

Noter til Datalogiens Videnskabsteori 2009

Henrik Kragh Sørensen
Institut for Videnskabsstudier
Aarhus Universitet
hks@ivs.au.dk

4. maj 2009

CVS version: 1.13, 2009-04-21 03:17:36



I forbindelse med udflytningen af Danmarks Tekniske Højskole i 1965 præsenteredes en GIER-maskine — eller rettere en lille enhed af den — for prominente kongelige gæster.

Copyright © 2009 Henrik Kragh Sørensen, Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet.

Denne pdf-fil er baseret på version 1.13 og er oversat 4. maj 2009.

Teksten er sat i fonten 'libertine' ved hjælp af pdfL^AT_EX. Alle oversættelser er, hvis intet andet anført, foretaget af forfatteren.

Indhold

Figurer	v
Opgaver	vii
Forord	ix
<i>Datalogiens videnskabsteori i Århus</i>	ix
Dette kursus og dette notesæt	x
Læse- og brugsvejledning	xi
Et par ord til tak	xi
1 Datalogi, videnskab og teknologi	1
1.1 Hvad er datalogi?	1
1.2 Hvad er videnskab?	3
1.3 Den lineære model	6
1.4 Demarkationskriterier	7
1.5 Formal- og realvidenskab	8
1.6 Matematikkens metoder	9
1.7 Er datalogi så en videnskab?	10
2 Datalogi i den akademiske verden – og udenfor	13
2.1 Professionalisering og institutionalisering	13
2.2 Peer review	15
2.3 Finansiering og forskningsstyring	17
2.4 Professionsetik og forskningsetik	18
3 Videnskabens udvikling	21
3.1 Videnskabelige revolutioner	21
3.2 Er der revolutioner i de matematiske fag?	21
3.3 Videnskabelige forskningsprogrammer	22
4 Datalogisk modellering og programmeringssprog	25
5 Fra Church-Turing til AI	27
5.1 Church-Turing	28

5.2	Turing-testen	29
5.3	Det kinesiske værelse	30
6	Har teknologien grænser?	31
7	Epilog: Dataloger på film	33
	Litteratur	35
	Indeks	37
	Navneliste	39

Figurer

1.1	Datalogifeltet og tilgrænsende felter	2
1.2	Datalogifeltets sammensætning	4
1.3	Traditionel model for samspillet mellem videnskab og samfund	7
2.1	Fra dækningen af indvielse af Matematisk Institut i København, 1934.	14
2.2	Peer review.	15
3.1	THOMAS S. KUHN'S centrale metafor	22
3.2	Lakatos' MSRP	23
4.1	Model for matematisk modellering	25
5.1	Turing-testen	30
5.2	Searle's udfordring: Det kinesiske værelse	30

Opgaver

1.1	Definitioner af 'videnskab'	5
1.2	Er datalogi en videnskab?	12

Forord

Dette notesæt er blevet til på grundlag af kurset *Datalogiens videnskabsteori*, som forfatteren har designet og afholdt ved Aarhus Universitet siden 2006. Ved planlægningen og gennemførelsen af dette nye kursus blev det klart, at der ikke findes en samlet grundbog, som var egnet til undervisningens specielle krav. Der findes kandidater, som dækker dele af dette krav, men ingen samlet fremstilling med udgangspunkt i datalogi og på et tilgængeligt sprog var ikke at opspore. Nogle gode opslagsværker er dog fx (Floridi 2004, Turner og Eden 2009). Der findes også danske lærebøger til naturvidenskabernes videnskabsteori, men disse behandler kun meget perifært datalogien og de matematiske fags noget særlige videnskabsteoretiske forhold. På den anden side støtter denne bog sig på uddrag af disse værker, især (Kragh 2003, Kragh 2004), for diskussioner af bredere videnskabsteoretiske spørgsmål.

Notesættet er en bearbejdning af de afholdte forelæsninger, og forholder sig således på mange måder tæt op ad de anførte værker. Der er dog tre afgørende punkter, på hvilke denne bog udmærker sig frem for dem: 1) Den er skrevet på dansk til et dansk publikum af datalogi-studerende med det eksplicite formål at tjene som en grundbog i *Datalogiens videnskabsteori* på den måde, kurset er designet på i Århus (se nedenfor). 2) Den er (derfor) skrevet og vil blive afprøvet med henblik på at fremme faglig refleksion på grundlag af en basal dannelse hos læseren. 3) Den er forsøgt skrevet aktuelt, således at den både som cases og som hovedpointer medtager de områder af datalogien og teorierne om datalogien, som for tiden er til debat – nationalt såvel som internationalt.

Datalogiens videnskabsteori i Århus

Ved *Det naturvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet* blev ansvaret for undervisningen i det nye kursus *Fagets Videnskabsteori* (FVT) overdraget til *Institut for Videnskabsstudier*. Udviklingsarbejdet med det nye kursus blev hurtigt ved *Institut for Videnskabsstudier* specialiseret i en *række* nye kurser, idet dette så ud til at være den eneste måde at opfylde de ambitioner, som hurtigt blev formuleret omkring FVT, og i det følgende korte afsnit skitseres denne models ambitioner, dens metodevalg og de konsekvenser, det har for planlægningen af *Datalogiens videnskabsteori* og dermed for dette notesæt.¹

¹Se også (Andersen, Klostergaard, Knudsen, Kragh, Nielsen, Pedersen og Sørensen 2009).

Ambitioner

Ambitionerne med FVT ved *Det naturvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet* er store, som de skal være. Centralt står målsætningen om, at de studerende gennem at følge FVT-kurserne skal *blive bedre til deres videnskab*. Hvad denne kvalificering skal indeholde, og hvordan den skal foregå, vil her blive antydnet. Formålet kan deles i tre progressioner: først en øget indsigt i og forståelse for deres eget fags position i den akademiske verden og de implikationer dette har for fagets konstitution. Dernæst en øget selvforståelse som studerende og senere praktiserende akademiker. Og sidst en udadvendt komponent, som skal sætte den studerende i stand til bedre at forholde sig til lignende spørgsmål fra andre akademiske felter og kvalificere og repræsentere sit fag på en reflekteret måde. Disse tre formål skal opnås gennem en metode, som her kaldes “dannet refleksion” – en sammenstilling af de to tilsyneladende modsætninger i formålsbeskrivelsen for *Fagets Videnskabsteori*.

Dannet refleksion

For at gøre *Datalogiens videnskabsteori* vedkommende for deltagerne og for at opnå de tre progressioner i ovenstående ambition anses det for nødvendigt at tage et tydeligt udgangspunkt i datalogien. Dette betyder, at kurset må forudsætte og samtidig bibringe en fundamental “datalogisk dannelse”. Ovenpå denne faglige dannelse, som ikke i FVT er af indholdsmæssig karakter (det sørger de enkelte fagkurser jo så rigeligt for), men er af meta-karakter, må bygges en “akademisk dannelse”, hvor det specifikt datalogiske sættes ind i en form for historisk og sociologisk kontekst af “den akademiske verden”. Den centrale refleksive komponent i kurset bygger så oven på disse dannelseskomponenter. Det er essentielt for vores måde at undervise videnskabsteori på, at dannelsen kommer til udtryk i kurserne *i takt med* at den skal bruges for refleksion. Der er her ikke tale om hverken historiske eller filosofiske oversigter, men om case-baserede refleksioner, hvor den nødvendige dannelses-kontekst bibringes efter behov. Refleksionerne har både et internt datalogisk sigte, et akademisk sigte, og et alment sigte. Ved at vise og reflektere over fundamentale videnskabsteoretiske spørgsmål i en faglig kontekst bibringes teoretiske og etiske eksempler, som lader sig generalisere ud over den konkrete kontekst.

Dette kursus og dette notesæt

Undervisningen i *Datalogiens videnskabsteori* er planlagt med ugentlige forelæsninger og øvelser. Undervisningsmaterialet udgøres af forelæsningsnoter (slides), et kompendium og dette notesæt, som samlet udgør pensum. Kompendiet indeholder tekster til brug for øvelserne, hvor de studerende skal præsentere og diskutere teksterne. Noterne understøtter forelæsningerne og vil revideres i forbindelse med disse.

Læse- og brugsvejledning

Formålet med kurset *Datalogiens videnskabsteori* er altså dobbelt og omfatter dels et 'dannelseselement' og dels en 'refleksiv' komponent. Dette notesæt skal kombinere disse to aspekter, og det vil i praksis foregå ved, at hovedteksten udlægger refleksioner over de centrale temaer og lægger op til videre diskussion. De aspekter, der kræver og leverer en dybere dannelse, er henlagt til boxe, som er klart markerede. Det er således meningen, at hovedteksten kan læses som en sammenhængende narrativ med flere argumenter, og at boxene kan benyttes som opslag og til at give relevant baggrundsinformation for disse argumenter.

Som notesæt vil dette værk undergå en stadig opdatering, tilretning og udvidelse. Læsere opfordres til at følge med på hjemmesiden <http://www.henrikkragh.dk/fvt>, hvor der løbende vil offentliggøres informationer med relation til denne bog og til *Datalogiens videnskabsteori* generelt.

Et par ord til tak

Dette notesæt er blevet til efter års undervisning i kurset, hvor studerende og instruktører er blevet udsat for foreløbige versioner i mundtlig form. Jeg er taknemmelig til dem for deres tålmodighed og gode feedback, som har gjort noterne bedre, men også mere påtrængende savnede.

Jeg ønsker at stille en særlig tak til de studerende, der gennem kurser, bachelorprojekter, specialer etc. har været med til at udvikle og informere mig om nogle af de perspektiver, som notesættet behandler.

Jeg er også taknemmelig til kolleger på *Institut for Videnskabsstudier* og i det danske netværk for matematikkens historie og filosofi for de diskussioner, jeg har haft med dem om kurset (og dermed noternes) indhold. Jeg håber meget, at studerende i 2009 vil deltage aktivt i at udvikle noterne igennem feedback, rettelser og forslag til udvidelser og forbedringer.

Århus, 4. maj 2009
Henrik Kragh Sørensen

Datalogi, videnskab og teknologi

Selvom man har studeret datalogi i flere år, kan det være på sin plads men ikke helt let præcist at afgrænse, hvad der karakteriserer datalogien og adskiller den fra andre områder af den menneskelige viden. Der er nogle klassiske tilgangsvinkler til et sådant forsøg på at karakterisere feltet: Man kan forsøge at definere datalogien ud fra dens centrale egenskaber (dens natur) og de *objekter*, den behandler. Dette vil typisk være en *filosofisk* tilgangsvinkel, og den kan være både *deskriptiv* (beskrivende) og *normativ* (foreskrivende). Som et delvist alternativ kan man forsøge at indkredse ‘datalogi’ ved at beskrive dens udøvelse; dvs. de processer, igennem hvilke datalogisk viden skabes, formidles og anvendes. Da denne tilgangsvinkel typisk fokuserer på relationer mellem mennesker, er den i sidste ende *sociologisk*. Endelig kan man forsøge at konkretisere indholdet i ‘datalogi’ ved at gå til det med en *historisk* tilgangsvinkel, som fokuserer på, hvordan disciplinen har udviklet sig og har afgrænset sig selv fra andre felter.

Når man skal afgrænse datalogi som felt er det også relevant at overveje, om datalogien ligger nærmest ved den akademiske videnskab eller mere er at sammenligne med teknologiske vidensområder. Men for at diskutere dette er det først nødvendigt at nå en foreløbig afgrænsning af selve feltet ‘datalogi’ og så siden analysere, hvad der karakteriserer videnskab og teknologi for så til sidst at kunne forsøge at positionere datalogien på det spektrum, som udspændes af akademisk og teknologisk videnskab.

1.1 Hvad er datalogi?

I den hierarkiske organisering af menneskelig viden, som er blevet forsøgt indenfor filosofien, har man typisk karakteriseret de forskellige vidensområder ud fra deres *genstandsfelt* (deres objekter, *ontologi*) og deres *erkendelsesmåde* (*epistemologi*). Et oplagt sted at starte en diskussion af datalogiens ontologi og epistemologi kunne være ved at slå op i et leksikon som fx det stadig nye *Den Store Danske Encyklopædi* (DSDE):

Datalogi, (af *data* og *-logi*), videnskaben om data og dataprocesser; opstod efter fremkomsten af den digitale computer i midten af 1940’erne. Ordet datalogi blev indført af professor Peter Naur i 1966 som et alternativ til den amerikanske betegnelse “computer science”, der

ikke i samme grad udtrykker, at faget rummer videnskabelige problemer, der rækker ud over den blotte udnyttelse af computeren.

