

# Kapitel 2: Datalogi og teknologi

Henrik Kragh Sørensen      Mikkel Willum Johansen

22. april 2022

<b>Indhold</b>	5
2.1 Fra grundforskning til innovation . . . . .	1
2.2 Teknologiske systemer . . . . .	6
2.3 Verdenssyn og datalogiens teknologiske paradigme . . . . .	9
2.4 Vidensproduktionen i datalogi og informationsteknologi . . . . .	10
<b>Litteratur</b>	<b>12</b>

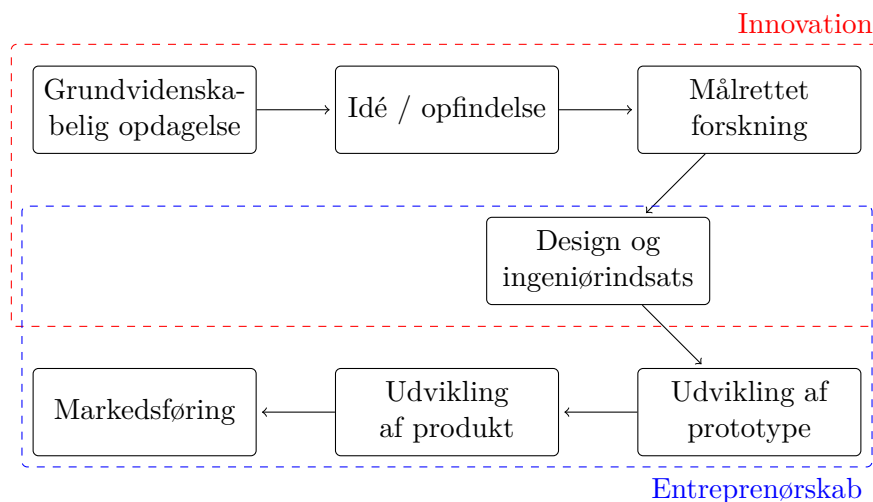
## 2.1 Fra grundforskning til innovation

Den 'lineære model' betegner en ide om, at videnskabelig og teknologisk udvikling hører sammen, således at viden mere eller mindre automatisk omsættes til teknologiske fremskridt. Modellen udgør (eller udgjorde i hvert fald) et argument for grundvidenskabelig forskning: Hvis man som samfund ønsker teknologisk, militær og økonomisk innovation, var svaret i anden halvdel af 1900-tallet i høj grad baseret på omfattende investeringer i grundforskning. Og som beskrevet i kapitel 1 går denne argumentation tilbage til VANNEVAR BUSH'S (1890–1974) rapport fra slutningen af Anden Verdenskrig:

Nye produkter, nye industrier og flere jobs kræver vedvarende tilføjelser til vores viden om naturens love og anvendelsen af denne viden til praktiske formål. [...] Denne essentielle nye viden kan kun opnås gennem videnskabelig grundforskning. (Bush, 1945)

Argumentet i anden halvdel af citatet udtrykker altså en klar årsagssammenhæng, som hævder, at nye produkter kræver grundforskning. Men argumentet blev også anvendt i den anden retning, som et argument for en lineær proces fra grundforskning til produkt, som man kan anskueliggøre som en slange af veldefinerede og adskilte skridt, se figur 1 (Kline og Rosenberg, 2009). Processen begynder med en grundvidenskabelig erkendelse, måske erhvervet under ren nysgerrighedsdrevet forskning. Denne erkendelse omsættes til en opfindelse, idet nogen får en ide til at udnytte den til et praktisk formål. Derefter følger en fase med målrettet forskning, hvor der igen tilvejebringes ny viden, men denne gang med det formål at få ideen til at fungere. Derefter skal denne viden omsættes til et produkt, og heri indgår både ingeniørvidenskab, som afdækker de tekniske muligheder

og begrænsninger, og design af æstetisk og praktisk karakter. Derefter er man i stand til at lave en prototype, som kan afprøves, inden den omsættes til et produkt, der kan (masse)produceres og markedsføres. Modellen, som den er beskrevet her, kan betragtes som omfattende to dele: en „innovationsdel“, som er karakteriseret ved at producere viden, som skaber værdi og nytte, og en „entreprenørskabsdel“, der omsætter denne viden til faktiske produkter i markedet. Og fordi denne model antyder en automatisk og fremadskridende proces, kan man også kalde den for *samlebåndsmodellen for teknologisk innovation*.



Figur 1: Skematisk fremstilling af 'samlebåndsmodellen' for teknologisk innovation.

Med andre ord er der i den simplificerede model i figur 1 indbygget to antagelser om videnskabelig og teknologisk videns- og værdiskabelse: 1. Processen er (i høj grad) lineær i den forstand, at den er drevet af videnskabelige erkendelser, som nærmest automatisk kan omsættes til produkter. 2. Processen kan inddeles i to faser, styret af forskellige logikker: innovation (vidensproduktion) og entreprenørskab (værdiproduktion). Begge disse antagelser er, som vi skal se, naive og ofte direkte misledende. For eksempel har en klar adskillelse af processerne konsekvenser for, hvordan etisk ansvar fordeles i innovation eller hvordan man politisk bedst understøtter ny teknologi, og det skal vi vende tilbage til i det følgende. Men måske endnu mere kritisk for modellen er det, at den ikke er passende som beskrivelse af *faktiske* innovationer, fordi den dels har en forsimplet opdeling af vidensproduktionens motivationer og sociale indlejring og dels fundamentalt bygger på et forsimplet billede af teknologi, som den betragter mere som artefakter end som systemer. Så for at diskutere og nuancere denne model er vi nødt til at inddrage faktiske innovationer og et mere nuanceret billede på ingeniørfaget.

