

Kemikeren H. C. Ørsted

Helge Kragh, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Den velfortjente plads, som Ørsted har i fysikhistorien, skyldes hans opdagelse af elektromagnetismen. Men han var nok så meget kemiker som fysiker, om end hans bidrag til og betydning for kemiens udvikling ikke er så kendte som hans fysiske arbejder. Set i et længere perspektiv var opdagelsen af aluminium i 1825 måske hans vigtigste kemiske bidrag.

Kemien omkring 1800

I slutningen af 1700-tallet fandt en drastisk ændring sted med hensyn til det begrebsmæssige grundlag for kemien. Den vigtigste aktør i den såkaldte kemiske revolution var den innovative franske kemiker Antoine-Laurent de Lavoisier, hvis forlag til en ny kemi især omfattede tre områder. Først og vigtigst erkendte han, at forbrændingsprocesser består i, at det brændbare stof optager et nyt grundstof fra luften, som han kaldte oxygen (ilt). For det andet viste han og andre, at vand er en kemisk forbindelse mellem to gasser, nemlig oxygen og det allerede kendte hydrogen (brint). Desuden foreslog Lavoisier i sin lærebog *Traité Élémentaire de Chimie* fra 1789 en ny tabel for grundstoffer og angav praktiske kriterier for, hvornår et bestemt stof er et grundstof.

I Danmark kan udbredelsen af den kemiske revolution følges gennem de tre udgaver af en omfattende *Chemisk Haandbog*, som apotekeren Nicolai Tychsen skrev mellem 1784 og 1804, den sidste under titlen *Theoretisk og Praktisk Anviisning til Apothekerkunsten*. Mens den første udgave var forankret i den traditionelle kemi, medtog Tychsen i udgaven fra 1794 også Lavoisiers nye kemiske teorier, som han dog først tilsluttede sig i bogen fra 1804. På den tid var den kemiske revolution kommet til Danmark, uden at alle dog tilsluttede sig de nye idéer [1]. En af skeptikerne var Ørsted, der havde sine forbehold og egne idéer.

H. C. Ørsted havde som dreng arbejdet i laboratoriet hos faderen Søren Christian Ørsted, der var apoteker i Rudkøbing. Den unge Hans Christian startede sin karriere med studier i kemi og farmaci, hvilket allerede i 1797 førte til hans første videnskabelige arbejde i form af den prisbelønnede afhandling *Om Modervandets Oprindelse og Nytte*. Afhandlingen var baseret på selvstændige kemiske undersøgelser og viste, at den 20-årige forfatter var godt inde i det kemiske håndværk. At han også var interesseret i og vidende om den teoretiske kemi, stod klart med udgivelsen af fire artikler om kemiens grundlag, der 1798–1799 udkom i tidsskriftet *Bibliothek for Physik, Medicin og Oeconomie*.

En alternativ kemi

I en selvbiografi fra 1828 beskrev Ørsted de første år af 1800-tallet som "en mærkværdig videnskabelig Gjæringstid ... [der] opvakte mange store Anelser om en højere Indsigt" [2]. Den videnskabelige gæring stod i gæld til den italienske fysiker Alessandro Voltas sensationelle opfindelse i 1800 af det elektriske batteri, eller

hvad der ofte blev betegnet som en voltasøjle (figur 1). Som så mange andre var Ørsted vildt betaget af det nye apparat, som han i 1801 lavede sin egen version af og samtidig beskrev i en artikel. På sin udlandsrejse 1801-1803 diskuterede han med tyske naturfilosoffer den særlige elektriske kraft, der tilsyneladende spontant opstod ved kontakt mellem to forskellige metaller som kobber og zink. Hvor stammede kraften fra? Var den metalliske kontakt i sig selv mekanismen, eller var der tale om en skjult kemisk proces? På rejsen til Tyskland blev Ørsted nær ven af den excentriske naturforsker Johann Ritter, hvis uortodokse idéer om kemi og elektricitet han forsvarede gennem mere end et tiår.

