Teknologi og naturvidenskab

Hans Siggaard Jensen, DASY, Handelshøjskolen i København
Henry Nielsen, Det fysiske Institut, Aarhus Universitet
Keld Nielsen, Institut for Videnskabshistorie, Aarhus Universitet

Denne artikel er skrevet af forfatterne til ''Skruen uden ende''. De beskriver her baggrunden for bogen og omtaler et af de emner, der behandles i bogen.

Redaktionen

I august 1990 er *Skruen uden ende - den vestlige teknologis historie*[1] udkommet på Teknisk Forlag, en ny dansk teknologihistorie som blandt andet er skrevet til brug for undervisningen i gymnasiet og som en del af kursusmaterialet ved de videregående uddannelser. Bogen er blevet til på initiativ af Teknisk Forlags Fond, der har støttet projektet økonomisk gennem hele tilblivelsesfasen.

Forfatterne har i bogen forsøgt at belyse under hvilke omstændigheder en række udvalgte teknologier er opstået og hvilke faktorer, der har været med til at bestemme deres videre skæbne. Vi har forsøgt at undgå lammende forenklinger, og forhåbentlig fremgår det af bogen, at samspillet mellem teknologi og faktorer som naturvidenskab, økonomi, politik, teknologisk tradition, kultur og opfindertalent er kompliceret, og at det ikke er muligt at give nogen simpel formel for, hvornår den ene og hvornår den anden faktor betinger gennembruddet af en ny teknologi. Men vi har afholdt os fra at fortælle hele historien hver gang. Med ret hård hånd er nogle eksempler valgt ud, der illustrerer et enkelt eller nogle få karakteristiske træk ved udviklingen af denne eller hin teknologi. Hvert af bogens 19 kapitler har så at sige sin egen pointe. I tid dækker bogen perioden fra tidlig Middelalder frem til i dag, og emnemæssigt behandles områder lige fra bogtrykkerkunst over elektrificering til moderne datateknologi.

Teknologi forstået som anvendelse af redskaber og processer for at tilfredsstille menneskers behov og ønsker er en form for menneskelig aktivitet, der har eksisteret i alle samfund og til alle tider. I vore dage er teknologi så tæt sammenvævet med naturvidenskab, at det kan være svært at se, hvor grænsen går, og mange er derfor tilbøjelige til at opfatte teknologi som anvendt naturvidenskab. Forholdet mellem teknologi og naturvidenskab er under alle omstændigheder et meget aktuelt problem, og emnet har været et af de mest omdiskuterede blandt teknologihistorikere i de sidste tyve år. I *Skruen uden ende* spiller dette emne da også en central rolle. I det følgende bringes et - let modificeret - uddrag af bogens kapitel 11, der er et oversigtskapitel med titlen ''Den teknologiske udviklings karakter''. De personer og opfindelser, der nævnes i uddraget, er udførligt omtalt i de foregående kapitler i bogen.

Empirisk og videnskabsbaseret teknologi

I langt størstedelen af perioden fra de første jæger- og samlerkulturer opstod for titusinder af år siden og indtil i dag, har teknologien næsten udelukkende været af empirisk art. Empirisk teknologi er i sin reneste form en teknologi, hvor redskaber, teknikker og produktionsprocesser er resultater af en overleveret tradition. For eksempel er den teknologiske viden, der overleveres fra mester til lærling, fra generation til generation, ofte af ikke-verbal natur, og det mest essentielle, en dygtig håndværker skal kunne, findes ikke at læse i nogen bog. Empirisk teknologi udvikler sig langsomt, ofte overlever de samme metoder uden væsentlige ændringer i hundreder af år. Når der endelig sker ændringer, sker de ved ''trial and error metoden'', en metode der nødvendigvis må resultere i en langsom ændringsproces. Det gælder i hvert fald så længe, håndværkeren må nøjes med at eksperimentere med selve de produkter, han skal levere, og det har han af økonomiske grunde måttet gøre gennem størstedelen af historien. For eksempel har en skibsbygger i Middelalderen vel aldrig haft mulighed for at bygge egentlige forsøgsskibe, hvor han har kunnet afprøve sin nye ide, for hvis ideen ikke duede, ville han næppe kunne overleve det økonomiske tab. Han var bundet til hver gang at levere et skib, der kunne sejle mindst lige så godt som hans tidligere skibe; ændringer måtte derfor indføres lidt efter lidt. Det nye skib måtte laves næsten identisk med det gamle, ellers var risikoen for stor.