For det første er teknologisk innovation og grundforskning slet ikke altid så klart adskilte og modsatte processer. Det kan man illustrere ved en nuancering af samlebåndsmodellen ved hjælp af kvadranter (figur 2), sådan som politologen DONALD E. STOKES (1927–1997) præsenterede det i sin bog *Pasteur's Quadrant*. Deri forestillede han sig, at man supplerede det lineære spektrum udspændt af 'rendyrket grundvidenskab' og 'rendyrket anvendelsesvidenskab' med en yderligere dimension, således at der blev plads til blandede former for vidensproduktion (Stokes, 1997). Ved hjælp af et historisk eksempel førte dette ham frem til en model som i figur 2, hvor det særlige er den øverste højre kvadrant, opkaldt efter

LOUIS PASTEUR (1822–1895). For at forstå modellen, sådan som STOKES brugte den, kan man først skelne mellem de forskellige *formål*, som vidensproduktionen har:

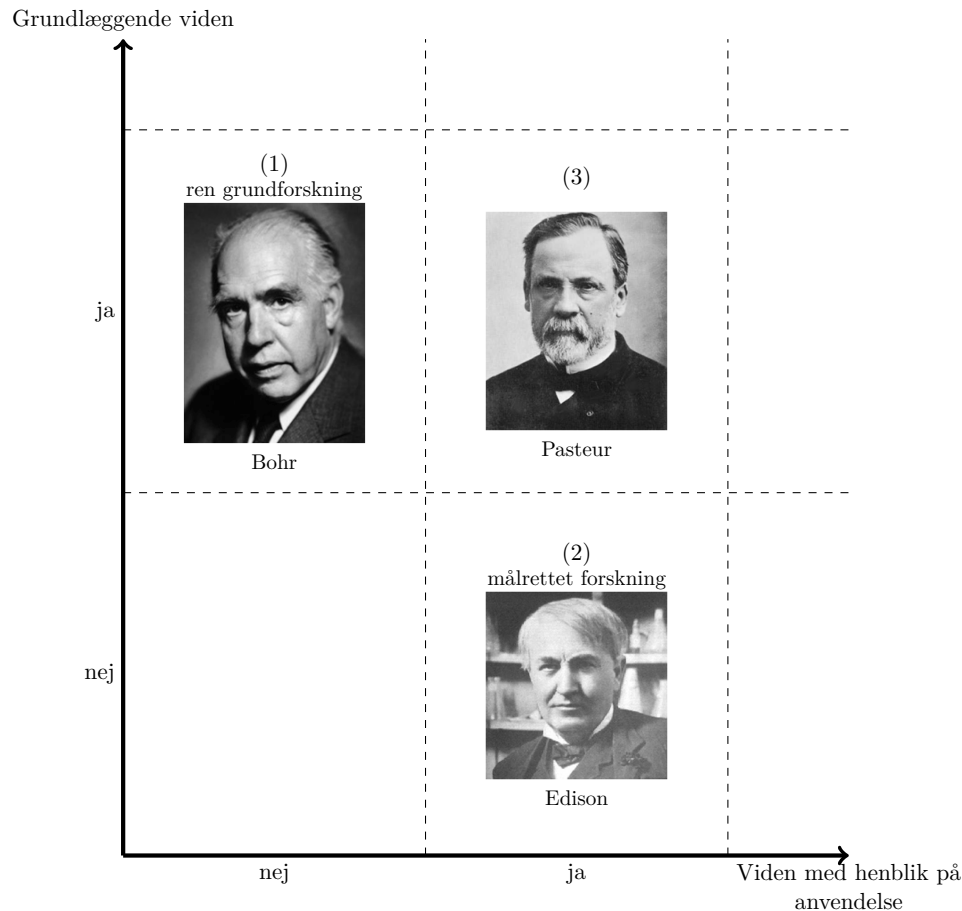
1. Den danske professor NIELS BOHR (1885–1962) er berømt for sin forskning i teoretisk fysik i begyndelsen af 1900-tallet, som bl.a. gav en ny forståelse af atomets indre struktur og særligt af kvantemekanikken. Disse teoretiske opdagelser tæller som nogle af de største videnskabelige gennembrud i 1900-tallet. BOHR publicerede mange videnskabelige artikler, og hans institut i København (grundlagt 1920) blev — og er — et internationalt centrum for teoretisk fysik. 65
2. Den amerikanske opfinder THOMAS EDISON (1847–1931) er berømt for sin entreprenante udnyttelse af nye videnskabelige emner som elektricitet, radio og lydoptagelse til kommercielle opfindelser som fx glødepæren, fonografen (apparat til lydoptagelse) og filmkameraet i anden halvdel af 1800-tallet. Disse opfindelser er centrale for den moderne verden og især for ekspansionen over det amerikanske kontinent. EDISON har udtaget mere end 1000 patenter i USA, og han byggede ’laboratorier’, fx i Menlo Park (NJ), hvor hans ansatte arbejdede på nye opfindelser. 70