Datalogiens forskningsobjekt er data, repræsentationer af objekter eller idéer. [...] Datalogien handler således om datastrukturer og dataprocesser samt om karakterisering af sådanne strukturers og processers egenskaber og begrænsninger. Computeren er et centralt redskab i datalogien. Med den kan den datalogiske forsknings hypoteser afprøves i praksis, og megen datalogisk forskning omhandler principper for programmering og metoder til effektiv udnyttelse af computeren. Den vigtigste hjælpedisciplin for datalogien er matematikken; ikke den kontinuerte matematik [...], men diskret matematik. Også logik finder anvendelse i datalogien.

Datalogiens opgave er at afdække generelle principper for databehandling. Herved kommer datalogien til at interessere sig for mange problemstillinger, der også kendes i andre discipliner [fx ingeniørfag (automatiske systemer), arkitektur og psykologi (brugsværdi af komplekse systemer), lingvistik (programmeringssprog), bibliotekarvidenskab (lagring og søgning), organisationsteori (store datasystemer)]. Datalogi er således en vidtfavnende tværvidenskabelig disciplin [...]. (DSDE, datalogi)

Opslaget i DSDE angiver altså datalogiens objekter til at være *data* i form af *datastrukturer* og *dataprocesser*. Og ikke mindst fremhæver opslaget den tværvidenskabelige egenskab ved datalogien, som trækker på mange andre vidensfelter. Grafisk kan man forestille sig et billede af datalogifeltet og dets tilgrænsende felter som gengivet i figur 1.1.



Figur 1.1: Datalogifeltet og tilgrænsende felter

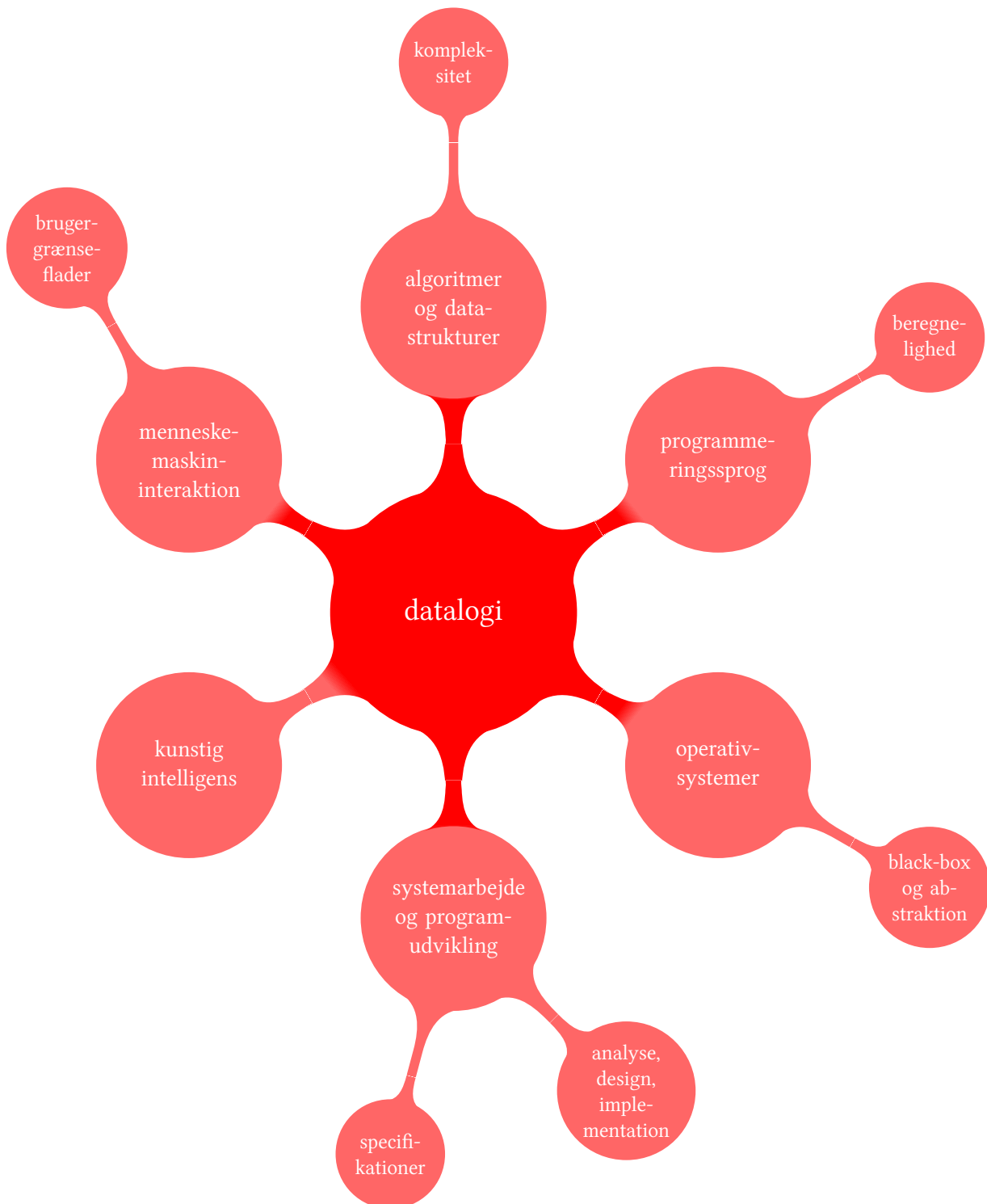
Selve datalogi-feltet har også en sammensat indre struktur, hvor mange forskellige forskningsinteresser, spørgsmål og metoder er sammenfattet under en fælles hat. Man kan grafisk forestille sig en mindre del af datalogifeltets struktur som i figur 1.2, hvoraf det fremgår, at datalogi blandt andet beskæftiger sig med algoritmer og datastrukturer, programmeringssprog, operativsystemer, systemsarbejde og programudvikling, kunstig intelligens og menneske-maskin-interaktion. Dette er ikke en udtømmende liste af datalogiske under-discipliner, men de er givetvis nogle af de mest fremtrædende, hvilket også kan ses deraf, at de er at finde som komponenter af mange datalogiske grunduddannelser.

1.2 Hvad er videnskab?

Selvom det er besværligt, kan man godt forsøge at karakterisere videnskab og opstille kriterier, der kan afgøre om givne påstande er videnskabelige eller ej. Ligesom i så mange andre situationer i videnskabsteorien kan man gå til værks på forskellig vis. Man kan søge at beskrive i) karakteristika ved *videnskabelig viden*, ii) normer for et *videnskabeligt etos*, iii) beskrivelse af *videnskabelig praksis*, eller iv) idealer for *demokratisk videnskab*. Disse fire former vil blive kort behandlet i det følgende. For at komme nærmere en afgrænsning af begrebet videnskab, kunne man igen ty til DSDE, hvor man så ville få at vide, at videnskab er en „almen betegnelse for systematiske metoder til at frembringe, ordne og udbrede viden og kunnen samt resultaterne af denne aktivitet og de organisationsformer og administrative enheder (som fag og discipliner), hvorunder den foregår“ (Kragh 2001, s. 139). Denne betegnelse er nødvendigvis meget bred, men man kan komme lidt tættere på ved at forsøge at afgrænse, hvad der udgør *videnskabelig viden*. Man kan spørge, hvad der er specielt ved videnskab og adskiller *videnskabelig viden* fra andre slags viden. Nogle blandt de mange forslag til en sådan definition er listet her baseret på (Kragh 2003, s. 148–150):

1. Videnskab er en forfinelse af dagliglivets erfaringer.
2. Videnskab er teoretisk, i modsætning til praktisk viden.
3. Videnskab resulterer i udsagn, der er matematisk formulerede og hævdes at være universelt gyldige.
4. Videnskab er givet ved bestemte metoder og procedurer, fx eksperimenter.
5. Videnskab giver objektiv viden via sociale mekanismer til sikring af dens offentlige karakter.
6. Videnskab resulterer i offentlig tilgængelig viden i form af bøger og artikler.
7. Videnskab er, hvad videnskabsmænd laver.

Hver af disse definitioner indfanger væsentlige aspekter af videnskabens natur — men ingen af dem tåler at blive ophævet til almengyldige karakteriseringer af, hvad videnskab er. Nogle af dem udspringer — ligesom en stor del af videnskabsteorien — fra særlige dele af de fysiske videnskaber, og mange af dem passer overhovedet ikke på humaniora — eller matematik for den sags skyld.



Figur 1.2: Datalogifeltets sammensætning

Opgave 1.1 (Definitioner af 'videnskab')

Gå igennem hver af definitionerne ovenfor og find gode mod-argumenter. Det kan være en god ide at skele til former for videnskab, der ikke er naturvidenskabelige eller at overveje hvorvidt definitionen indfanger (alle) de karakteristika, du finder centrale for videnskab. Tænk også over hvilken type definition, der er tale om: Tager definitionen fx udgangspunkt i den producerede viden, i erkendelsesprocessen, eller i sociologiske omstændigheder?

I erkendelse af disse definitioners begrænsninger tilbyder videnskabshistorikeren og videnskabsteoretikeren HELGE KRAGH (*1944) en definition, som fokuserer på fire egenskaber ved den viden, som videnskaben producerer:

Videnskab er en intellektuel og social proces, der stræber mod, og rent faktisk resulterer i, en form for viden, som er karakteriseret ved at være (i) *offentlig*, (ii) *fejlbart*, (iii) *korrigerbar* og (iv) *testbar*. (Kragh 2003, s. 150)

At den videnskabelige viden skal være *offentlig* skal forstås sådan, at den videnskabelige viden ikke er af privat karakter, men skal kunne forstås og vurderes af kvalificerede medlemmer af det videnskabelige samfund. Disse kolleger skal så på grundlag af den fremstillede viden kunne nå til de samme konklusioner, hvorved der opstår *konsensus* om den videnskabelige viden. Konsensus er således et sociologisk fænomen, som ikke i sig selv implicerer hverken objektivitet eller sandhed.

Når KRAGH insisterer på, at videnskabelig viden skal være *fejlbart*, så er det vigtigt at understrege, at dermed menes *ikke*, at videnskabelig viden er fejlagtig, kun at den (altid) vil og skal være *potentielt forkert*. Videnskabelig viden er ikke på forhånd garanteret sandhed, og den videnskabelige viden vil ofte være ufuldstændig og forbundet med usikkerheder. Videnskabelig viden må altså ifølge denne definition ikke være dogmatisk. Som det skal diskuteres i et senere afsnit (1.5) møder dette punkt nogle særlige udfordringer for matematik og – dermed – dele af datalogien.

Det videnskabelige samfund skal have mulighed for – via institutionelle strukturer – at efterprøve og kritisere den frembragte viden. Dette er indholdet af KRAGHS bemærkninger om, at videnskabelig viden kan *korrigeres* og *efterprøves*. Det skal være muligt *systematisk og kritisk* at afprøve videnskabelige påstande, hvilket kun er meningsfyldt, hvis påstandene kan være fejlagtige. Derfor hænger de sidste tre dele af KRAGHS definition nært sammen.

KRAGHS definition ligner på flere punkter den *sociologiske karakteristik* af videnskab, som videnskabssociologen ROBERT K. MERTON (1910–2003) udformede som en normativ *videnskabens etos*.¹ MERTON lavede sin analyse i 1942 under indtryk af totalitært regimetotalitære regimers korrupsion af den frie videnskab, ikke mindst i form af den såkaldte „tyske (ariske) fysik“. Som modvægt opstillede MERTON et normsæt for god og fri videnskabelighed, som siden kom til at stå som et ideal for den akademiske videnskab i den vestlige verden. MERTONS normsæt bærer akronymet CUDOS, hvilket står for *Communalism, Universality, Disinterestedness, Original* og

¹(Merton 1973).