Det betyder dog ikke, at teknologiske gennembrud var umulige, før naturvidenskaben kom til og bragte nytænkning og nye muligheder. Tværtimod skete der f.eks. i Middelalderen adskillige store teknologiske gennembrud, de indtraf bare sjældent. Og alt tyder på, at de skete der, hvor der tilfældigvis fandtes særligt gunstige konstellationer af samfundskabte behov og ønsker samt dygtige håndværkere, der levede i relativt sikre økonomiske kår.

Da teknologien for alvor begyndte at vekselvirke med naturvidenskaben via de naturvidenskabeligt uddannede ingeniører, fik den empiriske teknologi tilført nye og fremmede, men særdeles slagkraftige, impulser. Ingeniørerne opstod som en særlig klasse af teknologer, der - via deres uddannelse - var i stand til at tilføre teknologien elementer fra naturvidenskaben: måleteknik, en forståelse af at naturen

kan sættes på tal, anvendelsen af matematik, en systematisk tilgang til problemløsning i form af analyse af problemerne (et stort problemkompleks deles op i delproblemer, som angribes et ad gangen), modelbetragtninger, systematiske forsøg etc. Men ingeniørkunst og anvendelsen af matematik i den form, der er almindelig blandt ingeniører, er ikke det samme som naturvidenskab, selv om teknologens arbejde har mange træk fælles med naturvidenskabelig frontforskning. Teknologiens mål er noget ganske andet end naturvidenskabens. Hvor det i naturvidenskaben er målet at komme til den største generelle forståelse af, hvordan naturen opfører sig, så er teknologen ofte tvunget til at studere naturens opførsel intenst, men hans mål er at løse et begrænset problem, og jo mere han kan indsnævre sit problemfelt, jo bedre er han til sin opgave. Teknologens opgave er at fremstille *noget der fungerer, som han eller hun ønsker*; det er mindre væsentligt for teknologen at gøre rede rede for, hvorfor det fungerer.

Teknologien skiftede altså til en vis grad karakter, efterhånden som de naturvidenskabeligt trænede ingeniører blev ansvarlige for udformningen af teknologien. Men teknologien blev ikke dermed videnskabsbaseret, for størsteparten af den teknologiske udvikling fandt fortsat sted, uden at ingeniørerne havde relevante naturvidenskabelige teorier at trække på. Det gjaldt f.eks. de fleste af de tekniske fremskridt, der var nødvendige for, at produktionen af jern og stål kunne mangedobles i løbet af 1800-tallet. Det gjaldt opfindelse og udvikling af drejebænke og værktøjsmaskiner i det hele taget. Og det gjaldt en lang række af de opfindelser (f.eks. støvsugeren, symaskinen, skrivemaskinen og cyklen), der idag er så almindelige i hverdagen, at man kan være tilbøjelige til at glemme, de ikke har eksisteret altid.

Naturvidenskaben har imidlertid også influeret teknologien på anden måde end gennem ingeniørerne. Visse industrier, f.eks. den elektriske og den kemiske industri, kunne slet ikke være kommet igang, uden at naturvidenskaben først havde skabt en fond af viden om elektriske og magnetiske fænomener, for disse fænomener lader sig ikke forstå og beskrive på samme umiddelbare plan, som man kan forstå og beskrive mange mekaniske fænomener. Da teknologiske gennembrud indenfor disse industrier altså forudsætter i hvert fald en vis naturvidenskabelig indsigt, er det blevet sædvane at betegne disse industrier som videnskabsbaserede industrier. Betegnelsen er almindelig, og vi også har benyttet den i *Skruen uden ende*, men i grunden er den ikke heldig, for den kan let føre til godtagelse af en udbredt myte.