Denne korte introduktion skelner altså mellem den rene grundforskning, som leder til opdagelser, og den rene anvendelsesforskning, som leder til opfindelser. Men fælles for de to yderpositioner er, at de begge er *forskning*, dvs. er centreret omkring vidensproduktion. Så de første forskelle skal nærmere findes i *formål* og *motivation*, og derefter kan vi begynde at udsondre forskelle i selve vidensproduktionen. For at se forskelle og overgange klarere, er det, at STOKES inddrager den franske biolog PASTEUR, hvis fascinerende karriere har gjort ham til et hyppigt brugt eksempel til at udfordre forsimplede forestillinger om videnskab. 80

3. PASTEUR var en fransk mikrobiolog og mediciner, som er særligt berømt for sine opdagelser af, at visse sygdomme skyldtes bakterieinfektioner, hvilket lagde grunden for vaccinationer, mikrobiel gæring og den proces, som vi stadig kalder pasteurisering. Disse opfindelser har enorm betydning for både det grundliggende sundhedsniveau og vores muligheder for sygdomsbehandling. PASTEURS opdagelser skaffede ham stor international berømmelse — og bragte ham også i en del kontroverser — og det institut i Paris, som han blev direktør for i 1888, blev et af de absolut førende steder at studere bakterier og sygdomme. 85

Selvom PASTEURS forskning ledte til store medicinske gennembrud, var det ikke det, der fra starten motiverede ham. PASTEUR var landmandssøn, og hans forskning startede med studier af infektioner i silkeorme, miltbrand og hundegalskab. Fælles for disse studier fandt han, at en lang række smitsomme sygdomme skyldtes mikroorganismer. Denne viden var selvfølgelig grundvidenskabelig indsigt i sig selv, men PASTEURS motivation var også handlingsorienteret. Og han arbejdede derfor også innovativt med at omsætte sin grundvidenskabelige forskning til praktiske anvendelser både hos landmænd og hos læger igennem et program baseret på *Pasteur Instituttet* for at udbrede viden til de relevante brugere med henblik på at forebygge og behandle sygdomme. 95

En af PASTEURS særligt vigtige videnskabelige erkendelser var, at hans eksperimenter, da de blev udført under helt sterile forhold, kunne modbevise antagelsen om, at liv (i form af bakterier) kunne opstå spontant. Denne kontrovers er også blevet anvendt til at illustrere udfordringerne indbygget i *experimenters’ regress* (se kapitel 1), idet PASTEUR påviste, at det liv, som andre forskere havde observeret i deres prøver, stammede fra bakteriel forurening af prøven og ikke fra spontant opstået liv. 105



Figur 2: Kvadrantmodel over forskellige former for vidensproduktion, baseret på Stokes (1997, s. 73).

Den foregående historiske diskussion har nogle konsekvenser for, hvordan vi videnskabsteoretisk kan tænke om forholdet mellem grundvidenskabelig forskning og mere målrettet eller anvendelsesorienteret forskning. Man kunne forestille sig at adskille de to vidensformer langs en række dimensioner, hvoraf vi vil diskutere:

1. En formålsdimension, hvor man ser, at selvom der kan være forskellige motivationer for den enkelte forsker, så udgør det ikke et skarpt og konsistent skel mellem de to former for vidensproduktion.
2. En temporal (tidslig) dimension, som er indbygget i den lineære model, hvor den siger, at grundvidenskab kommer først og leder til anvendt videnskab.
3. En kausal dimension, som til dels forudsætter den foregående, og både siger, at anvendt videnskab er afhængig af grundvidenskab, og at grundvidenskab fører til anvendelser.
4. En epistemologisk dimension, hvor vi undersøger, hvilke erkendelsesmæssige forskelle, der måtte være mellem de to former for vidensproduktion og kommer frem til nogle vigtige indsigter om teknologiske systemer.

Disse indsigter er nogle, som især teknologihistorikere og -filosoffer har uddraget af denne og lignende cases (se fx Nielsen m.fl., 2015), og vi behandler dem først en ad gangen, inden vi når til en fælles diskussion. 125

**Formål og motivation.** For det første viser eksemplerne, at det kan være nok så svært at skelne mellem de forskellige måder at producere viden på — især hvis vi ikke udelukken-  
de forholder os til mode-1-videnskab. Mange af de processer, der indgår i forskningen, vil  
være de samme: teoretiske overvejelser, formulering af hypoteser, opstilling af forsøg, af-  
prøvning af hypoteser, etc. Så vi kommer hurtigt til at en første skelnen måske vil fokusere  
på forskerens *formål* og *motivation*, og her er der nok en forskel at spore i eksemplerne:  
BOHRS forskning var situeret i en grundvidenskabelig diskussion blandt fysikere om ato-  
mare processer, og noget af teorien inden for kvantemekanik stred lodret imod almindelige  
sanseerfaringer og måtte søges fortolket og forklaret. På den anden side var EDISONS formål  
primært som forretningsmand og entreprenør, og hans opfindelser skulle kommercialiseres  
for at gøre gavn. Midt imellem står så PASTEURS målrettede forskning på at udvikle medi-  
cinsk behandling og forebygge smitte, som var rodfastet i en grundvidenskabelig uddannelse  
og baggrund. På den måde var PASTEURS motivation nok netop dobbelt: Han ønskede *både*  
at opdage ny viden *og* sætte den i spil for samfundets bedste. Man kan spekulere en del i,  
hvad der mon var vigtigst for PASTEUR, og man kan notere sig, at han — ligesom fx opfin-  
derne af insulinet — ikke drev direkte personlig økonomisk gevinst ud af det, men ønskede  
at stille det til rådighed for ’alle’ som en form for filantropi (godgørenhed). 130 135 140

