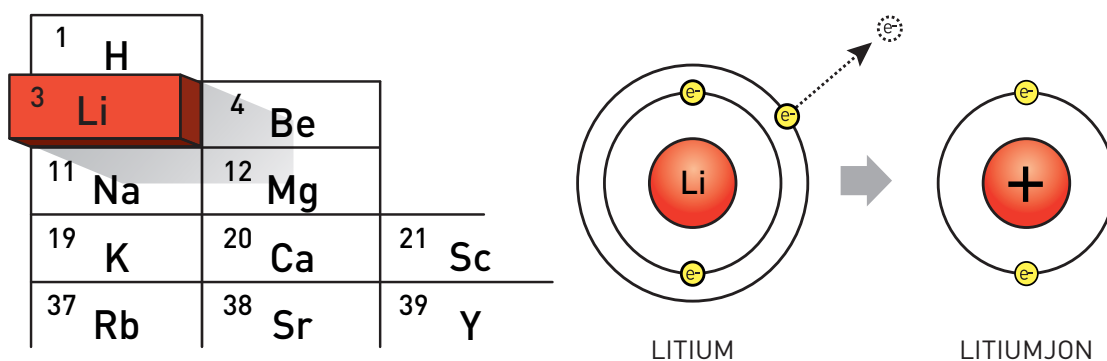


## De har utvecklat världens mest kraftfulla batteri

*John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham och Akira Yoshino belönas med Nobelpriset i kemi 2019 för utvecklingen av litiumjonbatteriet. Detta laddningsbara batteri har lagt grunden för trådlös elektronik som mobiltelefoner och bärbara datorer. Det möjliggör också en fossilfri värld, och används för allt från att lagra energi från sol- och vindkraft, till att driva elbilar.*

Det är sällan som ett grundämne spelar en central roll i ett drama, men i berättelsen om 2019 års Nobelpris i kemi finns en tydlig huvudrollsinnehavare: litium. Det är ett gammalt ämne som skapades redan under de första minuterna av big bang. För människan blev det känt 1817 när de svenska kemisterna Johan August Arfwedson och Jöns Jacob Berzelius renade fram det ur ett mineralprov från Utö gruva i Stockholms skärgård.

Berzelius namngav det nya grundämnet efter grekiskans ord för sten, lithos. Det tunga namnet till trots är det vårt lättaste fasta grundämne och denna lätthet bidrar till att vi i dag knappt märker att vi har en mobiltelefon i fickan.



Litium är en metall. I det yttre elektronskalet har litium endast en elektron, som har en stark drivkraft att lämna litium för en annan atom. När detta sker bildas en positivt laddad litiumjon, som är mer stabil.

Men för att vara korrekt: det var egentligen inte rent metalliskt litium som de svenska kemisterna hittade, utan litiumjoner i form av ett salt. Rent litium har orsakat många brandutryckningar, inte minst i den historia vi här ska berätta. Det är ett instabilt ämne, som måste förvaras i olja för att inte reagera med luften.

Litiumets svaghet – reaktiviteten – är också dess styrka. I början av 1970-talet drog **Stanley Whittingham** nytta av litiumets enorma drivkraft att släppa ifrån sig sin yttersta elektron när han utvecklade det första fungerande litiumbatteriet. 1980 fördubblade **John Goodenough** den positiva elektrodens potential, vilket skapade förutsättningar för ett mycket mera kraftfullt batteri. År 1985 lyckades **Akira Yoshino** eliminera litiumet från batteriet och istället basera det helt på litiumjoner, som är säkrare än rent litium. Därmed blev batteriet praktiskt användbart. Litiumjonbatterier har gjort största nytta för mänskligheten, bland annat genom att möjliggöra bärbara datorer, mobiler, elbilar och lagring av sol- och vindkraft.

Nu beger vi oss femtio år tillbaka i tiden, då den spänningsrika berättelsen om litiumjonbatteriet börjar.