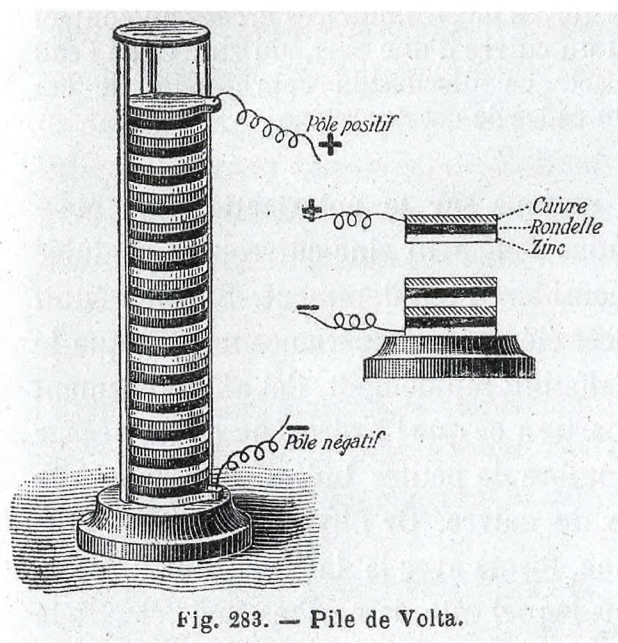


Fig. 283. — Pile de Volta.

Figur 1. Voltas batteri fra 1800, der fascinerede Ørsted og hans samtid.

Under indflydelse af Ritter og den noget obskure ungarske kemiker Jacob Winterl arbejdede Ørsted i en længere periode med at skabe et dynamisk-naturromantisk alternativ til den gængse kemi, der på den tid var baseret på en videreudvikling af Lavoisiers idéer. I 1812 præsenterede han alternativet i et ambitiøst værk med titlen *Ansicht der Chemischen Naturgesetze*. Værket og de idéer om en reformation af kemien, som det repræsenterede, blev imidlertid afvist af næsten alle tidens naturfilosoffer, uanset om de var fysikere, kemikere eller farmaceuter.

For kort at illustrere, hvor forskellige disse idéer var fra både nutidige og datidige opfattelser, kan nævnes syntesen af vand ud fra de to gasser oxygen og hydrogen, der i moderne form skrives $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$. Ifølge Ørsted og Ritter kunne processen forstås ved at identificere oxygen som vand med en positiv elektrisk ladning og hydrogen tilsvarende som negativt ladet vand. På den måde fremstod vandsyntesen ikke som en ægte kemisk syntese, men blot som to elektriske former af vand, der ved ophævelse af de elektriske ladninger blev til almindeligt vand. Ørsteds dynamiske kemi er beskrevet i den videnskabshistoriske litteratur [3]. Jeg skal ikke beskæftige mig yderligere med den, bortset fra at nævne en måske noget overraskende konsekvens, nemlig Ørsteds modstand mod atomteorien.



Figur 2. Universitetets kemiske laboratorium i studiegården, hvor Ørsted opdagede aluminium. Fotograf fra 1913.

Atomer og grundstoffer

Forestillingen om, at stof består af mindstedele eller atomer, går tilbage til antikken og var velkendt i 1700-tallet, men uden at hverken Lavoisier eller andre knyttede den til idéen om grundstoffer. En langt mere frugtbar kemisk atomteori blev foreslået af englænderen John Dalton, der i 1808 argumenterede, at der til hvert grundstof svarer et bestemt slags udeleligt og permanent atom. Hvad mere er, Dalton indførte det fundamentale begreb om atomvægte, et relativt mål for, hvor meget et grundstofatom vejer i forhold til et hydrogenatom. Det var en milepæl i fysikkens og kemiens historie, men ikke alle brød sig om Daltons materielle atomer. Ørsted gjorde det slet ikke.

Allerede i sin afhandling *Grundtrækkene af Naturmetaphysiken* fra 1799 havde Ørsted afvist det atomistiske system, da han argumenterede for, at det var ude

af stand til at forklare legemers sammentrykkelighed og elasticitet. Om end han indrømmede, at atomlæren havde visse instrumentelle fordele, var disse slet ikke nok til at opveje ulemperne. Ørsted konkluderede derfor, at atomteorien hørte til fortidens og ikke til fremtidens videnskab. “Det atomistiske System vakler altsaa i sine Grundvolde”, skrev han. “Dets hovedsætninger: at der gives Atomer og tomme Rum, ere ubeviiste, og følgelig kun Hypotheser, som man ere berettiget til at forkaste” [4, bd. 1, s. 75].

Fremkomsten af Daltons teori ændrede intet i Ørsteds negative holdning, for også Daltons teori byggede i en fysisk forstand på den slags hårde og materielle atomer, som Ørsted bare afskyede. Som han beklagede sig over i et brev af 1829 til en tysk kollega, kemikeren og mineralogen Christian Weiss, så byggede atomteorien på antagelsen om, at “den oprindelige grund for den materielle verden er en død, hård og inaktiv størrelse”. En sådan antagelse stod i diametral modsætning til Ørsteds dynamiske naturfilosofi, der var præget af Immanuel Kants tanker om en materie, der var behersket af eller ligefrem bestod af kræfter.

