

Omkring dampmaskiner, kameler og cykler: Tre temaer fra teknologihistorien

Selvom feltet teknologihistorie er yngre end videnskabshistorie, og som disciplin delvis afledt af det, er det dog ikke ennemæssigt mindre. Dels strækker feltet sig meget længere tilbage i tid – for så vidt vores viden om menneskets historie bygger på arkæologiske redskabsfund, så længe som selve homo sapiens' (præ)historie. Dels er genstandsområdet enormt – fra den mest enkle genstand til de mest komplicerede teknologiske systemer. Endeligt omgives mennesket bogstaveligt talt konstant af teknologi; selve forestillingen om et rent 'naturligt' menneske bliver problematisk, når det bærer kontaktlinser og farver hår, har fyldninger i tænderne, pacemakere og implanterede organer i kroppen, og en biokemi påvirket af kunstige stoffer som indtages via maden eller luften. Teknologien kan således ses som et basalt karaktertræk af såvel kulturen som mennesket, selvom den fra tid til anden formuleres som en modsætning og trussel hertil.

I denne artikel skal feltet teknologihistoriens udvikling ikke fremstilles historisk, og slet ikke i den fremskridtsform, hvori det gerne præsenterer sig selv: Nemlig som en historisk, empirisk disciplin, der har efterladt tidligere tiders internalistiske (måske endda antikvariske) materialesamling, har afvist andre discipliners eksternalistiske black-boxing af et fænomen ved navn 'Teknologisk Udvikling', og skabt en syntese i form af den såkaldte 'kontekstualistiske teknologihistorie' (hvor de første defineres meget smalt, og den sidste meget bredt og tolerant, som en måde at beskrive teknologiers udvikling på med inddragelse af den omgivende kontekst). Jeg skal heller ikke give en oversigt over de mange, historiske eller ahistoriske, teorier om teknologisk udvikling. For begge vinkler henvises andetsteds.¹ I stedet for introduceres teknologihistorien ud fra tre overordnede temaer, der er centrale for definitionen af feltet qua emneområde og qua disciplinær afgrænsning. Samtidigt diskuterer de på forskellig vis teknologiens udviklingsdynamik.

Det første tema er forholdet mellem teknologi og naturvidenskab (og dermed mellem videnskabshistorie og teknologihistorie). En betoning af forskellen mellem disse to aktiviteter har længe været en hovedlegitimation for at bedrive teknologihistorie. Desuden er studier af teknologi som vidensform ofte formuleret i modspil til videnskabens velkendte påstand, at den alene repræsenterer viden, mens teknologi blot er anvendelsen heraf. Andet tema er den interne dynamik i teknolo-

giens udvikling. Hertil hører også diskussionen om den såkaldte teknologiske determinisme, oftest opfattet som tesen at teknologien dels er sin egen drivkraft, og dels har en determinerende funktion for det øvrige samfund - og dermed også en ledende rolle i historien. Det tredje tema er kombinationen af teknologihistoriske og sociologiske perspektiver i forskellige 'konstruktivistiske' programmer, som har domineret diskussioner indenfor feltet i de sidste femten år, og som har formået at skabe et nyt emneområde (der her betegnes som 'socioteknologi', forstået som komplekser med gensidigt afhængige tekniske og sociale komponenter).

Det kan ses af det foregående, at der her ikke forsøges at give en præcis definition af begreberne 'teknik' og 'teknologi'. Jeg følger feltets egen afvisning af muligheden af en fyldestgørende definition til fordel for en intuitiv bestemmelse af genstandsområdet - der er usikkerhed både mht. studieobjektet (ting-produkt-proces-organisation-tankestrukturer) og mht. rationale (fra teknologi som opfyldelse af menneskets nødvendige behov til, hos filosofen José Ortega Y Gasset, 'frembringelse af det overflødige', da mennesker i princippet kan leve uden hjælpemidler ligesom andre dyrearter). Desuden afviser en vigtig del af feltet overordnede kategorier som 'teknologi', 'naturvidenskab', 'politik' etc., pga. deres fastlåste konnotationer, der skønnes at stå i vejen for forståelse (jvf. tema 3). Endelig er en etymologisk skelnen mellem 'teknik' og 'teknologi' problematisk, dels i forhold til den faktiske brug af ordene (selvom nogle bruger den skelnen, som Cardwell nedenfor), dels fordi det er en fordom at forudsætte, at der ingen viden, logos, involveret er i 'tekniske' handlinger.

1. Naturvidenskab og teknologi

Samlebåndsmodellen og teknologi som selvstændig vidensform

Forholdet mellem teknologi og naturvidenskab er en central problematik i teknologihistorien. Dels er det indlysende, at naturvidenskab er en vigtig ressource for teknologisk udvikling; teknologier som elforsyning, elektrisk kommunikation eller produktion af moderne medicin, plastic og gensplejset mad ville være utænkelige uden naturvidenskabelig indsigt. Dels har ikke mindst den amerikanske teknologihistorie (der prøver at være internationalt orienteret og længe har domineret feltet) brugt årtier på at vise, at teknologi er andet og mere end anvendt naturvidenskab. Legitimeringen af teknologihistorien som selvstændig disciplin blev, især i perioden fra midten af 1950erne til midten af 1970erne, ofte formuleret som et opgør

med videnskabshistorien. Som institutionel legitimation blev det en af feltets yndlingsmyter, at det førende selskab *The Society for the History of Technology* og dets tidsskrift *Technology and Culture* udelukkende blev oprettet, fordi det amerikanske *History of Science Society* ikke anerkendte emnet teknologihistorie.² Indholdsmæssigt angreb man den vidtspredte antagelse, at teknologi blot er anvendt naturvidenskab. Denne forenklede antagelse indgår i det, der normalt betegnes som 'samlebåndsmodellen': En idé opstår i en videnskabsmands hoved i en operation kaldt 'fundamental videnskab', og passerer efterfølgende stationer som anvendt videnskab, opfindelse, udvikling, marketing og ender til sidst som teknologi i samfundet. Modellen blev for alvor populær lige efter anden verdenskrig i USA, der nu blev anerkendt som verdens teknologisk førende nation, og lige havde set nylon, radio, radar og atombombe. Anerkendte videnskabspolitikere som Vannevar Bush og James Conant brugte den til at organisere forskningsstrukturen. Også for førende videnskabshistorikere (der i perioden opfattede naturvidenskab som teori, se Kraghs artikel), var teknologisk udvikling om ikke udelukkende, så dog primært mulig gennem søgen efter sandhed i den rene naturvidenskab.³