Scepticism. Dermed fanger MERTON ligesom KRAGH, at den videnskabelige viden skal være fælles og offentlig (C). Videnskaben skal have en grad af universel gyldighed, der ikke afhænger af den enkelte videnskabsmand, og ingen skal udelukkes fra det videnskabelige samfund (U). Omvendt må videnskabsmanden ikke lade egne interesser påvirke den videnskabelige proces eller det videnskabelige udkomme (D). I stedet skal han åbent overlade sine originale resultater (O) til det videnskabelige samfunds organiserede kritik (S). I MERTONS oprindelige formulering var kravet til originalitet erstattet af *organiseret scepticisme*, dvs. en institutionaliseret og systematisk proces til kritik af videnskabelige påstande.

1.3 Den lineære model

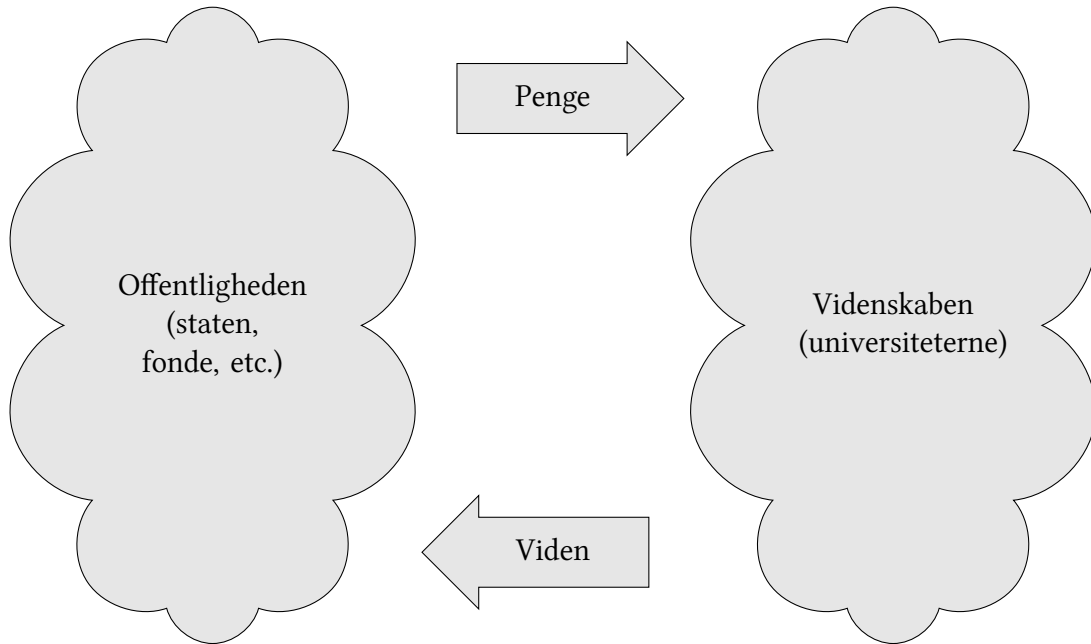
Dette sæt normer for videnskaben var allerede eksisterende inden MERTON formulerede det, men efterfølgende blev det implementeret i endnu højere grad i et argument for at sikre den frie grundvidenskab. Under 2. verdenskrig havde især amerikanske videnskabsfolk leveret videnskabeligt baseret viden, som hjalp med til at løse konkrete logistiske og teknologiske problemer. Henimod krigens afslutning fremsatte den amerikanske forsker og forskningspolitiker VANNENBUR BUSH (1890–1974) et notat til præsidenten, hvori han argumenterede dels for den grundvidenskabelige forsknings autonomi og dels for dennes uforudsigelige anvendelighed. BUSH hævdede blandt andet:

Videnskabeligt fremskridt over en bred front stammer fra frie intellektuelles frie leg, hvor de arbejder med problemstillinger, som de selv har valgt, kun dikteret af deres nysgerrighed efter at udforske det ukendte. Forskningsfriheden bør bevares i enhver regerings forskningspolitiske reformer. (Bush 1945)

I løbet af de første år af Anden Verdenskrig mobiliserede USA landets akademiske ressourcer for krigsindsatsen. En række institutioner blev oprettet med det formål at styrke den krigsrelevante forskning, herunder *Office of Scientific Research and Development* (OSRD) og *Office of Naval Research* (ONR). Efter krigen videreførtes nogle af de udviklede ideer i nationale, civile forskningsråd som *National Science Foundation* (NSF) og *National Research Council* (NRC). Den centrale ide var at forsøge at styre forskningen i anvendelsesretning ved at finansiere forskningsprojekter med anvendelser for øje. Dermed indgik militæret, industrien og universiteterne i strategiske samarbejder. Under krigen rekrutterede OSRD akademiske medarbejdere til at arbejde på støttede projekter, men medarbejderne forblev på universiteterne for at binde miljøerne sammen. Forskerne var civile og uden for militærets direkte indflydelse, hvilket betød at de også var i stand til at forfølge mål, der ikke umiddelbart kunne forudsiges at give anvendelser. Efter krigen videreførtes meget af denne tænkning i koldkrigsforskningen, som i hele den vestlige verden var influeret af en rapport fra 1945 „Science: The Endless Frontier“ (Bush 1945). Argumentet deri var, at grundforskning fører til videnskabelig kapital, som kan veksles til praktiske anvendelser. Grundforskningen er – ifølge BUSH, som var rapportens forfatter – hjerteslaget i det teknologiske fremskridt, og en svag grundforskning vil give langsommere industrielle fremskridt og svag økonomi (og militær). Derfor er det i statens interesse at støtte grundforskningen. Ifølge BUSH skulle grundforskningen endvidere være *fri*, fordi anvendelser ville følge næsten

umiddelbart. Denne tænkning er blevet kaldt *den lineære model* fra grundforskning til anvendelser, og den er siden blevet kritiseret meget, ikke mindst fordi anvendelser kræver betydeligt mere end simpel applicering af grundvidenskabelig viden.

Den model, som BUSH og MERTON argumenterede for tildeler videnskaben – og herunder grundvidenskaben – en meget høj grad af autonomi. Staten finansierer videnskaben (dvs. universiteterne) med det formål at få produceret ny viden til rådighed uden at der stilles krav til fx denne videns anvendelighed (se figur 1.3). Denne model for samspillet mellem stat og videnskab kaldes nogle gange for *mode-1-videnskab*.



Figur 1.3: En traditionel model for samspillet mellem videnskab og samfund (såkaldt *mode-1-videnskab*).

Denne model for især akademisk videnskab hævdede videnskabens *autonomi* og hævdede, at det akademiske samfund bedst regulerede sig selv. Samfundet og dets politikere burde overlade det til videnskabsmændene og deres institutioner selv at afgøre forskningspolitiske prioriteringer. Som videnskabshistorikeren DEREK J. DE SOLLA PRICE (1922–1983) beskrev:

Da videnskaben er international og konkurrencepræget, er dens måde at vokse på næsten udelukkende dikteret af dens aktuelle kognitive stade og næsten slet ikke af nationernes ønsker eller samfundets behov. Man har derfor ikke noget virkeligt forskningspolitisk valg, udover at støtte al eksisterende frontforskning med det størst mulige antal penge og talenter, der kan presses ud af befolkningen. (de Solla Price 1965, s. 237)

Denne autonomi skulle imidlertid i stigende grad blive udfordret, og nedenfor skal vi se på nogle af de udfordringer, der er blevet rejst mod den.

1.4 Demarkationskriterier

Adskillige videnskabsteoretikere har forsøgt at sætte KRAGHS og MERTONS og tilsvarende karakteriseringer (*demarkationskriterier*) af videnskabelig viden i brug til at afgrænse såkaldte

pseudovidenskaber fra ægte videnskab. Disse *demarkationsdiskussioner* verserer for tiden angående fx *kreationisme* og *alternativ medicin* (se Kragh 2003, s. 152–154). I nogle tilfælde — fx omkring kreationisme — har diskussionerne endda været ført i det offentlige rum i form af retssager i USA, som skulle afgøre, hvorvidt kreationisme var videnskab eller ej. Mange af disse diskussioner ender med at bygge på forskellige videnskabssyn, som fx da 72 nobelpristagere formulerede deres syn på (natur)videnskab, der udelukkede kreationismen. De hævdede, at videnskab er „en proces, hvor data og optegnelser for den fysiske verden indsamles, ordnes og studeres for at skabe de principper for naturen, der bedst forklarer de observerede fænomener“ (citeret fra Kragh 2003, s. 154). Dermed er disse 72 prominente videnskabsfolk ude med et budskab, som er en variant af en klassisk videnskabsteoretisk position for naturvidenskaberne. De fortsatte deres dokument således:

Hvis et forklarende princip ifølge sin natur ikke kan testes, er det uden for videnskabens sfære. Gennem den fortløbende test af hypoteser tildeler videnskabsfolkene størst troværdighed til de hypoteser, der opnår mest støtte gennem observationer og eksperimenter. Disse hypoteser bliver kendt som „videnskabelige teorier“. Hvis en teori succesfuldt forklarer en stor og alsidig mængde af kendsgerninger, er det en specielt „pålidelig“ teori. Selv den mest robuste og pålidelige teori er dog foreløbig. En videnskabelig teori vil altid kunne tages op til genovervejelse. (citeret fra Kragh 2003, s. 154)

Dermed påkalder nobelprisvinderne sig altså varianter af de fire karakteristika nævnt ovenfor, idet deres argument dog særligt fokuserer på naturvidenskaberne. At denne karakteristik fremføres af så prominente videnskabsfolk i forbindelse med at erklære kreationisme for en pseudovidenskab kan således sikkert også tages som et udtryk for et fremherskende videnskabssyn blandt aktive forskere.

1.5 Formal- og realvidenskab

KRAGH medgiver, at det videnskabssyn, som er diskuteret ovenfor, ikke specifikt forholder sig til matematik og matematiske fag, og at det måske kun er begrænset passende på disse videnskaber (Kragh 2003, s. 150). Dette skyldes primært, at hvor fx naturvidenskaberne beskæftiger sig med fysisk eksisterende ting, handler de matematiske videnskaber om objekter, som er definerede og formelle. Denne skelnen er vigtig at diskutere, da den har en række vidtrækkende videnskabsteoretiske konsekvenser for forholdet mellem matematik og naturvidenskab.

De 72 nobelpristagere, hvis dokument blev citeret ovenfor, argumenterer ud fra et videnskabsteoretisk synspunkt, ifølge hvilket naturvidenskaberne fungerer ved at opsætte forklarende hypoteser om forhold i den fysiske virkelighed, som efterfølgende efterprøves gennem observationer og eksperimenter. Gentagne succesfulde efterprøvninger gør en hypotese (teori) mere pålidelig, men den forbliver dog en hypotese. De argumenter, man har for en teori, kaldes *evidens*, og den videnskabelige proces handler ifølge dette synspunkt om at samle evidens og lede efter *modevidens* for fremsatte hypoteser. Man kan — stadig ifølge dette syn — aldrig nå til en endegyldig afklaring af videnskabelige spørgsmål; blot kan man samle mere og mere evidens, som — hvis der ikke forefindes vigtig modevidens — vil gøre teorien mere og mere pålidelig.

Det videnskabsyn, der er repræsenteret ved de 72 nobelpristagere, er et fremherskende syn på de såkaldt *materielle videnskaber* eller *realvidenskaber*, der handler om faktisk (reelt) eksisterende forhold i den fysiske verden. Det behøver ikke kun være naturvidenskaber, idet også dele af humaniora som fx *fonetik*, *historie* og *litteraturvidenskab* kan siges at handle om fysisk eksisterende fænomener. Den her relevante modsætning til realvidenskab er de såkaldt *immaterielle videnskaber* eller *formalvidenskaber*, som behandler formelle systemer. Matematik er et af de centrale eksempler på en *formalvidenskab*, men også *logik* og *grammatik* hører til formalvidenskaberne.

At formalvidenskab i dette udgangspunkt behandler formelt definerede systemer adskiller dem fra realvidenskaberne på ét helt særligt område: I formalvidenskab kan man *bevise* ting, mens man i realvidenskab arbejder med grader af *evidens*. Denne forskel fortjener at blive udfoldet lidt.

