

10 Netværksvidenskab

Komplekse systemer findes overalt. Organismers komplicerede organisation, fødekæders labyrintiske sammenspil, neuroners udviklede afhængigheder og livets sociale relationer med deres evige vekselspil og nye bindinger. Det fundament, som komplekse systemer øjensynligt er baseret på, består af selvorganiserende netværk, der ved at være åbne for ydre påvirkninger er i stand til at opbygge en stabil struktur. Det giver måske indtryk af at være kaos, men er i virkeligheden en omfavnelser af kaos, et evindeligt vekselspil mellem aktion og reaktion, mellem handling og respons. Genetiske netværk i biologien er blevet undersøgt i mange år, og forskerne har lært, at selv så simple væsener som bananfluer indeholder et dybt kompliceret samspil af gener og proteiner, og det er kun gennem dette gennem millioner af år udviklede system, at bananfluer har tillært sig deres specifikke overlevelsesstrategier. Vi mennesker er også opbygget af et komplekst genetisk system. Og i vores sociale omgang med hinanden opbygger vi utallige komplekse strukturer, om de så er biologiske, sociale, økonomiske eller politiske.

Erkendelsen af, at verden er meget mere kompliceret, end hvad den

◀ Mange forsøg på at illustrere internettet har indtil videre slået fejl, fordi det uoverskuelige væld af datastrømme hen over hubs og servere forhindrer et meningsfuldt overblik. Her er et nyt forsøg på at bruge Tokyos metro som skabelon for de 200 mest succesrige "stationer" i 2007. De er ordnet efter type, nærhed, popularitet og fremtidschancer. De 15 forskellige typer, bl.a. nyheder, musik, politik og fildeling, har hver deres metrolinje, og hvor der er overlap, f.eks. på YouTube, kan man finde indhold af begge typer. Vejrkortene på stationerne forsøger at vurdere deres fremtidsudsigter · Information Architects, Tokyo.

newtonske bevægelsesmekanik eller den analytiske matematik fra 1700- og 1800-tallet er i stand til at anskueliggøre, har været et væsentligt kendetegn for den moderne naturvidenskab fra 1950 og frem. Man fandt ud af, at de simple modeller for fysik, kemi og biologi, som de studerende typisk mødte i gymnasierne og i de første semestre på

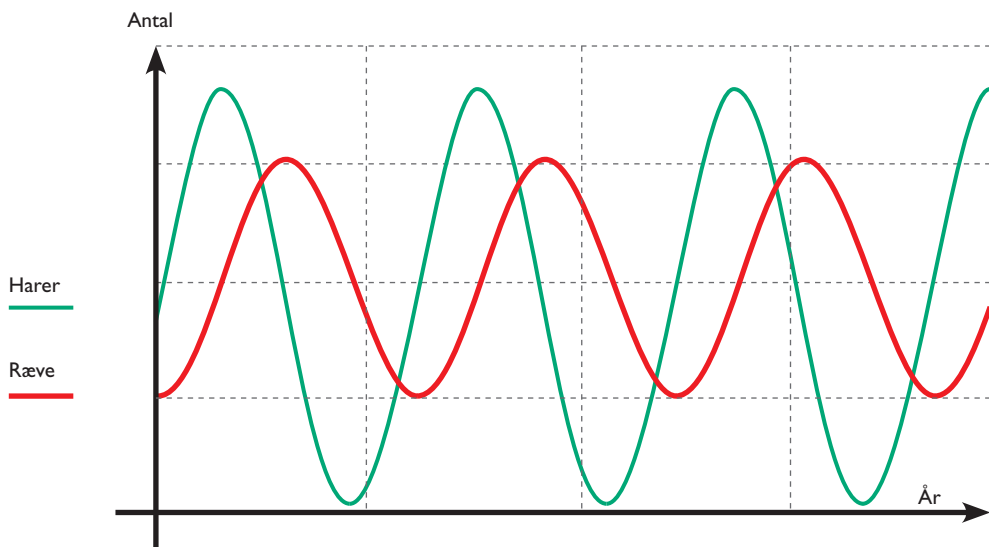
universitetet, intet var at sammenligne med de komplicerede vekselvirkninger og netværk, som man møder i virkeligheden. Kun sjældent kan man her finde en formel, som kan give en smutvej til indsigt. Tværtimod viser det sig ofte, at de interessante fænomener først opstår som resultat af mange elementers vekselvirkning, og at man må anlægge flere beskrivelsesniveauer for at forstå deres mekanismer og funktioner. Det har haft væsentlig idehistorisk betydning. Selvom reduktionismen – at koge en proces ind til dens mest basale bestanddele – stadig er en vigtig naturvidenskabelig metode til at adskille en helheds forskellige komponenter for at forstå deres relationer og funktioner, betyder det ikke, at komplekse systemers opførsel kan forudbestemmes og dermed forstås fuldkomment i alle deres konsekvenser.

At se verden som “summen af enkeltelementerne” er stadig en meget virksom metafor, men den stammer fra en tid, hvor naturvidenskaben så universet som noget statisk, som noget, der var tidløst og endeligt. I nyere tid er man i stedet begyndt at metaforisere verden ud fra, hvad den snarere synes at være: et foranderligt, åbent og dynamisk sted i et uendeligt fornyende vekselspil af elementer, kræfter og informationer. Når denne vekselspilsmetafor erstatter sum-metaforen, synes det heller ikke længere helt umuligt for forskere at forholde sig til så svære emner som bevidsthed, erkendelse, mening og troen på den frie vilje, fordi de synes at påtvinge sig selv som ren og skær nødvendighed for at mennesket kan navigere og holde sammen på sig selv som individ.

Men hvordan kommer man fra individuelle neuroner til bevidsthed? Fra kemisk binding til erkendelse og mening? Hvordan skal man forstå en hel menneskekrop ud fra en stamcelle? Hvilke snørklede veje er nødvendige for at komme fra signal til sprog, fra chip til informationssamfundet? I dette kapitel vil vi forsøge at kigge på denne rodebutik på et mellemniveau, hvor en statisk undersøgelse af enkeltelementerne synes at være utilstrækkelig, og en overordnet analyse af hele systemet aldrig formår at stikke dybt nok.

Økosystemers kompleksitet

Den naturlige udvælgelse opererer på alle organisationsniveauer. Den danner også nye organisationsniveauer. Atomer forbindes til molekyler, som forbinder sig til proteiner og til celler, der efterfølgende organiserer sig i de enkelte organismer, der tilsammen danner økosystemer. Der synes at være en tendens

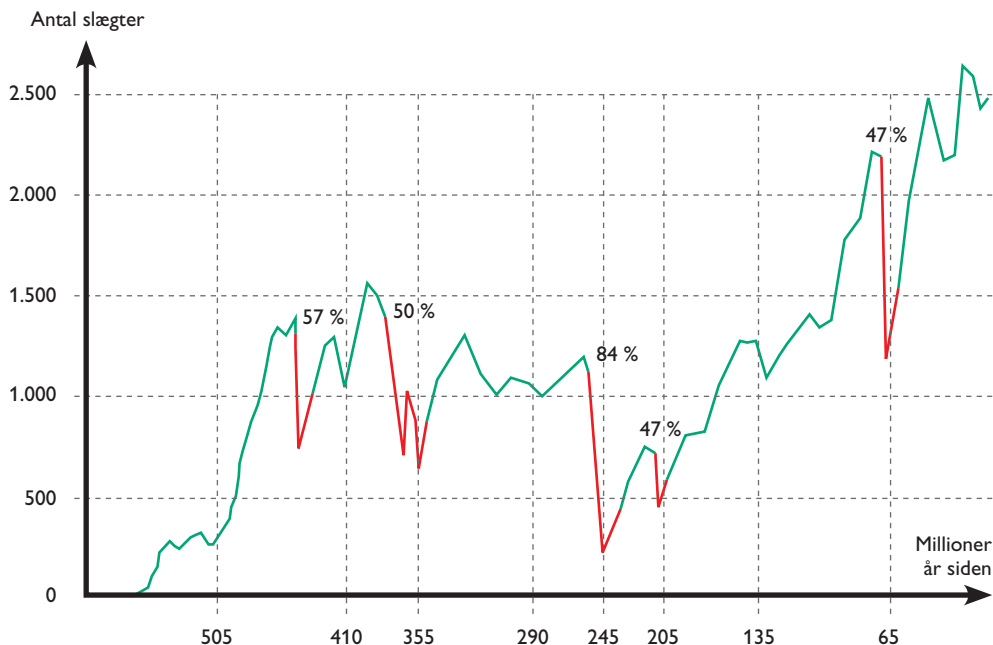


hen imod større kompleksitet. Men komplekse systemer har det med at bryde sammen.

Et af de første forsøg på at forstå komplekse økosystemers stabilitet ud fra matematiske modeller var italieneren Vito Volterras (1860-1940) og amerikaneren Alfred Lotkas (1880-1949) modeller for vekselvirkningerne mellem rovdyr og byttedyr. Hvordan kunne der f.eks. opretholdes en ligevægt mellem ræve og harer, således at den ene art ikke udkonkurrerede den anden? Deres løsningside var, at hvis rævene spiser for mange harer, vil der ikke være mad nok til at føde et stort antal ræveunger, og antallet af ræve vil derfor blive mindre i næste generation. Når der er få ræve, vil antallet af harer til gengæld vokse hurtigere, fordi de har færre naturlige fjender. Det medfører, at de få ræve, som er tilbage, nu får et herligt liv med masser af mad og et deraf følgende stort afkom. Det vil igen få antallet af ræve op, mens antallet af harer vil gå ned. På den måde forestillede man sig, at der kunne være stabile oscillationer i antallet af arter i alle mulige økosystemer med x antal medlemmer. Fødekæderne ville kunne tilpasse sig til udbuddet, og hele systemet ville kunne finde frem til en selvorganiseret ligevægt.

I løbet af 1970'erne viste det sig dog, at verden ikke var så ligetil. Fysikeren Robert May (f. 1936) fandt ud af, at stabiliteten af økosystemer blev mindre, jo flere elementer de bestod af. Desuden ville en invasion af en

Lotka og Volterra forestillede sig, at populationen af henholdsvis harer og ræve holder hinanden i skak. Når der er mange harer, vil antallet af ræve stige, hvilket vil bevirke et fald i antallet af harer, indtil der igen ikke er så mange ræve. På grafen angives antal år på x-aksen og antallet af ræve og harer på y-aksen.



De fem største perioder af masseuddøen i Jordens historie udryddede hver gang omkring 50 procent af alle slægter, undtagen den store permiske masseuddøen for ca. 245 millioner år siden, hvor alle trilobitter, 50 procent af alle dyrearter, 95 procent af alle marinearter og mange træsorter, i alt svarende til 84 procent af alle slægter, forsvandt. Det var begyndelsen til reptilernes dominans, især dinosaurerne, som så selv blev udryddet i den sidste masseuddøen for ca. 65 millioner år siden.

ny art få modellerne til at falde fra hinanden. Der findes med andre ord ikke noget slaraffenland, i hvert fald ikke matematisk, hvor alle arter kan leve lykkeligt side om side uden fare for at uddø. Tværtimod må verdenshistorien snarere karakteriseres som en kæmpe lottocentral, eller som et uendeligt sisyfosbjerg, hvor den ene art efter den anden ved

hjælp af tilpasning og udvælgelse forsøger at klatre op ad bjerget, for blot at blive kastet tilbage i glemslens dyb. Man mener, at der i dag lever flere millioner arter på Jorden. Men dette tal er mikroskopisk i forhold til de estimerede 50 milliarder arter, der menes at have eksisteret på Jorden, siden de første blågrønne alger dukkede op i oceanerne for 3,8 milliarder år siden. Det vil sige, at evolutionen har en "fejlrate" på mere end 99 procent.

Det er værd at tænke over. Vi er alle vokset op med en fornemmelse af, at verden er et rimelig sikkert sted at være, hvis vi vel at mærke ser bort fra de ting, som mennesker kan finde på at gøre ved hinanden. Solen står op om morgenen og går ned om aftenen, årstiderne kommer og går i en fastlagt rækkefølge, og ligesom vores forældre gjorde det, gør vi vores bedste

for, at vores børn og børnebørn vil få et godt og langt liv. Men i betragtning af at der i gennemsnit uddør én art hver måned, og den gennemsnitlige levetid for en art er få millioner år, er Jorden måske slet ikke så sikkert et sted endda. De fossile fund fortæller i hvert fald om den ene store katastrofe efter den anden.

I løbet af 1900-tallet var frekvensen af uddøende arter dog steget voldsomt. Forsigtige estimater siger, at der i dag uddør ca. tusinde til titusinde gange så mange arter som normalt, hvilket svarer til én art i timen – måske endda én art i minuttet – pga. direkte eller indirekte påvirkninger fra mennesket. Det betyder, at vi er i midten af den sjette store bølge af masseuddøen, fuldt ud sammenlignelig med de fem tidligere perioder af masseuddøen i vores geologiske fortid. Den eneste forskel er, at den i dag skyldes en enkel art – mennesket – snarere end eksterne økologiske ændringer.

Økologen Garrett Hardin (1915-2003) viser i sin berømte teori om “The tragedy of the commons”, hvordan vi mennesker uundgåeligt underminerer vores eget subsistensgrundlag, når vi kun kan overskue og kontrollere egne beslutninger, men ikke resultatet af fællesskabets samlede beslutninger. Man kan tage fiskeri som eksempel. Den enkelte fisker vil som regel forsøge at øge egen fortjeneste ved at fiske lidt mere, og lidt mere igen, i det fælles gode: havet. Hardin viser, hvordan fri adgang til en efterspurgt, men begrænset, ressource fører til overudnyttelse. Tragedien indtræffer, når folk finder ud af, at det kan betale sig hurtigt at tage, hvad de kan, fordi de negative konsekvenser af deres rovdrift fordeles over et større antal mennesker og derfor rammer dem selv mindre hårdt – i sådanne situationer er det svært at sige nej til den umiddelbare gevinst.