## Bensindimmor väcker liv i batteriforskningen

Under mitten av 1900-talet ökade antalet bensindrivna bilar i världen kraftigt och avgaserna förvärrade den smog som höll på att förgifta storstädernas invånare. Detta tillsammans med den växande insikten om att olja var en ändlig resurs blev en väckarklocka för både biltillverkare och oljeproducenter. Om deras bolag skulle överleva behövde de satsa på elbilar och alternativa energikällor.

Både elbilar och alternativa energikällor kräver kraftfulla batterier som kan lagra mycket energi. Vid den här tiden fanns egentligen bara två slags laddningsbara batterier: det tunga blybatteriet som uppfanns redan 1859 (och än i dag fungerar som startbatteri i bensindrivna bilar) och nickel-kadmiumbatteriet som utvecklades under 1900-talets första hälft.

## Oljebolagen investerar i ny teknik

Hotet om att oljan skulle ta slut, gjorde att oljefjätten Exxon beslöt att bredda sin verksamhet. I en satsning på grundforskning rekryterade de några av dåtidens mest framstående forskare inom energiområdet och gav dem frihet att göra i princip vad de ville, bara det inte handlade om olja eller bensin.

Bland de som flyttade till Exxon 1972 fanns Stanley Whittingham. Han kom från Stanforduniversitetet, där han bland annat hade utforskat fasta material som på atomnivå formar hålrum där laddade joner kan sätta sig. Detta fenomen kallas interkalering. När jonerna fångas inuti materialet, förändras materialets egenskaper. Vid Exxon började Stanley Whittingham och hans kollegor undersöka supraledande material, bland annat tantaldisulfid, som kan interkalera joner. De förde in joner i tantaldisulfiden och studerade effekten på ledningsförmågan.

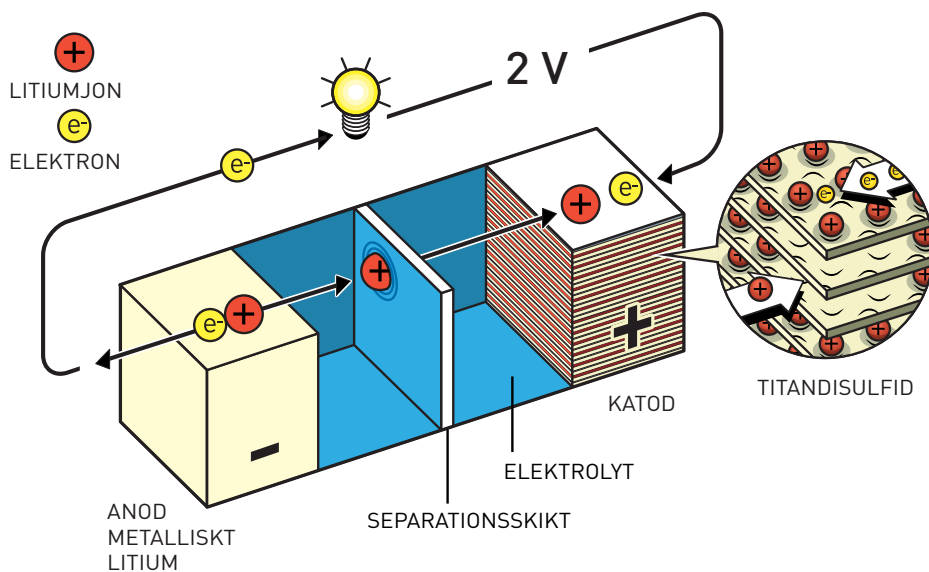
## Whittingham upptäcker ett extremt energitätt material