I 1960erne blev naturvidenskabens evne til at avle teknologi, og dermed samlebåndsmodellen, kraftigt udfordret og diskuteret, ikke mindst på politisk niveau. For at måle afkastet af store investeringer i videnskab og teknologi iværksatte det amerikanske forsvarsministerium det store *Project Hindsight*, som skulle identificere og klassificere nøglebegivenhederne, der førte til de tyve mest betydningsfulde våbensystemer. Med en tidshorisont på tyve år blev kun 0,3% af disse begivenheder klassificeret som ustyret, videnskabelig forskning. Cirka 9% af begivenhederne var anvendt forskning og ikke mindre end 91% 'teknologiske begivenheder', hvilket tyder på, at ny teknologi især stammer fra problemer i allerede eksisterende teknologi. *The National Science Foundation* svarede dog med *Project TRACES*, der skulle undersøge spørgsmålet for civile teknologier, og med en længere tidshorisont konkluderede, at naturvidenskabens indflydelse var afgørende. Andre undersøgelser fulgte, men tvivlen var et faktum. Samtidigt blev samlebåndsmodellen undersøgt mere kritisk af teknologi- og videnskabshistorikere. Kritikken gik kun delvis på, at det ofte er teknik eller teknologi, der danner basis for videnskaben - som den praktiske landmåling for Euklids bøger om geometri, Galileis kikkert og senere raket- og satellitteknologien for astronomien, eller dampmaskinerne for termodynamikkens udvikling. Vigtigere er, at teknologi i stigende grad blev anskuet som en selvstændig vidensform, for en stor del genereret uafhængigt af naturvidenskaben. Dette betød samtidig, at den naturvi-

denskabelige videnssfære blev begrænset til blot at være én af flere menneskelige kognitionsformer.

Den amerikanske teknologihistoriker John Staudenmaier (1985) opsummerer arbejdet med teknologi som vidensform i fire typer af teknologisk viden: 'Videnskabelige begreber', 'problemløsningsdata' ('problematic data'), 'ingeniørteori' og 'teknologisk færdighed'.⁴ Videnskabelige begreber stammer ganske vist fra naturvidenskaben, men kan ikke bruges i design-øjemed i deres almene form. De skal tilpasses det konkrete design problem, der igen delvis er bestemt af omstændigheder som materiale, penge, faciliteter osv. Modsat videnskabelige begreber henviser 'problemløsningsdata' til specifikke problemer i teknologisk praksis, hvor et teknisk problem i tests eller under normal brug påpeger et område af uvidenhed, der nødvendiggør ny, men teknologi- og situationsspecifik viden. Ingeniørteori henviser til systematisk brug af eksperimenter til at skabe et formelt og matematisk struktureret intellektuelt system, der beskriver opførslen af klasser af artefakter eller materialer. Som i videnskaben er målet en teori; men som i problemløsningsdata er dagsordenen sat af den teknologiske praksis, idet teorien skal være anvendelig til forudsigelse af præstationen af forskellige menneskeskabte ting. Ingeniørteorien udvider sig også ved at optage relevante problemløsningsdata, der bliver matematisk kodificeret. Dermed opstår et kumulativt videnssystem, institutionelt organiseret ved siden af videnskabens i en teknisk uddannelses- og forskningsinfrastruktur. Endelig henviser 'færdigheder' til fortrolig omgang med materialer, redskaber og maskiner, ofte lært eksperimentelt, gennem '*trial and error*'. De kan også formuleres i tommelfingerregler, givet videre fra generation til generation, der beskriver almene principper i ikke-teoretisk sprog. Før ingeniørteoriens tid kunne teknologiske færdighedstraditioner derfor udfylde rollen som formidler mellem videnssystem og praksis. Bagefter forblev de iøvrigt en uafhængig komponent i teknologisk viden, selv i meget avancerede projekter.

Interaktionen mellem teknologi og naturvidenskab

Når teknologi således bliver betragtet som autonom i forhold til naturvidenskaben, kan også forholdet mellem de to sfærer genbeskrives. Et eksempel på metaforniveau er den amerikanske historiker Edwin Laytons billede af naturvidenskab og teknologi som spejlbillede-tvillinger: Siden sidste århundrede udviklede teknologien sin egen eksplicite vidensbase, professionelle institutioner og publikationskanaler, men i høj grad modelleret efter videnskabens forbillede (tvillingerne); og mens teknologien bruger videnskaben som vidensbase for skabelsen af teknologi, bruger naturvidenskaben maskiner og instrumenter til at udforske naturen (spejl-

billedet).⁵

Desuden er det igen blevet legitimt at undersøge, hvordan og hvornår teknologien begyndte at bruge inspiration fra naturvidenskaben, samt hvordan de vekselvirkede på detailniveau. F.eks. motiverer den engelske teknologihistoriker Donald Cardwell (1994) et sådant projekt som modvægt til den akademiske adskillelse af videnskabshistorie og teknologihistorie som næsten to gensidigt udelukkende samfund, selvom hverken teknologiens eller naturvidenskabens historie kan beskrives ordentligt uden hensyntagen til den anden.⁶ Han angriber spørgsmålet om videnskabens indflydelse på teknologien ved at skelne mellem 'teknik' og 'teknologi', hvor kun den sidste involverer 'systematiseret viden' og derfor har et forhold til naturvidenskab (der bestemmes pragmatisk som systematisk viden uden praktisk formål). I eksplicit erkendelse af, at 'teknik' står for flertallet af fundamentale opfindelser (f.eks. går brug af ild, jagt- og fiskeredskaber, våben, spindel- og væveredskaber, blegning, farvning, maling, keramik, husbygning, landbrug, husdyrhold, skibe, vandforsyning og vandingsanlæg tilbage til forhistorisk tid) og stadig spiller en nøglerolle, fokuseres på historiske nøglebegivenheder for teknologiens opståen som:

(1) Naturvidenskabernes opståen i antikken, hvor et møde mellem græsk filosofisk orienteret tænkning og ægyptisk praktisk sans resulterede i tidlige former for videnskabsinspireret teknologi (såvel som teknik-inspireret naturvidenskab) i den arkimediske tradition i Alexandria.