Den amerikanske antropolog Jared Diamond (f. 1937) har vist, hvordan netop denne dynamik har ført til mange civilisationers kollaps og efterfølgende uddøen. Dette var f.eks. tilfældet med anasazi- og cahokia-stammerne i Nordamerika, med mayaerne i Mellemamerika, med moche- og tiwanakusamfundene i Sydamerika, med mykenisk og minoisk Grækenland, Storzimbabwe i Afrika, Angkor Wat- og Harappan-kulturerne i Asien, og med befolkningen på Påskeøerne. I et globalt og hyperkomplekst samfund som vores er der forsøgt udviklet en lang række nationale og overnationale sikkerhedsmekanismer, lige fra nationale love og skatter til internationale traktater og konventioner, som forsøger at begrænse eskalationen af enkelte gruppers kortsigtede fortjeneste for at sikre fællesskabets overlevelse og bæredygtighed.



Geden har været betraget som en væsentlig årsag til ørkendannelse, især i Nordafrika. Efter tørkeperioder spiser gederne resterne af vegetationen og bidrager dermed yderligere til ørken dannelse. På billedet ses en etiopisk gedehyrde, der fører sin hjord gennem ørkenen.

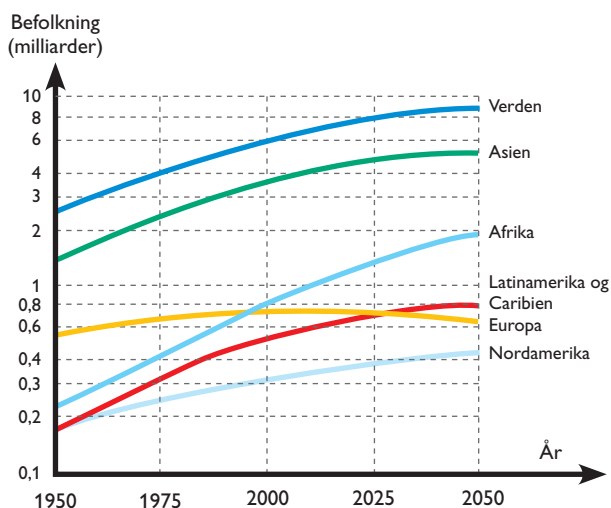
Panos Pictures, London/Dieter Telemans.

Men de har ofte svært ved at vinde gehør og ender ofte med at være abstrakte og fjerne regler, som er svære at forstå ud fra et individuelt perspektiv.

Inden for de enkelte kultursfærer har ligevægtssøgende sociale praksisser eksisteret så langt tilbage, som man ved. Der fandtes eller findes f.eks. ingen menneskelig kultur, som ikke har sans for retfærdighed. Assyrerne havde den, inkaerne havde den, og vi har den. Retfærdighedssansen ser således ud til at være en del af menneskets sociale "biologi". Men denne retfærdighed begrænser sig primært til at sikre stabiliteten inden for kulturen og arten selv: dvs. at beskytte visse dele af befolkningen fra at blive udnyttet, at holde øje med kløften mellem dem som har, og dem som ikke har osv. Den beskæftiger sig indtil videre sjældent med retfærdighedskulturerne og arterne imellem. I eksemplet med ræve og harer var der en naturlig begrænsning for rævenes populationsvækst og dermed deres udnyttelse af naturressourcerne i form af antallet af spiselige harer. Det kan næppe kaldes retfærdighed i normal forstand.

Menneskets enorme fleksibilitet og effektivitet i udnyttelsen af natur-

FN regner med, at populationerne i de forskellige regioner af verden vil udvikle sig som vist her. Bemærk den logaritmiske y-akse, som får grafen til at virke mere flad.



ressourcer gør det langt mere problematisk at finde ligevægtsskabende mekanismer i en globaliseret økologi. Dette dilemma er ikke kun udtrykt i den eksponentielt stigende befolkningstilvækst, som man

regner med vil nå ni milliarder mennesker, inden kurven ifølge Verdensbankens og FN's forudsigelser fra 2002 flader ud igen omkring år 2050. Det er også udtrykt i den mængde energi, som mennesker bruger til egne formål. Forsigtige forudsigelser fra en forskningsgruppe ved Stanford University og fra biologen Stuart Pimm (f. 1949) siger sammenstemmende, at mennesket ved årtusindskiftet brugte 40 procent af al den solenergi, der dagligt optages i planter (hvilket kaldes klodens primærproduktion). Og det er også udtrykt i den berømte drivhuseffekt, som skyldes den øgede produktion af CO₂ og andre drivhusgasser, og som resulterer i en global opvarmning. Der ser således ud til, at der er grænser for, hvor meget vores civilisation kan overskue og kontrollere. Så selvom verden måske kan forstås til en vis grad ved hjælp af naturvidenskabelig tænkning, kan vi indtil videre kun være indsigtfulde tilskuere til vores egen arts destabiliserende virkninger på Jordens økosystem.

Selvorganiserende kritiske netværk

Fysikere og kemikere havde frem til den sidste halvdel af 1900-tallet vænnet sig til at betragte naturen som et ligevægtssystem. Det betød, at ikke-ligevægtsfænomener – såsom laviner, arters masseuddoen, børskrak eller jordskælv – blev betragtet som noget unormalt, som noget, der lå uden for det normale. Det var undtagelser, der bekræfter reglen om ligevægt. I dag ved man, at det er det modsatte, der er tilfældet: ikke-ligevægt er snarere reglen end undtagelsen. De fleste fænomener i naturens fysik – man kan i flæng nævne internettets vækst, floders spredning, bjerges langsomme formation

gennem erosion, men også evolution, økonomi, og mange andre netværks-systemer – er som regel meget langt væk fra ligevægt, idet de er i en konstant vekselvirkning med sig selv og omgivelserne.

Det har derfor været nødvendigt at udskifte selve det matematiske analyseapparat. Når man i det klassiske ligevægtsparadigme har lavet modeller for f.eks. kemiske reaktioner eller biologiske populationer, har man som regel brugt kontinuerte differentiaalligninger. De forudsætter, at der sker en uendelig lille ændring i antallet af elementer pr. tidsenhed. Men det kan kun lade sig gøre, hvis der er et stort antal af identiske elementer. Dette er sjældent tilfældet i evolutionære systemer, hvor næsten alle elementer er forskellige. Det er derfor bedre at modellere den slags systemer med diskrete differensligninger eller cellulære automater, hvor hvert individuelt element tilskrives en egen “fitnessværdi” og spores separat igennem systemet. I 1990’erne kunne den danske fysiker Per Bak (1948–2002) f.eks. vise, at mange af disse uligevægtige systemer eksisterer i en “selvorganiseret kritisk tilstand”, der er karakteriseret ved at udvise sammenbrud i alle størrelsesklasser. Om det er arter eller bjerglandskaber, internettet eller trafikpropper, aktiekurser eller en sandbunke – ligheden mellem alle disse ting er den, at de er underlagt de samme dynamiske principper. Det er som om, naturen kun havde brug for én enkelt arkitekt til at bestride alle sine mange konstruktionsopgaver med.

Naturens uligevægtige byggeklodser organiseres altså ud fra ganske simple fysiske regler, og hvis man måler på nogle af deres egenskaber, f.eks. lavinernes størrelse, så viser det sig, at de altid har den samme form. Og ligesom Richterskalaen er en fordelingskurve for størrelsen af jordskælv, kan en hel masse andre biologiske og sociale fænomener, som f.eks. arternes levetid eller indkomstfordelingen i USA, lægges på en lignende kurve.

Men hvad kan den forskning fortælle os andet, end at det alt sammen går galt på et eller andet tidspunkt? Først og fremmest netop det: at det *går* galt på et eller andet tidspunkt, og at vi sandsynligvis intet kan gøre ved det. Modellerne kan ikke forudse specifikke hændelser. De kan kun beskrive en statistisk situation. De kan bruges til at forstå, hvorfor ordet “gennemsnit” ofte er meningsløst at bruge. Når det f.eks. viser sig, at indkomsten i USA fordeler sig sådan, at de fleste tjener meget lidt, og ganske få tjener meget, så er det misvisende at tale om en gennemsnitlig indkomst, hvis man tror, at det dermed også er den mest hyppige indkomst. Det er det som regel ikke.

Men primært fortæller modellerne, at mange dynamiske systemer organiserer sig i en selvorganiserende kritisk tilstand, der gør, at sådanne systemer opholder sig på grænsen mellem orden og kaos, hvor der bestandig foregår både mange små og få store ændringer.

Verden kan fortælles

Denne bog startede med at beskrive de vigtigste redskaber, der var nødvendige (men selvfølgelig ikke tilstrækkelige) for at videnskabelig tænkning kunne opstå i den europæiske kultur. Disse redskaber var tal og skrift. Men der er især ét redskab, eller rettere en evne, som går forud for disse to. Og det er evnen til at kunne tale. Uden et effektivt kommunikationssystem mellem mennesker ville kulturer og civilisationer aldrig være opstået.

Talesproget er med andre ord menneskets vigtigste sociale netværksteknologi. Og også her kan den evolutionære psykologi, spilteori og populationsdynamiske modeller give et godt bud på, hvordan talen kunne være foregået. I 1999 fremlagde den østrigske teoretiske biolog Martin Nowak (f. 1965) sammen med amerikaneren David Krakauer (f. 1967) en model for, hvordan lyde kunne blive til ord, og ord til sætninger med faste grammatiske regler, ud fra den simple antagelse at antallet af fejl i kommunikationen mellem to individer skal holdes så lavt som muligt.

Sandsynligvis startede de verbale signaler, som primater brugte til at kommunikere med, med at referere til konkrete hændelser og hele situationer. Budskabet kunne være “løven kommer”, “mad her” eller “du snyder mig”, og alle repræsenteredes ved enkle enstavelseslyde. Men efterhånden som antallet af kommunikerbare objekter og hændelser steg, var det svært at lave nok lyde, der kunne skelnes fra hinanden. Risikoen for fejlagtige fortolkninger steg, fordi en sondring mellem f.eks. “ørn” og “børn” jo kunne betyde forskellen på liv og død.

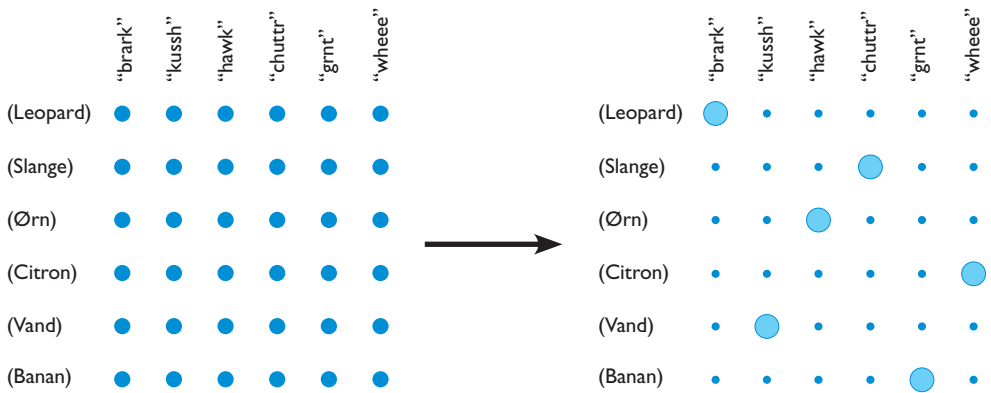
For at overvinde denne “fejlkatastrofe” i overførslen af information, udvikledes der i stedet et lille sæt af let genkendelige lyde – et alfabet – som kunne samles i ord. Denne tidsforskudte opremsning af vokaler og konsonanter havde en langt mindre risiko for at blive misforstået, og den indeholdt samtidig muligheden for at danne uendelig mange ord. En sådan klar og tydelig kommunikationsform havde ganske enkelt de bedste muligheder for at overleve. Den er en slags digitalisering af et meningsindhold, idet vo-

kaler og konsonanter i sig selv jo ikke indeholder en mening. Betydningen opstår først via et kombinatorisk trick, der gør uendelig brug af et endeligt antal lyde.

Det næste trin i udviklingen af talesproget var dannelsen af sætninger. Her forestiller Krakauer og Nowak sig, at den blotte akkumulation af flere ord på et eller andet tidspunkt blev til en hukommelsesmæssig byrde for homininer med begrænset hjernekapacitet. Hvis enhver kompleks hændelse – såsom “pas på, ørnen kommer fra venstre” eller “maden ligger gemt under en busk 300 meter mod nordøst” – skal beskrives med ét ord, der dækker hele meningsindholdet, bliver det hurtigt umuligt at holde rede på de mange ord.

Indlæringsprocessen vil blive stadig mere krævende, og risikoen for, at samtalepartneren ikke kender de samme ord som en selv, vokser også. Ifølge modellerne er vejen ud af denne evolutionære blindgyde igen kombinatorikken, det vil sige dannelsen af sætninger ved hjælp af syntaktiske regler. Som eksempel kan man nævne beskrivelsen af hændelser ved hjælp af et objekt og en handling. Hvis “løven sover” er det noget andet, end hvis “løven kommer”. Uden opdelingen i navne- og udsagnsord ville man skulle finde på nye ord for hver af situationerne. Men med syntaktiske sætninger vil antallet af nødvendige ord i vores ordforråd mindskes, samtidig med at antallet af mulige udsagn gøres uendeligt. Den nødvendige indlæring af grammatiske regler har naturligvis en omkostning, men Nowak kunne vise, at den naturlige udvælgelse hurtigt vil foretrække syntaktisk kommunikation, hvis antallet af signaler overstiger en bestemt grænse. Grammatik og syntaks er med andre ord kun fordelagtige i situationer, hvor det er nødvendigt at betegne virkelig mange hændelser og kvalificere dem på en meget eksakt måde. Udviklingen af et komplekst sprog kan ifølge den engelske antropolog Robin Dunbar (f. 1947) derfor kun ske hos arter, der har en ganske differentieret samfundsform, en kompleks social struktur, hvor individerne samarbejder, og hvor man relaterer til mange genstande i omverdenen.