I realvidenskab opstiller man altså *hypoteser*, som man efterfølgende systematisk og kritisk søger at efterprøve. Derved samler man en mængde evidens for hypotesen og sikkert også en mængde modevidens i form af resultater, der ikke umiddelbart bekræfter hypotesen. Afprøvningen kan typisk – især for naturvidenskaberne – finde sted i form af *eksperimenter* og *observationer* af den fysiske virkelighed.

Derimod indfører man i *formalvidenskaberne* formelt de strukturer, som man ønsker at studere, og disse er derfor ikke naturligt hjemmehørende i den ydre fysiske virkelighed. Derimod er man i stand til at *bevise* egenskaber ved disse strukturer, fordi man netop har stipuleret (defineret) deres egenskaber. Det kunne derfor se ud til, at formalvidenskab kun er i stand til at trække konsekvenser ved formelle strukturer ud, som man selv har lagt ind i disse til at begynde med. Dette ville betyde, at formalvidenskabelige udsagn var *analytiske* – ligesom udsagnet „Alle ungarle er ugifte“ – og dermed tomme for indhold. I matematik ville dette synspunkt måske endda betyde, at matematiske udsagn var *tautologier*, dvs. logisk ækvivalente med simple sande udsagn.

1.6 Matematikkens metoder

Man kan nu forsøge at finde frem til, hvad der udgør matematikkens kerne i form af en *matematikkens metode*. Det vil sikkert afhænge meget af ens egen baggrund og dermed af ens syn på matematik, hvilket svar, man måtte komme op med. I den nuværende diskussion kan man måske forestille sig tre karikerede opfattelser af matematik: 1) Man kan mene, at matematik primært er et redskabsfag for andre videnskaber. Så vil matematikkens metode være *modellering* og kvantitativ behandling af fænomener. 2) Man kan mene, at matematik er en deduktiv og abstrakt videnskab, så matematikkens metode er *aksiomatisk deduktiv* (bevisende). 3) Man kan mene, at matematik er en skabende kunst, så matematikkens metode er *begrebsudviklende* (eksperimenterede, bevisende, udforskende). Disse tre svar er ikke gensidigt udelukkende – matematik er i forskellige sammenhænge mere af det ene end af det andet. Og for at vise svarenes begrænsninger kan man søge efter indvendinger imod de enkelte forslag. Nogle af disse ind-

vendinger kunne være følgende: 1) Redskabsfags-synet risikerer at reducere matematik og den matematiske erkendelses særegenhed. 2) Det deduktive syn risikerer at præsentere matematik som et afsluttet hele, inden for hvilket udvikling ikke er mulig. 3) Det udviklende syn risikerer at foreslå at matematik er relativistisk eller konstrueret og dermed også ramme ved siden af karakteristiske aspekter af fagets praksis. Det mest passende billede er altså mere komplekst end som så og har konsekvenser også for ens syn på fx forholdet mellem datalogi og matematik.

1.7 Er datalogi så en videnskab?

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 KRAGH. Datalogisk viden er ofte, og især når den er produceret på akademiske institutioner, faktisk offentlig, fejlbarm, korrigerbar og testbar, sådan som KRAGH opsætter som betingelser. Dette er ikke noget tilfælde, for den akademiske videnskab er traditionelt udformet efter *CUDOS-normerne*, og KRAGHS definition ligger tæt op ad disse.

Det er imidlertid ikke let og generelt at afgøre, om 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 *menneske-maskin-interaktion*, som benytter *realvidenskabelige* metoder.

PLACE

Men der er faktisk en endnu mere fundamental ting at diskutere i forholdet mellem datalogi og videnskab. For der bedrives unægtelig en masse datalogisk forskning i institutioner, der ikke er akademiske og ikke hylder *CUDOS-normerne* på samme måder som universiteter traditionelt har gjort. Faktisk er *CUDOS-normerne* også inden for universitets-verdenen til diskussion og måske under nedbrydning. Videnskabsteoretikeren JOHN MICHAEL ZIMAN (1925–2005) har peget på et muligt alternativ til *CUDOS-normerne*, som bedre indfanger, hvordan videnskab faktisk praktiseres i den såkaldte *mode-2-videnskab*.² ZIMAN har formuleret sin beskrivelse i akronymet *PLACE*, hvor P står for *proprietær*, L står for *lokal*, A står for *autoritær*, C står for *commissioned* dvs. bestilt arbejde og E står for *ekspert*. Dermed opstillede ZIMAN et diametralt alternativ til MERTONS *CUDOS-normer*, som ikke er et normsæt for *akademisk (mode-1) videnskab*, men derimod beskriver praksis under *mode-2-videnskab*. *PLACE* beskriver således videnskaben som problemløsende for bestilte opgaver, som påtages med henblik på økonomisk udbytte. Derfor er forskning under *PLACE* typisk ikke offentligt tilgængelig, men i stedet proprietær, og forskeren er ikke givet fuldstændigt frie tøjler, men bliver bedt om at løse konkrete opgaver i en lokal kontekst i sin egenskab som ekspert.

Det er oplagt, at *PLACE* passer bedre på hele den proprietære forskning og udvikling, som indgår i datalogien. Store softwarefirmaer afsætter betragtelige midler til forskning, hvoraf en stor del er drevet af hensyn, der lever fint op til de i *PLACE* beskrevne. Der er imidlertid også

²Se fx (Hansen og Johansen 2007).

andre forskningsprojekter, som er drevet af private firmaer (de største af slagsen), som søger at udnytte elementer fra *CUDOS-normerne*, så man kan ikke sætte et helt skarpt skel mellem *privat* og *offentligt* finansieret forskning på denne måde, ligesom *mode-2-drevet forskning* også i stigende grad finder indpas på offentlige universiteter.

ISYP

Man kan altså med en vis ret og som en første approksimation tro, at *CUDOS-normerne* beskriver normerne for akademisk forskning, og at *PLACE* beskriver den forskning, der foregår udenfor universiteterne, i private virksomheder, nemlig den såkaldt *postakademiske* eller *mode-2-forskning*.

Der findes imidlertid også inden for datalogien en stor udvikling og vidensproduktion uden for universiteter og virksomheder. Denne udvikling foregår blandt græsrodde og er blevet beskrevet med et helt tredje normsæt, nemlig det såkaldte *ISYP-ideal*.³ Igen er der tale om et akronym, hvor I står for *interdisciplinaritet*, S står for *social ansvarlighed*, Y står for ¡Ya basta! som på spansk kræver handling, mens P her står for *public opinion*. Der er tale om et ideal for *græsrodsvidenskab*, som drevet af idealistiske og samfundsansvarlige betragtninger kræver forskning, som kan bringes i anvendelse til at forandre verden til det bedre. Denne forskning overholder typisk ikke de etablerede faggrænser, hvorfor den bliver interdisciplinær. Dette sidste forhold er i nogen grad også gældende for *PLACE-orienteret forskning*, som jo også er problemløsende.

Diskussion

I det foregående er præsenteret dels en analyse af datalogifagets „vidtfagnende tværvidenskabelige“ karakter, som spænder fra matematisk *formalvidenskab* over eksempler på *realvidenskab* til særlige områder, der mere har karakter af *ingeniørvidenskab*. For at systematisere disse betragtninger kan det være gavnligt at introducere forskellige karakteristikker af videnskab. Den mest generelle, givet af KRAGH i det foregående, fokuserer på videnskabelig viden, som den kræver skal være offentlig, fejlbarlig, testbar og korrigerbar. Dette opfylder meget akademisk forskning, men der er også datalogisk forskning og vidensproduktion, der ikke oplagt opfylder disse krav. Derfor præsenteredes *PLACE* som en beskrivelse af proprietær videnskab. Det er oplagt, at en stor del af datalogifaget er underlagt økonomiske interesser, som ønsker at holde (dele af) den producerede viden hemmelig og udøve ejerforhold over den (dvs. gøre den proprietær). Dette indfanges i nogen grad af *PLACE*, som netop beskriver viden produceret på efterspørgsel. Men der produceres også viden helt uden for disse etablerede systemer, nemlig af græsrodde, og derfor blev det til sidst kort beskrevet, hvordan *ISYP-idealet* kan indfange nogle centrale dele af denne *græsrodsvidenskab*.

Når man således skal diskutere, om datalogi er en videnskab og i givet fald hvordan den er det, er det dels nødvendigt at klargøre, hvad “datalogi” skal betyde i dette spørgsmål og dels hvilke typer videnskab, der henvises til. Der er somt nævnt ingen tvivl om, at en stor del af den

³(Hansen 2005).

teoretiske datalogi, som praktiseres på universiteter umiddelbart kan klassificeres (med matematik) som akademisk videnskab. Der er også en stor del datalogisk forskning, der foregår under proprietære forhold i store koncerner som fx Microsoft eller i mindre private virksomheder. En stor del af denne viden vil have form af kildekode eller algoritmer, og firmaerne også ofte vil være tilbageholdende med at dele fx deres kildekode. Endelig er der en betragtelig vidensproduktion, som 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 er her Open Source miljøet. Men der er også store og interessante overlap mellem disse basale vidensproduktionsformer. Private virksomheder indgår i samarbejder med universiteter, hvilket har truet med at indføre *PLACE-orienteret forskning* ved universiteterne. Men private virksomheder indgår også samarbejder med fx Open Source miljøet, hvilket selvfølgelig også udfordrer de respektive videnskabsopfattelser. Og endelig er der store sammenfald mellem oprindelsen af Open Source miljøet og den akademiske datalogi.

Så det stillede spørgsmål tillader ikke noget oplagt og let svar; det ville også være for nemt. Svaret afhænger i høj grad af, hvilken type datalogi, man behandler og hvilken type videnskab, man søger at sammenligne det med. Der er ting, der oplagt passer ind i de opstillede kasser, og der er andre ting, der dårligt kan passes ind. Men bortset fra at KRAGHS krav om "offentlighed" er i noget nær direkte modstrid med proprietær videnskab og at hans krav om "fejlbarelighed" kan være svært foreneligt med de dele af datalogien, der er *formalvidenskab*, er det næsten en tautologi, at akademisk datalogi samt megen datalogisk vidensproduktion i private selskaber og græsrodsbevægelser er videnskab. De er bare eksempler på ganske forskellige opfattelser af videnskabelighed, helt i tråd med de forskellige normsæt.

Opgave 1.2 (Er datalogi en videnskab?)

Lav først en brainstorm og tegn et mind-map over datalogifeltet i stil med figur 1.2 men med din egen opfattelse af, hvad datalogi består af. Vælg dernæst nogle af bestanddelene ud og diskuter, hvorvidt de opfylder fordringerne til de forskellige karakteriseringer af videnskabelighed, som er givet i det foregående. Husk at argumentere grundigt for dine svar.

Datalogi i den akademiske verden – og udenfor

Den akademiske verden er – og har længe været – karakteriseret af bestemte grader af selvstændighed og frihed for udefrakommende styring. Disse forhold er til stadig forhandling og diskussion, og for at få et grundlag for at følge diskussionerne er det nyttigt at tage et historisk og generelt syn på, hvordan den akademiske verden *fungerer*.

2.1 Professionalisering og institutionalisering

De første universiteter i Vesteuropa går tilbage til Italien i 1300-tallet, hvorfra ideen om lærde akademiske miljøer siden har spredt sig. Københavns Universitet blev oprettet i 1479, og ligesom de andre klassiske universiteter var formålet i høj grad at uddanne (katolske) præster. Siden kom medicinere og jurister til, og sammen med præsterne udgjorde de de tre grundlæggende professioner uddannet fra universiteterne. Først i 1800-tallet blev naturvidenskab separeret ud fra det filosofiske fakultet som et eget område for undervisning. I København blev Det Matematisk-Naturvidenskabelige Fakultet således oprettet i 1850. Forud for dette var den højeste naturvidenskabelige uddannelse, man kunne opnå i Danmark, sikkert den polytekniske uddannelse, som siden 1829 var blevet forestået af *Polyteknisk Lærestalt*. Også efter oprettelsen af et naturvidenskabeligt fakultet ved Universitetet vedblev et nært samarbejde og et vist personsammenfald mellem bl.a. matematikerne ved Universitetet og ved *Polyteknisk Lærestalt*.