**Rækkefølge.** For det andet viser eksemplerne, at selvom der overordnet er tale om  
forskning, der munder i produkter, så er den tidlige adskillelse mellem grundvidenska-  
belig og anvendt vidensproduktion ikke så skarp, som vi kunne blive ledt til at formode.  
Selv EDISONS opfindelser krævede også produktion af ny viden for at kunne omsættes  
til kommercielle successer, så det er forkert at hævde, at de to opdagelser og opfindelser  
kan separeres tidsligt. Denne indsigt har også nogle konsekvenser for vores opfattelse af  
de institutioner, der producerer viden, som er nært sammenfaldende med fremkomsten af  
mode-2-videnskab: For selvom universiteter og private firmaer kunne se ud til hver for sig  
at være indbegrebet af hhv. grundforskning og målrettet forskning, så er grænserne mere  
flydende, både fordi viden flytter sig nemt over disse grænser, og fordi selve grænserne i  
mode-2-videnskab er blevet erstattet af et integreret netværk. Så hvis man fastholder en  
klar tidslig adskillelse af processerne, kan man nemt komme til at overse de innovative og  
adaptive side af teknologisk forskning. 145 150 155

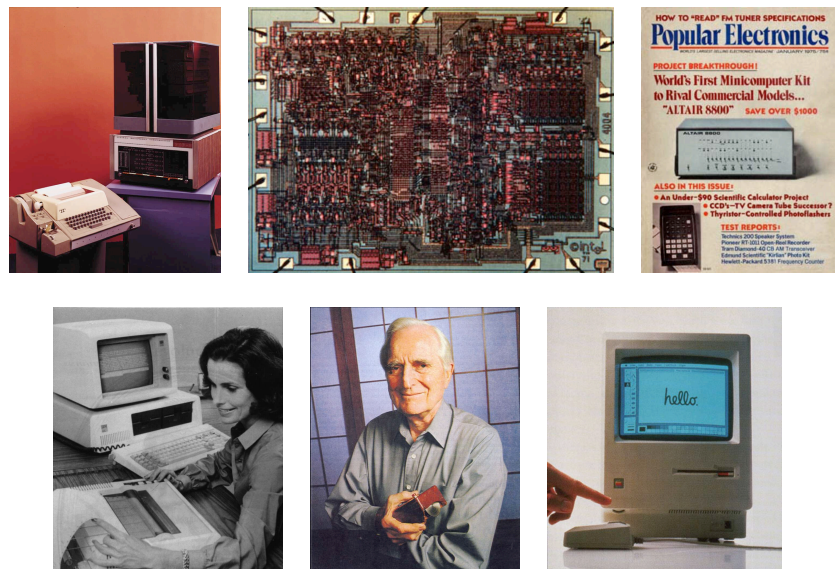
**Afhængighed.** Den tidlige rækkefølge er blot en af de måder, hvorpå man som del  
af den lineære model antog, at grundforskningen *kom før* den anvendelsesorienterede forsk-  
ning. Og der er jo ingen tvivl om, at megen højteknologisk innovation bygger ovenpå na-  
turvidenskabelig grundforskning, som er en uundværlig forudsætning, både hvad angår  
resultaterne men også hvad angår metoder og procedurer. Man kan sige, at naturvidenskab  
er en ressource for teknologisk forskning. Men omvendt leder teknologisk innovation også  
til nyt, billigere og mere præcist apparatur og nye teknikker, som bringer naturvidenska-  
belig forskning fremad. Og disse teknologiske forbedringer er *afgørende* for videnskabelige  
gennembrud, hvilket viser, at der ikke kan være tale om en en-vejs afhængighed mellem  
grundvidenskab og teknologi, men at der nærmere er tale om en *symbiotisk* relation, hvor  
begge dele er afhængige af og bidrager til hinanden. Og teknologiske gennembrud giver ofte  
anledning til ny grundforskning både for at forstå selve teknologien bedre og for at udnytte  
dens nye muligheder. 160 165

**Epistemologi.** Disse observationer fører alle sammen til den konklusion, at tekno-  
logisk forskning, som er mere mål- og handlingsrettet end grundvidenskabelig forskning, 170

har *sin egen vidensform*, som på nogle punkter ligner, men ikke er sammenfaldende med, den grundvidenskabelige vidensform. Noget firkantet kan man sige, at grundvidenskaberne beskæftiger sig med at svare på spørgsmål om 'hvad' der er tilfældet, og 'hvorfor' det er tilfældet ved at bygge systematiske teorier. Modsat dette står så de teknologiske videnskaber, der beskæftiger sig med, 'hvordan' man kan få bestemte ønskelige ting til at ske. Og dertil hører en forskel i de kriterier, vi lægger til grund for den opnåede viden: I grundvidenskaberne er vores viden altid foreløbig, men den skal kunne holdes op imod en virkelighed (være testbar) og forbedres, når vi finder fejl i vores teorier (korrigerbar). På den anden side er teknologisk viden også foreløbig, men den vurderes ikke ved at holde den op mod en virkelighed og sammenligne *sandhed* men derimod er den formet af forskellige interesserter og muligheder, og dens ultimative kriterium er anvendelighed og plads i markedet. Så hvor grundvidenskab kan siges at være *sandhedssøgende*, så er teknologisk videnskab langt mere *pragmatisk*. Men igen må man ikke tro, at pragmatik er forbeholdt teknologisk videnskab — også grundforskning er i sagens natur underlagt det muliges kunst, men det er ikke selve det *erkendelsesmæssige formål* med den.