I bestemte perioder af opvæksten lærer børn ord og sætninger meget nemt. Det ser ikke ud til, at de har brug for megen øvelse for at lære de indviklede grammatiske regler, der ligger til grund for at udtale ordene i den rette rækkefølge. Den amerikanske lingvist Noam Chomsky (f. 1928) beskæftigede sig med netop dette problem og konkluderede i 1965, at dette fænomen kun kunne forstås, hvis barnet besad en instinktiv viden om grammatikken. Denne medfødte sprogtilegnelsesstruktur i hjernen, som ifølge



Chomsky består af et regelsæt, der vælger den rette grammatik ud fra et meget lille antal af input, kaldte han “Universal Grammar”. Det gav anledning til en forestilling om, at der findes et medfødt grammatisk “organ” eller “relæ” i hjernen. Det har været en meget kontroversiel tanke i lingvistiske kredse, bl.a. fordi det har været svært at eftervise eksperimentelt, men også fordi sprogforskere har haft en tradition for ikke at ville beskæftige sig med sprogets biologiske aspekter. Også Chomsky har været tilbageholdende med at tænke sprog ud fra darwinistiske principper, og derfor var det først med den amerikanske lingvist Steven Pinkers (f. 1954) arbejde i begyndelsen af 1990’erne, at de evolutionære aspekter ved sprogets udvikling blev taget op, og først med Nowaks arbejde i 1999 blev sprogets strukturelle tilbliven forbundet med de matematiske modeller, som man kender inden for darwinistisk teori.

Ligesom det er tilfældet med alle mulige andre biologiske kendetegn, blev talesproget ifølge disse modeller altså udvalgt på grund af de fordele, der var knyttet til en effektiv kommunikationsform blandt artsmedlemmerne. Interessant er det, at man først med udviklingen af skrift, tal, bogtryk og computeren, som i sig selv er yderligere trin i udviklingen af nye kommunikationsnetværk, har kunnet formulere videnskabelige teorier for oprindelsen af dette generelle og multi-funktionelle lingvistiske apparatur, som vi kalder sprog. Og der er intet, der tyder på, at vi er nået til vejs ende. Den

Her ses selvorganiseringen af den franske lingvist Ferdinand de Saussures (1857-1913) arbitrære tegn. Tabellen angiver sammenhængen mellem en lyd (f.eks. “brark”) og dennes betydning (f.eks. “leopard”) i en population af kommunikerende individer. I begyndelsen har alle individer tilfældige associationer mellem en lyd og dens mulige betydning (angivet med lige store prikker), men efterhånden som de prøver sig frem med diverse forbindelser mellem lyde og meninger, vil hele populationen efterhånden enes om, hvilke lyde der skal associeres med hvilke meninger (angivet med de store prikker). Tegnet er altså arbitrært i den forstand, at “brark” her betyder leopard, ligesom “grnt” betyder banan, men det kunne lige så godt være blevet omvendt. Modellen viser desuden, at fejl og misforståelser øger muligheden for at finde en optimal løsning – et fælles sprog – i sidste ende.

menneskelige hjerne er klog og opfindsom: skulle der komme nye kommunikative behov (som det globale netværkssamfund antyder, at der gør), vil vi med lidt tid og held også indfri disse.

Netværk i kroppen

At kunne tale et sprog er en evne, alle raske mennesker har. Men talesproget er alligevel ikke fuldt ud “genetisk programmeret”, sådan som synsøgen eller fordøjelsen er det. Sprog kræver i høj grad oplæring i et kulturelt og familiært fællesskab, hvor den naturlige evne til at huske og anvende det auditive apparat forbindes med de tilfældige lyde, som et bestemt sprogfællesskab bruger til at give tingene deres betydning. Natur og kultur, biologi og sociale konventioner er således sammenvævede i et netværk af hinanden mere eller mindre påvirkende vekselvirkninger.

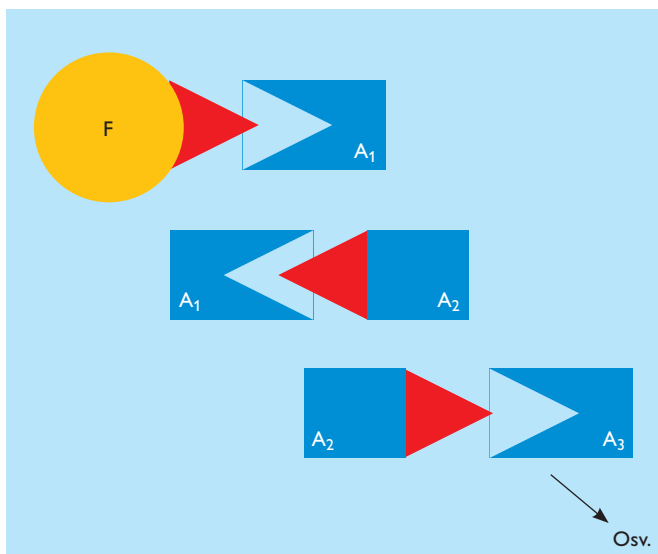
Det samme gælder immunsystemet. Også her er der tale om både et såkaldt innat immunsystem, som er medfødt, og et adaptivt immunsystem, som tillæres i løbet af opvæksten. Og også her er der tale om et meget veltilpasset netværk af funktioner, hvor vekselvirkningen med egne og fremmede legemer, som f.eks. bakterier, vira og svampe, skaber et dynamisk kognitivt netværk, som kan lære og reagere på ændringer i løbet af individets levetid. Antallet af lymfocytter – som er de celler, der kan danne antistoffer, og som udgør 20-30 procent af de hvide blodlegemer i en menneskekrop – er f.eks. mindst ti gange så stort som antallet af neuroner i hjernen. Det er derfor ikke helt forkert at kalde immunsystemet et organ, som er lige så “bevidst” om sin (mikro)biologiske omverden, som hjernen er bevidst om sin materielle og sociale omverden.

Den danske immunolog og nobelpristager Niels Kaj Jerne (1911-94) var en stor fortæller for at forstå immunsystemet som et lingvistisk netværk af kognitive og semiotiske strukturer. Med henvisning til Noam Chomskys teorier forsøgte Jerne at sammenligne immunsystemets kombinatoriske funktioner med talesprogets ditto, dvs. dets semantiske strukturer, dets generative grammatik og leksikon. Jerne blev anset som sin tids største immunolog. Hans teori om dannelsen af antistoffer fra 1955 erstattede den fremherskende lamarckistiske forståelse af antistoffer, efter hvilken et fremmedlegeme (et såkaldt antigen) fungerer som skabelon for dannelsen af et passende antistof. Jernes “naturlige selektionsteori” gik i stedet ud fra, at

hvert individ allerede ved fødslen har et færdigt antal naturlige antistoffer uafhængigt af omverdenen, og at antigenet via sin blotte tilstedeværelse “udvælger” det antistof med det bedste match på normal darwinistisk facon. På baggrund af Jernes forarbejde foreslog den australske immunolog Macfarlane Burnet (1899-1985) få år efter den såkaldte “klonselektionsteori”, efter hvilken antistofferne sidder på overfladen af nogle bestemte lymfocytter, lidt ligesom dokporte på en kæmpe rumstation. Når et antigen så tilfældigvis dokker på membranoverfladen af lymfocytten, vil den begynde at formere sig. Teorien var en stor bedrift inden for den medicinske forskning, fordi den var udgangspunktet for at udvikle teknikker til at producere specifikke antistoffer, der kunne fungere som en slags fjernstyrede missiler til behandling af bl.a. kræft og hiv.

Jerne gav også et bud på, hvordan immunforsvaret reguleres af et kompliceret netværk af antistoffer og anti-antistoffer, således at kroppen kan opbygge en form for selverkendelse. Denne såkaldte “idiotypiske netværksteori” fra 1974 betragter immunsystemet som et ligevægtssøgende netværk, spændt ud af stadig nye generationer af antistoffer i nye variationer og former, der i en uendelig proces stimulerer og undertrykker hinanden. Når et fremmedlegeme introduceres i netværket, forstyrres ligevægten, og hele systemet forsøger at genskabe ligevægten, hvilket fører til en immunrespons. Jernes teorier har været væsentlige hjørnesten inden for immunologien, og

Ifølge Jernes idiotypiske netværksteori sker immunisering over for et fremmedlegeme (F) ved dannelsen af ikke kun specifikke antistoffer (A_1), der dokker på F, men også ved andre antistoffer, som genkender A_1 . Den unikke form (idiotype) af bindingsområdet på A_1 får immunsystemet til at danne A_2 , som simulerer fremmedlegemets struktur. A_2 bruges så til at danne endnu flere antistoffer, A_3 , som danner A_4 , som danner A_5 osv. Immunsystemet producerer altså antistoffer, som genkender antistoffer, som genkender antistoffer, i det uendelige. Kaskaden ender, når mængden af det sidste anti-anti-anti-anti-stof ikke er nok til en ny runde, hvorefter ligevægten kan genskabes.



hans netværksteori har i årtierne efter vist sig at være nyttig inden for forebyggelse, diagnose og behandling af sygdomme. Det har skabt en forståelse af organismen som et komplekst ligevægtssystem, der på mange forskellige niveauer er i stand til at kende forskel på sig selv og noget, som er den fremmed. Selv-bevidsthed er således ikke kun noget, der eksisterer som et neurologisk fænomen i hjernen eller som resultat af sociale interaktioner. Det synes i sin primitive form at være et emergent fænomen for en lang række biologiske netværk, der opretholder en arkitektonisk orden og vekselvirker med omverdenen.

Jernes netværksteori begyndte langsomt at sætte spørgsmålstegn ved Burnets dualistiske forestilling om et immunsystem, der kan kende forskel på egne og fremmede legemer. I stedet bliver immunsystemet blandt enkelte forskere snarere set som essentielt selv-reaktivt, dvs. som et dynamisk og reflektivt netværk, der vurderer alt – inklusive kroppens egne celler – ud fra graden af nytte og skadelighed. Det varede heller ikke længe, før en række undersøgelser i midten af 1990'erne viste, at autoimmune reaktioner, det vil sige aktivering af immunsystemet forårsaget af egne celler, er ganske almindelige. Autoimmunitet så ikke ud til at være undtagelsen, men snarere reglen. Ifølge den amerikanske hematolog Alfred Tauber (f. 1947) eksisterer fremmedhed som sådan slet ikke i dette nye paradigme, for hvis noget var absolut fremmed, ville immunsystemet ikke kunne danne sig et billede af det. Siden 1990 har en række teorier således tolket immunsystemet som et mere tolerant system, der er i konstant dialog med omverdenen og laver "damage control", snarere end at være et forsvarsbolværk mod invasioner fra aliens.

Netværk i hovedet

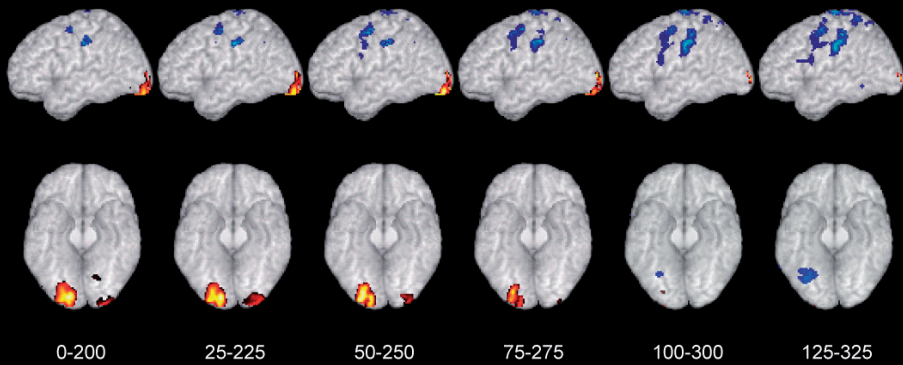
Et centralt idehistorisk spørgsmål siden Descartes (1596-1650) har været, hvordan man skal forstå den menneskelige bevidsthed, og hvilken status den har i forhold til vores evne til at erkende. De traditionelle filosofiske positioner har taget udgangspunkt i en overbevisning om, at subjektet var gennemsigtigt for sig selv, og at det menneskelige intellekt alene med dets logik og rationelle fornuft kunne konstruere tilstrækkelig viden om den ydre verden og den indre bevidsthed. En pibe og en lænestol var nok til at forstå verden. Men i løbet af 1900-tallet blev denne internalistiske position stadig mere marginaliseret i forhold til et mere eksternalistisk (dvs. typisk naturvi-

denskabeligt) ideal, hvor empiriske undersøgelser af hjernen og af kroppens biologi nødvendigvis måtte gå hånd i hånd med – eller endda forud for – en teori om bevidsthedens evne til selverkendelse.

Hvad var så disse empiriske undersøgelser, og hvad kunne de vise? Allerede i 1873 fandt man ud af, at hjernens nerveceller modtager informationer fra kroppens sansenerver. Få årtier efter påviste man, at de individuelle nerveceller i hjernen, som blev døbt “neuroner”, kommunikerer med hinanden via såkaldte synapser. I løbet af 1900-tallet vistest det så, at kommunikationen langs nervefibrene (kaldt “axoner”) foregår enten via elektriske impulser (eller, som det langt senere blev foreslået, ved hjælp af en slags selvforstærkende lydbølger, “solitoner”), mens kommunikationen i synapserne primært foregår via kemiske signaler, som kan påvirkes af potente neurotransmittører som f.eks. dopamin, serotonin og de opiumlignende endorfiner.