I 1870'erne tog institutionaliseringen af matematikken i Danmark uden for Universitetet for alvor fart, og dette faldt sammen med et vigtigt generationsskifte blandt de akademiske matematikere. Man oprettede en Matematisk Forening i København, det eksisterende Matematisk Tidsskrift blev i nogen grad strømlinet, og der blev ansat en ny generation af professorer ved Universitetet og *Polyteknisk Lærestalt*. Disse blev siddende og dominerede frem til det næste generationsskifte omkring 1910, hvor internationaliseringen for alvor slog igennem i dansk matematik med deltagelse i skandinaviske og internationale matematikerkongresser, mange flere og mere regelmæssige kontakter til især tyske og franske matematikere og en ambition om at bidra-

ge med matematisk forskning på internationalt niveau (se også afsnit ??). Dette, at forskningen først blev en central del af den akademiske matematikers virke så sent, er måske påfaldende, men indtil professionaliseringen af forskningsmatematikken, som især blev drevet af tyske reformer i 1800-tallet, var universitetsmatematikerens vigtigste opgave at undervise ret elementær matematik til studerende på de første studieår af andre uddannelser (se også afsnit ??).

I 1934 blev det første institut for matematik i Danmark grundlagt i København. På det tidspunkt var der en række dygtige og internationalt anerkendte matematiske forskere i København, men indtil da havde de altså ikke haft et eget institut at arbejde ved. I stedet var de mødt op til deres forelæsninger og havde ellers arbejdet hjemme i deres professorboliger, hvor de måske også har vejledt studerende i et vist omfang. Ved indvielsen af instituttet i 1934 var pressen mødt op, og den noterede sig med nogen humor og lidt ironi, hvordan matematikerens vigtigste redskaber tilsyneladende (og efter professorens eget udsagn) var en blyant og en sofa: De dyre apparater, som i samme tid drev mange naturvidenskaber, hørte ikke hjemme i matematikken. Dette billede har også stadig en vis ræsonnans.



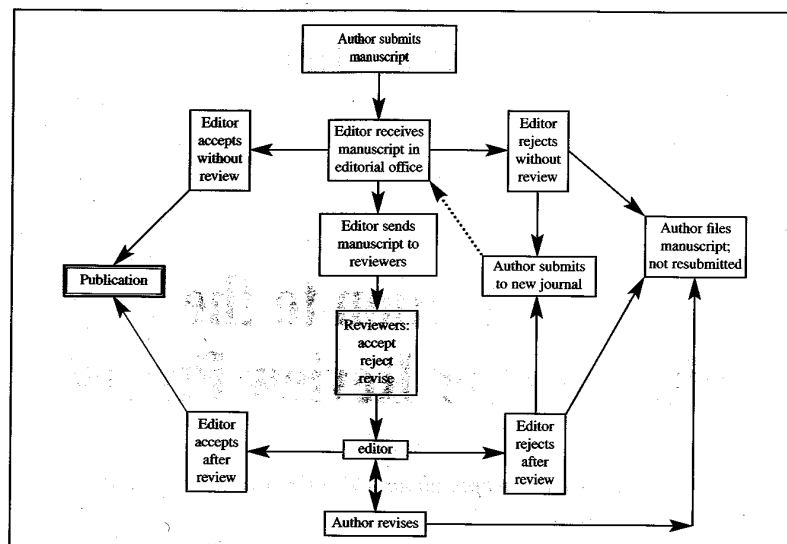
Figur 2.1: Fra dækningen af indvielse af Matematisk Institut i København, 1934.

Man taler om, at matematikken – og hermed menes især forskningsmatematikken – blev professionaliseret i løbet af 1800-tallet. Denne professionaliseringsproces omfattede dels, at matematik og matematisk forskning blev noget, man kunne leve af (sml. professionel idræt), men også at der etableres en fælles professionel faglig identitet. Til denne identitet hører dels det omtalte *forsknings-imperativ*, men også etableringen af karriereveje og afgrænsninger af professionens grænser. Hvor det i 1700-tallet og i starten af 1800-tallet var muligt at være autodidakt matematiker og deltage i den lærde debat på et højt niveau, var denne mulighed stort set forsvundet i slutningen af 1800-tallet, hvor systematiserede uddannelser og etablerede forskningsfelter i stedet dominerede. Der er kun ganske få undtagelser til denne regel i det 20. århundrede, hvoraf den indiske bogholder SRINIVASA AAIYANGAR RAMANUJAN (1887–1920) nok er den mest berømte.

2.2 Peer review

Med fremvæksten af det såkaldte *forsknings-imperativ* (mere eller mindre udtalte krav om, at professorer ved universiteter skal forske), som etableres med udgangspunkt i tyske reformer i 1800-tallet, voksede også et behov for at sikre kommunikationen af de mange forskningsresultater. Og siden er mængden af resultater bare vokset og vokset, således at det i dag er af største vigtighed – og en kilde til fortsat debat – at sikre udbredelsen og kvaliteten af den publicerede forskning.

Det videnskabelige tidsskrift har en historie, der går tilbage til de første videnskabelige akademier og den videnskabelige revolution i 1600-tallet. Men i løbet af 1800-tallet voksede antallet af specialiserede tidsskrifter, således at der fremkom flere specialiserede matematiske forskningstidsskrifter, som publicerede artikler på forskellige sprog, primært tysk og fransk. I begyndelsen var tidsskrifterne i høj grad drevet af en redaktør, der foretog de redaktionelle beslutninger, men i mange moderne tidsskrifter støtter redaktøren sig til en proces for kvalitetssikring, der benævnes *double-blind peer review*. Modellens arbejdsgang er illustreret i figur 2.2, som involverer en forfatter (“author”), en redaktør (“editor”) og et antal bedømmere (“referee” eller “reviewer”). Kvalitetssikringen foregår før offentliggørelsen, således at forfatteren indsender et manuskript til redaktøren, der så har tre muligheder: enten i) blankt at forkaste artiklen (det sker nok rimelig hyppigt), eller ii) blankt at acceptere artiklen til publikation (det sker nok betydeligt sjældnere), eller iii) at sende artiklen til udtalelse hos en eller flere faglige bedømmere (“reviewers”). Af disse muligheder er den sidste afgjort den sædvanlige, med mindre artiklen kan afvises blankt, fx fordi den ikke ligger inden for tidsskriftets specialisering eller lignende.



Figur 2.2: Processen bag peer review.

Bedømmerne skal så tage stilling til det indsendte manuskript ud fra en række kvalitetskriterier, der bl.a. omfatter korrekthed, relevans, nyhedsværdi og kommunikationsmæssige aspekter. Det er en diskussion, hvorvidt bedømmerne kan og skal forholde sig absolut til manuskriptets korrekthed. Hvis man fx i matematiske tidsskrifter kræver, at bedømmerne skal stå fuldstændig

inde for korrektheden af resultaterne, vil det være at pålægge dem meget store opgaver. I stedet er man nok nødt til at acceptere dels en vis mængde fundamental tillid til forfatteren og dels en pragmatisk holdning til bedømmelsesprocessen. Men det er alligevel en underbygget og tiltalende påstand, at især den matematiske litteratur nyder en høj grad af permanens. Der er ikke mange kritiske fejl i matematiske artikler, hævdes det, selvom man godt er klar over, at en meget stor del af litteraturen indeholder mindre fejl og mangler.

Bedømmerne svarer tilbage til redaktøren med et svar, som typisk overordnet vælges fra følgende liste: accepter med små eller ingen ændringer, accepter med væsentlige ændringer, eller forkast. Foruden dette overordnede svar giver bedømmerne også en mere detaljeret kritik, som både skal sætte redaktøren i stand til at træffe sin afgørelse og samtidig være en hjælp til forfatteren i arbejdet med at forbedre manuskriptet og imødekomme kritikken fra bedømmerne. Disse svar samler redaktøren så, og på grundlag deraf træffer han en beslutning, som ligner den ovenfor skitserede: enten accepteres manuskriptet, eller det forkastes, men langt hyppigst indgår redaktøren i en dialog med forfatteren om en forbedring af manuskriptet på de punkter, som bedømmerne har påpeget.

At review-processen er *double-blind* betyder, at forfatteren og bedømmerne er anonyme i forhold til hinanden. Kun redaktøren kender til deres respektive identiteter. Formålet med denne foranstaltning er at sikre, at bedømmelsen ikke tager hensyn til sociale faktorer som prestige eller magt, men foregår på et objektivt grundlag. Det er imidlertid diskutabelt, hvorvidt denne anonymisering er en realitet og hvorvidt den faktisk er ønskelig. I små felter vil man ofte kende hinanden alligevel, og man kunne også forestille sig, at en direkte kontakt mellem forfatter og bedømmer hurtigere kunne føre til en forbedret artikel. Endelig kunne man frygte, at bedømmere kunne "gemme" sig bag deres anonymitet og yde ufin kritik. Denne sidste mulighed er der så andre procedurer til at udelukke, især tilliden mellem redaktøren og bedømmerne og dels professionelle etiske fordringer (se afsnit 2.4).

At review-processen benytter "peers" (ligemænd) er også en vigtig del af den akademiske kvalitetskontrol. Det er med andre ord forskere, der bedømmer andre forskeres arbejder. Dette er selvfølgelig medvirkende til at give en reel akademisk autonomi, men omvendt må man også være forsigtig med at drage for stærke konklusioner deraf. For selvom det er forskere, der bedømmer andre forskere, er det langt fra sikkert, at bedømmerne er eksperter på alle dele af de manuskripter, de bedømmer. Det lader sig altså ikke gøre, at lægge selve korrekthedskontrollen i hænderne på bedømmerne, da de ofte kun vil have et delvist ekspertise-forhold til manuskriptet. I stedet skal de, som ovenfor nævnt, forholde sig til generelle forhold og resultaternes plausibilitet bedømt ud fra en lang række kriterier.

Siden professionaliseringen for alvor satte ind og forsknings-imperativet satte dagsordenen har de akademiske videnskaber udviklet et etos, der af nogle er blevet benævnt „publish-or-perish“. At der faktisk er tale om en eksplosiv vækst kan belægges med nogle få data: Mængden af årlige matematiske forskningsartikler er således blevet rapporteret at stige fra omkring 840 artikler årligt i 1870 til 50.000 artikler årligt i 1995. I takt med matematikkens eksplosive vækst i antallet af publikationer, tidsskrifter, konferencer og mange andre faktorer, er det blevet stadig sværere at holde sig orienteret i hele den matematiske videnskab. Dette er på ingen måde

specielt for matematikken, men gælder hele den moderne videnskab: specialisering og eksplosiv vækst truer med at *hyperprofessionalisere* disciplinerne, så meget at forskere inden for én underdisciplin ikke kan holde sig orienteret om udviklinger inden for andre, selv nært beslægtede, underdiscipliner. Siden 1800-tallet har man forsøgt at råde nogen bod på dette forhold gennem såkaldte *review-tidsskrifter* eller *abstract-tidsskrifter*, der bringer korte resuméer af artikler publiceret i andre tidsskrifter. I dag foregår langt det meste af dette online, og det tilhørende site www.ams.org/mathscinet er en meget vigtig ressource i matematiske forskning.¹

Den voldsomme vækst i antallet af forskningspublikationer har også betydet et kraftigt pres på tidsskrifternes peer-review. Typisk strækker review-processen sig over et par måneder, men nogle gange tager det betydeligt længere. Og nogle gange er selv et par måneder for længe at vente. Det har fået den akademiske verden til at overveje at implementere mulighederne for elektroniske publikationer, hvilket har ført til en vedholdende diskussion om de relative kvalitetsforhold for elektroniske og traditionelle medier.² Især muligheden for at lægge “grå publikationer” eller *preprints* på nettet til fagfællekritik og prioritetssikring før egentlige publikationer er blevet benyttet og diskuteret. .