## 2.2 Teknologiske systemer

Blandt de allervigtigste teknologihistoriske indsigter er, at teknologi bedst forstås *systemisk* og ikke som en streng af konkrete teknologiske artefakter. Denne kompakte sætning indeholder mange lag, så den skal udfoldes, og det vil vi gøre ved at betragte den personlige computer, PC'en, som en teknologisk innovation, vi ønsker at forstå. Den overordnede pointe er, at vi ikke kan forstå fx PC'ens udvikling alene ved at betragte de teknologiske 'dimser' (artefakter), der gik forud for den, men at vi er nødt til at betragte et større system eller netværk af teknologier og andre faktorer, som PC'en indgår i. Dette er den ene betydning af 'systemisk', og selvom den ikke synes synderligt kontroversiel, er den i sig selv et argument *imod* 'teknologisk determinisme', dvs. det synspunkt, at teknologien har en retning og følger noget, der ligner lovmæssigheder. En af de mest udbredte sådanne lovmæssigheder er den såkaldte *Moore's lov*, der siger at processorkraften stiger eksponentielt over tid (se Ceruzzi, 2005). En ny teknologi som PC'en var selvfølgelig afhængig af andre nærtbeslægtede teknologier som integrerede chips til processoren og CRT-skærme til monitoren men også af mere generelle teknologier som pengeøkonomi og masseproduktion til at fremstille dem og el og (senere) telefoni til at drive maskinen og koble dem sammen. Alle disse teknologier indgik i at forme PC'en, ikke som lovmæssigheder og determinisme, men som valg og ressourcer. Den anden betydning af at forstå teknologi *systemisk* ligger i at påpege, at netværket kan indoptage lokale justeringer, og at alle forbundne hjørner i netværket i princippet bliver berørt af alle påvirkninger. Altså vil man se, at de fleste teknologier er *konservative opfindelser*, dvs. tager udgangspunkt i kendte teknologier, foretager inkrementelle forbedringer og tilpasser dem til nye formål. Og selv, når der en gang imellem er tale om *radikale opfindelser*, dvs. virkelig nye opfindelser, så vil deres ibrugtagen være betinget af, at der findes eller skabes teknologiske systemer, som de kan indpasses i.



Figur 3: Illustration af udvalgte aspekter af PC'ens tilblivelse og formning.

Teknologihistorikeren THOMAS HUGHES (1923–2014) har formuleret ideen om teknologiske systemer meget kortfattet:

Technological systems contain messy, complex, problem-solving components. They are both socially constructed and society shaping. (Hughes, 2012, s. 45)

215

Og han forklarer selve systemets opbygning:

Among the components in technological systems are physical artifacts, such as the turbogenerators, transformers, and transmission lines in electric light and power systems. Technological systems also include organizations, such as manufacturing firms, utility companies, and investment banks, and they incorporate components usually labeled scientific, such as books, articles, and university teaching and research programs. Legislative artifacts, such as regulatory laws, can also be part of technological systems. Because they are socially constructed and adapted in order to function in systems, natural resources, such as coal mines, also qualify as system artifacts. (Hughes, 2012, s. 45)

220

225

Så et teknologisk system er altså heterogent i den forstand, at elementerne kan have meget forskellig struktur og størrelse, og de komplekse komponenter er problemløsnere af forskellig slags:

- fysiske artefakter som apparater og installationer,
- organisationer som firmaer, forsyningssystemer og finansieringskilder,
- videnskabelige elementer som artikler med viden og universiteter med forskere og studerende,
- juridiske og regulerende komponenter, som love og traktater, og
- naturressourcer kan også udgøre komponenter af teknologiske systemer.

230

235 For at udfolde og konkretisere dette, kan vi betragte PC'ens historie, som er et kom-  
 plekst, men også meget vigtigt, stykke moderne teknologihistorie (se fx Freiburger og Swai-  
 ne, 2000). Den moderne PCs udseende og funktion er selvfølgelig indlejret i en tradition fra  
 tidligere computere, men også i en kontekst af store amerikanske virksomheder, automatisere-  
 ring af kontorarbejde, forestillinger om den virkeligt *personlige* hjemmecomputer og meget  
 240 andet. Figur 3 repræsenterer 6 forskellige dele af det netværk, som gjorde PC'en mulig.