Selv om Ørsted nødtvungent erkendte forklaringskraften i Daltons teori, fik det ham ikke til at anerkende atomteorien. Som et kompromis søgte han at reproducere atomteoriens fordele inden for rammerne af en dynamisk opfattelse af materien, men forsøget var retorisk og resulterede ikke i en egentlig teori. Ørsted betegnede sine atomlignende kraftcentre som “Grunddele” og talte om “kemiske Tal” eller “Grundtal” i stedet for atomvægte. I 1822 beskrev han sit alternativ til atomteorien, en slags atomteori uden atomer, med ordene [4, bd. 3, s. 314]:

Dalton kalder de heromhandlede Grunddele Atomer; hvorved denne Lære faaer et Skin af udelukkende at tilhøre den atomistiske Naturphilosophie; men intet hindrer os fra at antage, ogsaa i det dynamiske System, en Grundstørrelse for ethvert Kraftforhold, saaledes at dette ikke kan yttre sig i et mindre Rum. Man kan altsaa her ... lade de metaphysiske Stridigheder ud af Spillet, og uforstyrret betragte de udviklede Naturlove.

Når det gælder atomteorien, var Ørsted ikke progressiv. Hans ønske om at undgå eller omgå teorien om atomer var en blindgyde, der dog ikke hæmmede hans mere eksperimentelt betonedede arbejde. Desuden var han ikke den eneste videnskabsmand, der i 1800-tallets midte afviste en realistisk fortolkning af atomteorien, der faktisk var konfronteret med alvorlige begrebsmæssige problemer århundredet igennem.

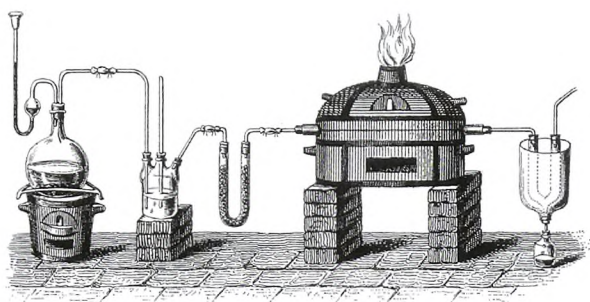
Lerjordens metal

I 1823 indrettede Ørsted et nyt kemilaboratorium i gården ved Studiestræde 6, hvor han også fik sin privatbolig (figur 2). Det vigtigste resultat fra laboratoriets tidlige år var utvivlsomt opdagelsen af aluminium, som Ørsted kunne præsentere for Videnskabernes Selskab i en meddelelse af 25. marts 1825. Meddelelsen blev gjort tilgængelig for en bredere kreds ved at blive optrykt i *Dansk Litteratur-Tidende*.

I betragtning af, at aluminium er det mest hyppige metal i jordskorpen (8,3 % efter vægt), er det bemær-

kelsesværdigt, at metallet først blev isoleret så sent, og da endda kun i en uren form. Det skyldes strukturen af det almindeligt forekommende aluminiumoxid Al_2O_3 , hvor aluminium- og oxygenionerne er bundet særdeles stærkt sammen. Eksistensen af en metallisk substans i alunholdigt lerjord, der er rigt på Al_2O_3 , var dog erkendt tidligere [5]. Allerede Lavoisier henviste i sin grundstofftabel fra 1789 indirekte til det endnu ukendte metal under navnet "argile". I starten af 1800-tallet søgte ledende kemikere som engelske Humphry Davy og svenske Jöns Berzelius at isolere metallet, men uden at det lykkedes. Ikke desto mindre kom der et navn ud af det, nemlig da Davy i 1808 foreslog "alumium". Han ændrede det snart til "aluminum", mens andre i 1800-tallet foretrak stavemåden "aluminium". Man havde altså et navn, men ikke det grundstof, som navnet dækkede.

Ørsted havde mødt Davy i London i 1823, og de to mødtes igen i København i juli det følgende år, kort før Ørsted startede sin undersøgelse af lerjordens bestanddele. I sin rejsedagbog beskrev Davy sin danske kollega som en mand af enkle manerer, velbegavet og "lidt af en tysk metafysiker". Han mente det ikke som en ros.



Figur 3. Metoden i Ørsteds syntese af vandfrit aluminiumchlorid som fremstillet i en dansk lærebog fra 1853. I opstillingen til venstre udvikles chlor, som passerer ovenn med lerjord og kulstøv.