2.3 Finansiering og forskningsstyring

Ligesom forskningsverdenen selv har administreret kvalitetssikring inden for de vigtige publikationskanaler, har mange andre dele af forskningsverdenen også traditionelt besiddet udpræget autonomi. Dette har ikke mindst været aktuelt omkring tildelingen af forskningsmidler og den dertil nært forbundne ide om *forskningsstyring*. Med argumentationen fra *den lineære model* som baggrund har det videnskabelige samfund igennem anden halvdel af det 20. århundrede nydt en grad af selvbestemmelse omkring forskning, der tidligere var uset. Forskningen voksede enormt, og hovedparten af styringen af denne udvikling var uddelegeret til videnskaben selv at forvalte. Denne forvaltning foregik så i kraft af videnskabelige argumenter, som byggede på fagfælle-bedømmelser og i høj grad søgte at nedspille ikke-faglige hensyn. Dermed blev *CUDOS-normerne* forsøgt efterlevet som et etos for videnskabens forvaltning. Samtidig blev denne fagfælle-bedømmelse sat i nær forbindelse med videnskabsfolkernes *publikationer*. Kulturen er blevet karakteriseret som styret af en holdning, der kan kaldes *publish-or-perish*. Man offentliggør sine arbejder for at kommunikere dem til andre forskere, men også for at vinde anseelse og gennemslagskraft i forhold til forskningsprioriteringen. Dermed lægges yderligere et dobbelt pres på tidsskrifternes peer review: Dels får de mange flere artikler til refereeing og dels bliver de centrale i at udvælge kvalitet i forskningen.

I de sidste tiår er der blevet sat øget fokus på former for forskningsstyring, som ligger uden for den akademiske verden. Politikere har med argumentet om at samfundet (i fx Danmark) betaler for universiteterne hævdet, at det er naturligt, at samfundet også har en indflydelse på, hvad der forskes og undervises i ved selvsamme universiteter. Dermed har samfundet søgt at

¹MathSciNet er en betalingservice, men der er adgang fra universitetets maskiner eller via Statsbiblioteket.

²Se (Quinn 1995).

gøre sin indflydelse gældende over for bl.a. forskningsstyring, og dette har ført til nogle debatter med fortalere for forskningens og den akademiske undervisnings autonomi. I Danmark er argumentet bl.a. blevet fremført som „fra forskning til faktura“, hvorved nyttehensyn kommer til at spille en væsentlig rolle for forskningsprioriteringen. Som det også er diskuteret ovenfor (se afsnit 1.3), er det imidlertid en udfordring for et grundforskningsfag som matematik at skulle svare for sine nyttige effekter. Derfor kan man også se matematikere, ikke bare i Danmark, søge at påvirke diskussionen i en sådan retning, at det huskes, at der er mere langsigtede og måske endda kulturbærende argumenter at tage hensyn til, når forskningen skal prioriteres.³

2.4 Professionsetik og forskningsetik

Den videnskabelige verdens autonomi har altså som beskrevet både ideologiske og mere konkrete sider. På den ideologiske side tæller den professionelle videnskabs autonomi i forhold til fx *CUDOS-normerne*. På den mere konkrete side betyder den interne kvalitetssikring, at der lægges stor vægt også på videnskabens *integritet*. Dermed udstikker autonomien også en etisk fordring, og for at understøtte etisk og moralsk forsvarlig opførsel har videnskaben sat forskellige instanser op, dels på det generelle videnskabelige niveau, i forhold til konkrete discipliner og på forskellige nationale niveauer. De amerikanske matematikere i *American Mathematical Society* (AMS) har således nedsat en *Committee on Professional Ethics* (COPE) (AMS 1996), mens man i Danmark opererer med *Udvalgene vedrørende videnskabelig uredelighed* (UVVU), som er nedsat af forskningsministeriet.

Det er en forudsætning for eksistensen af instanser som COPE, at der findes et organ, der repræsenterer den professionaliserede matematik. Dette underliggende organ udgøres i dette tilfælde af den amerikanske sammenslutning af især akademiske matematikere AMS. Retningslinjerne fra COPE omhandler således især disse forskeres etiske og moralske forpligtelser og sanktionsmulighederne over for overtrædelser holder sig også primært inden for det akademiske system.

Selve de etiske fordringer i professionelle retningslinjer for forskere er basalt set fundamentale variationer over „Du må ikke snyde og lyve“, „Du må ikke stjæle“ og „Du må ikke gøre skade på andre“. Formålene er at sikre forskningens og forskerens integritet og især sikre de meritteringsystemer, som måtte være under pres i en konkurrencepræget akademisk verden. I den akademiske verden konkurreres ikke (kun og primært) på fx løn, men især på anseelse i form af *merit*— man taler om et *meritokrati*, hvor status følger af meritter, dvs. af den enkeltes akademiske bedrifter.

Som nævnt ovenfor spiller videnskabelige publikationer en helt central rolle i tildelingen af *merit*: Sloganet *publish-or-perish* er blot én måde at formulere meritokratiets fiksering på publikationer på, og forskellige forsøg på forskningsstyring tager også oftest udgangspunkt i publikationernes mængde og kvalitet. Fordi publikationer er så vigtige, og fordi referee-processen er helt afgørende for at vurdere publikationerne, er det ikke overraskende, at en stor del af de

³Se i denne sammenhæng fx (Baas, Hansen og Madsen 2004).

anbefalinger, som COPE fremsætter, netop handler om publikationer. En del af de behandlede cases relaterer således til, at man som forfatter skal respektere peer-review systemet og således ikke fx indsende artikler til flere bedømmelser på én gang, ligesom man selvfølgelig ikke må stjæle andres resultater eller publikationer eller på andre måder søge uberettiget at fremvise meritter, man ikke har. Som referee må man tilsvarende ikke være partisk, ligesom man ikke må drage personlig fordel ved den fortrolighed, man nyder.

I Danmark er det ikke de enkelte professionelle grupperinger af videnskabsmænd, der forestår diskussioner og reguleringer af videnskabelig uredelighed. Denne funktion er i stedet lagt i tre udvalg – UVVU – som tager sig af klager over mulig videnskabelig uredelighed ved offentlige forskningsinstitutioner. UVVU behandler konkrete sager om *videnskabelig uredelighed* på foranledning af klager. Ved *videnskabelig uredelighed* forstås (ifølge bekendtgørelsens §2⁴) „for-^{*}sættelig eller groft uagtsom adfærd i form af forfalskning, plagiering, fortielse eller lignende, der indebærer en utilbørlig vildledning om egen videnskabelig indsats og/eller videnskabelige resultater“. Dette kan fx foregå ved uoplyst konstruktion eller selektion af data, uoplyst usædvanlig brug af statistiske metoder eller ensidige fortolkninger, eller ved at smykke sig med akademiske titler og tilknytninger, man ikke retmæssigt besidder. I tilfælde, hvor UVVU finder klagen berettiget, kan UVVU rette henvendelse til arbejdsgiveren (som jo per definition er en offentlig instans) eller – hvis der foreligger mistanke om direkte strafbar kriminalitet – foretage politianmeldelse.

UVVU har i de senere år behandlet nogle højprofilerede tilfælde af beskyldninger om videnskabelig uredelighed, ikke mindst imod BJØRN LOMBORG (†1965) og HELMUTH NYBORG (†1937). Begge blev indklaget for UVVU af forskellige årsager, og deres sager vakte en del bevågenhed i medierne. Begge sager handlede i et vist omfang om brugen af statistik til at drage slutninger, og det blev klart, at forskellige akademiske discipliner i nogen grad benyttede forskellige standarder for statistisk inferens (se også (Henningsen 2003, Henningsen 2004)).

⁴[Reference(s).]

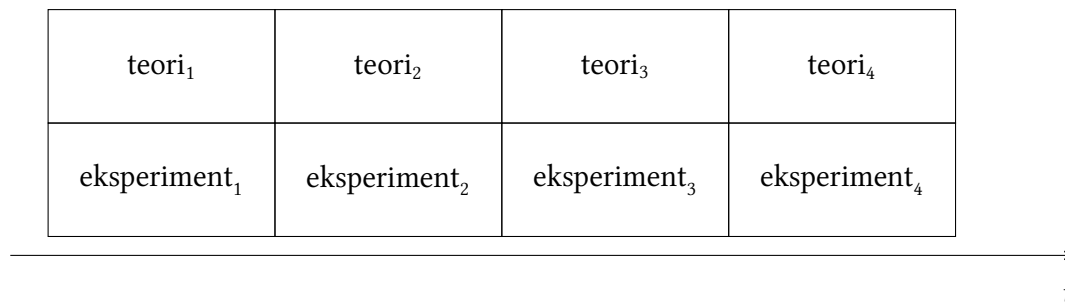
Videnskabens udvikling

3.1 Videnskabelige revolutioner

En stor del af den nyere videnskabsteoretiske tænkning skylder filosofen THOMAS S. KUHN (1922–1996) og især hans *Structure* meget. I *Structure* fremsatte KUHN den ide at betragte videnskabens udvikling som en vekselvirkning mellem hvad han kaldte *normalvidenskab* og *revolutioner*. Det er nyttigt kort at beskrive KUHN'S model (se også Kuhn 1962; Andersen 2003). Videnskabsfolk inden for et afgrænset fagområde deler nogle grundantagelser, som KUHN kalder et *paradigme*. Til dette hører bl.a. i) hvilke problemer, der er relevante at behandle, ii) hvilke metoder, der skal bruges til at behandle dem, og iii) hvilke begreber man bruger til at beskrive verden med. I en *normalvidenskabelig fase* er videnskabsfolkene enige om disse – ofte uudtalte – ting, som viderebringes i fx skoling, lærebøger etc.. Når videnskabsfolk bedriver *normalvidenskabelig forskning* forfølger de altså de mål, der opstilles af det herskende *paradigme*. Men det kan ske, at de når frem til resultater, som er i modstrid med gældende forventninger; sådanne resultater kaldes *anomalier*. Som regel kan sådanne indpasses i *normalvidenskaben*, men det kan også ske, at de hober sig op, så videnskaben kommer i *krise*. En videnskabelig *krise* kan da afsluttes ved, at videnskaben gennemgår en *revolution*, hvorved det herskende *paradigme* forkastes og erstattes med et nyt. Ifølge KUHN ville det nye *paradigme* og det gamle være „rationelt usammenlignelige“ (*inkommensurable*), således at det er overladt til bl.a. sociologiske faktorer at udbrede et nyt *paradigme*.

3.2 Er der revolutioner i de matematiske fag?

En af de diskussioner, som er kommet ud af den nye mere praksis-orienterede matematikfilosofi har handlet om den matematiske videns vækst og udvikling – og, i særdeleshed, hvorvidt der kan forekomme *matematiske revolutioner* (se Gillies 1992; Corry 1993; Pourciau 2000). KUHN'S ide om *inkommensurabilitet* er blevet misforstået og kritiseret meget, især som et fuldstændigt brud mellem to *paradigmer*. Denne misforståelse har også præget den matematikfilosofiske litteratur, der har diskuteret muligheden af *matematiske revolutioner*. Filosofer har påpeget, at