Som så ofta inom vetenskapen ledde experimenten till en oväntad och värdefull sidoupptäckt. Det visade sig att kaliumjoner påverkade tantaldisulfidens ledningsförmåga, och när Stanley Whittingham började detaljstudera materialet observerade han att det hade en mycket hög energitäthet. De interaktioner som uppstod mellan kaliumjonerna och tantaldisulfiden var överraskande energirika och när han mätte materialets spänning låg den på ett par volt. Det var bättre än många av dåtidens batterier. Stanley Whittingham insåg snabbt att det var dags att växla in på ett nytt spår: att utveckla ny teknik som kunde lagra energi för framtidens elbilar. Tantal tillhör dock de tyngre grundämnena och några fler blytungna batterier behövdes inte på marknaden. Så han ersatte tantal med titan, ett grundämne som har liknande egenskaper men är mycket lättare.

## Litium i den negativa elektroden

Men skulle inte litium spela huvudrollen i den här berättelsen? Jo, det är här som litiumet gör entré: som den negativa elektroden i Stanley Whittinghams innovativa batteri. Att han valde litium var ingen slump. I ett batteri ska det strömma elektroner från den negativa elektroden, anoden, till den positiva katoden. I anoden vill man därför ha ett material som villigt ger ifrån sig elektroner, och litium är ett av de grundämnena som lättast släpper ifrån sig en elektron.

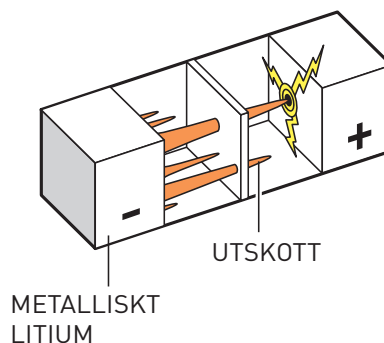
Resultatet blev ett laddningsbart litiumbatteri som fungerade i rumstemperatur och bokstavligen bar på en stor potential. Stanley Whittingham for till Exxons huvudkontor i New York för att berätta om projektet. Mötet varade i ungefär en kvart och ledningsgruppen tog därefter ett snabbt beslut: de skulle utveckla ett kommersiellt gångbart batteri av Whittinghams upptäckt.



De första laddningsbara batterierna hade solida metaller i elektroderna som reagerade kemiskt med elektrolyten och bröts ner, vilket förstörde batterierna. Fördelen med Whittinghams litiumbatteri var att litiumjoner istället lagrades i hålrum i titandisulfiden i katoden. När batteriet användes flödade litiumjoner från litiumet i anoden till titandisulfiden i katoden. När batteriet laddades strömmade litiumjonerna tillbaka.

## Batteriet exploderar och oljepriset sjunker

Gruppen som skulle börja producera batteriet gick dessvärre på en och annan mina. När det nya litiumbatteriet laddades upprepade gånger, bildades tunna utskott av litium från elektroden. När dessa nådde den andra elektroden kortslöts batteriet, vilket kunde leda till en explosion. Brandkåren fick rycka ut och släcka flera bränder. Till slut hotade de med att laboratoriet skulle få betala för de speciella ämnen som krävs för att släcka litiumbränder.



När batterier som har rent litium i anoden laddas, bildas utskott av litium som kan kortsluta batteriet och orsaka en explosion.

För att få ett säkrare batteri blandades aluminium in i den metalliska litiumelektroden och elektrolyten mellan elektroderna förändrades. År 1976 offentliggjorde Stanley Whittingham sin upptäckt och batteriet började produceras i liten skala för en schweizisk klocktillverkare som skulle använda det i soldrivna ur.

Nästa mål var att skala upp det laddningsbara litiumbatteriet så att det kunde driva en hel bil. Men i början av 1980-talet sjönk oljepriset kraftigt och Exxon behövde genomföra besparingar. Utvecklingsarbetet lades ned och Whittinghams batteriteknik licensierades ut till tre olika företag i tre olika världsdelar.

Detta innebar dock inte att utvecklingen avstannade. Där Exxon gav upp, tog John Goodenough vid.