I nogle af sine eksperimenter fra 1824-1825 blev Ørsted bistået af den unge farmaceut Schack Køster, der senere blev apoteker i Randers, men hvis rolle i eksperimenterne i øvrigt er uklar. Det afgørende var en ny metode til at producere vandfri aluminiumchlorid AlCl_3 i stedet for den vandholdige form $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$, hvor vandmolekylerne er bundet som ligander til metalionen Al^{3+} i form af en koordinationsforbindelse. Ørsteds metode bestod i at gløde en blanding af alunlerjord og kulstøv og lede chlogas hen over blandingen (figur 3). I moderniseret form kan processen skrives $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 3\text{CO} + 2\text{AlCl}_3$. Ørsted kunne nu reducere metallet ud af det vandfri aluminiumchlorid ved behandling med et alkalimetall. Det gjorde han ved at opvarme chloridet med en kalium-kviksølv-legering, et såkaldt amalgam, hvor kun kalium er det aktive stof, og hvor kviksølvet blev destilleret fra uden berøring med luften. Processen er $\text{AlCl}_3 + 3\text{K} \rightarrow 3\text{KCl} + \text{Al}$.

I sin korte artikel om fremstillingen fortalte Ørsted, at de to processer resulterede i "en Metalklump, som i Farve og Glands noget nærmer sig Tinnets" [6]. Meget andet havde han ikke at sige om det metalliske stof. Året

efter beskrev han lerets metal som blygråt og tilføjede, at dets atomvægt eller "chemiske Tal" var 18. I stedet for at bruge enten aluminum eller aluminium som navn for sin metalklump, foreslog sprogrenseren Ørsted i sin danske meddelelse det håbløse navn "Leerær", der kan oversættes til lermetal. Han brugte tilsvarende "Kieselær" for silicium og "Kaliær" for kalium. Som international betegnelse for det nye metal benyttede han Lavoisiers gamle navn, men nu på formen "argillium".

Ørsteds meddelelse om lerjordens metal fremkom på dansk og blev på kort form viderebragt i de internationale tidsskrifter *Journal für Physik und Chemie* og *Annalen der Physik und Chemie*. Også Berzelius' indflydelsesrige *Jahresbericht über die Fortschritte der Physischen Wissenschaften* fra 1827 beskrev opdagelsen, der således var kendt, men uden at vække større interesse. I det omfang opdagelsen vakte opmærksomhed, var det ikke på grund af det nye metal, men på grund af Ørsteds metode til fremstilling af vandfri chlorider.

Man skulle tro, at i det mindste Ørsted selv promoverede det nye grundstof, men det var på ingen måde tilfældet. Han nærmest ignorerede sin opdagelse af leræret, som han ikke anså for betydningsfuld og aldrig vendte tilbage til. I sin selvbiografi fra 1828 nævnte han blot kortfattet sin "Fremgangsmaade, hvorved Leerets Metal optages af Chloret, ud fra hvilken man siden skiller Metallet" [2]. I modsætning til elektromagnetismen ledte fremstillingen af aluminium ikke til nogen dybere naturfilosofisk indsigt, og man kan formode, at dette spillede en rolle for den filosofiske Ørsteds noget ligegyldige holdning til sin opdagelse.

Ørsted eller Wöhler?

Gennem det meste af et århundrede blev opdagelsen af aluminium tilskrevet den fremragende tyske kemiker Friedrich Wöhler, mens Ørsteds oprindelige syntese enten blev forbigået eller betragtet som en ufuldstændig foregribelse af det nye grundstof [7]. Den praktiske anvendelse af aluminium blev så småt indledt i 1854, da franskmændene Henri Saint-Claire Deville fremstillede helt ren aluminium ud fra en ny metode baseret på reduktion af dobbeltsaltet KAlCl_4 med frit kalium (figur 4). Fem år senere skrev han den første og meget brugte monografi om det nye metal, dets historie og mulige anvendelser. Deville fremhævede i *De l'Aluminium* Wöhler som den eneste sande opdager af aluminium, mens han slet ikke nævnte Ørsted og hans bidrag.

På tilbagerejsen i september 1827 fra et besøg hos Berzelius i Sverige gjorde Wöhler et kort ophold i København. Her traf han Ørsted, der fortalte ham om sine eksperimenter med lerjordens metal og opfordrede den unge tysker til at undersøge sagen nærmere. Det var da også, hvad Wöhler gjorde efter hjemkomsten til Berlin, men uden at få Ørsteds metode til at virke. Derimod lykkedes det ham at fremstille metallisk aluminium ved at bruge ren kalium i stedet for kaliumamalgam som reduktionsmiddel. Selv om Wöhler i sin store afhandling "Untersuchungen über das Aluminium" fra 1827 var omhyggelig med at nævne Ørsteds pionerarbejde, blev resultatet i løbet af få år, at Wöhler blev anerkendt som opdager af aluminium. Berzelius

havde i 1827 krediteret Ørsted for først at have opdaget grundstoffet, men et par år senere konkluderede han, at Wöhler var den egentlige opdager. Ørsted protesterede ikke og synes generelt at have været uinteresseret, ikke blot i spørgsmålet om prioritet, men også hvad angik aluminiums videre udforskning.