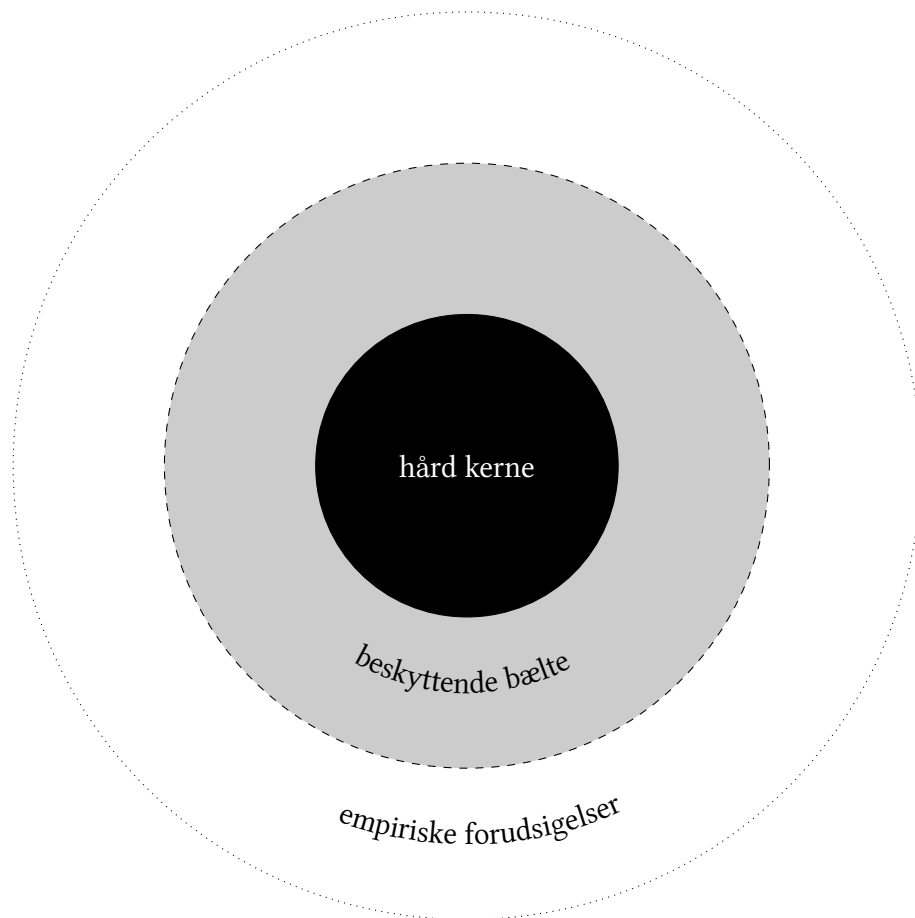


Figur 3.1: KUHNs centrale “metafor” om teoriers udvikling gennem revolutioner; se også (Kuhn 1962, Galison 1988, Andersen 2003).

hvis (eller evt. „når“) matematikken vokser *kumulativt*, så kan der ikke forekomme revolutioner på *sandheds-* og *objekt-niveau*. Andre har argumenteret ud fra en mere Kuhnsk forståelse af „mini-revolutioner“ og fremhævet bl.a. *intuitionismen* eller opdagelsen af *ikke-euklidiske geometrier* som matematiske revolutioner, ligesom man har overvejet revolutioner på „matematikens meta-niveau“.

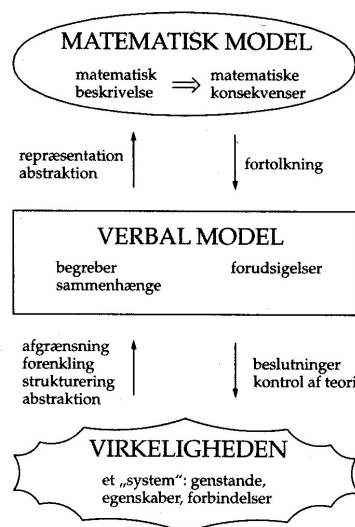
3.3 Videnskabelige forskningsprogrammer

Den ungarske videnskabs- og matematikfilosof IMRE LAKATOS (1922–1974) har i sin videnskabsteori *Methodology of Scientific Research Programmes* (MSRP) fremsat en model for videnskab og videnskabelige fremskridt, som bl.a. kan være hjælpsom i denne sammenhæng. LAKATOS forestiller sig en videnskabelig teori som opbygget af tre koncentriske cirkler. I den inderste ligger „den hårde kerne“ af ugendrivelige antagelser, som antages for ubetvivlelige fakta. Omkring denne ligger et „beskyttende bælte“ af antagelser, som godt kan betvivles inden for teorien. Yderst ligger en ring af „forudsigelser“ af nye sammenhænge, som man kan teste mod virkeligheden. Hvis en forudsigelse viser sig forkert, kan man foretage modifikationer i det *beskyttende bælte* for at indpasse den gendrevne forudsigelse. Men man kan ikke føre gendrivelsen ind i den *hårde kerne*. LAKATOS klassificerede så en udvikling af en teori som *progressiv*, hvis den tilføjer empirisk indhold til teorien, og *degenererende* i modsat fald. Man observerer nu, at LAKATOS netop arbejder med muligheden for at gendrive forudsigelser — han er en central elev og arvtager fra KARL POPPER (1902–1994). Samtidig bemærker man også, at matematik typisk vil indgå i den hårde kerne: Man vil hævde, at en del af selve matematikken typisk ikke kan gendrives af fysiske forhold, uden at *valget* af matematik af den grund bliver nødvendigt.



Figur 3.2: Lakatos' MSRP

Datalogisk modellering og programmeringssprog



Figur 4.1: En model for matematisk modellering; Poulsen 2001, s. 27.

Figur 4.1 viser en rimelig simpel model for matematisering af problemer fra et udsnit af virkeligheden, og modellen er beskrevet i sin helhed i (Poulsen 2001). Den ønskede del af virkeligheden underkastes en afgrænsning, forenkling, strukturering og abstraktion, hvorved der kan opstilles en foreløbig beskrivelse — en „verbal model“. Derved har man udvalgt nogle begreber og sammenhænge at fokusere på, og disse kan ved en yderligere abstraktion repræsenteres i en „matematisk beskrivelse“. Ud fra denne kan man så udlede „matematiske konsekvenser“, der så kan fortolkes som forudsigelser i den verbale model. Derved kan man oversætte tilbage til virkeligheden og kontrollere teorien og træffe beslutninger på grundlag af den.

Fra Church-Turing til AI

Meget af den foregående diskussion har handlet om hvordan datalogien inddrager forskellige problemstillinger og fagligheder fra andre felter. Men der er også væsentlige situationer, hvor datalogi „leverer“ metoder til andre felter. Under overskriften „Computational thinking“ har (Wing 2006) fremhævet en række af disse i forskellige hverdagssituationer. Men også inden for videnskaben har datalogisk tænkning, metode og problemstillinger fundet vigtige anvendelser. Det gælder både inden for de felter, som allerede er beskrevet i figur 1.1, men også i naturvidenskab og filosofi.

En af den moderne computers fædre, ALAN TURING (1912–1954), havde vidtrækkende visioner for, hvordan computere kunne udvikles til at mestre stadig flere opgaver og til sidst muligvis kunne sammenlignes med menneskelig intelligens.

Turing's men; (Bolter 1986).

Rationalisme; Descartes; (Lennon og Dea 2008).

I filosofiens historie har der udspillet sig en gennemgående diskussion om, hvordan man essentielt skal gå til at forstå verden og dens indretning. Der er blevet fremsat flere forskellige positioner med hvert sit svar på, hvori menneskets erkendelse af verden baserer sig. Blandt de vigtigste positioner er *rationalisme* og *empirisme*, som baserer erkendelsen i henholdsvis fornuften (tænkningen) og erfaringen (sansningen). Det er værd at uddybe især *rationalismen* lidt mere, fordi rationalistisk tænkning har haft en væsentlig indflydelse på udviklingen af AI.

Ifølge *rationalismen* beror menneskelig viden og begrundelse på fornuften. Ifølge *rationalismen* består erkendelse essentielt deduktion, dvs. udledning af ny viden fra allerede accepterede udsagn. Dermed foregår erkendelsen – igen ifølge *rationalismen* – i intellektet: Det er tænkning, der giver mennesker pålidelig erkendelse af verden. Denne form for erkendelsesteori går i hvert fald tilbage til PLATON (427–347 f.v.t.) i det antikke Grækenland, men er især blevet frem-

ført af filosoffen RENÉ DU PERRON DESCARTES (1596–1650). Ifølge PLATON er den fysiske verden blot et afbillede af en mere „virkelig“ og uforgængelig verden af ideer. Erkendelse af forhold i ideernes verden kan kun foregå i tænkningens verden, men til gengæld kan den overføres til den fysiske virkelighed, som har „del i“ ideernes verden. Dermed ligger der i bl.a. PLATONS *rationalisme* en central antagelse om, at den fysiske verden er indrettet på en måde, som vi kan få indsigt i igennem tænkningen, og at tænkningen kan foregå *deduktivt*.

Rationalismen har også konsekvenser for opfattelsen af, hvordan man går til datalogisk modellering, ikke mindst i forbindelse med AI. Forskningen i såkaldt „kunstig intelligens“ har som få discipliner et rimelig bestemt fødselstidspunkt, nemlig

Dualisme vs embodied intelligence

Als oprindelse; symbolsk AI; neurale netværk

HUBERT DREYFUS (*1929) og de centrale antagelser; (Brey 2001, Fetzer 2004)

Kritik og videre udvikling

naturvidenskab og computer simulering

datalogi i mere traditionel filosofi

5.1 Church-Turing

Den engelske matematiker, logiker, kryptograf og filosof TURING arbejdede under anden verdenskrig med at bryde det tyske krypteringssystem *Enigma*, som blev brugt af de tyske ubåde. Allerede i årene før anden verdenskrig havde arbejdede TURING arbejdet med et centralt matematisk spørgsmål, kendt som *Hilberts Entscheidungsproblem* opkaldt efter den tyske matematiker DAVID HILBERT (1862–1943), der havde givet problemet en central plads i sin foreslåede

matematikfilosofi kaldet *metamatematik* eller *bevisteori*. HILBERTS *Entscheidungsproblem* efter-spørger en „effektiv“ afgørelse af, hvorvidt et givet udsagn (en matematisk sætning) kan udledes ud fra et givent set af antagelser (aksiomer).¹ I bestræbelserne på at formalisere, hvad „effektivt“ skal betyde i denne forbindelse, definerede TURING i 1937 begrebet om en *Turing-maskine* – et tankeeksperiment, som formaliserede, hvad man kunne forestille sig en idealiseret (ubegrænset) maskine kunne beregne. En *Turing-maskine* er en *tilstands-maskine*, som består af en række „tilstande“ Q , hvoraf en kaldes *start-tilstanden*, et uendeligt bånd, hvorpå der kan skrives og læses symboler fra en endelig mængde af symboler Σ og en række instruktioner (transitioner) i form af 4-tupler $\langle s, \sigma, s', a \rangle$. I denne notation er s er en tilstand, og σ er et symbol, som læses på båndet i læsehovedets position. Når denne kombination (s, σ) indtræffer, skal maskinen skifte til tilstanden s' og udføre handlingen a , som kan være at skrive et symbol på båndet eller at flytte læsehovedets position enten til højre eller venstre.²

I en videreudvikling af denne tænkning fandt TURING, at det var muligt at beskrive en *Turing-maskine*, som var i stand til at indlæse en beskrivelse af en anden *Turing-maskine* og derefter afvikle denne. Derved var den første *Turing-maskine* blevet til hvad vi i dag hylder som en *programmerbar maskine*, en *Universel Turing-maskine*. Det er et af de centrale resultater i både matematikken og datalogien, at der findes velformulerede opgaver, som ikke kan løses af en *Turing-maskine*. Et af dem, det såkaldte *Halting-problem*, handler om at afgøre hvorvidt en given *Turing-maskine* terminerer eller ej. TURING beviste, at dette problem er uløseligt, og dermed beviste han også, at en løsning til HILBERTS *Entscheidungsproblem* ikke er mulig.

Det var en anden af TURINGs banebrydende formodninger, at effektiv beregnelighed netop svarede til hvad der kunne beregnes med en *Universel Turing-maskine*.

5.2 Turing-testen

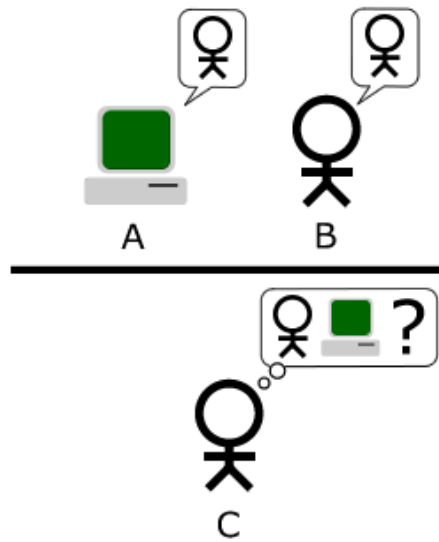
Efter anden verdenskrig arbejdede TURING videre med at modellere menneskelig tænkning og intelligens ved hjælp af de første eksempler på digitale computere. Hans model for *Universel Turing-maskine* indførte, hvad der er blevet kaldet den „beregningmæssige opfattelse af bevidsthed“, som i første omgang gik i modsat retning af DESCARTES' opfattelse af maskiner som bevidsthedsløse. Men ved at sammenligne menneskelig bevidsthed med en *Universel Turing-maskine*, indførte TURING også en antagelse om, at grænserne for denne menneskelige bevidsthed fulgte grænserne for beregnelighed med en *Universel Turing-maskine*.³

En central komponent af TURINGs tænkning omkring AI stammer fra den såkaldte *Turing-test*, som han beskrev i 1950.