1. Det første billede er af en såkaldt 'minicomputer', PDP-8, produceret af *Digital Equip-*  
*ment Corporation (DEC)* fra 1965. DEC var en konkurrent til den ellers totalt mar-  
 kedsdominerende computerfabrikant IBM, og PDP-8 var en kommercielt succesfuld  
 minicomputer, som fik stor udbredelse i virksomheder og på universiteter.
- 245 2. Det næste billede viser det integrerede kredsløb (eng: *integrated circuit, IC*) Intel  
 4004, som det dengang beskedne firma Intel udviklede i 1971. IC'en repræsenterede  
 et stort skridt i at gøre computere mindre, ligesom dens forgænger, transistoren, der  
 i sin tid havde erstattet radorørret.

250 Disse to første elementer lægger den væsentligste *rent elektroniske* grund for PC'en, og  
 man kunne formode, at udviklingen af en veldefineret og næsten pre-determineret PC nu  
 fulgte. Men der hører flere aspekter til før PC'en kommer til at ligne sig selv og indtage  
 sine funktioner (man noterer fx at billedet af PDP-8 ikke viser et keyboard).

3. Det tredje billede viser forsiden af magasinet *Popular Electronics*, der i 1975 solgte  
 computeren Altair 8800 som samlesæt til entusiastiske læsere. Dermed kom compute-  
 ren ud i de første amerikanske hjem, og igennem hobbyforeninger blev der skabt både  
 255 et behov og en mængde software til hjemmebrug.
4. Men det fjerde billede viser PC'ens første egentlige marked som understøttelse af  
 kontorfunktioner og typisk betjent af sekretærer. Billedet viser også den oprindelige  
 IBM PC XT, som blev introduceret af IBM i 1983 med disk-drev, monitor, keyboard  
 260 og printer.

IBMs PC XT blev lanceret som en ny arkitektur og konfiguration, som skulle kunne stå  
 på (eller under) skrivebordet, efter at IBM op igennem 1970'erne havde haft stor succes  
 med deres IBM/360 serie, der dominerede markedet. Kort efter annonceringen blev IBM  
 udfordret af Compaq, som lykkedes med at reverse-engineer IBMs BIOS og samtidig in-  
 265 troducere en bærbar version af PC'en, der var kompatibel med IBMs. Men for at vi for  
 alvor kan genkende den moderne personlige computer, mangler både noget i hardware og i  
 software.

5. Det femte billede viser ingeniøren DOUGLAS ENGELBART (1925–2013), som er an-  
 svarlig for en række vigtige opfindelse, heriblandt computermusen, som han udviklede  
 mens han arbejdede på forskningslaboratoriet *SRI International*. SRI International  
 var en selvejende institution, men fik store bevillinger både fra Stanford University  
 og fra DARPA, som hører under det amerikanske forsvar.
- 270 6. Det sidste billede viser en Apple Macintosh, som blev lanceret i 1984 som den første  
 personlige computer med et grafisk interface og en mus. Apples maskiner var baseret  
 på en familie af processorer fra Motorola, mens IBM PC'en var baseret på Intel chips.  
 275 Igennem 1990'erne var de to brands store konkurrenter om markedet for personlige  
 computere, og deres maskiner var ikke compatible.



Denne ekskurs om PC'ens teknologi viser, at den moderne PC er resultat af et samspil mellem bl.a. internt teknologiske (elektroniske) gennembrud, udviklinger i markedet, hvor nye opgaver skal formuleres og opdyrkes, og standarder for grænseflader og interfaces, hardware og software. Nogle af interessenterne er private firmaer som DEC, IBM, Compaq og Apple, men også akademiske forskningsinstitutioner og militære sponsorater har påvirket historien. 280

Dermed er PC'ens tilblivelse og udformning et eksempel på den systemiske teknologi-forståelse, hvor en lang række valg og kontingente (ikke-nødvendige) udviklinger førte til en teknologi, der i dag er definerende for store dele af det moderne liv. Sådanne teknologier, der dårligt kan forestilles anderledes, kaldes nogle gang *definerende teknologier*, og de indfanger ofte store dele af vores verdenssyn. Og dette er ikke et særtilfælde for PC'en; det samme gør sig gældende for alle relevante teknologier fra elnetværk, cykler, medier, og mobiltelefoner (se fx Nielsen m.fl., 2015). 285

## 2.3 Verdenssyn og datalogiens teknologiske paradigme 290

I dagligsproget taler vi nogle gange om et 'paradigme', som er en betegnelse, der omfatter et slags *verdenssyn* og er den horisont, som man ikke kan se bort fra. Dette begreb blev indført i videnskabsteorien med stor effekt af videnskabshistorikeren og -filosoffen THOMAS KUHN (1922–1996), som i sin bog *The Structure of Scientific Revolutions* benyttede det til at indfange videnskabelige grupperes fælles verdenssyn. KUHNs teori er mere omfattende, og vi skal vende tilbage til den i kapitel 3, hvor vi skal se nærmere på hans begreb om videnskabelige revolutioner. 295

Man kan godt betragte KUHNs videnskabsteori som en tilføjelse af sociologiske og historiske betragtninger til KARL POPPERS (1902–1994) falsifikationisme. Som vi så i kapitel 1, førte POPPERS hypotetisk-deduktive metode til et problem, kaldet Duhem-Quine-tesen, når man ønskede at udpege den falsificerede hypotese, for 'skylden' for en falsifikation kunne overføres til en vilkårlig hypotese i det netværk, der udgjorde ens teori. IMRE LAKATOS (1922–1974) forsøgte at svare på dette problem ved at udnævne visse hypoteser til et forskningsprogrammes 'hårde kerne', men LAKATOS gav ikke nogen klar forklaring på, hvordan denne udvælgelse skulle finde sted. Og det er her, man kan se KUHNs baggrund i videnskabshistorien sætte ind: KUHN foreslog, at noget, vi også kunne kalde 'tradition' og 'sammenhæng' inden for et videnskabeligt felt ville spille en vigtig rolle i videnskabens udvikling. Og hans argument for at gå i denne retning var, at han ønskede en videnskabsteori, der som minimum var inspireret af faktisk videnskabshistorie og passede overordnet med videnskabelig praksis. 300 305 310