Myten om teknologi som anvendt naturvidenskab

Den mest sejlivede og udbredte myte om teknologisk udvikling er formodentlig netop, at teknologi er anvendt naturvidenskab. En amerikansk teknologihistoriker, George Wise, udtrykker det på denne måde:

> "Den oversimplificerede model, som foretrækkes af folk, der driver politik, fremstiller videnskab og teknologi som et samlebånd. Begyndelsen af samlebåndet er en ide i videnskabsmandens hoved. Ved efterfølgende arbejdsstationer langs samlebåndet bliver der udført operationer med etiketterne: anvendt forskning, opfindelse, udvikling, og markedsføring, hvorved ideen transformeres om til en innovation. Et samfund, der stræber efter innovationer, skal ifølge samlebåndsmodellen investere penge i ren naturvidenskab ved samlebåndets forende. Til sin tid vil der komme innovationer ud i den anden ende."[2]

Den populære fremstilling af, hvorledes James Watt opfandt den separate kondensator til dampmaskinen i 1765, bruges ofte til at underbygge denne falske myte. Myten vil hævde, at instrumentmageren Watt først var i stand til at gøre denne

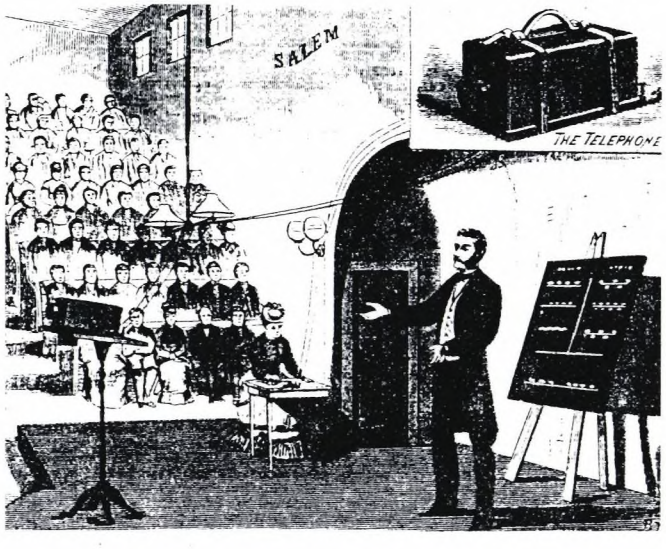


Figur 1. James Watt (1736-1819) studerer den model af en newcomen-dampmaskine, der var den direkte anledning til hans opfindelse af den separate kondensator i 1764-65. Billedet, der blev offentliggjort i 1869, fremstiller Watt som den geniale opfinder, der i ophøjet ensomhed løser en næsten uløselig opgave i et øjebliks guddommelig inspiration. Det er billeder som dette, der har været med til at skabe den populære myte om, at uden James Watt ville der kun eksistere primitive dampmaskiner - og uden James Watt ville Den industrielle Revolution derfor ikke være kommet ud af stedet.

opfindelse, efter at naturvidenskabsmanden Joseph Black havde fortalt ham om sine nye forskningsresultater vedrørende latent varme i damp. Men dette er urigtigt, både fordi det strider mod Watts sagsfremstilling, men også - og det er mere væsentligt - fordi det ikke spillede nogen afgørende rolle i selve opfindelsesprocessen. Watt havde allerede på egen hånd målt vands fordampningsvarme før samtalen med Black. Gennem samtalen med Black fik han en naturvidenskabsmands ord for, at hans målinger var gode nok, og at han havde (gen)opdaget et fænomen, som Black allerede

havde døbt latent varme. Kendskabet til eksistensen af latent varme i damp hjalp således Watt til at forstå, hvorfor der skulle bruges så meget kølevand for at kondensere dampen i kondensatoren, men ideen om at separere cylinder og kondensator har ikke meget med latent varme at gøre. Den engelske videnskabshistoriker, D.S.L. Cardwell, har på en yderst overbevisende måde påvist, at historien er og bliver en myte.[3]