¹HILBERTS program er beskrevet mange steder i den matematikfilosofiske litteratur; man kan også starte ved (Zach 2009).

²Beskrivelsen af en *Turing-maskine* kan findes mange steder i litteraturen, fx (Barker-Plummer 2009). Der findes også mange udvidelser af definitionerne med forskellige praktiske tricks og egenskaber, der dog alle bevarer mængden af beregnelige tal og funktioner.

³(Fetzer 2004, s. 120).



Figur 5.1: Turing-testen

5.3 Det kinesiske værelse



Figur 5.2: Searle's udfordring: Det kinesiske værelse

KAPITEL 6

Har teknologien grænser?

I kapitel 5 har vi set eksempler på, at der i AI-forskningen blev rejst indvendinger imod TURINGS optimistiske program for computerens muligheder for at imitere menneskelig intelligens.

KAPITEL **7**

Epilog: Dataloger på film

Litteratur

- AMS: 1996, *American Mathematical Society Committee on Professional Ethics (COPE) Procedures Manual*.
- Andersen, H.: 2003, Videnskabelige revolutioner, *Aktuel Naturvidenskab* (2), 31–33.
- Andersen, H., Klostergaard, L., Knudsen, H., Kragh, H., Nielsen, K., Pedersen, K. M. og Sørensen, H. K.: 2009, Vedkommende videnskabsteori, *Aktuel Naturvidenskab* (1), 32–35.
- Baas, N. A., Hansen, J. P. og Madsen, I.: 2004, Kronik: Matematik er en smuk videnskab, *Politiken* 2004-06-04(2. sektion), 7.
- Barker-Plummer, D.: 2009, Turing machines, i E. N. Zalta (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <http://plato.stanford.edu/archives/spr2009/entries/turing-machine/>.
- Bolter, J. D.: 1986, *Turing's Man: Western Culture in the Computer Age*, Penguin Books, London etc. Først offentliggjort: 1984.
- Brey, P.: 2001, Hubert Dreyfus: Humans versus computers, i H. Achterhuis (red.), *American Philosophy of Technology: The Empirical Turn*, Indiana Series in the Philosophy of Technology, Indiana University Press, Bloomington / Indianapolis, kapitel 2, pp. 37–63.
- Bush, V.: 1945, *Science: The Endless Frontier*, United States Government Printing Office, Washington. A Report to the President by Vannevar Bush, Director of the Office of Scientific Research and Development, July 1945.
- Copeland, B. J.: 2008, The Church-Turing thesis, i E. N. Zalta (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/church-turing/>.
- Corry, L.: 1993, Kuhnian issues, scientific revolutions, and the history of mathematics, *Studies in the History and Philosophy of Science* 24(1), 95–117.
- de Solla Price, D.: 1965, The scientific foundation of science policy, *Nature* 206(4981), 233–238.
- Fetzer, J. H.: 2004, The philosophy of AI and its Critique, i Floridi (2004), kapitel 9, pp. 119–134.
- Floridi, L. (red.): 2004, *The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*, Blackwell, Malden.
- Galison, P.: 1988, History, philosophy, and the central metaphor, *Science in Context* 2(1), 197–212.
- Gillies, D. (red.): 1992, *Revolutions in Mathematics*, Clarendon Press, Oxford.
- Hansen, T. B.: 2005, Grassroots science — an ISYP ideal?, *ISYP Journal on Science and World Affairs* 1(1), 61–72.
- Hansen, T. B.: 2006, Academic and social responsibility of scientists, *ISYP Journal on Science and World Affairs* 2(2), 71–92.

- Hansen, T. B. og Johansen, M. W.: 2007, Post-akademisk videnskab, *Aktuel Naturvidenskab* (2), 30–33.
- Henningsen, I.: 2003, Nyborgs konklusioner holder ikke, *Forum for køn og kultur: KVINFOs webmagasin*.
- Henningsen, I.: 2004, Videnskab, debat og manglende videnskabelig debat, *Matilde* 19, 4–6.
- Kragh, H.: 2001, Videnskab, *Den Store Danske Encyklopædi*, bind 20, Gyldendal, København, pp. 139–145. 25 bind.
- Kragh, H.: 2003, Hvad er videnskab?, *Universitet og Videnskab. Universitetets idéhistorie, videnskabsteori og etik*, Hans Reitzels Forlag, København, kapitel 3, pp. 145–192.
- Kragh, H.: 2004, *Naturerkendelse og videnskabsteori: De uorganiske videnskabers filosofi og historie*, Aarhus Universitetsforlag, Århus.
- Kuhn, T. S.: 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*, The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Langfeldt, L.: 2001, The decision-making constraints and processes of grant peer review, and their effects on the review outcome, *Social Studies of Science* 31(6), 820–841.
- Lennon, T. M. og Dea, S.: 2008, Continental rationalism, i E. N. Zalta (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/continental-rationalism/>.
- Manheim, F. T.: 1979, The scientific referee, i A. J. Meadows (red.), *The Scientific Journal*, Aslib, London, pp. 99–103.
- Meadows, A. J.: 1979, The problem of refereeing, i A. J. Meadows (red.), *The Scientific Journal*, Aslib, London, pp. 104–111.
- Merton, R. K.: 1973, The normative structure of science, *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*, University of Chicago Press, Chicago & London, kapitel 13, pp. 267–278. Først offentliggjort: 1942.
- Moural, J.: 2003, The Chinese room argument, i B. Smith (red.), *John Searle*, Contemporary Philosophy in Focus, Cambridge University Press, Cambridge etc., kapitel 10, pp. 214–260.
- Poulsen, E. T.: 2001, Matematikken og virkeligheden, i M. Niss (red.), *Matematikken og Verden*, Fremads debatbøger — Videnskaben til debat, Fremad, København, kapitel 1, pp. 19–36.
- Pourciau, B.: 2000, Intuitionism as a (failed) Kuhnian revolution in mathematics, *Studies in the History and Philosophy of Science* 31(2), 297–329.
- Quinn, F.: 1995, Roadkill on the electronic highway: The threat to the mathematical literature, *Notices of the AMS* 42(1), 53–56.
- Turner, R. og Eden, A.: 2009, The philosophy of computer science, i E. N. Zalta (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <http://plato.stanford.edu/archives/sum2009/entries/computer-science/>.
- Weller, A. C.: 2001, *Editorial Peer Review: Its Strengths and Weaknesses*, American Society for Information Science and Technology: Monograph Series, Information Today, Inc., Medford (NJ).
- Wing, J. M.: 2006, Computational thinking, *Communications of the ACM* 49(3), 33–35.
- Zach, R.: 2009, Hilberts program, i E. N. Zalta (red.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <http://plato.stanford.edu/archives/spr2009/entries/hilbert-program/>.

Indeks

- abstract-tidsskrifter, 17
- AI, 27–29
- alternativ medicin, 8
- American Mathematical Society (AMS), 18
- analytisk udsagn, 9
- anomali, 21
- arisk fysik, 5
- autonomi, 7
- autoritær, 10

- begrebsudviklende, 9
- beskyttende bælte, 22
- bevis, 9
- bevisteori, 29

- commissioned, 10
- Committee on Professional Ethics (COPE), 18, 19
- CUDOS-normerne, 5, 10, 11, 17, 18

- data, 2
- dataprocesser, 2
- datastrukturer, 2
- deduktion, 28
- degenererende, 22
- demarkationsdiskussion, 8
- demarkationskriterium, 7
- demokratisk videnskab, 3
- den lineære model, 7, 17
- Den Store Danske Encyklopædi (DSDE), 1–3
- deskriptiv, 1
- double-blind, 16
- double-blind peer review, 15

- eksperiment, 8, 9
- ekspert, 10
- empirisme, 27
- Enigma, 28
- epistemologi, 1
- erkendelsesmåde, 1

- evidens, 8, 9

- Fagets Videnskabsteori (FVT), ix, x
- fejlbarlig viden, 5
- fonetik, 9
- formalvidenskab, 9–12
- forsknings-imperativ, 15
- forskningsstyring, 17
- fri forskning, 6

- genstandsfelt, 1
- grammatik, 9
- græsrodsvidenskab, 11

- Halting-problem, 29
- Hilberts Entscheidungsproblem, 28, 29
- historie, 9
- hyperprofessionalisering, 17
- hypotese, 9
- hård kerne, 22
- hård kerne, 22

- ideernes verden, 28
- ikke-euklidisk geometri, 22
- immateriel videnskab, 9
- ingeniørvidenskab, 11
- inkommensurabilitet, 21
- integritet, 18
- interdisciplinaritet, 11
- intuitionisme, 22
- ISYP-ideal, 11

- konsensus, 5
- korrigérbar viden, 5
- kreationisme, 8
- krise, 21
- kumulativ vækst, 22
- kunstig intelligens (AI), 27–29

- litteraturvidenskab, 9
- logik, 9

- lokal, 10
- matematisk revolution, 21
- materiel videnskab, 9
- menneske-maskin-interaktion, 10
- merit, 18
- meritokrati, 18
- metamatematik, 29
- Methodology of Scientific Research Programmes (MSRP), 22
- mode-1-videnskab, 7, 10
- mode-2-videnskab, 10, 11
- modevidens, 8, 9
- National Research Council (NRC), 6
- National Science Foundation (NSF), 6
- normalvidenskab, 21
- normativ, 1
- objekt, 1
- objekt-niveau, 22
- observation, 8, 9
- offentlig viden, 5
- offentligt, 11
- Office of Naval Research (ONR), 6
- Office of Scientific Research and Development (OSRD), 6
- ontologi, 1
- paradigme, 21
- PLACE, 10–12
- postakademisk forskning, 11
- preprints, 17
- privat, 11
- programmerbar maskine, 29
- progressiv, 22
- proprietær, 10
- pseudovidenskab, 8
- public opinion, 11
- publish-or-perish, 17, 18
- ratioalisme, 27
- rationalisme, 27, 28
- realvidenskab, 9–11
- review-tidsskrifter, 17
- revolution, 21
- revolutioner, 21
- sandheds-niveau, 22
- social ansvarlighed, 11
- sociologiske karakteristika, 5
- start-tilstanden, 29
- tautologi, 9
- testbar viden, 5
- tilstands-maskine, 29
- totalitært regime, 5
- Turing-maskine, 29
- Turing-test, 29
- Udvalgene vedrørende videnskabelig uredelighed (UVVU), 18, 19
- Universel Turing-maskine, 29
- viden
 - fejlbarlig, 5
 - korrigérbar, 5
 - offentlig, 5
 - testbar, 5
 - videnskabelig, 3
- videnskabelig praksis, 3
- videnskabelig uredelighed, 19
- videnskabelig viden, 3
- videnskabeligt etos, 3
- videnskabens etos, 5

Navneliste

- Bush, Vannevar (1890–1974), 6, 7
- de Solla Price, Derek J. (1922–1983), 7
- Descartes, René du Perron (1596–1650), 28, 29
- Dreyfus, Hubert Lederer [Hubert] (★1929), 28
- Hilbert, David (1862–1943), 29
- Kragh, Helge (★1944), 5–8, 10–12
- Lakatos, Imre (1922–1974), 22
- Lomborg, Bjørn (★1965), 19
- Merton, Robert K. (1910–2003), 5–7, 10
- Nyborg, Helmuth (★1937), 19
- Platon (427–347 f.v.t.), 27, 28
- Popper, Karl Raimund [Karl] (1902–1994), 22
- Ramanujan, Srinivasa Aaiyangar (1887–1920), 14
- Turing, Alan (1912–1954), 27–29, 31
- Ziman, John [John Michael] (1925–2005), 10