## Oljekrisen får Goodenough att intressera sig för batterier

Som barn hade John Goodenough stora problem att lära sig läsa. Det var ett skäl till att han drogs till matematiken och så småningom – efter andra världskriget – även fysiken. Under många år arbetade han vid Lincolnlaboratoriet vid Massachusetts Institute of Technology, MIT. Där bidrog han bland annat till utvecklingen av det som kallas *random access memory (RAM)*, som än i dag är en fundamental komponent i datorer.

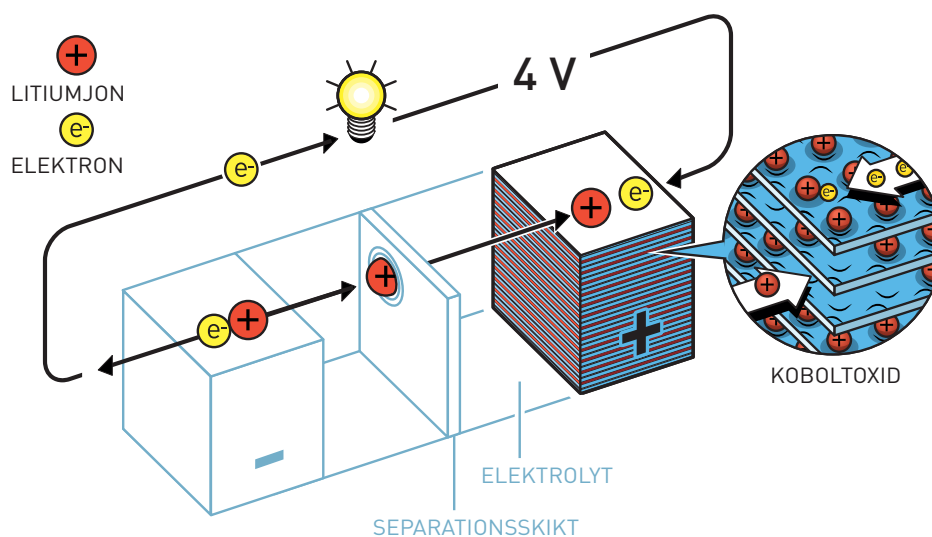
Under 1970-talet påverkades John Goodenough, som så många andra, av oljekrisen och han ville bidra till att utveckla alternativa energikällor. Vid Lincolnlaboratoriet, som var finansierat av USA:s flygvapen, tilläts dock inte vilken forskning som helst. När han blev erbjuden en tjänst som professor i oorganisk kemi vid Oxforduniversitetet i Storbritannien, tog han därför chansen och gav sig in i den viktiga energiforskningen.

## Hög spänning när litiumjoner gömmer sig i koboltoxid

John Goodenough kände till Whittinghams nydanande batteri, men hans djupa kunskaper om materialets inre sa honom att katoden skulle kunna få en högre potential om den byggdes av en metalloxid istället för en metallsulfid. Därför fick ett par personer i hans forskargrupp i uppdrag att hitta en metalloxid som gav ett högt spänningstal när det interkalerade litiumjoner, men som inte kollapsade när jonerna drogs ur materialet.

Det systematiska sökandet blev mer framgångsrikt än vad John Goodenough hade vågat hoppas på. Om Whittinghams batteri genererade en spänning på drygt två volt, nådde Goodenoughs batteri med litium-koboltoxid i katoden nästan dubbelt så högt, till fyra volt.

En nyckel till framgången var att John Goodenough insåg att batterier inte måste tillverkas i sitt uppladdade tillstånd, som man hade gjort tidigare. Istället kunde de laddas i efterhand. År 1980 publicerade han upptäckten av det nya energitäta katodmaterialet, som trots att det var lätt kunde ge kraftfulla batterier med hög kapacitet. Därmed tog han ett avgörande steg mot den trådlösa revolutionen.