Selv hvis vi indskrænker os til at betragte teknologiske nyskabelser indenfor én af de såkaldte videnskabsbaserede industrier, er samlebåndsmodellen utilstrækkelig som forklaringsmodel. Lad os f.eks betragte opfindelsen af telefonen. Ved første øjekast virker det, som om vi her har et skoleeksempel på, at udviklingen er forløbet efter samlebåndsmodellen: først kommer fysikerne Voltas, Ørsteds og Faradays fundamentale naturvidenskabelige opdagelser i første trediedel af 1800-tallet, derefter omsætter teknikeren og opfinderen Bell disse rene naturvidenskabelige opdagelser i en konkret opfindelse, telefonen. Bells opfindelse gennemløber nu en udviklingsfase i laboratoriet, inden den er klar til at komme på markedet, hvor den i løbet af kort tid revolutionerer alle industrialiserede samfunds kommunikationssystemer.



Figur 2. Professor Graham Bell (1847-1922) præsenterer sit nye legetøj for overklassen på en foredragsturné få måneder efter, at han havde opfundet telefonen i 1875-76. Telefonen er et godt eksempel på en opfindelse, der ikke er fremkommet som svar på et samfundsskabt behov. Før 1876 var alle kommunikationseksperter enige om, at telegrafen var den eneste realistiske løsning på behovet for hurtig langdistancekommunikation. Alle deres anstrengelser gik derfor ud på at forbedre telegrafen.

Men der er alvorlige problemer ved denne fremstilling. Den gør det f.eks. vanskeligt at forstå, hvorfor telefonen først blev opfundet i 1876, men da til gengæld af to personer, der arbejdede uafhængigt af hinanden, Graham Bell og Elisha Gray. Hverken Grays eller Bells telefonopfindelser gør brug af mere avanceret elektromagnetisk viden end den, der var kendt i henholdsvis 1821 og 1831. Såfremt telefonen - som samlebåndsmodellen foreskriver - alene skulle være en konsekvens af naturvidenskabelige opdagelser, synes denne forsinkelse at være urimeligt lang. Antallet af opfindere, ingeniører og teknikere, som havde i hvert fald et nødtørftigt kendskab til Ørsteds og Faradays love, var betydeligt allerede i 1830'erne og øgedes for hvert år, der gik. Et nærmere studium af begivenhederne forud for opfindelserne i 1876 har da også afsløret, at det ikke var den naturvidenskabelige indsigt, der satte Bell og Gray på sporet af telefonen. Det var for begges vedkommende et ønske om at tjene penge og vinde hæder ved at videreudvikle en helt anden teknologi, nemlig datidens højteknologi, telegrafteknologien. Begge arbejdede de på at opfinde en brugbar multiplekstelegraf, da de uafhængigt af hinanden snublede over opdagelser, der satte dem på sporet af telefonen. Men ikke samme slags telefon. Og de fulgte heller ikke deres respektive spor med samme ihærdighed, for de to mænds uddannelsesmæssige baggrund og samfundsmæssige relationer var i sidste instans mere afgørende end deres naturvidenskabelige basisviden, hvor Elisha Gray i kraft af sin ingeniøruddannelse havde et overtag.

$$\operatorname{rot} \mathfrak{H} = \frac{1}{\mathfrak{c}} \frac{\partial \mathfrak{D}}{\partial \mathfrak{t}} + \frac{4\pi}{\mathfrak{c}} \mathfrak{i}$$

$$\operatorname{div} \mathfrak{D} = 4\pi \varrho$$

$$\operatorname{rot} \mathfrak{E} = -\frac{1}{\mathfrak{c}} \frac{\partial \mathfrak{B}}{\partial \mathfrak{t}}$$

$$\operatorname{div} \mathfrak{B} = 0$$

Figur 3. De berømte Maxwell-ligninger, der blev opstillet af James Clerk Maxwell (1831-1879) i 1863-65, sammenfatter på en yderst elegant og kompakt måde fysikernes viden om elektromagnetisme. Gennem et nærmere studium af ligningerne forudsagde Maxwell, at en svingende elektrisk ladning, ville give anledning til elektromagnetiske bølger, der fra kilden bredte sig ud i rummet med lysets hastighed. Denne erkendelse var en nødvendig forudsætning for opfindelse og udvikling af den trådløse telegraf, radioen, radaren og fjernsynet, men den var langt fra tilstrækkelig. Store økonomiske og militære interesser var på spil - og personlige relationer mellem hovedpersonerne i den teknologiske udvikling spillede ligeledes en vigtig rolle.

