

# FREMTIDENS BATTERIER SKABES MED MATERIALE- VIDENSKAB

---

DORTHE BOMHOLDT  
RAVNSBÆK

LEKTOR VED INSTITUT FOR FYSIK, KEMI OG FARMACI, SYDDANSK UNIVERSITET

---

Udviklingen af det genopladelige lithium-ion-batteri har medført, hvad der kan betragtes som en mindre teknologisk revolution. Nu står teknologien over for sin næste store udfordring: billig, sikker og effektiv energiopbevaring i el-biler, stabilisering af elforsyningen og opbevaring af vedvarende energi. Det er en udfordring, der kræver fornyet materialevidenskabelig viden om batteriets funktionalitet helt ned på atomar skala.



FOTO: ISTOCKPHOTO

Overvej et øjeblik, hvordan hverdagen ville se ud uden batterier. Ingen mobiltelefon og tablets. Ingen fjernbetjening, lommelygter og kameraer. Og i den mere alvorlige afdeling: ingen høreapparater eller pacemakere. Uden batterier er det også svært at forestille sig en fungerende satellit og dermed hele vores informationssystem. Vi kan også overveje, hvordan vores forestillinger om fremtiden ser ud, hvis vi ikke er i stand til at udvikle forbedrede genopladelige batterier. Vores idéer om store fremskridt inden for elektriske køretøjer og udnyttelse af vedvarende energi er baseret

på adgang til batterier, der er billigere, mere sikre, har længere levetid og højere effektivitet end den nuværende teknologi. Udviklingen af fremtidens batterier er omdrejningspunktet for min forskning som materialekemiker.

I dag benytter vi primært genopladelige lithium- (Li) ion-batterier. Et sådant batteri består basalt set af tre essentielle komponenter, som varetager batteriets funktion: to faste elektroder og en flydende elektrolyt (se figur). Elektrisk strøm, som er det, vi opbevarer i

Vores idéer om store fremskridt inden for bla. vedvarende energi er baseret på adgang til batterier, der er billigere, mere sikre, har længere levetid og højere effektivitet end den nuværende teknologi.

batteriet, består af elektroner. Når vi oplader et batteri, vil strømmen i elledningen føre elektroner fra den positive elektrode til den negative. Da elektroner er negativt ladede, opbygges der positiv ladning i den positive elektrode. For at modveje denne, vil positivt ladede Li-ioner forlade elektroden, hvilket er muligt, da elektrolytten er i stand til at transportere Li-ioner (men ikke elektroner) og føre dem over i den negative elektrode. Når strømmen i batteriet bruges, sker den omvendte proces.

Elektrodernes evne til at frigive og optage elektroner og ioner er således fuldstændig afgørende for batteriets egenskaber. Den energi, processen kræver, er bestemmende for batteriets spænding (volt), processens hastighed bestemmer, hvor mange watt batteriet kan levere, antallet af ioner og elektroner, der kan være i elektroden, afgør batteriets kapacitet, og elektrodens evne til at gentage processen, afgør batteriets levetid. Derfor kan vi, ved at ændre elektrodematerialerne kemisk, ændre og dermed forbedre batteriets egenskaber.