(2) Accelerationen i middelalderen af den tekniske udvikling (uafhængig af naturvidenskaben), der i renaissance blev gjort til en systematiseret og alment tilgængelig fællesviden gennem publikation af en række bøger som Vannocio Beringuccios *De la pirotechnia* (Venedig 1540), Georg Bauers (på latin: Agricola) *De re metallica* (Basel 1556), og Jacques Bessons *Theatrum instrumentorum et machinarum* (Lyon 1569). Renaissance teknologier inkluderede fremfor alt minedrift, metallurgi, civil engineering og arkitektur i tysk- og italiensktalende områder, mens navigation – en 'matematisk' teknologi – blomstrede op i Portugal og Spanien i det 15. århundrede, og var med til at muliggøre en revolution af datidens verdensbillede.

(3) Denne revolution, samt de teknologiske fremskridt, der blev præsenteret i ovennævnte bøger, inspirerede Francis Bacon, da han i de første årtier af det 17. århundrede fremlagde sit fremskridtsprægede program for naturvidenskab og teknologi: Fremskridt i viden kunne, via en befrielse af forestillingsevnen, føre til nye opfindelser, og derigennem til forbedring af menneskehedens vilkår. Bacons

ideer fik stor indflydelse og nævnes f.eks ved oprettelsen af de første videnskabelige akademier midt i det 17. århundrede, før de blev en standardingrediens i oplysningstidens optimisme. I den berømte *Encyclopédie ... des sciences, des arts et des métiers* (1751-1778) hylder D'Alembert ligefrem Bacon som hovedpersonen bag den moderne verdensopfattelse.

(4) Cardwell, som mange andre, hævder at teknologi og naturvidenskab har udviklet sig sammen siden den videnskabelige revolution i det 17. århundrede. En mand som Galileo Galilei havde ikke blot stor betydning for naturvidenskaben, men var også med til at ændre opfattelsen af maskiner fundamentalt ved at skelne imellem maskinens brug af en naturlig kraftkilde og dens udførelse af arbejde, og introducere udnyttelsen af kraften som matematisk vurdering af maskiner i stedet for normative standarder (var de bygget af gode materialer, udfyldte de formålet, tilfredsstillede de æstetiske krav?)

(5) I det 18. århundrede opstod 'teknologier' på områder som kraftudnyttelse, kommunikation, mekanisering og tidlig kemisk industri, der udnyttede systematisk forskning fra videnskaben.

(6) Endelig blev teknologien autonom ved oprettelsen af egne sociale institutioner magen til videnskabens fra midt i det 18. århundrede, først og fremmest i stater med en stærk centralmagt. I Frankrig f.eks blev uddannelsen indenfor konstruktion af infrastrukturen rationaliseret ved at erstatte mesterlæren med *École des Ponts et Chaussées* så tidligt som 1740erne, og i 1794 blev *École Polytechnique* oprettet til at varetage en almen ingeniør uddannelse. I Danmark blev *Polytechnisk Læreanstalt* oprettet i 1829.⁷ Ved det 19. århundrede slutning havde teknologien fået en veletableret institutionel ramme.

Med hensyn til interaktionen mellem teknologi og naturvidenskab betoner Cardwell, at denne fremmer begge. Dette kan illustreres med konkrete teknologier som radioen og dampmaskinen; den første opfattes ofte som anvendt videnskab, mens den sidste siges at gå forud for den forstående videnskab, termodynamikken. Men i begge tilfælde kan man også betone vekselvirkningen.⁸ Således byggede Thomas Newcomens atmosfæriske dampmaskine (1712), der virkede ved undertryk under et stempel i en cylinder, på det 17. århundredes nye naturvidenskabelige koncepter som Torricellis atmosfære og von Guericke's vakuum, samt Dennis Papins (1690) konstruktion af en dampcylinder (selv om disse i sig selv ikke var tilstrækkelige forudsætninger, da konstruktionen af dampmaskinen krævede en exceptionel teknisk fantasi og færdighed). Og selvom det er en myte, at instrumentmageren ved Glasgow Universitet, James Watt, fik det afgørende videnskabelige input til

hans afgørende forbedring af dampmaskinens varmeøkonomi (1769) fra naturvidenskabsmanden Joseph Blacks opdagelse af latent varme ved samme universitet (Watts separate kondensator har intet hermed at gøre), foregik hans arbejde dog i et naturvidenskabeligt miljø, hvor varme var et helt nyt studieobjekt. Forbedringen foregik ikke i et teknisk miljø (f.eks hos en dampmaskineproducent), hvor dette felt slet ikke fandtes endnu. Til gengæld kunne mange træk ved dampmaskinen ikke forstås, og forsøg på at forstå dem førte som bekendt til termodynamikken midt i det næste århundrede. Senere blev nye termodynamiske indsigter igen omformet til brugbar ingeniørvidenskab, og fik betydning for design af dampmaskiner og andre kraftmaskiner (som f.eks dieselmotoren).

For radioens vedkommende begynder feltet i retrospekt med James Clerks Maxwells spekulative teorier for elektromagnetisme og Heinrich Hertz' eksperimentelle påvisning af de elektromagnetiske bølger, som Maxwells teori forudsagde. Men det krævede den visionære italiener Guglielmo Marconi til at udvikle et praktisk, trådløst sender/modtager-system for lange bølger og bruge det kommercielt. Herefter satte teknologien adskillige gange dagsordenen for fysikken. I sine bestræbelser på at øge transmissionsafstanden ved at øge bølgelængden nåede Marconi f.eks meget længere, end han burde kunne ifølge den videnskabelige teori. Hans lange elektromagnetiske bølger opførte sig åbenbart ikke som lys, men kunne følge jordens krumning. Videnskaben svarede kort efter århundredskiftet med at postulere eksistensen af et eller flere elektrisk førende lag i atmosfæren, som kunne lede bølgerne - ionosfæren. Knap to årtier senere fandt radioamatører, at korte bølger – som blev tildelt dem fordi de ikke fulgte jordens krumning og derfor antoges at have kort rækkevidde – kunne modtages længere væk end langbølger. Dette forklarede efterfølgende med refleksion i ionosfæren, og blev brugt videnskabeligt til at bestemme ionosfærens højde over jordoverfladen. Endnu senere trak radioen igen på fysikken, f.eks ved udviklingen af vakuumrøret. Eksemplerne viser, at samspillet mellem naturvidenskab og teknologi fortsat kan være et frugtbart forskningsfelt.