Goodenough började använda koboltoxid i litiumbatteriets katod. Det ledde till att potentialen nästan fördubblades. Därmed blev batteriet mer kraftfullt.

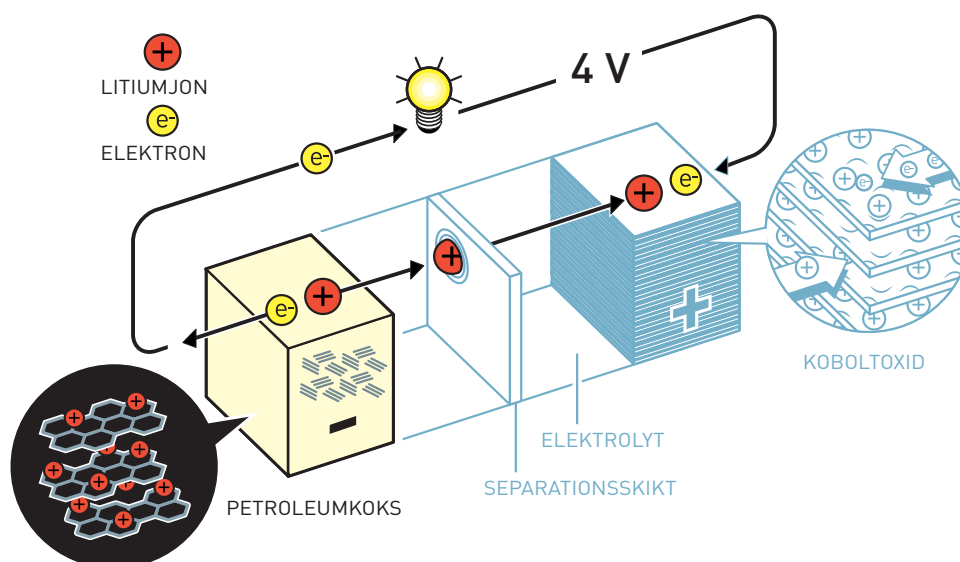
## Japanska bolag söker lätta batterier till ny elektronik

I väst hade dock intresset för alternativ energiteknik falnat. När oljan sedan blev billigare var det heller inte längre lika intressant att investera i utvecklingen av elbilar. I Japan var situationen en annan. Där ropade elektronikföretagen efter lätta och laddningsbara batterier som kunde driva nydanande elektronik, som videokameras, bärbara telefoner och datorer. En som såg behovet var Akira Yoshino vid Asahi Kasei Corporation. Eller som han själv har uttryckt det: ”Jag nosade mig liksom till i vilken riktning trenderna rörde sig. Man kan säga att jag hade ett bra luktsinne.”

## Yoshino bygger det första kommersiellt gångbara litiumjonbatteriet

När Akira Yoshino beslöt sig för att utveckla ett funktionellt laddningsbart batteri, utgick han från Goodenoughs litium-koboltoxid som katod. Som anod försökte han använda olika kolbaserade material. Forskare hade tidigare visat att litiumjoner kan interkaleras mellan de molekylära skikten i grafit, men grafiten bröts ner av batteriets elektrolyt. Genombrottet kom då Akira Yoshino istället prövade med petroleumkoks, en slaggprodukt från oljeindustrin. När han laddade petroleumkoksen med elektroner, drogs litiumjonerna in i materialet. När han sedan slog på batteriet, strömmade både elektroner och litiumjoner mot koboltoxiden i katoden, som har en mycket högre elektrisk potential.

Det batteri Akira Yoshino fick fram är stabilt, lätt, har hög kapacitet och en spänning på anmärkningsvärda fyra volt. Den stora fördelen med litiumjonbatteriet är att jonerna interkaleras i elektroderna. De flesta andra batterier bygger på kemiska reaktioner där elektroderna sakta men säkert förändras. När litiumjonbatteriet laddas upp eller ur, transporteras bara joner genom elektrolyten mellan elektroderna utan att reagera med omgivningen. Därför blir batteriet långlivat och går att ladda hundratals gånger innan prestandan blir för dålig.