Det er vigtige opdagelser alle sammen, men hvordan relaterede de sig til interne sansendeindtryk? Hvordan kan en samling af neuroner, synapser, axoner, dendritter, kemikalier osv. skabe bevidsthed og følelser? Og hvordan defineres bevidsthed i det hele taget? Det stod ikke klart. Al den viden, man fik om hjernen via hjerneforskningen fra 1870 og frem, hang således ikke sammen med det, man oplevede ved hukommelse og bevidsthed. Der manglede en overordnet teori, som kunne redegøre for forholdet mellem hjerneaktiviteter og bevidstheds- og følelsestilstande. Mellem 1950 og 1970 var der stor tillid til ideen om, at hjernen “var ligesom en computer”. Man udviklede logiske automata, supercomputere og neurale netværk, som skulle efterligne hjernens funktioner. Men i løbet af 1970’erne blev man igen mere skeptisk. Godt nok kunne man med de mange nye teknologier lande på Månen og lave overordentligt hurtige beregninger, men man kunne f.eks. ikke få en robot til at holde balancen eller oversætte simple sætninger fra ét sprog til et andet. De kunstige neurale netværk kunne erkende ting ud fra formelle, regelbaserede algoritmer, men ikke via kontekst og mening, sådan som organismer synes at gøre. Man opdagede kompleksiteten i emnet og begyndte at tvivle på, om man overhovedet kunne efterligne menneskets evne til at erkende omverdenen og sig selv.

Symptomatisk for denne skepsis over for kunstig intelligens var den amerikanske filosof Thomas Nagels (f. 1937) overvejelser om, hvordan det ville være, hvis man var en flagermus. Hans ofte citerede artikel fra 1974 – “What is it like to be a Bat?” – handler om, at man ikke kan fremsætte en

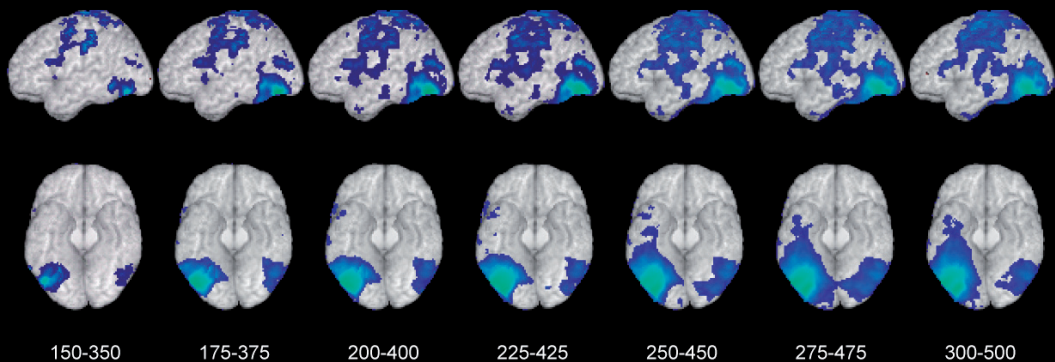


Et enkelt ord med kun fem bogstaver kan generere en utrolig kompleks respons i hjernen. På billedet ses spredningen af hjerneaktiviteten i løbet af det første halve sekund, efter at en forsøgsperson har læst et ord på en skærm. Tallene er angivet i millisekunder · Morten Kringelbach.

restløs neurofysiologisk beskrivelse af, hvordan det ville være at være en flagermus ud fra et menneskeligt perspektiv. Man bliver nødt til at *være* en flagermus for at vide det

helt nøjagtigt. Hvis naturvidenskaben derfor forsøger at give en objektiv beskrivelse af virkeligheden, mister den et essentielt subjektivt element, hvilket i forhold til bevidsthedsforskningen er fatalt. Hvis tingene fremtræder forskelligt for den enkelte – fordi mennesker har f.eks. viljer, indtryk, tanker og følelser – må der eksistere en forklaringskløft mellem de objektive biologiske realiteter i hjernen (som vi kan måle, men aldrig kan give fyldestgørende mening) og den subjektive psykologiske erfaring (som vi ved eksisterer, men som aldrig kan beregnes). I stedet for at eliminere det subjektive perspektiv, burde videnskaben illuminere det, mente Nagel.

Problemet med forestillingen om det subjektive perspektiv (ofte kaldet “qualia” i litteraturen) er, at det er meget nemt at falde tilbage til en cartesiansk dualisme, hvor mentale processer i en vis forstand anses som ikke-fysiske, hvilket er uacceptabelt for de fleste forskere. Derfor blev der i løbet af 1980’erne og 90’erne udviklet en række forklaringsmodeller, som prøvede at gøre op med dualismen i kognitionsforskningen. Én af dem så qualia som ren og skær illusion. Den position forsvares gerne af bl.a. den amerikanske filosof Daniel Dennett (f. 1942). Hjernen er ifølge ham kun en syntaktisk maskine, som efterligner en betydningsproduktion, fordi det er en biologisk nødvendighed for overlevelsen. Erkendelsen af betydninger, af meningers ligheder og forskelle, og fornøjelsen over at kunne forstå ting er alt sammen blot godartede illusioner, der samler en lang række neurologiske impulser



og reflekser i en betydningsproducerende oplevelseskasse, lidt ligesom når man drømmer en fin og forståelig drøm, som først føles usammenhængende, når man vågner.

På baggrund af den franske neurolog Jean-Pierre Changeux (f. 1936) ideer, udviklede den amerikanske immunolog Gerald Edelman (f. 1929) en overordnet naturalistisk teori om bevidsthedens og hukommelsens opståen, hvor computeren ikke var forbilledet. Og ikke tilfældigt var Edelman også meget inspireret af Niels Kaj Jerne's darwinistiske netværksteori. Ifølge Edelman foregår der blandt neuronerne i hjernen nogenlunde det samme som blandt lymfocytterne i resten af kroppen. Som tidligere nævnt, doker fremmedlegemer an på passende antistoffer, der sidder på overfladen af lymfocytter, som derefter begynder at formere sig. I hjernen er det ikke fremmede legemer, men fremmede stimuli fra sanserne, som får grupper af neuroner til at slå gnister. Kun de neuroner, som er konfigureret til bedst at synkroniseres med den fremmede stimulus, reagerer. Det fører til en bestemt biokemisk reaktion, som igen fører til en styrket forbindelse mellem benævnte neuroner.

Det er dog ikke hele historien. I hjernens hyperkomplekse jungle udvikles der også andre neuroner, som skaber nye alliancer, mens gamle ødelægges. Da hjernen består af flere hundrede milliarder neuroner, og da der konstant dannes nye, er der rig mulighed for at den naturlige udvælgelse kan foregå. Vanskeligt bliver det, når man skal forstå, hvordan hjernen skelner mellem informationerne. Man går ud fra, at der sker en form for mønstergenkendelse af den neuronale aktivitet. Hukommelse repræsenteres således ved genskabte konfigurationer i netværksaktiviteterne, lidt ligesom en guitar

der husker, hvordan den skal lyde ved bestemte påvirkninger. Hvordan disse dynamiske netværksrepræsentationer helt præcist formes, genskabes og gøres tilgængelige for bevidstheden er dog langt fra forstået. Men generelt mener man, at de kognitive processer skyldes emergente, dvs. tilsynekom-mende, egenskaber, der netop ikke ligger i de enkelte neuroner, men i det samarbejdende samlede system, der udgør det neuronale netværk. En over-ordnet “bevidsthed” defineres derfor af hjerneforskere som et arkitektonisk aspekt ved hele hjernens struktur. En meget vag definition, kunne man mene – det svarer til noget i retning af: “jeg har en hjerne, derfor tænker jeg” (*cerebrum, ergo cogito*), men den er måske heller ikke meget dårligere end Descartes’ “jeg tænker, derfor er jeg til” (*cogito, ergo sum*).

Bevidsthedens landskaber

Naturvidenskaben har fejret sine største triumfer i opmålingen af verden – i forsøgene på at forstå den ydre natur, dens objekter og virkemåder. Triumferne hvad angår opmålingen af menneskets indre landskaber lader dog vente på sig. På trods af en enorm af viden om os selv har den videnskabelige metode ikke evnet at komme blot i nærheden af de indsigter, som f.eks. de humanistiske videnskaber, kunsten og litteraturen har kunnet byde på, når det gælder menneskets mentale og emotionelle livsverden.

Nye forskningsresultater inden for den eksperimentelle hjerneforskning er dog begyndt at pege på nogle interessante fænomener, som i det lange løb vil kunne bidrage til en bedre forståelse af menneskets emotioner og bevidsthedsoplevelser. Et vigtigt element i denne udvikling er, at hjerneforskere har fået en lang række nye hjernescanningsteknikker til rådighed: CT-scannere bestråler hjernen med røntgenstråling, MR-scannere udsætter hjernen for et stærkt magnetfelt, mens EEG- og MEG-scannere lytter til de svage elektriske og magnetiske signaler fra hjernen. Man kan også sprøjte radioaktive sporstoffer ind i blodomløbet, hvis henfald i hjernen så måles ved hjælp af PET- og SPECT-scannere. Fælles for disse teknikker er, at de kan give et aftryk af hjernens tilstande i form af nogle scanningsbilleder, som man så håber kan korreleres til bestemte sindstilstande hos forsøgspersonen.

Der er selvfølgelig en fare for, at disse aftryk ikke bliver til mere end avancerede frenologiske kort, hvor man prøver at aflæse en persons karakter ud fra nogle lysende “blobs” i billedet af hjernen. Det er derfor vigtigt at

supplere scanningen med specifikke modeller og teorier, så man får en forståelse af blob-aktiviteternes opståen og funktion. Det vil så kunne bruges til diagnose og eventuel behandling af lidelser. Af speciel filosofisk interesse er her den kognitive hjernevidenskab, som beskæftiger sig med de psykologiske aspekter af hjernens funktion, det vil sige dens evne til at tage beslutninger, til at huske, til at føle og til at have en bevidst oplevelse af selvet.

Den danske hjerneforsker Morten Kringelbach (f. 1970) har peget på, at følelser spiller en central rolle i konstruktionen af de subjektive oplevelser, og at mennesker kun er bevidst om en ganske lille brøkdels af, hvad der foregår i hjernen. Bevidstheden er således ikke en rationel forklaringsmaskine, der sikrer fornuftens sejr over de irrationelle følelser. Den er snarere en forsinket talsmand for den store familieklan af emotioner og ikke-bevidste hjerneprocesser, der i forvejen har taget de vigtigste beslutninger, om end bevidstheden naturligvis også kan influere disse processer.

Det er en mere radikal måde at betragte hjernens følelsesliv end de teorier, der opstod allerede i 1880'erne af amerikaneren William James (1842-1910) og danskeren Carl Lange (1834-1900). Uafhængigt af hinanden udviklede de ideen om, at bevidstheden kommer efter følelsen, dvs. at vi f.eks. ikke græder, fordi vi er kede af det, men tværtimod: vi er kede af det, fordi vi græder. Det er med andre ord den umiddelbare kropslige reaktion på en hændelse, der skaber en emotionel tilstand, og først derefter tolker vores bevidsthed den følelsesmæssigt. Når vi ser en bjørn i skoven, løber vi automatisk væk. Først bagefter lægger bevidstheden mærke til, at vi har en emotion, nemlig angst. Årsag og virkning synes vendt om. Den amerikanske hjerneforsker Antonio Damasio (f. 1944) har genoplivet James-Lange teorien ved at vise, at der findes nogle somatiske markører, der indsamler informationer fra kroppen, som så bliver brugt til at lave en beslutning om et valg af følelse. En sandsynlig forklaring er, at det har været en fordel i menneskets evolutionshistorie at reagere hurtigt på en hændelse, hvorimod en bevidsthedsmæssig årsagsforklaring for kroppens tilstand godt kunne vente lidt.

Der er dog mange uafklarede problemer med sådanne kropscentrerede teorier om bevidstheden. F.eks. kan lammede mennesker ikke løbe væk, når de møder en bjørn, selvom de føler lige så stor angst som alle andre. Ikke desto mindre viser disse opdagelser, at sammenhængen mellem emotioner, følelser og bevidsthed er yderst kompliceret. Den metafysiske dualisme – dvs. ideen om at der er en klar adskillelse mellem hjernen som kropsmaskine og

bevidstheden som tankens rationelle instans – er der ikke mange, som tror på længere. Og den nye hjerneforskning har da også gang på gang vist, at man kan ændre på bevidsthedstilstande ved direkte manipulationer af hjernen.

Resultaterne skaber også visse problemer for moralfilosofien og ideen om den frie vilje. For hvis vores bevidsthed effektivt er en bagudrettet erfaring af allerede udførte handlinger og beslutninger, så kan der jo ikke være megen plads til en fri vilje eller en morallære, der kræver, at man bevidst vælger mellem en række forskellige handlemuligheder, uafhængigt af emotionelle fornemmelser. Ifølge den amerikanske bevidsthedsforsker Benjamin Libet (1916–2007), der i en række eksperimenter har vist, hvordan bevidstheden om en given tilstand først opstår ca. et halvt sekund efter, at en handling er blevet besluttet i hjernen, kan den frie vilje kun manifestere sig gennem en slags veto – dvs. i form af en bevidst undertrykkelse af instinktet. En bevidst fri vilje kan derfor kun opnås på de få områder, hvor mennesket tillige er i stand til at udøve bevidst selvkontrol og hedonistisk tilbageholdenhed.

De fleste hjerneaktiviteter er dog som sagt uden for bevidsthedens domæne. Eksperimenter viser, at der eksisterer mange uafhængige mekanismer i hjernen, som gør deres egne ting, uden nogen overordnet dirigent, og nogle gange med de mest forunderlige fænomener til følge. Et godt eksempel er det såkaldte blindsyn. Der findes mennesker, som efter en hjerneskade bliver funktionelt blinde. Alligevel kan de se. De går ind i vægge og har ingen bevidste visuelle informationer, men hvis de bliver tvunget til at tage en beslutning ud fra nogle visuelle valgmuligheder – f.eks. om der foran deres øjne er et X eller et O – gætter de ofte rigtigt og kan handle ud det. Deres fysiologiske evne til at se er intakt, men informationen når aldrig frem til bevidstheden.