2. Teknologiens interne dynamik

Studier af teknologiens interne dynamik

Mens teknologiens dynamik således kan studeres i samspil med naturvidenskabens udvikling, har en anden tradition indenfor feltet fokuseret på det autonome træk ved teknologien i forhold til andre samfundsinstitutioner. Sådanne studier af

teknologiens interne dynamik har oftest deres omdrejningspunkt omkring den *logiske* sammenhæng i teknologisk udvikling: Fortællingen struktureres efter de forskellige skridt, der logisk førte til den nutidige teknologi, på bekostning af en fokuseren på historiens mere kringlede veje. Man finder en sådan tilgang i f.eks antropologen og arkæologen Pitt-Rivers' *The evolution of culture* (1906), der søgte at klassificere teknologi analogt med Linaeus' klassifikation af plante- og dyreriget, dvs. på basis af formslægtskab snarere end geografi. Ved at forudsætte en udvikling fra simpelt til komplekst, og eksplicit se bort fra geografiske og kulturelle kendetegn, fremstilles en fremadskridende rækkefølge af artefakter, der tidstypisk bruges som bevis for den menneskelige evolution.⁹ Man finder også denne rækkefølge i encyklopædiske værker, fra den udmærkede og detaljerede danske *Opfindelsernes Bog* (i forskellige udgaver fra 1880'erne til 1920'erne) til det vigtigste internationale referenceværk, syvbindsværket *A History of Technology* (1954-1978).

Selvom formålet bag en logisk ordning af materialet i en fremadskridende rækkefølge i nyere tid oftest er pædagogisk, har kritikere gang på gang påpeget, at ordningen ligger tæt op ad en teknologisk determinisme. Dette bliver oftest fortolket bogstaveligt som tesen, at teknologien determinerer sit eget fremskridt (dvs. udvikler sig uafhængigt af andre samfundsinstitutioner), samt at den netop har en determinerende virkning på disse institutioner som eksogen variabel. Den eksplicite og mere reflekterede idé om teknologisk determinisme findes f.eks i et klassisk essay fra den økonomiske historiker Robert Heilbroner (1967). Med udgangspunkt i Marx' velkendte aforisme fra *Filosofiens Elendighed* (1847), at håndmøllen giver et samfund med en feudalske herre, mens dampmøllen giver et samfund med en industrielle kapitalist, foreslår Heilbroner, først at teknologiens interne logik giver en fast rækkefølge i teknologiske fremskridt, som teknologisk udviklede lande må følge; derefter specificerer han påvirkningen fra den teknologiske udvikling til den socialøkonomiske orden.¹⁰ Med hensyn til teknologiens fremskridt hævder han, at dampmøllen ikke kan gå forud for håndmøllen, ligesom den selv er et nødvendig skridt på vejen til den hydroelektriske kraftstation, der igen må gå forud for atomkraften – selvom et samfund selvfølgelig kan vælge fra. Denne antagelse om "én, og kun én, avenue af fremskridt" understøttes af nogle empiriske observationer. For det første finder samme opfindelse ofte sted samtidigt hos forskellige personer på forskellige steder. Dette indikerer, at opfindelsen foregår på en veldefineret vidensfront. For det andet synes teknologisk udvikling at foregå evolutionært, uden spring ('der kunne ikke være forsøg med atomkraft i året 1700'). Og for det tredje er der en lang historie af teknologisk forudsigelig-

hed; teknologisk fremskridt synes forudsigeligt ud fra sin egen udviklingslogik. Derudover nævner han også logiske grunde til, at der må være en fast rækkefølge i teknologiens udvikling: En bestemt tids vidensbase og materielle kompetence begrænser dens teknologiske kapacitet. Desuden kræver produktion af mere avanceret teknologi arbejdsdeling og industriel specialisering. Da dette igen hænger sammen med den forhåndenværende kapital, bliver kapitalakkumulation en tredje uafhængig regulator af teknologisk formåen.

Det er værd at bemærke, at Heilbroner er klar over, at tesen om en fast rækkefølge i den teknologiske udvikling nemt glider over til en fejlagtig efterrationalisering. Han opbløder derfor sin position til en 'blød determinisme', der accepterer, at samfund kan vælge ikke at følge rækkefølgen, såvel som prioritere fremskridt i forskellige områder, f.eks krigs-, landbrugs- eller industriel teknologi. I denne formulering er 'opfindelsesrækkefølgen' givet, men 'anvendelsen' social bestemt.

Nødvendigheden af en fast rækkefølge i teknologisk udvikling, samt tesen om teknologien som sin egen drivkraft, er ofte blevet radikalt afvist. Feltet socioteknologi, der behandles i sidste del af artiklen, er et eksempel herpå. Andre forfattere har kritiseret nødvendigheden, men fastholdt et fokus på teknologiens interne dynamik. Et eksempel er amerikaneren George Basallas detaljerede argumentation for den teknologiske udviklings evolutionære karakter.¹¹ Basalla afviser fuldstændigt Pitt-Rivers' og Heilbroners idé om en prædetermineret rækkefølge i teknologiens udvikling, for såvidt denne er baseret på biologisk nødvendighed (menneskets udvikling), eller forbundet med en entydig, kulturel udvikling. Et eksempel på et brud på den alment forudsatte, kulturfrie rækkefølge er nøgleopfindelsen hjulet, der i sin tid (for 5000 år siden) blev opfundet i Mesopotamien. Hjulet, eller rettere vognen, spredtes hurtigt herfra til brug i ritualer, krig og godstransport. Men mellem det 3. og 7. århundrede e.Kr. blev vognen afskaffet i de mellemøstlige og nordafrikanske civilisationer, hvor den var opfundet og først taget i brug, til fordel for en hurtigere og mere effektiv måde for menneske- og godstransport: Den blev bevidst erstattet af kameler, der sammenlignet med en heste- eller oksevogn krævede mindre mad og vand, kunne bære mere, kunne gå hurtigere og længere, ikke havde brug for veje og broer, og ikke behøvede at slæbe dødvægt med sig i form af en vogn. Rækkefølgen gik fra vogn til pakyd; hjulet blev først genindført af europæiske stormagter i imperialistisk øjemed. Hvis hjulet nu til dags bliver fejret som stenalderens vigtigste opfindelse sammen med brugen af ilden, og pakyrets rolle dermed undervurderes i teknologihistorien, er dette et resultat af populærlitteraturens definition af hjulets vigtighed fra sidst i det 19. århundrede, der – uden at man

skal benægte hjulets nutidige betydning – slører for det klart geografi- og kultur-specifikke træk i dets historie.