Figur 4. Det første rene og faste aluminium fremstillet efter Devilles metode.

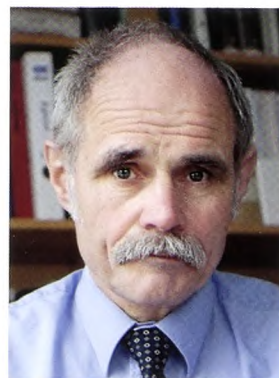
Det tog lang tid, før Ørsted blev rehabiliteret, hvilket først skete i forbindelse med den store fejring i 1920 af elektromagnetismens opdagelse [6]. Kort fortalt påviste den danske kemiker Johan Fogh ved den lejlighed, at Ørsteds metode fra 1825 faktisk resulterede i aluminium og altså, modsat hvad Wöhler havde ment, var reproducerbar. Foghs konklusion modtog støtte fra Niels Bjerrum og andre kemikere og vandt efter nogen tid bred tilslutning. I dag optræder Ørsted i kemihistoriske værker som opdager af aluminium, om end han

rimeligt nok må dele æren med Wöhler, hvis arbejder videnskabeligt set trods alt var af større værdi.

Hverken Ørsted eller andre i samtiden kunne have nogen anelse om den betydning, det kuriøse lermetal ville få i fremtiden. Selv med Devilles metode var aluminium voldsomt dyrt og helt uden industriel interesse. Situationen ændredes først omkring 1890 med udviklingen af en elektrolytisk metode til at fremstille store mængder aluminium ud fra bauxit. I dag produceres der årligt omkring 65 millioner tons af metallet, der bruges til alt mellem himmel og jord, fra øldåser til enorme passagerfly. Vi levede engang i jernalderen, og nu lever vi i den aluminiumalder, hvis spæde begyndelse går tilbage til Ørsteds opdagelse af leærretet i 1825.

Litteratur

- [1] O. Bostrup (1996) *Dansk Kemi 1770–1807: Den Kemiske Revolution*, Teknisk Forlag.
- [2] A. S. Jacobsen og S. Larsen, red. (2002) *H. C. Ørsteds Selvbiografi*, Steno Museets Venner.
- [3] A. S. Jacobsen m. fl., red. (2003) *H. C. Ørsted's Theory of Force*, Videnskabernes Selskab.
- [4] K. Meyer, red. (1920) *H. C. Ørsted, Naturvidenskabelige Skrifter*, Høst & Søn.
- [5] M. Weeks og H. Leicester (1968) *Discovery of the Elements*, Journal of Chemical Education.
- [6] H. Kjølsten (1965) *Fra Skidenstræde til H. C. Ørsted Institutet*, Gjellerup.
- [7] J. Richards (1887) *Aluminium*, Baird & Co.



Helge Kragh er professor emeritus ved Niels Bohr Institutet og arbejder især med de fysiske videnskabs nyere historie.

Kvinder i Fysik-prisen 2019



Christina Ayo Toldbo har modtaget årets Kvinder i Fysik-pris. Christina arbejder i øjeblikket som ekstern lektor ved Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet,

med at udvikle undervisningsmateriale til projekt "Marsbasen".

KIF-prisen tildeles årligt for at skabe opmærksomhed på kvinders betydning i fysik. Prisen skal hjælpe med at identificere kvindelige fysikere som forbilleder på universiteter såvel som på gymnasier og i samfundet og erhvervslivet.

Komiteén lagde ved uddelingen vægt på Christinas brede erfaring inden for undervisning og vejledning, og for i offentligheden at inspirere alle til at interessere sig for science. Hendes erfaring spænder fra privat vejledning af studerende på gymnasiet til at guide og lave teambuilding-begivenheder på Tycho Brahe Planetarium og instruere laboratorieøvelser på universitetet. Christina var også en central drivkraft i Dansk Selskab for Rumfartsforskningens fejring af 50-året for den første bemandede månelanding.

Hun har også udført arbejde for Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU), hvor hun bl.a. arrangerede Asteroid Day på Geologisk Museum og gennemførte en tiltrængt opdatering af foreningens hjemmeside.