I lyset af sådanne opdagelser kan det være fristende at reducere ideen om selvet og om sjælen til en illusion. Vores erfaring af os selv er ikke andet end vores neuroners dans, og enhver overbevisning – om den så er moralsk, filosofisk eller religiøs – er et neuronalt gøglespil. Som det er sket så mange gange før i naturvidenskabens filosofiske historie, er der dog fare for, at man her fanges i en reduktionistisk fejlslutning, dvs. i tanken om, at blot fordi man kan simplificere tingene, så må tingene være simple. Men man kan også tolke de nye opdagelser mindre reduktionistisk og mere konstruktivistisk. Man kunne i stedet forstå oplevelsen af selvet og af sjælen som en tilkæmpet færdighed, en emergent evne, opstået som følge af langvarig træning og samarbejde mellem de mange kognitive elementer. Der eksisterer dog ikke nogen

Jane Goodall (f. 1934) er berømt for at være den første primatolog, der begyndte at studere aber i deres naturlige omgivelser og deltage i deres sociale liv. Uden sprog foregår kommunikationen primært ved hjælp af imitation. Her ses Goodall synge duet sammen med en chimpanse · Foto: Michael Neugebauer.



konsensus blandt forskerne om denne sag, og man må huske på, at hjernevidenskaben kun først lige er begyndt at vise resultater.

En af de mere betydningsfulde opdagelser blev lavet af italieneren Giacomo Rizzollatti (f. 1937) og kolleger fra universitetet i Parma, der placerede elektroder på makakabers hjernebark for at måle deres neuronale aktivitet, når de foretog simple gribebevægelser som f.eks. at række ud efter et æble. Det viste sig, at artsfæller ved siden af, som observerede handlingen, aktiverede de samme neuroner som de æble-gribende aber, dog uden selv at røre på sig. Videre analyser viste, at disse neuroner laver en slags spejling af andres handling, og stimulerer derved tilsvarende muskler i kroppen.

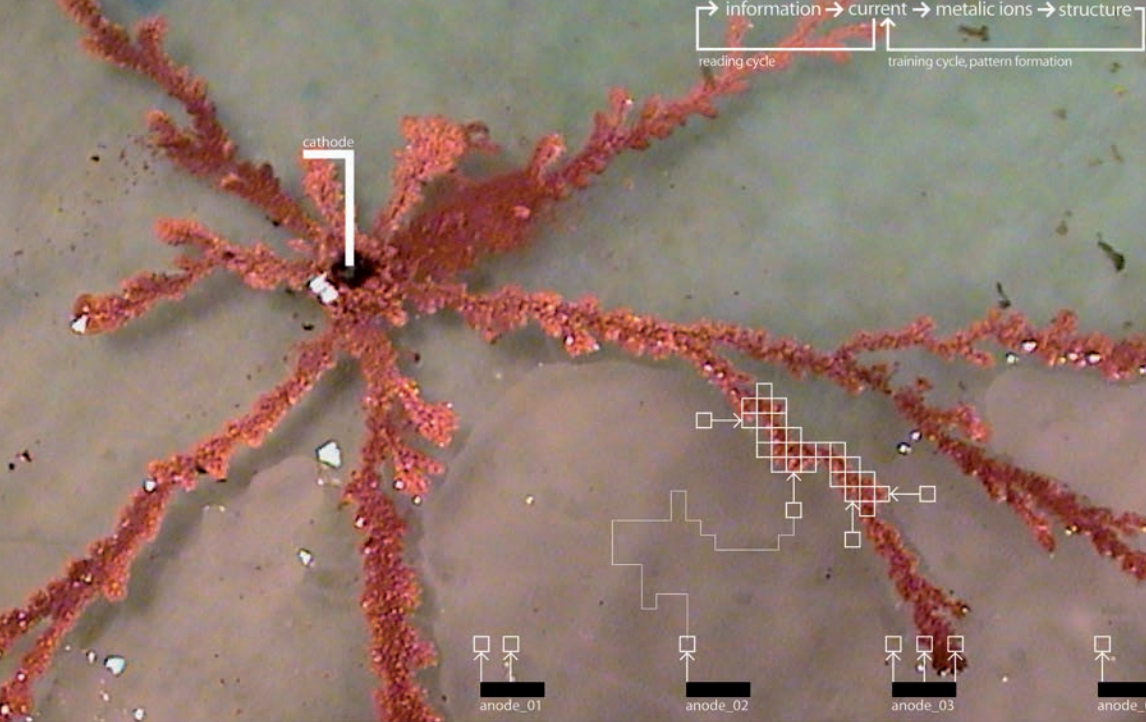
Det unikke ved disse såkaldte spejlneuroner er, at de er det første tegn på en forståelse af andres intentioner. Mange handlinger, som f.eks. gaben, virker smittende på artsfæller, og spejlneuronerne kan være et væsentligt skridt i retning af en social erkendelse. Ifølge den fremtrædende hjerneforsker Vilayanur S. Ramachandran (f. 1951) er opdagelsen af spejlneuroner lige så vigtig for psykologien, som opdagelsen af DNA var vigtig for molekylærbiologien. Han mener, at spejlneuronerne gemmer forklaringen på mange af menneskehedens unikke bedrifter, f.eks. vores evne til at have empati over for hinanden, vores udvikling af kunst, sprog, religion og alle de civiliserende teknologier, som f.eks. madlavning og brugen af skræddersyet tøj. Selvom der er et langt spring fra spejlneuroner til sprog og kunst har opdagelsen givet næring til mange spekulationer om, hvorvidt erkendelse og selverkendelse er opstået som en konsekvens af spejlneuronerne – først som erkendelse af den anden via simpel imitation, og dernæst via dobbeltspejlinger, hvor man kan se sig selv blive imiteret af den anden.

AI, AL og kunstige neurale netværk

Forskningen i kunstig intelligens og kunstigt liv – ofte kaldt AI og AL, “Artificial Intelligence” og “Artificial Life” – har i mange år været højtprofilerede områder inden for naturvidenskaben. Den havde en anden tilgang til forståelse af bevidstheden og prøvede i perioden mellem 1950 og 1970 at lave en kunstig bevidsthed “top-down”, dvs. ved at designe en maskine, som var tilpas kompleks til at simulere en komplet menneskelig intelligens, populært eksemplificeret ved computeren HAL i Stanley Kubricks (1928-99) film *2001 – A Space Odyssey* fra 1968. Inden for denne “klassiske” AI-forskning brugte man mest symbolske manipulationer af abstrakte koncepter, Turing-tests og kybernetiske kontrolprogrammer med masser af feedback. På den måde håbede man at kunne konstruere en intelligent maskine med bevidsthed oppefra, dvs. designet som af en arkitekt, og ikke selvorganiseret som en myretue. Men i løbet af de følgende årtier opgav mange forskere ideen om at skabe kunstig intelligens på denne måde. Det var alligevel svært at anskue hjernen som et planlagt computerprogram, for i så fald ville den ikke lave andet end at udføre helt konkrete og uflexible sekvenser af beregninger, hvilket ikke var noget, der kunne føre til selv-korrektion eller bevidsthed. Hvis en maskine skulle kunne kaldes levende, skulle den kunne lære og reagere på omverdenen.

I de sene 1950'ere konstruerede de engelske kybernetikere Stafford Beer (1926-2002) og Gordon Pask (1928-96) en række elektrokemiske maskiner med “emergente sansevner”. Det var tænkt som en slags feedback-systemer, der skulle kunne konstruere egne sensorer til f.eks. lyd- eller magnetisk genkendelse. På den måde skulle disse kybernetiske organismer kunne vælge deres relation til omverdenen, selvorganiseret og helt uafhængigt af ekstern kontrol. Ultimativt var det håbet at erstatte menneskelig virksomhedsledelse med et naturligt økosystem, f.eks. en dam eller en sø, der indeholder et utal af forskellige elementer i en naturlig ligevægt, og som altid skulle kunne tilpasse sig i forhold til nye betingelser. Ligesom det var tilfældet med den tidlige AI, mislykkedes forskningsprogrammet. Der manglede en fundamental forståelse af levende systemers opbygning og selvkontrol, og de kunstige repræsentationsformer, som Pask og Beer byggede, var slet ikke sofistikerede eller fleksible nok til at gøre noget som helst på egen hånd.

Parallelt med “top-down”-paradigmer fandtes også en “bottom-up”-tilgang i AI- og AL-forskningen. Her forsøgte man at udvikle intelligens



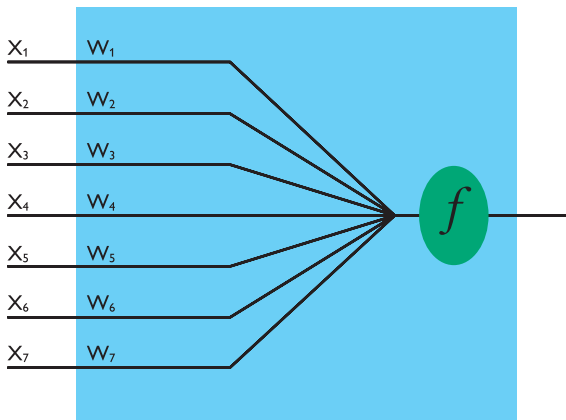
og liv nedefra, ud fra basale byggeklodser, og derefter langsomt forbedre netværket gennem automatiserede selektionsprocesser. Det mest kendte forskningsområde inden for denne gren er de såkaldte kunstige neurale netværk. Hvis hjernens aktiviteter kan beskrives som neuroner, der sender informationer til hinanden, burde det være muligt at simulere aktiviteterne med nogle kunstige neuroner, forbinde dem i store netværk og lave en kunstig hjerne. Denne form for AI-forskning opstod også i 1950'erne, men først i 1980'erne etableredes store forskningsprogrammer i USA og Japan for at undersøge holdbarheden af dem. Det viste sig faktisk, at de kunstige neurale netværk kan "lære" ting. Når der er nok neuroner i de kunstige neurale netværk, kan de trænes til at gøre nyttige ting, såsom at klassificere elementer og identificere mønstre i data. De kan organisere sig selvstændigt og skabe egne repræsentationer og tilmed være stabile over for støj. Især i forhold til at finde værdier i optimeringsprocesser udtrykt ved matematiske funktioner kan de kunstige neurale netværk bruges med fordel.

Men det blev hurtigt klart, at de kunstige neurale netværk bestemt ikke

I denne reproduktion af Gordon Pasks elektrokemiske computer ses selvorganiseren af en såkaldt dendrit-lignende struktur, der opstår ved hjælp af elektriske impulser i en opløsning af jernatomer. Selve strukturen giver information tilbage til det elektriske apparat om, i hvilken retning impulserne skal løbe, og skaber derved en feedback-mekanisme. Dendritten kan så trænes til at associere bestemte input med bestemte output, og – i teorien – bruges som et sansesystem for de omkringliggende elektrokemiske forhold · Pablo Miranda Carranza/www.armyofclerks.net.

kunne hamle op med rigtige hjerner. De kom ikke i nærheden af at genskabe de gruppedynamikker, der findes i rigtige neuronale netværk, og de kunne heller ikke simulere mere “simple” kollektive fænomener, som de f.eks. kendes fra amøber. Mellem de encellede amøber og ciliater kan der f.eks. opstå flercellede strukturer og mønstre, uden at der findes et fælles nervesystem, som styrer og overvåger processen. Amøbers samarbejde er baseret på nogle biokemiske processer i selve deres cytoplasma, som svarer til, at de udfører en række logiske operationer som respons på eksterne stimuli. Disse netværk af levende celler må på en eller anden måde adskille sig væsentligt fra deres kunstige, siliciumbaserede kopier gennem deres mangfoldige molekylære tilstande og ved at have en særdeles fleksibel og tilpasningsdygtig intern arkitektur. Disse fænomener er slet ikke forstået til bunds og kan stadig ikke reproducere af forskerne.

I dag bruges kunstige neurale netværk og andre AI-applikationer som kontrolprogrammer til robotter, til maskinoversættelse, computerspil, computeralgebrasystemer, sikkerhedssystemer, genetiske algoritmer osv. – typisk på områder med rigeligt støj og et højt antal af signalklasser, som skaber stor usikkerhed om, hvor de optimale løsninger skal findes. De meget store forventninger til AI-forskningen blev altså ikke indfriet. Tværtimod fik AI-forskningen ry for at være mere hjernesvind end realitet, og for at have en manglende ydmyghed over for den kompleksitet, der findes i levende organismer. Denne karakteristik er en smule hård, for selvom man måske ikke er kommet meget nærmere på en forståelse af cellers opførsel, end sige på en forståelse af den menneskelige intelligens, har mange forskningsresulta-



I 1957 udviklede amerikaneren Frank Rosenblatt (1928-69) et kunstigt neuralt netværk, som han kaldte en perceptron. Den var en simpel “feed-forward”-mekanisme, hvilket vil sige, at den kunne reagere på en foruddefineret måde over for eksterne påvirkninger (til forskel fra en feedback-mekanisme, som bruger outputtet som en del af inputtet). Perceptronen kunne lære at kende forskel på forskellige mønstre, men det viste sig hurtigt, at den havde meget begrænsede evner og heller ikke kunne kende forskel på simple enten-eller situationer. På billedet ses en skematisk version af perceptronen, hvor forudbestemte vægte (x) tilskrives et input (w), som så sendes videre til en funktion (f), der producerer et output (y).

ter som følge af AI-forskningen udviklet sig til helt nye discipliner med nye navne. Blandt nogle af disciplinerne kunne man nævne fuzzy logic (s. 295) og den matematiske spilteori (s. 373).