Mens teknologiens kultur-uafhængighed således afvises, insisterer Basalla alligevel på at bevare Pitt-Rivers' og andres idé om en evolutionær udvikling, hvor nye artefakter kun kan fremkomme af foregående artefakter. Dette projekt er kritisk rettet mod en populær opfattelse af teknologisk udvikling som ad hoc respons til her og nu behov, i form af store spring fremad, takket været såkaldte geniale opfindere. Dermed bliver en første opgave at bestemme en given teknologis eventuelle forløbere. I hjulets tilfælde f.eks. foregik tidligere tung transport på slæder; slæden kunne nemmere rulles frem på en række afskallede træstammer, der antages at have været inspirationen for hjulet. Men også indviklede opfindelser, som transistoren og elforsyningen, har forløbere; transistoren i form af krystalmodtagere fra slutningen af det 19. århundrede (qua materiale) og vakuummøret (qua funktion), og Edisons elforsyning i form af bygssystemet og tidligere elektriske belysningsanlæg af enkelte pladser, fyrtårne eller fabrikker. Endeligt antager Basalla (det kan vanskeligt påvises), at de første artefakter havde forløbere i naturofakter. Disse fortsætter med at inspirere opfindelser; et eksempel fra det 19. århundredes USA, med stor samfundsmæssigt betydning, er pigtråden, der ikke kom ud af ingenting, men kombinerede grenstrukturen fra osagetornebusken (der blev massivt dyrket til hegn) med flad tråd (der alene ikke kunne standse kvæget).

Teknologisk udvikling undersøges således primært som bevægelse med rod indenfor teknologien selv. Men Basalla hævder naturligvis ikke, at forløbere alene kan forklare teknologiske forandringer (lige så lidt som Cardwell hævdede at naturvidenskab var en tilstrækkelig forudsætning for videnskabsbaserede teknologier). I sin undersøgelse af nyhed mod en baggrund af kontinuitet identificerer Basalla flere væsentlige kilder, såsom menneskelig fantasi, drømme, social-økonomiske eller kulturelle kræfter, og naturvidenskabens fremskridt. Herigennem råder ethvert samfund over et meget større teknologisk fornyelsespotentiale end det nogensinde vil kunne realisere (variation). Derfor afsluttes den teknologiske fornyelsesproces med en selektion, der gennemgående sker i overensstemmelse med værdier og følte behov i samfundet (økonomisk, militært, socialt og kulturelt).

Teknologien og historien

Det mest provokerende i Heilbroners teknologiske determinisme har dog været tesen om, at der finder en envejs påvirkning sted fra teknologi til resten af samfundet, som det fremgår af Marx-aforismen. Heilbroner observerede teknologiens

indflydelse på politik (krigsteknologi) og sociale attituder (radio og fjernsyn), men forsøgte kun at kvalificere påvirkningen af den socioøkonomiske orden efter Marx' indsigt, om at brug af nye produktivkræfter får mennesker til at ændre produktionsmåder, hvilket får dem til at ændre livsstil. Mekanismerne er, ifølge Heilbroner, at teknologier fra forskellige stadier kræver forskellige typer af arbejdskraft (dampmøllen krævede f.eks uskoledede operatører, som skulle arbejde på fabrikken i et tidsskema dikteret af maskinerne) og forskellige former for organisation og forhold mellem ejer og arbejder. Denne organisation skulle igen påvirke samfundets klasseopdeling. Herved bliver teknologi den afgørende drivkraft i historien.

Heilbroner deler sin fornemmelse af teknologiens vigtighed med de fleste teknologihistorikere. De sidste bliver dermed placeret i et dilemma. På den ene side bruges denne vigtighed til at forsvare feltets status i den historiske diskurs, og faghistorikere kritiseres med rette for deres ofte manglende sans for teknologi som faktor i kulturhistorien. Men på den anden side legitimeres feltet ofte primært, som en bekæmpelse af en unuanceret teknologisk determinisme, og programmet for den kontekstualistiske teknologihistorie blev at fremstille teknologiens udvikling, som i det mindste delvis resultat af kulturelle faktorer (som titlen på fagets førende tidsskrift *Technology & Culture* forsøger at antyde). Denne programmatisk afstandtagen fra vulgærdeterminismen har ført til et hav af case-studier af bestemte teknologiers udvikling, der fremviser en sådan forbindelse fra kultur til teknologi. Hermed sammenhængende er undersøgelsen af teknologiers påvirkning af, eller brug i, samfundet underprioriteret (dette overlades, med en tvetydig følelse, til journalister), selvom det er ved at ændre sig i 1990'erne.

Der er derfor et behov for at præcisere hvad der bør tages afstand fra. Jeg skal dog ikke gå ind på, hvorvidt hovedreferencen i diskussionen, Karl Marx, kan opfattes som (teknologisk) determinist på grund af sin aforisme; litteraturen herom er yderst fyldig. Det er imidlertid vigtigt at understrege, at fortalere for teknologisk determinisme næppe betragter dette som en 'påstand', men forsøger at udfylde forskellige, velbegrundede forskningsfelter. Bruce Bimber skelner f.eks mellem tre typer teorier af teknologisk determinisme af samfundets udvikling.¹² Heraf adskiller de to sig radikalt fra den bogstavelige fortolkning. I en 'normativ version' fokuserer forfattere som Jürgen Habermas, Herbert Marcuse, Langdon Winner, Lewis Mumford, og – muligvis stærkest formuleret – Jacques Ellul (*La Technique* 1954) på en udvikling i normer fra en politisk og etisk diskurs hen imod effektivitet eller produktivitet. Selvom teknologihistorikere ikke sjældent har påpeget, at disse i deres kritiske projekt giver teknologi en 'virken' og indflydelse, der oversti-

ger teknokraternes stærkeste fordringer¹³, betoner Bimber, at en sådan teknologisk determinisme ikke er kultur-uspecifik; tilgangen dekonstruerer netop den teknologiske determinisme som historiskkulturelt fænomen. Og i en anden version betones de 'uforudsete følger' af teknologisk udvikling, som selv ikke viljestærke, etiske aktører kan forudse. Derfor er denne udvikling i det mindste delvis autonom. Men det er en autonomi uden faste love, der snarere lægger op til indeterminans. Tilbage bliver den 'nomologiske version', hvor Heilbroner gerne placeres, der fastholder en nødvendighed i påvirkningen uafhængig af kultur og menneskelig vilje og værdier.