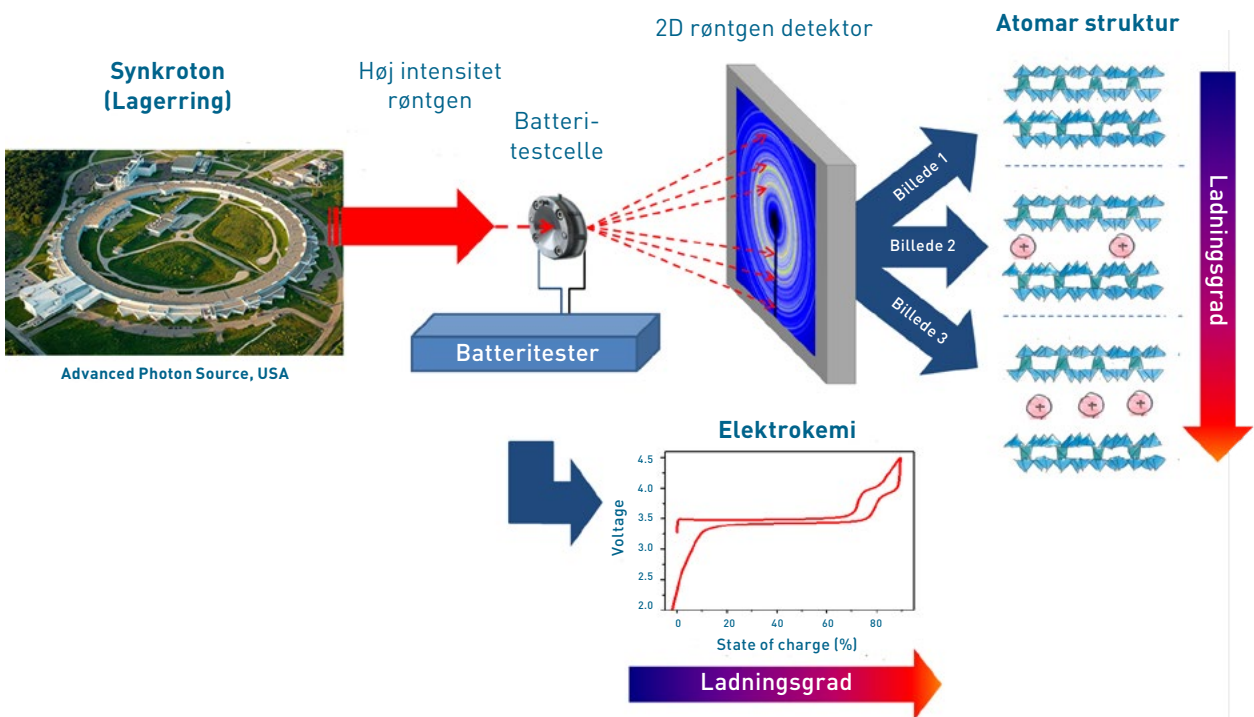
I min forskning kombinerer jeg udviklingen af nye materialer med undersøgelser, der giver øget forståelse af sammenhænge mellem batteriets egenskaber, elektrodernes kemi-

ske sammensætning og deres struktur helt ned på det atomare niveau. På den måde når jeg frem til nye designkriterier for fremtidens elektrodematerialer.

Sammen med mit team af yngre forskere og studerende tager jeg typisk udgangspunkt i nye elektrodematerialer med kemiske sammensætninger, der vil være billige at fremstille, og som ikke indeholder miljø- og ressourcelastende grundstoffer. F.eks. arbejder vi på at benytte jern i stedet for sundhedsskadeligt kobolt, som i dag indgår i mange batterier, og vi udvikler materialer baseret på silicium, der er et af de mest forekommende og dermed billige grundstoffer.

For at fremstille elektrodematerialer, der effektivt kan optage og afgive ioner, er det nødvendigt at kontrollere både kemisk sammensætning, morfologi på mikroskala og struktur på atomar skala. Dette opnås ved at ændre betingelserne under fremstillingen såsom udgangskemikalierne, opløsningsmidler, temperatur og tryk. Derfor screener vi typisk en række fremstillingsbetingelser og benytter derefter en række karakteriseringsteknikker til at få information om sammensætning og struktur på forskellige

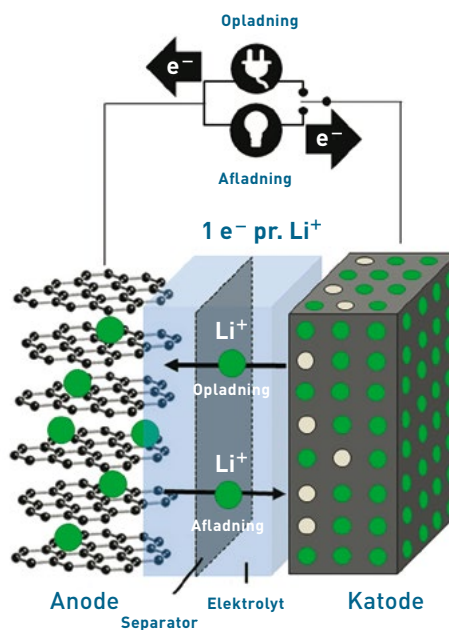
Konceptet bag røntgenspredningsmålinger fra et batteri under af- og opladning. Høj intensitets røntgenstråling (fra en synkrotron) sendes gennem det specialdesignede testbatteri. Den spredte stråling opfanges af en røntgendetektor, som tager et billede hver 10. sekund. Ud fra røntgenbillederne kan den atomare struktur af elektrodematerialer udfregnes. Samtidig af- og oplades batteriet, og det elektrokemiske signal optages. Gennem kombination af de to datatyper opnås information, der ikke er tilgængelig ved brug af andre metoder.



længdeskalaer. Sideløbende konstruerer vi ud fra elektrodematerialerne batterier, som testes for at bestemme kapacitet, effektivitet og stabilitet i relation til af- og opladning af batteriet. Således udleder vi sammenhænge mellem materialets ydeevne som batterielektrode og dets karakteristika såsom sammensætning, morfologi og struktur.