De teknologiske resultater af AI-forskningen er mangfoldige og strækker sig fra datalogi over optiske genkendelsessystemer af håndskrift og levende billeder til skakcomputere og andre specialiserede ekspertsystemer inden for industri og produktion. Også inden for populærkulturen er mange af de tidlige drømme om at skabe kunstig intelligens og kybernetiske menneskemaskiner bibeholdt i form af cyborg-fortællinger og stadig mere fantasifulde science fiction-film om dystre maskinkontrollerede fremtidssamfund.

Den digitale overtagelse

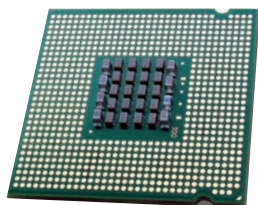
Opfindelsen af transistoren og den efterfølgende opdagelse af halvledere og teorien bag dem omkring 1950 var afgørende for udviklingen af computeren. I dag er flere millioner mikroskopiske transistorer pakket ved siden af hinanden på små siliciumchips, kaldet integrerede strømkredse. Det er dem, der danner skelettet for digitale teknologier som computere, mobiltelefoner, cd'er, mp3-filer og dvd'er.

Årsagen til, at det netop blev siliciumatomer, der dannede basis for computerchips, er, at de er halvledende, dvs. at de både kan lede strøm og ikke lede strøm, alt efter hvor mange urenheder krystallen indeholder, og alt efter hvordan de manipuleres. Netop urenhederne gør det nemt at kontrollere, hvordan elektricitet strømmer igennem dem. Og dette er ideelt, hvis man vil lave komplicerede regnemaskiner – computere – ved at pakke millioner af transistorer (i form af mikroprocessorer og hukommelseschips) tæt sammen på et stykke silicium og guide strømmen igennem de forskellige dele.

I perioden mellem 1960 og 1980 er regnekraften på de siliciumbase-rede computere således steget eksponentielt. Dette kaldes nogle gange for "Moore's lov". Den siger, at den mængde information, der kan lagres på en chip, fordobles hvert år. Loven blev først formuleret af halvlederingeniøren Gordon Moore (f. 1929) i 1964 (han var med til at grundlægge IT-firmaet Intel fire år senere), og den holdt vand indtil 1980, hvorefter fordoblings-tiden steg til 18 måneder. Man regner med, at den nedre grænse for transistorers størrelse er 100 nanometre, hvilket svarer til, at der kan være ca. 50 millioner transistorer på en enkelt chip. Det er en naturlig grænse, bl.a.



Verdens første transistor fra 1947 og en moderne siliciumchip, der fylder en brøkdel, men alligevel indeholder flere millioner lignende transistorer.



fordi endnu mindre transistorer ville udvikle uønskede kvanteeffekter, der ville ødelægge de elektriske signaler. Dermed ikke sagt, at industrien har opgivet håbet om endnu mindre enheder – i laboratorier verden over, på universiteter og hos store firmaer som IBM, Bell Labs, Sony, GE og AT&T, forskes der i mulighederne for at erstatte fremtidens strømkredse med organiske stoffer, DNA og endda bakterier. Man har tidligere forsøgt at udskifte silicium med stoffet gallium arsenid og med

The European Laboratory for Particle Physics, located near Geneva[1] in Switzerland[2] and France[3]. Also the birthplace of the World-Wide Web[4].

This is the CERN laboratory main server. The support team provides a set of Services[5] to the physics experiments and the lab. For questions and suggestions, see WWW Support Contacts[6] at CERN

About the Laboratory[7] - Hot News[8] - Activities[9] - About Physics[10] - Other Subjects[11] - Search[12]

About the Laboratory

Help[13] and General information[14], divisions, groups and activities[15] (structure), Scientific committees[16]

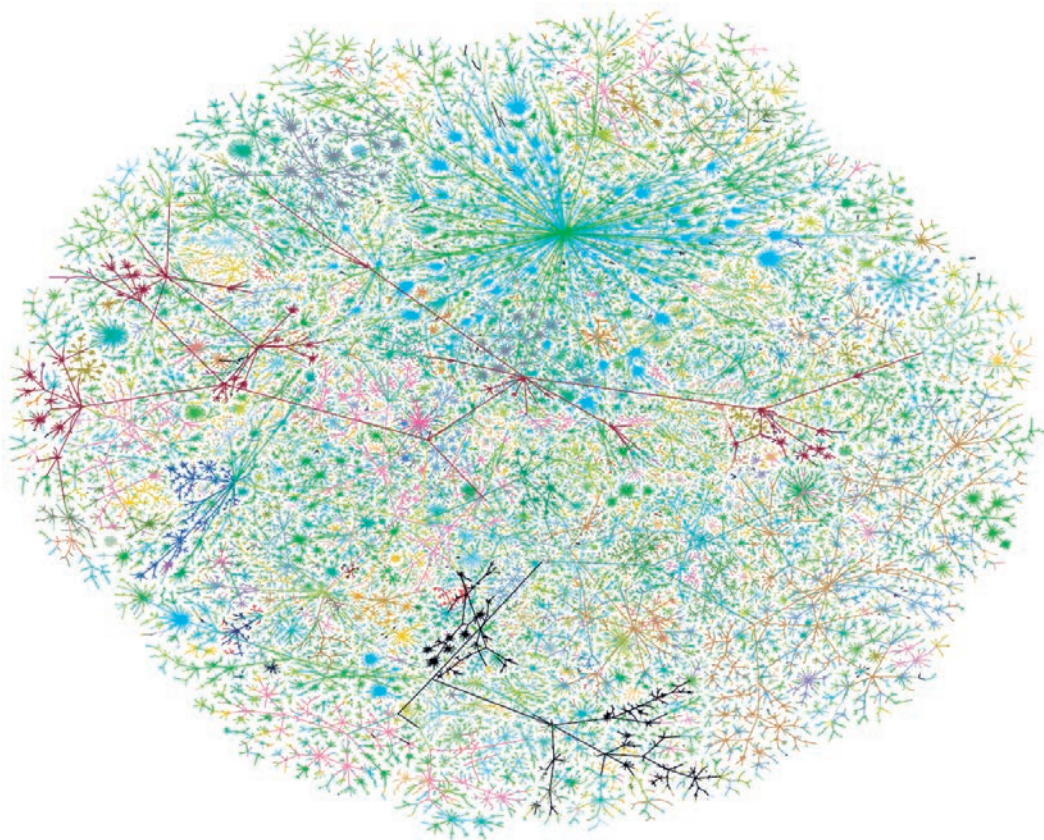
Directories[17] (phone & email, services & people), Scientific Information Service[18] (library, archives or Alice), Preprint[19] Server

1-45, Back, Up, <RETURN> for more, Quit, or Help: █

Her ses internettets fødsel. Dette er verdens første hjemmeside fra 1990, sådan som den så ud i en normal tekstbaseret browser. Adressen var <http://info.cern.ch/hypertext/WWW/TheProject.html>. CERN, Geneve.

optiske enheder, men det er endnu ikke lykkedes at finde troværdige alternativer til den silicium-baserede variant i nutidens regnemaskiner.

Ideen til et “galaktisk netværk” af computere med mange af de funktioner, vi i dag kender fra internettet, blev formuleret af den amerikanske AI-forsker J.C.R. Licklider (1915-90) i 1962. Kort tid efter iværksatte det amerikanske forsvarsministerium et forskningsprojekt ved navn ARPANET, som skulle virkeliggøre nogle af de ideer, Licklider og en række andre AI-forskere arbejdede med. Det handlede bl.a. om at lave computernetværk, som kunne transportere datapakker og etablere decentraliserede sikkerhedssystemer, og motivationen bag initiativet var i første omgang at se, om man kunne skabe en elektronisk kommunikationsinfrastruktur, der kunne modstå et atomvåbenangreb fra Sovjetunionen. Det viste sig imidlertid hurtigt, at netværket var nyttigt på mange andre områder, bl.a. til vidensdeling og interne emails. Universiteter begyndte at opføre interne netværk, intranet, og i løbet af 1980’erne blev mange af de separate netværk fra forskningsmiljøerne samlet sammen til stadig større netværk. “Det globale hypertext-projekt”, også kaldt World Wide Web, blev startet i 1990 af CERN (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire), der begyndte at forbinde tekstsider til hinanden via hyperlinks. Siderne og deres henvisninger kunne så læses af mennesker helt andre steder på kloden, alene med en



browser og simple klik med musen. Det var så stor en succes, at der i de følgende år blev lavet millioner og atter millioner af offentlige og private hjemmesider, der alle blev koblet til det store internet.

Internettets infrastruktur kan ses som en digital udgave af et økosystem. Det består af et væld af individuelle komponenter, som organiserer sig i en fødekæde af informationer. Der dannes relationer og separate cybersamfund, som kan være ganske utilgængelige og uforståelige for fremmede. Emails og WWW indeholder ingen strukturelle begrænsninger for, hvad der kan kommunikeres for eller med, og alverdens subkulturer har fundet et ideelt tilholdssted i computernetværkets uendelig mange nyhedsgrupper, emails, diskussionsfora, spilsere og websider. Men som ryggrad for internettet ligger der et kompliceret netværk af netudbydere (eller ISP'ere, Internet Service Providers), routere, satellitter og kabler, som danner de store og små blodårer, der transporterer budskabet frem til modtageren. Hver time bliver der atter og atter koblet tusinder af enheder og optiske fibre på dette

◀ Hvordan ser internettet ud? Linjerne viser de veje, en email kan tage hen over nogle af de største netværk. Hver forgrening svarer til en ny netværksrouter, og farverne svarer til det geografiske område, hvor routerne står.
Patent Pending & Copyright © Lument Corporation. All Rights Reserved.

pumpende legeme, og der findes intet centralt organ, som organiserer eller styrer det kaotiske filament af tilslutninger.

De kulturelle konsekvenser af internettet var og er enorme. Man talte ikke længere om industrisamfundet, men om informationssamfundet og videnssamfundet. Man begyndte at kunne købe ind via sin hjemmecomputer, sende egne tekster og billeder til kolleger, venner og familie via computer, hente alverdens informationer, nyheder og meninger fra online databaser. Man kunne lave wikier og blogs, og man kunne spille grafisk meget avancerede computerspil mod hinanden. Kombineret med trådløse og mobile enheder er den totale digitalisering af hverdagen kommet inden for rækkevidde. Et "globaliseret" samfund, hvor ikke blot passiv modtagelse af alverdens informationer, men også aktiv vidensdeling og samarbejde er blevet mulig i internettets kringelkroge. Denne bog er f.eks. blevet til i et samarbejde online, ved hjælp af en wiki og en række blogs.

Sideløbende med den enorme eksplosion i antallet af computere udvikledes en anden teknologi, der har haft mindst lige så stor betydning for det globaliserede informationssamfund som internettet. Denne teknologi er i modsætning til computeren gammel og velkendt, nemlig den trådløse telefoni. Var elektroingeniøren Nikola Tesla (1856-1943) blevet født et par årtier før Alexander Graham Bell (1847-1922), havde historien måske set anderledes ud. Telefonerne ville for længst have været 100 procent trådløse, og samtaler over kontinenterne ville være båret af frit svævende radiobølger i stedet for de samme elektriske pulser, som Bell brugte i sin egen kobbertrådtelefon fra 1876. I stedet har man ventet i knap 100 år på, at Teslas opfindelse af telekommunikationen fra 1893 er blevet hvermandseje i form af mobiltelefoner. Siden er det gået stærkt. Internettet har åbnet for et kolossalt spektrum af muligheder for at bruge disse mobile enheder, som i kombination med avanceret computerteknologi strømmer ind over markedet.

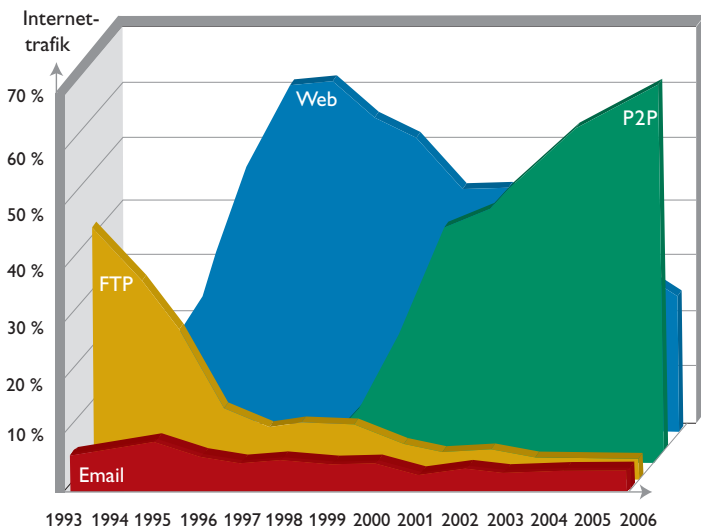
Der er sket så meget, at Nikola Tesla end ikke i sin vildeste fantasi kunne have forestillet sig omfanget af de anvendelser, vi nu har fået. Og det betyder ikke så lidt. For kroatiskfødte Tesla, der boede i USA, var en fantast. Han lavede ikke kun 41 meter høje kunstige lyn og byggede fjernstyrede både, han iværksatte også arbejdet på et stort trådløst telekommunikationstårn på Long Island, der skulle levere lyd, billeder, vejrudsigter og aktiekurser til

alle Amerikas borgere – et projekt, som dog senere blev droppet på grund af arbejderopstand og finansieringsproblemer. Men Tesla havde ret. Han var opfinderen, der i dag er næsten glemt, og som oven i købet er blevet overtruffet af historiebøgernes ukorrekte oplysninger om, at det var italieneren Guglielmo Marconi (1874-1937), der var den første, der opfandt den trådløse telefoni i 1895.