Som et moderne eksempel på en forfatter, der afviser en nomologisk teknologisk determinisme af samfundsinstitutionernes udvikling, men fastholder perspektivet om teknologiens indflydelse på samfundet, er Odense-professoren David Nye. Hans studium af elektrificeringen af USA (1990), f.eks, går ikke ind i teknologiens udviklingsdynamik overhovedet, den tages for givet. Studiet afviser dog en automatisk påvirkning af elektriciteten på det omgivende samfund. Tværtimod beskrives det, hvordan forskellige samfundsinstitutioner som byen, industrien, landbruget og hjemmet valgte at bruge elektricitet på en måde, der passede til og forstærkede de transformationer, de var i gang med. F.eks. fravalgte amerikanske husholdninger den (feministiske) vision om lejligheder med fællesfaciliteter (køkken, vaskeri), som elektriciteten også muliggjorde. I stedet for blev lejligheden en kopi af det elektrificerede enfamiliehus, hvor hver familie havde hele spektret af elektriske apparater selv. Og mens elektricitet i begyndelsen af århundredet i Europa blev set som den lille eller mellemstore industris kraftmaskine (så den kunne konkurrere med dampdrevne fabrikker), brugte den amerikanske industri elektricitet til fortsat at forøge produktionsstørrelsen, mest udpræget med fordismens samlebåndsproduktion (som på flere måder var afhængig af elektricitet; f.eks. behøvede fabrikken ikke længere at bygges kompakt og indrettes efter et mekanisk kraftoverførselsystem, men kunne få form af meget lange, lave bygninger, hvor rækkefølgen af maskiner var bestemt af deres funktion alene).¹⁴

3. Socioteknologi

En tredje og i nyere tid meget omdiskuteret måde at undersøge teknologisk udvikling på, kombinerer historiske og sociologiske perspektiver. I et manifest for en ny historisk teknologisociologi, eller sociologisk teknologihistorie, antologien *The social construction of technological systems* (1987), præsenteres dette felt som en

radikal afstandtagen fra de to teknologiopfattelser, som blev behandlet ovenfor, nemlig teknologi som anvendt naturvidenskab og teknologisk determinisme.¹⁵ Hvor Cardwell, Basalla og Nye blev nævnt som eksemplariske forsøg på at fastholde perspektivet udenom kritikken, insisterer dette felt på kompromisløs nytænkning. Som modstrategi til disse to determinismer afviser det en beskrivelsesmodel, der bruger overordnede beskrivelses kategorier med a priori defineret mening som 'teknologi', 'naturvidenskab', 'samfund', 'økonomi', 'politik' eller 'jura' til at klassificere begivenheder og forklare påvirkninger på et overordnet plan. Det betones, at konstruktørerne selv konstant overskrider grænserne mellem disse sfærer, og at deres aktiviteter derfor ikke kan følges i dette stive beskrivelsesmodel. Derfor udvikles nye vokabularer, der kan følge konstruktionsprocessen som en konstant overskriden af sfærene (som en konstruktion af 'hybrider', som Bruno Latour kalder dem). Det bemærkes også, at dikotomier som teknologi/naturvidenskab eller teknologi/samfund kan være en del af konstruktionsprocessen, men ikke nødvendigvis går forud for den. På samme måde tales om den samtidige konstruktion af teknologien, dens omgivelser, og dens effekter. Selvom afstandtagen fra de gamle felter går lidt hurtigt, har de nye begreber åbnet for et veritabelt nyt genstandsområde i interaktionen mellem teknik og ikke-teknik, nemlig området 'socioteknisk forandring'.

Manifestet fra 1987 præsenterer eksplicit tre tilgange, der skulle demarkere et 'forskningsprogram': Systemteorien, SCOT (Social Construction of Technology) og aktør/netværkteorien, der introducerer forskellige begreber og metoder til at håndtere den socioteknologiske kompleksitet. Jeg skal her af pladshensyn kun kort behandle de første to.

Systemteori

Systemteorien, introduceret af den amerikanske historiker Thomas Hughes, erstatter studiet af isolerede artefakter eller processer med den helhed, som de indgår i. Den adskiller sig fra andre systemteorier ved fuldt ud at integrere 'tekniske' og 'ikke-tekniske' elementer i beskrivelsen på mikroniveau: Via 'systembyggen' studeres udviklingen af et system af funktionelt sammenhængende, men heterogene (dvs traditionelt klassificeret som tekniske, kulturelle, politiske) elementer. I det paradigmatisk studie af elforsyningen forenede Edison f.eks et koncept om elektricitetssalg, en ny form for ledningsnet, en ny glødelampe, en ny generator, patent-, produktions- og elforsyningsselskaber og medie billedet af 'den geniale opfinder' (der var et resultat af, snarere end en årsag til, dygtig systembygning). Videre studeres systemets vækst gennem en fasemodel, hvor

forskellige systembyggere konfronteres med forskellige problemer.

Andre vigtige koncepter er 'teknologisk stil', der modsat en traditionel opfattelse af teknologispredning udtrykker teknologiens ændring når den indgår symbioser med nye elementer på nye lokaliteter, og systemets 'dynamiske inert' ('momentum') i konsolideringsfasen, der hviler på forskellige elementer (investeringer, fysiske strukturer, arbejdspladser mm.) og giver systemet dets tilsyneladende, men ikke reelle, autonomi i forhold til omgivelserne (der også er heterogene).¹⁶ Senere har Hughes syntetiseret systembygningens historie med det moderne USAs tilblivelse (systemernes opståen, spredning, en teknologisk kultur med mammutsystemer, og modkultur).¹⁷

Det såkaldte LTS ('Large Technological Systems')-felt, som det findes idag, forener både heterogenitets- og vækstperspektiver. Sociologer tiltrækkes af nye måder at forstå komplekse teknologier i samfundet på; systemfejl er en vigtig studiekilde, som ved rumfærgen *Challengers* eksplosion i 1986 eller krigsskibet *USS Vincennes*' nedskydning af et iransk passagerfly (der fejlagtigt blev identificeret som et F14 kampfly) i 1988. I begge tilfælde er en reduktion til henholdsvis teknisk fejl (O-ringen) og menneskelig fejl (stress) misvisende, da der var tale om en ny type fejl, hvor vekselvirkende heterogene elementer greb ind i hinanden, og skabte en uforudsigelig begivenhedskæde. Historikere tiltrækkes af indsigt om, at ikke maskiner og mekanisering, men store teknologiske systemer som energi-, kommunikations-, vandbeherskelses- og transportsystemer karakteriserer det tyvende århundredes teknologi. Begge faggrupper legitimerer feltet ved henvisning til store teknologiske systemers vigtighed i det moderne samfund, hvor de som 'dybe strukturer' spiller en afgørende rolle for moderne menneskers hverdag.¹⁸