Akira Yoshino utvecklade det första kommersiellt gångbara litiumjonbatteriet. I katoden använde han Goodenoughs litium-koboltoxid och i anoden ett kolmaterial, petroleumkoks, som också det kan interkalera litiumjoner. Batteriets funktion bygger inte på några nedbrytande kemiska reaktioner. Istället flödar litiumjoner fram och tillbaka mellan elektroderna. Det gör att batteriet håller längre.

En annan stor fördel är att batteriet är fritt från rent litium. När Akira Yoshino 1986 skulle undersöka batteriets säkerhet, tog han ändå det säkra före det osäkra. I en anläggning utformad för att testa explosiva ämnen släppte han en stor järnklump på batteriet. Men ingenting hände. När han upprepade samma experiment med ett batteri som innehöll rent litium, resulterade det tvärt om i en våldsam urladdning.

Att litiumjonbatteriet klarade säkerhetstestet var avgörande för batteriets framtid. Akira Yoshino själv menar att det var ”stunden när litiumjonbatteriet föddes”.

## Litiumjonbatteriet – en förutsättning för ett fossilfritt samhälle

År 1991 började de första litiumjonbatterierna säljas av ett stort japanskt elektronikföretag, vilket ledde till en revolution av elektroniken. Mobilerna krympte, datorerna blev bärbara och vi fick musikspelare och surfplattor.

Efter detta har forskare världen över fortsatt att vända ut och in på det periodiska systemet i jakten på ännu bättre batterier, men ingen har ännu lyckats utveckla något som överträffar litiumjonbatteriets höga kapacitet och spänning. Däremot har man förändrat och förbättrat litiumjonbatteriet. John Goodenough har bland annat ersatt koboltoxiden med järnfosfat, vilket har gett ett mer miljövänligt batteri.

Som nästan allting annat innebär tillverkningen av litiumjonbatteriet en miljöbelastning, men miljövinsterna är samtidigt stora. Batteriet har möjliggjort en renare energiteknik och elbilar, och bidrar på så vis till minskade utsläpp av växthusgaser och partiklar i den luft vi andas.

John Goodenough, Stanley Whittingham och Akira Yoshino har genom sitt arbete skapat förutsättningar för ett trådlöst och fossilfritt samhälle. De har därmed gjort mänskligheten den största nytta.

---

## LÄS MER

Mer information om årets priser, bland annat en vetenskaplig bakgrundsartikel på engelska, finns på Kungl. Vetenskapsakademiens webbplats, [www.kva.se](http://www.kva.se), och [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org). Där kan man också titta på presskonferenser, Nobelföreläsningar och annat videomaterial. Mer information om utställningar och aktiviteter kring Nobelpriset och Ekonomipriset finns på [www.nobelprizemuseum.se](http://www.nobelprizemuseum.se).

---

## Kungl. Vetenskapsakademien har beslutat utdela Nobelpriset i kemi 2019 till

### **JOHN B. GOODENOUGH**

Född 1922 (97 år) i Jena, Tyskland. Fil.dr 1952 vid The University of Chicago, USA. Virginia H. Cockrell Centennial Chair in Engineering vid The University of Texas at Austin, USA.

### **M. STANLEY WHITTINGHAM**

Född 1941 (77 år) i Nottingham, Storbritannien. Fil.dr 1968 vid Oxford University, Storbritannien. Distinguished Professor vid Binghamton University, State University of New York, USA.

### **AKIRA YOSHINO**

Född 1948 (71 år) i Suita, Japan. Fil.dr 2005 vid Osaka University, Japan. Honorary Fellow, Asahi Kasei Corporation, Tokyo, Japan och professor vid Meijo University, Nagoya, Japan.

*”för utveckling av litiumjonbatterier”*