For KUHN indfanger et videnskabeligt paradigme et *fælles verdenssyn*, som deles af en *gruppe videnskabsfolk*. Det er altså noget, som konstitueres af en social gruppe, som på en eller anden måde udgør en identificerbar enhed. Sådant et videnskabeligt paradigme er, når KUHN skulle forklare det (Kuhn, 1962; Kuhn, 1970), instantieret i en *disciplinær matrix*, som bl.a. omfatter og udmøntes i 315

- en række „symbolske generaliseringer“, dvs. basale udsagn, som ligner naturlove, men egentlig (også) er definitioner,
- visse „metafysiske dele af paradigmet“, som er delte overbevisninger, som gruppen er forpligtet på, herunder metaforer og analogier,
- et sæt af „værdier“, som er det, der binder større videnskabelige samfund sammen, fx værdier om forudsigelsers vigtighed, og 320

- en række (paradigmatiske) „eksemplarer“ i form af problemer, løsninger, klassiske værker, lærebøger etc., som er den måde, hvorved nye forskere socialiserer ind i paradigmet.

325 På den måde opstiller paradigmet standarden for den videnskab, der udøves under det, herunder de fundamentale lovmæssigheder og teoretiske sammenhænge, som udøverne er forpligtede på, nogle typiske måder at anvende disse love og sammenhænge på, nogle overordnede, metafysiske principper, som styrer arbejdet, og nogle meget generelle metodologiske anvisninger.

330 Med til KUHNS teori hører helt centralt også en kontroversiel model for videnskabens udvikling (se kapitel 3), men i denne første omgang er det tilstrækkeligt at notere den deskriptive del af KUHNS sociale karakterisering af videnskaben.

## 2.4 Vidensproduktionen i datalogi og informationsteknologi

335 Den foregående diskussion har vist, at videnskabsbegrebet har visse oplagte og interessante overlap med datalogi-feltet: Der *er* faktisk store dele af datalogien, der falder ind under videnskabsbegrebet, som det er defineret af HELGE KRAGH. Datalogisk viden er ofte, og især når den er produceret på akademiske institutioner, faktisk offentlig, fejlbarlig, korrigerbar og testbar, sådan som KRAGH opsætter som betingelser. Dette er ikke noget tilfælde, for den akademiske videnskab er traditionelt udformet efter CUDOS, og KRAGHS definition 340 ligger tæt op ad disse.

Det er imidlertid ikke let og generelt at afgøre, om informationsteknologien og datalogien falder ind under *formalvidenskab* eller *realvidenskab*. Store dele af datalogien er tæt forbundet med matematik og er ligesom matematikken primært *formalvidenskabelige*, men der findes også andre dele som fx HCI, som benytter *realvidenskabelige* metoder, og disse 345 er også af central vigtighed for informationsteknologien som fag.

Det er oplagt, at PLACE passer bedre på hele den proprietære forskning og udvikling, som indgår i datalogien. Store softwarefirmaer som Microsoft og Google afsætter betragtelige midler til forskning, hvoraf en stor del er drevet af hensyn, der lever fint op til de i PLACE beskrevne. En stor del af denne viden vil have form af kildekode eller algoritmer, 350 og firmaerne vil ofte være tilbageholdende med at dele disse forspring. Der er imidlertid også andre af deres forskningsprojekter, som søger at udnytte elementer fra CUDOS og bidrage til den offentlige viden, så man kan ikke sætte et helt skarpt skel mellem *privat* og *offentligt* finansieret forskning på denne måde, ligesom *mode-2-videnskab* også har fundet indpas på offentlige universiteter. Men der produceres også både grundvidenskabelig 355 og teknologisk viden helt uden for disse strukturer. Det foregår af idealistiske grunde og i små græsrodsbevægelser, hvis motivation er at forandre verden til det bedre, enten for sig selv eller for større dele af menneskeheden. Et oplagt eksempel fra datalogiens verden vil være *Open Source Software*-miljøet, så det lader sig ikke gøre at indplacere datalogi og informationsteknologi entydigt i nogen af de klasser, vi har præsenteret. I stedet kan 360 vi bruge de forskellige karakteriseringer til at opnå et reflekteret billede af faget, som kan belyse de komplekse videnskabsteoretiske problemstillinger, vi skal diskutere i de følgende kapitler.