Teknologisk set er trådløs kommunikation ganske simpel. Den baserer sig på radiobølger. De fleste radiotransmissioner indeholder to komponenter: en bærebølge og et signal. Bærebølgen kan forstås som et køretøj. Det er den frekvens, man indstiller sin radio til. Signalet er så passageren. Det kommer fra en mikrofon, et tv-kamera eller en internetforbindelse. Signalet er påtrykt bærebølgen i en proces, som man kalder modulation. Den hyppigste måde at modulere på er FM (frekvens modulation), og den gør, at bærebølgen spredes proportionalt med signalets overførselshastighed. Et 10.000 bps (bits pr. sekund) budskab vil f.eks. få bærebølgen til at spredes med 10 KHz til hver side. Det er derfor, at radiostationernes frekvenser skal være adskilte fra hinanden.

En af årsagerne til, at mobiltelefonen ikke har haft tiden med sig før nu, er, at etableringen af et globalt mobilt netværk, hvor alle kan ringe til alle, kræver et enormt udviklingsarbejde i infrastruktur. Alle de mange elementer, som skal gøre teknologien enkel at anvende, bliver nødt til at passe sammen. Og mens firmaer kæmper for at blive enige om fælles protokoller og standarder, og mens ingeniører er godt i gang med at planlægge og bygge, kommer der pludselig en ny teknik, som er endnu bedre og endnu stærkere, men som kræver en helt anden infrastruktur. Det problem har man til en vis grad allerede haft i overgangen fra de forskellige mobiltelefon-generationer. I slutningen af 1980'erne startede man med analoge mobiltelefoner, som overførte almindelige tovejs FM-radiobølger, der var moduleret til at passe til lyden af menneskets stemme. Fra begyndelsen af 1990'erne brugte man andengenerations mobiltelefoner, der omdanner lyden til samlede bits af data, dvs. til digital form, som så blev båret af modulerede radio- eller mikrobølger. Samtalerne kunne på denne måde presses bedre sammen, og selvom lyden blev en del dårligere end hos de analoge forgængere, kunne teleselskaberne presse flere kunder sammen på mindre båndbredde og dermed tjene flere penge. Den lave båndbredde er dog et problem, fordi man kun kan overføre lavinformationsdata som f.eks. lyd og simple tekststrengene.

Internetbrugere udviklede hurtigt fildelingsprogrammer som f.eks. Napster og Kazaa, som blev brugt til at dele mp3-filer og videoer med. Det førte til en række retssager, fordi kunstnere følte deres ophavsret krænkede. Selvom nogle af programmerne blev forbudt, viste de vej til mere sofistikerede peer-to-peer (p2p) fildelingsprogrammer som f.eks. BitTorrent og eDonkey, der var langt sværere at erklære ulovlige. I et studie fra 2005 viste det sig, at p2p-trafikken over internettet allerede i 2003 havde overgået både FTP-, email- og web-trafikken. Andrew Parker: "P2P in 2005", www.cacheloc.com.



Den enorme vækst i antallet af private computere, mobiltelefoner og internetfirmaer skabte i nogle år en hektisk økonomisk overvurdering af hele den digitale telekommunikationsindustri. Det blev kaldt dotcom-boblen, og da den brast i 2001, gik mange nystartede firmaer konkurs. Der fulgte en periode med mere besindig vækst, og nye udviklinger – bl.a. indførelse af fælles trådløse netværksstandarder, gps-teknologier og billige trådløse sensorer – har fået det digitale marked til igen at tro på fremtiden. Disse teknologier forventes at blive integreret i en lang række produkter og dermed danne basis for “kloge” netværk, der kan tilpasses individuelle behov. Desuden har fremkomsten af bruger-genereret indhold via blogs og wikier skabt en understrøm af langt mere differentieret og specialiseret kommunikationskultur, hvor man i stedet for at downloade indhold fra store “broadcast” mediehuse taler direkte til hinanden – fra bruger til bruger.

De digitale udgaver af produkter som skrift, musik, fotografier og film har udfordret den klassiske forståelse af, hvad “produkt” og “ejerskab” overhovedet er for størrelser. Man kan jo ikke rigtig eje de nuller og etaller, som det nyeste hit består af. Eller kan man? Selv de mest almindelige ting og materialer er begyndt at blive betragtet ud fra en informationsnetværkstanke. Når man f.eks. køber en cd, køber man i virkeligheden tre ting: den information, som den indeholder, det fysiske materiale, hvorpå informationen er trykt, og den kontrakt, ifølge hvilken man har licens til at se informationen, dog uden at man må kopiere eller mangfoldiggøre den. Med informationsalderen får det fysiske medie stadig mindre betydning, da det vil være udskif-

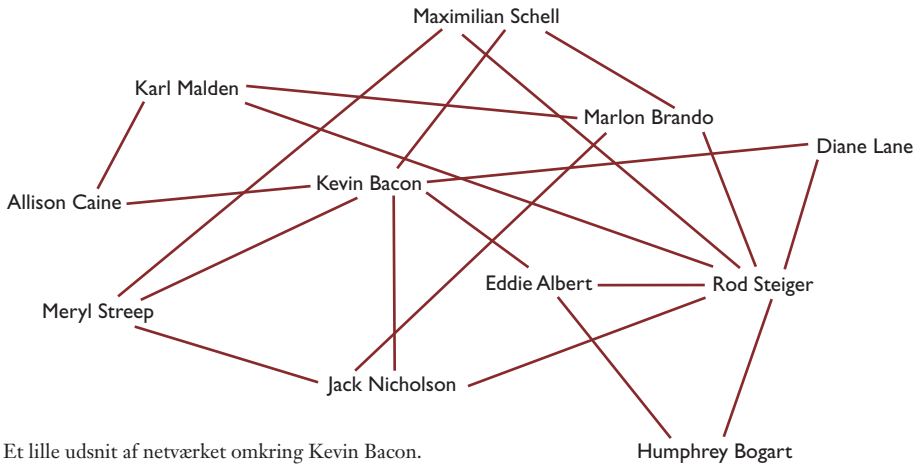
teligt i det uendelige – som når man overfører sine data fra én harddisk til en anden. Flere og flere objekter – det være alt fra telefoner til film – bliver derfor ikke længere solgt, som ting man kan eje, men som licenser og abonnementer, hvor man kun køber retten til at holde atomerne i en specifik og ophavsretsmæssigt beskyttet konfiguration.

Digitaliseringen har også fået konsekvenser for en lang række professioner, som tidligere var knyttet til specifikke materialer og kompetencer. Forskeren skal pludselig være programmør, arkitekten skal bruge kompliceret visualiseringssoftware i stedet for at tegne, og musikeren skal nærmest være systemanalytiker i stedet for blot at kunne spille på et instrument. Der er ingen tvivl om, at den digitale overtagelse af de gamle analoge kommunikationsteknologier – såsom breve, telefoner, tv og kassettebånd og mange, mange flere – har haft en enorm betydning for den sociale og økonomiske udvikling. Og den vil blive ved med at transformere samfundene i lang tid fremover.

Små verdener

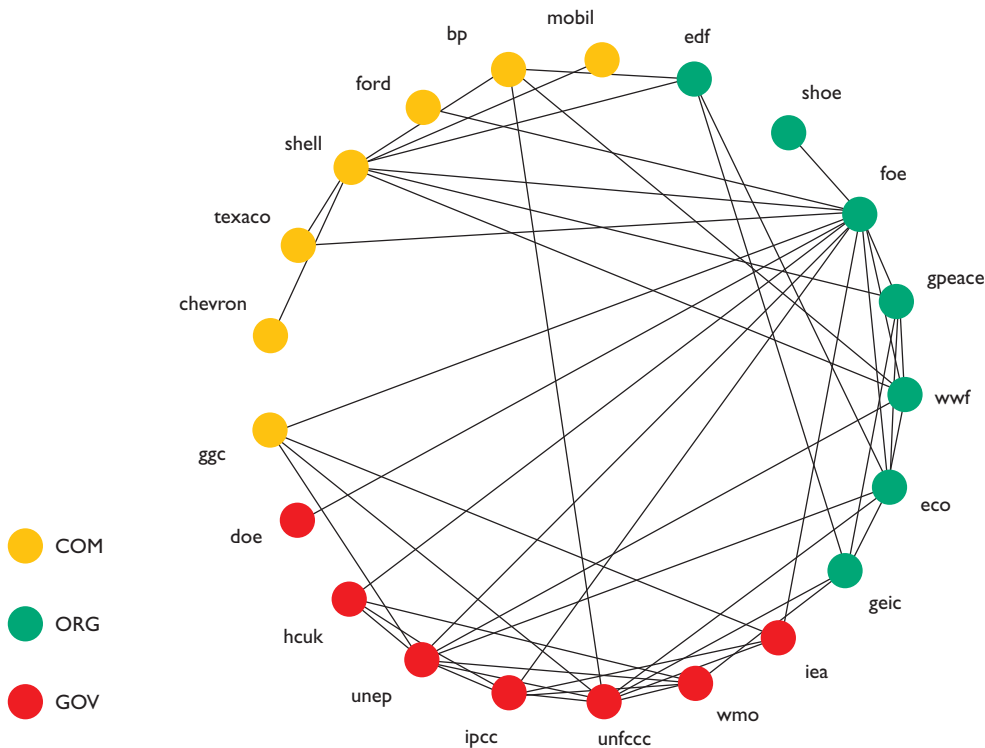
Internettets store databaser og massive online-communities har gjort, at ikke kun sociologer, men også fysikere er begyndt at studere dynamikken i sociale netværk.

I 1930'erne opfandt psykologen Jacob Moreno (1889-1974) som den første nogle sociogrammer, hvorved han kunne repræsentere folks sociale forbindelser ved hjælp af simple prikker og linjer. Det var dog en meget besværlig metode, idet et enkelt sociogram krævede mange timers interview. I midten af 1960'erne lavede den kontroversielle amerikanske socialpsykolog Stanley Milgram (1933-84) de første konkrete forsøg, hvor han fik forsøgspersoner fra Nebraska til at sende almindelige gammeldags breve til en, der måske kendte en osv., for til sidst, med lidt held og dygtighed, at nå frem til en bestemt person i Boston. Milgram kunne vise, at det ikke krævede mere end seks led at komme i kontakt med hinanden. Resultatet af denne forskning går under navnet "Six Degrees of Separation", og det er senere blevet vist, at det faktisk gælder alle mennesker her på kloden. Man vil i princippet, hvis man er dygtig, altid kunne finde en ven, som har en ven, som har en ven, som har en ven, som har en ven, som kender den person, man netop er ude efter at møde – hvad enten det er en bonde i Tadsjikistan eller en



præst på Påskeøerne. Det er med andre ord en lille verden, vi lever i. I dag er man i stand til at analysere ekstremt store sociale netværk, og de viser alle det samme “lilleverdens-fænomen”: mennesker samler sig i sociale grupper, som er meget tæt forbundne, mens der grupperne imellem kun er få forbindelser, men netop nok til at forbinde alle til alle. Det er derfor ikke så underligt, at vi ofte møder mennesker med en fælles bekendt. Vi har slet ikke så stort et udvalg, som vi går og tror. Og vi vil altid kunne bruge vores netværk. I 1990 producerede amerikaneren John Guare (f. 1938) et Milgram-inspireret teaterstykke, *Six Degrees of Separation*, der handlede om amerikanernes besættelse af berømtedder. I 1993 blev stykket filmatiseret, og få år efter kunne man købe spillet *Six Degrees of Kevin Bacon Game*, hvor man skal finde den korteste afstand mellem to skuespillere. F.eks. har Elvis Presley spillet sammen med Edward Asner i *Change of Habit* (1969), som har spillet sammen med Kevin Bacon i *JFK* (1991). Derfor har Elvis Bacon-nummeret 2. Den samme leg findes blandt matematikere, hvor tallet hedder Erdős-nummeret, opkaldt efter den højt produktive ungarske matematiker Paul Erdős (1913-96).

Den stærke niche-dannelse blandt dyrearter, som man kender fra biologien, synes altså også at gælde internt for mennesket, hvad angår sociale og kulturelle tilhørsforhold. En række undersøgelser af salget af politiske bøger på amazon.com i begyndelsen af det 21. århundrede viste således, at køberne opdelte sig konsekvent i to politiske grupperinger, som internt havde et stærkt fællesskab, men som ikke snakkede med hinanden på tværs. Den ene



Undersøgelse fra 1998 af hvem der linker til hvem i klimadebatten. .gov-siderne refererer stort set kun til hinanden; .org-siderne er meget omfattende og selektivt liberale, og .com-siderne omtaler aldrig hinanden (fordi de er konkurrenter), ligesom de er endnu mere selektive i deres links end .org-siderne.

gruppe købte bøger, som var kritiske over for USA's udenrigspolitik, og den anden købte bøger, som var positive over for USA's udenrigspolitik. Men de to grupper købte aldrig hinandens bøger. Det viser, at begrebet "offentlighed"

kan være en meget balkaniseret størrelse, der bl.a. er kendetegnet ved, at grupper af mennesker taler til (eller forbi) hinanden i stedet for med hinanden, bruger forskellige ord, tankesæt og værdigrundlag, og muligvis isoleres yderligere fra hinanden i tidens løb, hvilket i øvrigt er i tråd med nogle af de erkendelser, man har fra den nyere kulturteori.

Ofte er de netværk, der dannes i det offentlige såvel som i det virtuelle rum, centreret omkring bestemte emner og interesser. Det er der ikke noget underligt i, fordi folk, som f.eks. interesserer sig for skak, danner deres egne internetfora og -spillesteder, mens filatelister danner helt andre klubber og hjemmesider, hvor de kan se, bytte, købe og sælge deres frimærker. Hvad der er nyt er, at denne interesseopdeling også foregår inden for helt specifikke emner, hvor man taler om den samme ting, men med meget forskellige

hensigter, og hvor diskussionen derfor ikke længere kan betragtes som en integrerende informationsudveksling, men som kampagne- og lobby-netværk, hvor informationerne snarere disintegreres. I analyser af den internationale debat om klimaet har det for eksempel vist sig, at man kan opdele aktørerne i tre grupper: “.gov”-gruppen som er de (mellem)statsligt accepterede videnskabelige undersøgelser og resultater, “.org”-gruppen, som er ngo’ere og andre interessegrupper, samt “.com”-gruppen, som er de olie-, bil-, osv. producerende firmaer. Deres indbyrdes måde at hyperlinke på afslører, hvordan deres holdninger er, hvem de positionerer sig i forhold til, og hvem de udelukker fra det gode selskab.

