se tabell 1).

3. Miljø- og klimamessige forutsetninger

Om vi skal sammenligne Norge med andre land i Europa, så er det naturlig å ta med EU-strategier i forhold til miljø, energi og forbruk av ressurser. Dette kan fremheves som et viktig poeng til langsiktig kommersialisering.

Sterkere miljøtiltak kan også bli helt avgjørende for økonomien i et prosjekt, avhengig av hvilke begrensninger som blir lagt på CO₂-utslipp. I tillegg er bakgrunnen for batteri-elektrifisering oftest hensyn til miljøet, og dermed er CO₂ avtrykket fra batteriproduksjon antagelig viktigere enn for mange andre produkter.

3.1 CO₂-fotavtrykk

Ulike beregninger viser at batteriproduksjon genererer 130 – 200 kg CO₂ /kWh. Omtrent halvparten fra selve produksjonen av batterier og den andre halvparten fra produksjonen av råmaterialene. En studie som ansees som særlig pålitelig ble publisert av Ellingsen et al (2014), og konkluderte med rundt 180 kg CO₂/kWh for de teknologiene som er mest brukt i dag. Ser vi på hvordan dette slår ut for en del ulike land basert på elektrisitetsmikst i tabell 2 nedenfor, så ser vi at Sverige (og dermed også Norge) kommer best ut.

Væ^//AGUç^!•ãç|èÁ|^|dãã°{ã•Á|ã^Áããã

Land	g CO ₂ -ekv pr kWh el	kg CO ₂ -ekv pr kWh batteri fra el	% av Ellingsen manufacturing	% av Ellingsen total
Sweden	50	7	7%	42%
Brazil	300	46	43%	65%
Ellingsen ref		107	100%	100%
USA	700	112	105%	103%
China	1000	159	149%	130%
Poland	1050	169	159%	136%
India	1400	226	212%	170%

4. Logistiske forutsetninger

Markedet vil i første omgang sannsynligvis bestå av nordiske og europeiske kunder. Dermed vil produksjon i Innlandet stå i direkte konkurranse til de planlagte gigafabrikkene i Tyskland, Polen og Sverige. I denne sammenheng bør det nevnes at industribedriftene i Innlandet er veldig eksportrettet (som for eksempel i Raufoss med mer enn 85% eksportandel) i svært konkurranseutsatte bransjer som for eksempel bil, nyttekjøretøy eller forsvar. Tilhørende transport/logistikksystem er bygget opp for å understøtte konkurransekraften i eksportbedriftene. Området har en god tilknytting til motorvei og tog, samt kort avstand til Gardermoen hovedflyplassen. Dette gjør at markedet i Norden (Norge, Sverige og Finland) kan tilfredsstilles uten at transport og logistikk vil medføre store kostnader. Markedet i Norge vil mest sannsynligvis rette seg mot maritime anvendelser, og da vil Innlandet være godt plassert i forhold til mange ulike punkter langs kysten. Derimot vil transport til markeder i Sentral-Europa være forholdsvis kostbart sammenlignet med f.eks. Polen og Ungarn.

Samtidig er det viktig å huske at det per i dag ikke eksisterer produsenter av celler eller cellekomponenter i Europa, og at det importeres stort sett fra land som Kina, Korea og Japan. Produksjon i Norge vil altså i nærmere framtid være den eneste, eller en av få, som ligger i Europa og dermed nærmest sluttbrukere i f.eks. den tyske bilindustrien.

5. Politiske forutsetninger og incentiver

Norge er et politisk stabilt land med et robust økonomisk system, og har høy grad av rettssikkerhet som gjør det trygt for investorer og kunder. For kunnskapsbaserte industrier som batteriindustri, er IP-beskyttelse av høyeste betydning. I Norge ivaretar Patentstyret beskyttelsen av IP og prosessen er lettere sammenlignet med andre land i Europa. Økonomien i Norge er i stor grad basert på olje- og gassindustri, men i de siste årene har fokus skiftet til nye og bærekraftige teknologier. Staten og det private næringslivet samarbeider for å utvikle nye teknologiske løsninger som kan tilfredsstille nåværende og fremtidige behov i Norge og Europa. Det finnes mange institusjoner både i Norge og Innlandet som forenkler samarbeidet mellom Norge og EU-land. Dette danner store fordeler ved etablering av nye virksomheter i Norge, og det er spesielt attraktivt for utenlandske selskaper.

Incentiver må tas med i regnestykket når det gjelder nye teknologier. Det må antas at konkurrerende lokasjoner for produksjonsanlegg i Europa vil motta betydelig direkte og indirekte statsstøtte. Også i Norge finnes det mange forskjellige ordninger som er godt stilt for å bidra økonomisk til utviklingen av nye teknologier. I forhold til nye innovative teknologier vil institusjoner som Innovasjon Norge (IN), ENOVA, Regionale Forskningsfondet (RFF), og Forskningsrådet (NFR) forenkle samarbeidet mellom fagmiljøet, industri, privat næringsliv og staten. Økonomiske incentiver kan f.eks. være finansiering eller reduserte skatter og avgifter.

Kilder

Avicenne Energy. (2016). *V@ÁÚ^&@e*^æ/ÁÓæ^i^ÁT æ\^oá) áÁT æ) Á!'^} á•ÁGFI ÉGÍ*.

Avicenne Energy. (2017). *V@ÁÚ^&@e*^æ/ÁÓæ^i^ÁT æ\^oá) áÁT æ) Á!'^} á•ÁÓæ^i^Á GFI*. Nice, France.

Clean Energy Manufacturing Analysis Centre CEMAC. (2015). *Ó[[{ à^i*^Á^, ÁÓ^i*^Á Ø) æ) &^*. International Trade Centre.

A. Dinger, R. Martin, X. Mosquet, M. Rabl, D. Rizoulis, M. Russo, *^ó)Batteries for electric cars: Challenges, opportunities, and the outlook to 2020* BCG (2010)

Curry, C. (2017). *V[æ)Á^ { æ) áÁ i^Áæ^i^Á •Á ÁÓ^i^Á*. Bloomberg New Energy Finance.

Ellingsen, A.-W. L. (2013). Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *F^~i^} æ) Á^ Á^ á^ •dæ)ÁÓ&[[*^*, 18, 113 - 124.

Golson, J. (2017, January 11). Tesla will power its Gigafactory with a 70-megawatt solar farm. *V@Á^i*^*. Retrieved from <https://www.theverge.com/2017/1/11/14231952/tesla-gigafactory-solar-rooftop-70-megawatt>

Nelson, P. e. (n.d.). *T[á^/á^ *Á@Á^i^f{i æ) &^á) áÁÓ^i^Á •d^ Á^@ { É) } ÁÓæ^i^Á •Á^i^Á Ó^&dæ)Á^Á^ @^*. Argonne National Laboratory.

Northvolt AB. (2017). Total demand for batteries in Europe. *Óæ^i^Á •ÁGFI*. Nice, France.

<http://amp.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/iaa-vw-dringt-auf-europaweiten-bund-fue-r-batteriezellen/20322088.html>

<http://europe.autonews.com/article/20170102/ANE/161219895/automakers-hunt-for-battery-cell-capacity-to-deliver-on-bullish-ev>