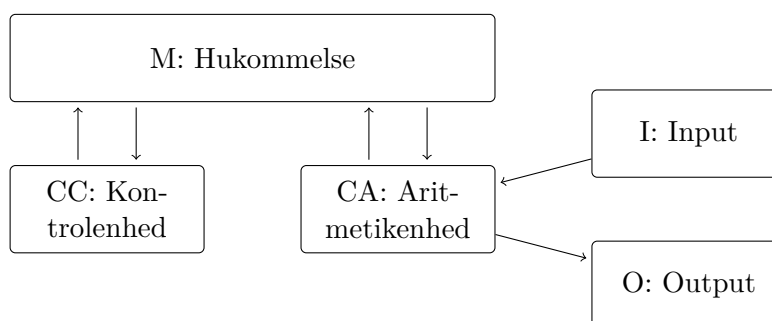
Ligesom andre grene af videnskaben omfatter datalogien en række centrale antagelser, som definerer discipliner og underdiscipliner. Blandt de centrale grundantagelser, som evt. 365 kunne komme på tale som kandidater til datalogiske paradigmer, bemærker vi fire, hvoraf vi her skal gå lidt dybere ind i den første:

1. Centrale antagelser om computerens arkitektur
2. Centrale antagelser om beregningers kompleksitet
3. Teorier om metoder for softwareudvikling
4. Teorier om programmeringssprog

370

Og en af de bedste kandidater til et datalogisk paradigme er den såkaldte von Neumann-arkitektur, som kan siges at udgøre et teknologisk paradigme for (de allerfleste) moderne computere. Denne arkitektur er opkaldt efter JOHN VON NEUMANN (1903–1957), som beskrev den i rapporten *First Draft of a Report on the EDVAC*, som lagde grunden for den første såkaldte „stored program computer“, hvor hukommelsen ikke blot indeholdt data men også det program, der skulle afvikles. Denne nye ide adskilte EDVAC fra den tidligere ENIAC og varslede den moderne computerarkitektur.

375



Figur 4: Schematisk fremstilling af VON NEUMANNs arkitektur for EDVAC, baseret på Neumann (1945).

På den måde var VON NEUMANNs arkitektur en generel model for realiseringen af en computer i termer af en programmerbar maskine, hvor program og data er sidestillet, som omfatter seks centrale enheder, nemlig en central aritmetisk enhed (CA), en central kontrolenhed (CC), hukommelse (M), to såkaldte 'organer' for input (I) og output (O) og en langsom ekstern hukommelse (R). Sammen med interne registre vil CC og CA i dag udgøre det, vi kalder en CPU (eng: *central processing unit*). De tre centrale enheder CA, CC og M skulle kommunikere langs en 'bus', og det var afgørende, at både programinstruktioner og data blev opbevaret i hukommelsen (M). Dermed blev det også teknisk muligt at skrive software, der kunne oversætte instruktioner til maskinsprog, hvilket er essentielt for både operativsystemer og programmeringssprog. Og VON NEUMANN foreslog også et sæt instruktioner, som senere blev udvidet med flere, ligesom han senere opdyrkede selve programmeringen af maskinen i form af flow-diagrammer og pseudokode.

380

385

390

Man kan anse von Neumann-arkitekturen for datalogiens *teknologiske* paradigme, idet denne arkitektur siden umiddelbart efter 1945 er kommet til at dominere alle succesfulde computerkonstruktioner. Der er intet uomgængeligt ved denne arkitektur, men den er ved sin effektivitet og fleksibilitet kommet til at danne grundlag både for teoretiske udviklinger og for teknologiske bestræbelser på fx at gøre CPU'en kraftigere, udvikle det mest optimale instruktionssæt, eller finde måder at lagdele hukommelsen på, så nogle dele af den kan tilgås endnu hurtigere, fx igennem *caching*.

395

## Litteratur

- 400 Bush, Vannevar (1945). *Science: The Endless Frontier*. A Report to the President by Vannevar Bush, Director of the Office of Scientific Research and Development, July 1945. Washington: United States Government Printing Office.
- Ceruzzi, Paul E. (2005). „Moore’s Law and Technological Determinism: Reflections on the History of Technology“. *Technology and Culture*, bd. 46, nr. 3, s. 584–593. DOI: 10.1353/tech.2005.0116.
- 405 Freiburger, Paul og Michael Swaine (2000). *Fire in the Valley. The Making of the Personal Computer*. 2. udg. New York etc.: McGraw-Hill.
- Hughes, Thomas P. (2012). „The Evolution of Large Technological Systems“. I: *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*. Red. af Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes og Trevor Pinch. The MIT Press, s. 45–76.
- 410 Kline, Stephen J. og Nathan Rosenberg (2009). „An Overview of Innovation“. I: *Studies on Science and the Innovation Process. Selected Works by Nathan Rosenberg*. Red. af Nathan Rosenberg. World Scientific Publishing. Kap. 9, s. 173–203.
- Kuhn, Thomas S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago og London: The University of Chicago Press.
- (1970). „Postscript: 1969“. I: *The Structure of Scientific Revolutions*. 2. udg. Chicago & London: The University of Chicago Press, s. 174–210.
- (1996). *The Structure of Scientific Revolutions*. 3. udg. Chicago og London: The University of Chicago Press.
- 420 Neumann, John von (jun. 1945). *First Draft of a Report on the EDVAC. Contract No. W-670-ORD-4926 Between the United States Army Ordnance Department and the University of Pennsylvania*. Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania.
- 425 Nielsen, Henry m.fl. (2015). *Forandringens vinde. Nye teknologihistorier*. København: Praxis: Nyt Teknisk Forlag.
- Stokes, Donald E. (1997). *Pasteur’s Quadrant. Basic Science and Technological Innovation*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press.