En passant er nogle svagheder i systemtilgangen udpeget, heriblandt det iøjnefaldende problem at systembyggerperspektivet indebærer en slags 'heroisk teori om individuel handlen'; Hughes erstattede 'den geniale opfinder' med 'den heroiske systembygger', hvilket betød en overeksponering af magtfulde individer eller organisationer på bekostning af andre, mere usynlige og tilsyneladende mindre magtfulde, grupper. I et stort teknologisk system som vejtrafikken er forbrugere f.eks. tillige systemoperatørerne, og derfor en afgørende gruppe. Det er derfor blevet foreslået at inddrage 'antihelte' som systembyggere. Videre kritiseres systemtilgangens funktionalisme, der gør den ufølsom for tilfældigheder, konflikter og kompromiser som vækstbetingelser. Endelig risikerer den, på grund af sin fokuseren på systemernes interne dynamik, at producere en slags systemdeterminisme, der underbetoner ændringsmulighederne. Og mens systemtilgangen kan beskrive velordnede vækstprocesser, bliver fænomener som desintegration og

fragmentering overset, selvom også de kendetegner teknologisk forandring i det tyvende århundrede.¹⁹

SCOT

Modsat systemmodellen starter den såkaldte *Social Construction of Technology* (SCOT) tilgang, formuleret af nederlænderen Wiebe Bijker og englænderen Trevor Pinch, eksplicit på artefaktniveau i formuleringen af sin beskrivelsesmodel, for senere at gå over til studiet af sociotekniske ensembler.²⁰ Beskrivelsesmodellen søger ikke kun at åbne brugen, men også selve den fysiske udformning af artefakter for sociologisk analyse. Hertil overføres begreber fra det videnskabssociologiske *Empirical Programme of Relativism* (jvf. Kjærgaards artikel i dette nummer). Således kræves en 'symmetrisk' behandling af retrospektivt succesrige teknologier og retrospektive fiaskoer for at undgå determinismens 'rækkefølge' (den såkaldte lineære beskrivelsesmodel), og den ofte medfølgende, men tautologiske, forklaring af denne, der først konkluderer at de sejrende teknologier må være teknisk overlegne (ellers ville de jo ikke sejre), og så bruger denne tekniske overlegenhed til at forklare den historiske konkurrence mellem gamle og nye teknologier. I det paradigmatiske cykeleksempel er det f.eks. ofte blevet antaget, at vores sikkerhedscykel (med to lige store hjul og kædetræk på baghjulet) må være bedre end 1880ernes væltepeter, og derfor hurtig erstattede den. Men i 1880erne var væltepeteren netop succes, mens forløbere for vores sikkerhedscykler blev opfattet som teknisk udelige og var kommercielle fiaskoer. Prædikatet 'teknisk overlegenhed' forklarer ikke noget, men dets attribution til artefakter i tid kan selv beskrives.

I SCOT beskrivelsesmodellen gøres dette ved (1) at demonstrere artefaktets 'tolkningsmæssige fleksibilitet' via 'relevante sociale gruppers' tolkninger af dets væsen og problemer (til forskel fra videnskabssociologien, hvor man kan nøjes med at undersøge en lille gruppe forskere (core set)); (2) at kortlægge, hvordan forskellige løsninger på de forskellige problemer muliggør at samme artefakt kan udvikles i flere modsatte retninger samtidigt, så der eksisterer en række design-varianter; og (3) efter denne sociologiske dekonstruktion af artefaktets betydning og design, at rekonstruere betydningsstabiliseringsprocessen og evt. endda 'closure' (reduktion til én betydning og design). I cykel-eksempel opfattede rige unge mænd i 1870erne væltepeteren som en machomaskine med kvaliteter som hastighed og farlighed (tidligere sikkerhedscykler var derfor teknisk udelige), mens tourcyklister så et dårligt 'transportmiddel'. Artefaktet spaltede da macho-maskinen fik højere forhjul, mens transportmidlet fik lavere forhjul eller tre

hjul, og en stor variation i design eksisterede i 1880erne og 1890erne. Herefter fulgte selektionen eller closure: En afgørende, men tilfældig begivenhed var Dunlops nye luftdæk, der skulle afhjælpe sikkerhedscyklens vibrationer. De gjorde ikke sikkerhedscyklen entydig teknisk bedre (for de indførte også punkteringer), men da de viste sig at gøre sikkerhedscyklen hurtigere end væltpeteren, kunne de forskellige gruppers tolkning af teknisk duelighed konvergere i et design. I løbet af få år omkring århundredskiftet blev betydningsspektret omkring cyklens design lukket: Sikkerhedscyklen blev defineret som teknisk overlegen og repræsenterer nu 'cyklen', mens væltpeteren for eftertiden kun bevarer konnotationen 'farlig' (og får her sit navn af modstanderne).

Mens SCOT-tilgangens første fase således foregår på artefaktniveau, søger den i en anden fase at undersøge den moderne teknologiske kulturs opståen. Studieobjektet bliver her såkaldte 'sociotekniske ensembler', og modstandsargumentet forlades til fordel for en analyse af både sociologiens og teknologiens objekter under ét - sociale klasser og virksomheder såvel som maskiner holdes sammen af uadskillelige tekniske og sociale relationer. Et centralt begreb er 'teknologisk ramme' ('technological frame'), en variation af Kuhns paradigmebegreb, der strukturerer gruppers tolkninger på samfundsplan (individer kan dog have større eller mindre involvering i én eller flere rammer). Et eksempel på en SCOT-analyse af et socioteknik ensemble er studiet af det gigantiske søværn-projekt 'Deltawerken' (fra 1950erne til 1980erne) i de havtruede Nederlandene, hvor det vises hvordan ministerier, miljøgrupper, medier, ingeniører mm. forhandlede og skabte et gigantisk ensemble (inklusive tekniske og sociale strukturer), der samtidig blev en konstituerende struktur for Nederlandene som land.²¹

Modsat systemmodellen kan SCOT modellen tillade beskrivelsen af såvel fragmentering (tolkningsmæssig fleksibilitet) som struktur (closure, ramme), harmoni og konflikt i teknologisk udvikling. Blandt SCOTs åbenlyse problemer er dog, at undersøgelsen af sociale enheder, som 'grupper' og 'samfund', er væsentlig mindre detaljeret end analysen af tekniske enheder.