Til trods for at adskillige anerkendte naturvidenskabsmænd stadig ynder at fremstille samlebåndsmodellen som en næsten selvindlysende forklaring på moderne teknologisk udvikling, er den i de sidste tyve år blevet så kraftigt angrebet fra historisk hold, at den idag stort set er forladt af alle teknologihistorikere. I stedet opfattes teknologi og naturvidenskab som områder for menneskelig aktivitet, der i grove træk udvikler sig autonomt i forhold til hinanden. "Ny teknologi gror for det meste ud af gammel teknologi, ikke ud af naturvidenskab", som Melvin Kranzberg udtrykker det[4]. Hver af disse aktivitetsområder repræsenterer en sum af viden, og fra tid til anden har det ene område behov for at trække på viden fra det andet. Således måtte tekni-

keren Bell trække på naturvidenskabelig viden for at kunne opfinde sin telefon, men der var mange andre former for viden, han også havde brug for, og som var lige så væsentlige. For eksempel viden om elektrisk-mekanisk lydgengivelse (han var professor i taleteknik ved et døveinstitut i Boston), patentlovgivning, financieringskilder samt ikke mindst viden om multiplekstelegrafi.

Som antydet går påvirkningen går dog ikke bare fra naturvidenskab til teknologi. Naturvidenskaben har i flere hundrede år udnyttet teknologien som en helt nødvendig forudsætning for at kunne opbygge eksperimentelt udstyr, hvormed den naturvidenskabelige erkendelse har kunnet gøre fremskridt. Men derudover kan man finde mange eksempler i historien på, at en naturvidenskabelig udvikling først er kommet igang, fordi naturvidenskabens udøvere har skullet forklare, hvorfor allerede eksisterende teknologi fungerede, som det gjorde. At den fungerende dampmaskine har været en afgørende årsag til udviklingen af den fysiske disciplin, vi kalder termodynamikken, er kun et enkelt, men til gengæld meget velkendt eksempel på en overførsel af viden fra teknologisfæren til naturvidenskabssfæren.

Vekselvirkningen mellem naturvidenskab og teknologi er et uhyre komplekst fænomen, der ikke kan sættes på en simpel formel. I mangel af bedre har teknologihistorikere forsøgt at beskrive situationen ved hjælp af forskellige metaforer, der fanger væsentlige sider af forholdet mellem de to aktivitetsområder. Mest kendt er nok amerikaneren Edwin Laytons ''mirror image twin'' metafor[5]. Teknologien blev i løbet af 1800-tallet ikke bare afhængig af naturvidenskaben. Istedet udviklede den sin egen vidensbase, fik sine egne eksperter, professionelle institutioner og publikationspraksis (derfor tvillinger). Men den vægt, der lægges på elementer fra vidensbasen er modsat (derfor spejlbillede): design og hardware er det primære for teknologen, publikationer er noget sekundært, ikke det helt essentielle som for naturvidenskabsmanden.



Hans Siggaard Jensen (til højre), født i 1947, filosof, docent ved Institut for Anvendt Datalogi og Systemvidenskab, Handelshøjskolen i København.
Henry Nielsen (til venstre), født i 1940, fysiker, lektor ved Det fysiske Institut, Aarhus Universitet.
Keld Nielsen (stående), født i 1948, videnskabshistoriker, adjunkt ved Institut for de Eksakte Videnskabers Historie, Aarhus Universitet.

Referencer

1. K. Nielsen, H. Nielsen og H. Siggaard Jensen: *Skruen uden ende - den vestlige teknologis historie*, Teknisk Forlag 1990.

2. G. Wise, Science and Technology, OSIRIS, **2**nd series 229 (1985).

3. D.S.L. Cardwell, *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Industrial Age*, Heinemann 1971.

4. M. Kranzberg, The disunity of Science-technology, American Scientist **56**, 21 (1968).

5. E. Layton, Mirror Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th Century America, Technology & culture **12**, 1971, 562-580.