En hjørnesten i min forskning er undersøgelse af, hvorledes de atomare strukturer af elektrodematerialerne ændrer sig, mens batteriet af- og oplades. Det giver os vigtig information om batterimaterialernes funktionalitet, idet mekanismen bag de strukturelle ændringer og deres reversibilitet er afgørende for batteriets kapacitet, effektivitet og levetid. Til disse undersøgelser benytter jeg røntgenspredning, hvori elektrodematerialet gennemstråles af en fokuseret røntgenstråle, der spredes i forskellige vinkler. Spredningsvinklerne afhænger af afstanden mellem atomerne i materialet, mens intensiteten af den spredte stråling bestemmes af, hvilke atomer materialet består af. På den måde har ethvert materiale sit eget unikke "røntgen-fingeraftryk", og selv meget små ændringer i materialets atomare opbygning observeres som ændringer i den spredte røntgenstråling. For at gøre det muligt at optage røntgenspredningen, mens batteriet er i brug, benytter vi specialdesignede testbatterier, der tillader røntgenstrålingen at trænge igennem hele batteriet. Hertil er det dog nødvendigt at benytte stråling med meget høj intensitet og høj energi. Derfor foregår eksperimenterne ved store internationale synkrotronstrålingsfaciliteter (lagerringe), der kan levere den påkrævede stråling og har den nyeste teknologi inden for røntgendetektorer. Med dette udstyr kan vi tage et højt opløst "røntgenbillede" af batteriet på 10-30 sekunder – tager vi billederne kontinuert, mens batteriet er i brug, får vi en "røntgenfilm", som kan omsættes til information om, hvordan den atomare opbygning af elektroderne ændrer sig under af- og opladning. Det er essentielt, at vi kan få information om omdannelser under dynamiske betingelser, mens batteriet er i brug, da undersøgelser af batteriet i hvile kan give et helt forkert billede af, hvad der foregår på atomart niveau.

Udover forskning i nye materialer til forbedrede Li-ion-batterier er jeg og mit team meget optaget af nye typer af batteriteknologier, som er baseret på andre ioner, f.eks. natrium- (Na) og magnesium- (Mg) ioner. Der er ca. 1000



Et typisk lithium (Li) ion batteri består af to elektroder (anoden og katoden) adskilt af en separator-membran (der forhindrer kortslutning) og en flydende elektrolyt. Når batteriet er opladt befinder Li-ionerne sig i anoden, som typisk er lavet af grafit. Heri sidder Li-ionerne mellem karbonlagene. Når batteriet aflades trækkes strøm, dvs. elektroner gennem det ydre kredsløb (ledningen) over i katoden. Li-ionerne transporteres nu via den flydende elektrolyt over i katoden. Katoden er typisk lavet af et oxid eller fosfat baseret materiale, f.eks.  $\text{LiCoO}_2$  eller  $\text{LiFePO}_4$ .

gange mere Na og Mg end Li på jorden, og det kan udvindes direkte fra havvand. Disse batterier vil derfor kunne fremstilles langt billigere. Derudover har Mg den store fordel, at for hver Mg-ion, der transporteres mellem elektroderne i batteriet, vil der flyttes to elektroner gennem ledningen. På den måde vil batteriet generere den dobbelte strøm. Desværre er udskiftningen af Li med de alternative ioner ikke så simpel, som man kunne ønske. Na-ionen er knap 30 % større end Li-ionen, mens Mg-ionen har omtrent samme størrelse, men den dobbelte ladning. Derfor vil elektrodematerialernes atomare struktur påvirkes helt anderledes, når ionerne optages og frigives, hvilket ændrer batteriets egenskaber – i særlig grad stabiliteten. Det er derfor meget vigtigt, at vi opbygger ny viden om de ændringer, der induceres på atomart plan, når batteriet af- og oplades, så vi kan udlede designkriterier for denne type elektroder.

**“Vi forsøger at fremstille batterier, som er billigere og mere effektive.”**