4. Afslutning

Til slut skal det bemærkes, at også eksistensberettigelsen af feltet socioteknologi – og som eksponent herfor tages især SCOT-tilgangen, der med sit fokus på 'fortolkninger' provokerer en angst for relativisme, enten i forhold til objektive tekniske kriterier, eller i forhold til sociale magtsstrukturer²² – er blevet angrebet. Ligesom

SCOTs egne angreb, på bl.a eksisterende studier af naturvidenskab og teknologi eller teknologisk determinisme, har været reduktive, reducerer relativist ængstelige angreb gerne SCOT til en påstand, f.eks en bogstaveligt tolkning af social konstruktivisme som 'det sociale' der bestemmer 'det tekniske' (hvormed SCOTs eksplicitte afvisning af disse kategorier, insisteren på at have metodologisk snarere end ontologisk, epistemologisk eller normativ relevans, samt integration af tekniske muligheder (problemløsninger) og interpretationer af udviklingsretninger på mikroniveau, overses). Derved bliver 'socialkonstruktivisme' et skældsord på niveau med 'teknologisk determinisme' eller 'teknologi er anvendt naturvidenskab' tesen. Ingen af formuleringerne kan idag fremsættes uden negative konnotationer.

Der ligger derfor en pointe i ikke at forsøge at definere teknologiens 'sande væsen', og dermed reducere diskussionen til for eller imod påstande om dette væsen, som teknologihistorikere gerne gør med empirisk, og teknologifilosoffer med logisk skyts, her med tesaerne om anvendt videnskab, teknologisk determinisme eller socialkonstruktivisme. I stedet for kan et tematisk fokus på dem som metodologiske strategier og de genstandsområder, som de originalt åbner, muliggøre en distinktion mellem problematiske og produktive elementer indenfor hvert tema.²³

Noter

1. Den absolutte standardreference for denne (amerikanske) kontekstualistiske teknologihistorie er stadig John M. Staudenmaier, S. J., *Technology's storytellers. Reweaving the human fabric* (Cambridge, Ma.: MIT Press, 1985). En nyere oversigt er Robert Fox (red.), *Technological change. Methods and themes in the history of technology* (Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1996). Og en nyttig oversigt over teknologiteorier er Andrew Jamison, "Technology's theorists: Conceptions of innovation in relation to science and technology policy", *Technology and Culture* Vol.30 (1989), 505-433.
2. Dette var dog ikke tilfældet, jvf. Bruce Sinclair, "The road to Madison and back: Notes from a traveller" i *Snapshots of a discipline: Selected proceedings - Madison, 1991. Supplement to Technology and Culture*, Vol. 36 (1995), nr. 2, 3-15.
3. Mht. den amerikanske debat følges George Wise, "Science and technology", *Osiris*, 2nd series, 1985: 229-246.
4. Staudenmaier 1985, 99-120.
5. Wise 1985 sammenfatter denne og andre metaforer.
6. Donald Cardwell, *The Fontana history of technology* (London: Fontana Press, 1994).
7. For en analyse af den danske polytekniske uddannelses etablering se Michael F. Wagner, "Danish Polytechnical Education between Handicraft and Science" i Dan Ch. Christensen (red.), *European historiography of technology* (Odense: Odense University Press, 1993), 146-163.

8. Cardwell 1994.
9. Se George Basalla, *The evolution of technology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1987), 30 ff.
10. Robert L. Heilbroner, "Do machines make history?", *Technology and Culture* Vol. 8 (1967), 335-345. Genoptrykt i Meritt Roe Smith & Leo Marx (red.), *Does technology drive history? The dilemma of technological determinism* (Cambridge, Ma: MIT Press, 1994), 53-66. Se også Heilbroner's tilbageblik "Technological determinism revisited", *Ibid.*, 67-78.
11. Basalla 1987.
12. Bruce Bimber, "Three faces of technological determinism", i Meritt Roe Smith & Leo Marx (red.) 1994, 79-100.
13. F.eks Merritt Roe Smith, "Introduction" , *Ibid.*, 2-35.
14. David E. Nye, *Electrifying America. Social meanings of a new technology, 1880-1940* (Cambridge, Ma.: MIT Press, 1990)
15. Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes & Trevor J. Pinch (red.), *The Social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology* (Cambridge, Ma.: MIT Press 1987).
16. Thomas P. Hughes, *Networks of power. Electrification in western society, 1880-1930* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983) og "The evolution of large technological systems" i Bijker, Hughes & Pinch 1987, 51-82.
17. Thomas P. Hughes, *American genesis. A century of invention and technological enthusiasm 1870-1970* (NY: Penguin, 1989).
18. For en aktuel oversigt se Jane Summerton, "Store tekniske system. En introduktion til forskningsfältet" i Pär Blomkvist & Arne Kaijser (red.), *Den konstruerade världen. Tekniska system i historiskt perspektiv* (Stockholm: Brutus Östlings Bokförlag Symposion, 1998), 19-44. Begge eksempler findes i Todd la Porte (red.), *Social responses to large technological systems: Control or anticipation* (Dordrecht: Kluwer, 1991).
19. Se bl.a Summerton 1998.
20. Bijker's klassiske SCOT studier er samlet i Ph.D. afhandlingen *The social construction of technology* (Eijsden: Alfa, 1990), men først publiceret i stort oplag i Wiebe Bijker, *Of bicycles, bakelites, and bulbs: Toward a theory of sociotechnical change* (Cambridge, Ma.: MIT Press, 1995). For SCOT's brug af EPOR se Trevor Pinch & Wiebe Bijker, "The social construction of facts and artifacts: Or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other", i Bijker, Hughes & Pinch (1987), 17-50.
21. Wiebe E. Bijker, "Sociohistorical technology studies", i Sheila Jasanoff m. fl. (red.), *Handbook of science and technology studies* (Thousand Oaks: SAGE, 1995), 229-256.
22. For en aktuel oversigt og svar på kritik se f.eks Trevor Pinch, "The social construction of technology: A review" i Robert Fox (red.) 1996, 17-35.
23. Latour forsøger dog en forening også på ontologisk niveau; mens de tre kritiske traditioner epistemologi, magtkritik og diskursanalyse oftest bliver opfattet som gensidigt eksklusive, er hybridene både reelle, kollektive, og fortalte. Aktør/netværkteorien skulle gøre det muligt at beskrive dette. Bruno Latour, *We have never been modern* (NY: Harvester Wheatsheaf, 1993), kap. 1.