Manglende links er altså et tegn for manglende anerkendelse. Hyperlinks er ikke kun neutrale springbræt til anden information på internettet, men derimod interessestyrede midler til at indlemme eller udelukke bestemte debattører. Mange lignende undersøgelser viser, at internettet giver sociologer, psykologer, antropologer, etnologer, pædagoger osv. rig mulighed for at analysere strukturen og dynamikken i sociale og intellektuelle netværk, ofte med overraskende resultater.

Rumskibet Jordan

Efter 1980 var udviklingsbanerne for de enkelte naturvidenskabelige discipliner for alvor begyndt at blive filtret sammen. Dataloger lavede biologiske replikationseksperimenter, fysikere undersøgte sociale netværk, kemikere byggede atomare overfladestrukturer, neurofysiologer bidrog med deres hjernescanninger til nye modeller for kognitiv psykologi og pædagogik, og den stadig mere intense instrumentalisering af sofistikerede eksperimenter og designs kunne ikke længere adskilles fra ingeniørvidenskaben. Ideen om, at grundvidenskab var adskilt fra anvendt videnskab, gav ikke længere mening. De videnskabelige fremskridt var blevet afhængige af hele spektret af tilgængelig viden, fra matematik over biologi til humanoria.

Geologer var ikke længe om at påpege, at det var dem, der var de første til at binde de videnskabelige discipliner sammen igen, da de mellem 1960 og 1980 begyndte at studere planeten Jordan som et integreret system. Ideer om kompleksitet og systemiske netværk var ikke fremmede for dem. Meteorologer og oceanografer havde længe haft store problemer med at forstå koblingerne mellem atmosfæren og havstrømme, og den moderne



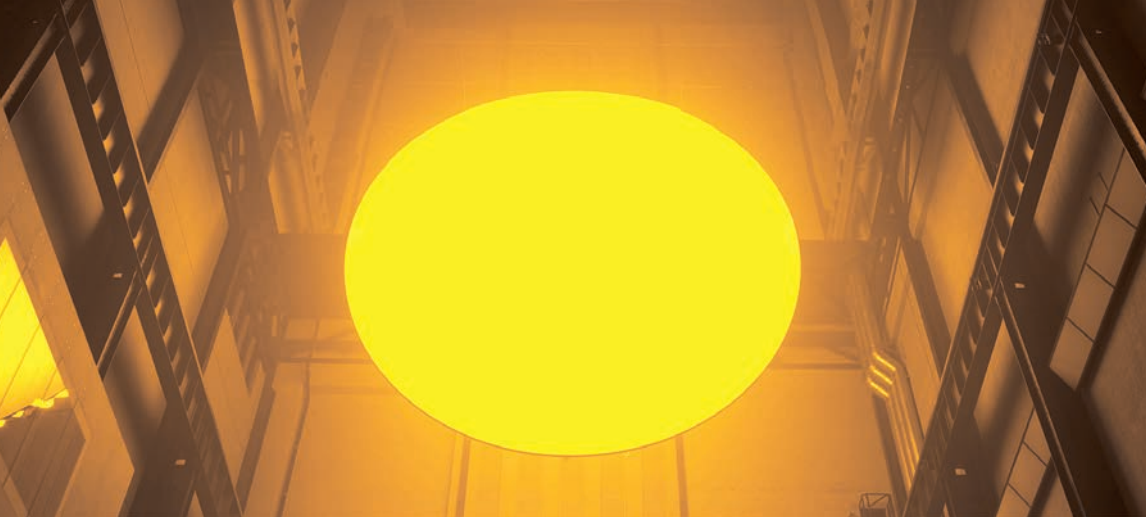
Olafur Eliassons (f. 1967) koncept for omgivelsen af omgivelserne, *Surroundings Surrounded* (2000). På modstående side ses hans *The Weather Project* (2003) © O. Eliasson/billedkunst.dk.

klimaforskning har krævet endnu mere avancerede modeller, der integrerer viden mange steder fra. Den tyske tværvidenskabelige forsker Alfred Wegeners (1880-1930) banebrydende teori om Jordens tektoniske plader var jo også blevet til via en kombination af viden fra palæontologien, zoologien, geofysikken og geologien. Man var ganske simpelt meget tidligt blevet klar over, at for at opnå banebrydende resultater, skulle der mere til end en klassisk geografuddan-

nelse. Som konsekvens har forskere i dag omdøbt hele dette store vidensfelt til “Videnskaben om Jorden og Verden” (*Earth and Planetary Science*).

Her i begyndelsen af det 21. århundrede står det klart, at der ikke længere er entydige skel mellem de videnskabelige discipliner. Udviklingen har betydet store omvæltninger for universiteterne, for hvordan kan man retfærdiggøre, at meteorologer ikke længere skal lære at beregne vejrudsigten – det ordner de automatiserede satellitter og sensorer jo – men i stedet lære computergrafik og gå til kurser i tale- og medietræning? Og hvordan skal man kunne opretholde tilpas høj akademisk kvalitet, når de studerende begynder at tage kurser i immunologi, kunstig intelligens og datalogi, selvom det egentlig er psykologi, de studerer? Hvordan kan man kvalitetssikre resultatet, dvs. lave *peer reviews* på de tværvidenskabelige artikler, uden hver gang at skulle indkalde et helt panel af eksperter fra de forskellige fagområder? Og hvad skal man kalde sin uddannelse? Er det nanofysik eller snarere biomekanik, man tilbyder de studerende?

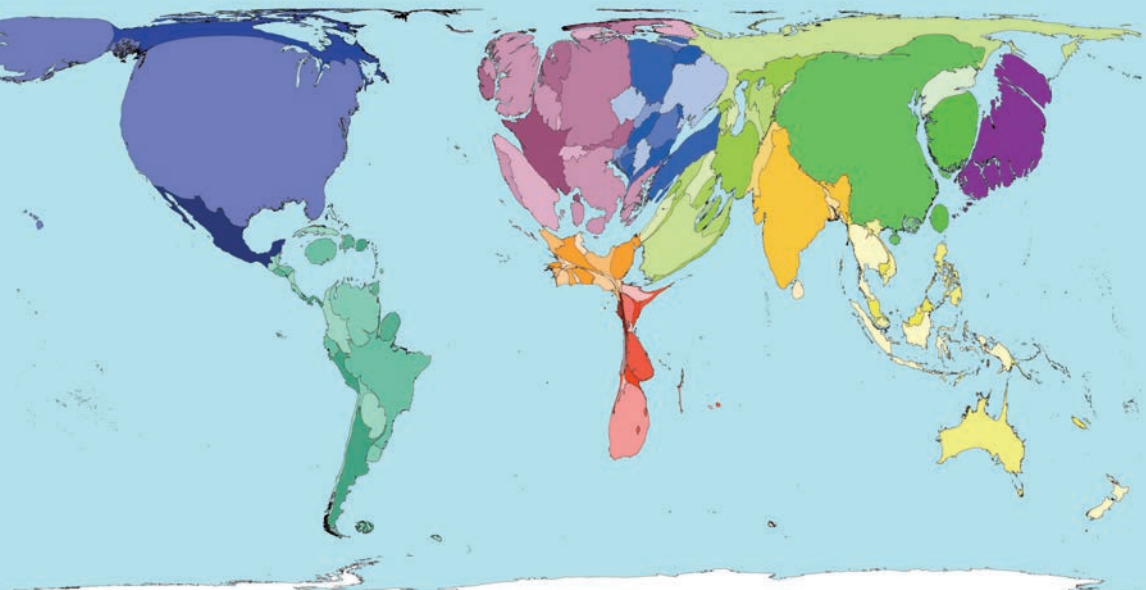
Men det er ikke kun de mange fagområder og de tværvidenskabelige forskningsfelter, der skaber filosofiske tilordningsproblemer. Selve “naturaligheden” af omverdenen – forstået som et ydre objekt, der står tilgængelig for en naturvidenskabelig analyse – er blevet til en konvention, der ikke altid holder vand. Hvornår kan vi sige, at en torsk er “økologisk”: når den er fanget i Nordsøen, eller når den er opdrættet i et dambrug? Hvornår er en seksuel orientering “ægte”: når den er genetisk eller socialt betinget? Hvornår er et



naturreservat “naturligt”: når det er uberørt, eller når det er kunstigt skabt? Ofte er vores “naturlige omverden” allerede selv en konstruktion, der er blevet installeret af naturvidenskabernes og kulturernes evne til at genskabe de ønskede virkeligheder. Naturen er “omgivende omgivelser”. Man står ikke længere målløs foran de naturromantisk stiliserede helheder. Man nyder implantater og proteser, der ligesom et klimaanlæg forlængst har produceret det efterspurgte arrangement.

Til hele denne perlerække af problemstillinger følger sig en offentlighed, der på en helt anden måde end tidligere er interesseret i naturvidenskaben. Komplexiteten i det videnskabelige arbejde har også givet råderum for politisk fortolkning. Videnskaben er på mange måder blevet tvetydig og vag. Den kan bruges og misbruges. Den er i højere grad end tidligere blevet en del af kulturen, hvilket er kommet som en overraskelse for dem, der har været vant til kun at høre om “sandheder” fra videnskaben. Dem, som har villet bruge forskningen til at rådføre politikerne med, har måttet erkende, at naturvidenskaben ikke længere har nogen speciel status i forhold til andre politiske temaer. Det har været det endelige dødsstød til ideen om, at den videnskabelige proces på en eller anden måde er isoleret fra de daglige kampe om legitimation og indflydelse, fordi naturvidenskaben jo har en historisk overlegen status, som burde give en naturlig autoritet, også i medierne og i parlamenterne.

Men tværtimod. Når man står over for komplicerede beslutningsprocesser i et udviklet demokrati, viser det sig, at det videnskabelige argument er blevet lige så partisk som lobbyisternes argumenter i Bruxelles og Washington



Det kan nogle gange være brugbart at gen-tegne verdenskortet på en måde, hvor landenes størrelse gøres afhængig af noget andet end deres overfladeareal. Sådanne kort kaldes kartogrammer og kan være effektive måder at vise f.eks. sociale data på. Her ses et verdenskort, hvor landenes størrelse er proportional med deres udledning af drivhusgasser i 2005. Man kan tydeligt se de store uligheder mellem USA og Europa på den ene side og Afrika og Sydamerika på den anden. Mark Newman/www.worldmapper.org

DC. Og ofte værre end det. Flere sociologer har vist, at naturvidenskaben ofte spiller rollen som den nyttige idiot, fordi det er så nemt at gemme en politisk eller ideologisk agenda bag videnskabelige fakta. Utallige forskningsartikler har også konkluderet, at forsøgene på at formidle videnskabelig viden i form af oplysende videnskabsjournalistik og offentlige

debatter – med det formål at løse politiske stridigheder – ofte ender i endnu større kontroverser og fastlåste positioner. I langt de fleste tilfælde ender den offentlige dialog i en arena af spin, hvor der søges gennemsigtighed, men hvor resultatet er forvirring. Offentlige debatter med videnskabelige argumenter for og imod kan også bruges til at fjerne ansvaret fra dem, som i sidste ende tager beslutningerne, fordi der skabes et marked af meninger og følelser, fra hvilket den ansvarlige minister så kan vælge efter forgodtbefindende. Så det videnskabelige argument har bestemt ikke vist sig at være løsningen på komplekse beslutningsprocesser.

Her er præmieeksemplet igen geofysikken, eller mere præcist klimaforskningen. På trods af en overvældende mængde data om klimavariationer, drivhusgasser og fossile brændstoffer, var forskerne i starten uenige i

fortolkningen af deres virkninger. Var rumskibet Jorden på vej mod en ny istid, var den ved at blive en stor ørken, eller var klimaændringerne blot et udtryk for naturlige variationer? Og selvom flertallet efterhånden er blevet enige om, at mennesket bærer en stor del af ansvaret for klimaets forandringer, er der langt fra enighed om, hvad der skal gøres. Det blev udnyttet, og den gode videnskabelige praksis om altid at lade kritik og skepsis komme til orde blev et redskab i hænderne på folk, som ikke var interesserede i at ændre på noget som helst – eller også på det hele. En masse røg og varm luft blev således ikke kun udledt af industrien i form af drivhusgasser, men også via de globale medier, først i form af overdreven skepsis og blændværk, senere som hysteri og hovsaløsninger.

Videnskab er en erkendelsesproces, som skaber en relation mellem, hvad vi kan forstå og repræsentere, og hvad vi oplever “ude i virkeligheden”. Det er en udvidelse af oldtidens kartografi, hvor man dog ikke blot bruger en fjerpen til at tegne sine kort over verden med, og heller ikke kun tegner det, man kan se med det blotte øje. Naturvidenskabens filosofiske historie fortæller især om, hvordan vi ustandseligt har udvidet vores repræsentationsformer – tallet, sproget, kortet, skriften, logikken, tegningen, algebraen, beviset, bogtrykket, fotografiet, naturlovene, diagrammet, eksperimentet, scanningen, computerprogrammet, simulationen – og brugt dem til at opdage nye dimensioner af virkeligheden og diskuteret med os selv og verden om, hvordan de kan forstås. Gennem dem har vi udvidet vores erkendelsesmæssige repertoire, fået nye ideer og er kommet nærmere en forståelse af det ukendte. Og der er intet, der tyder på, at vi er ved vejs ende. Tværtimod. Vi er lige begyndt.