

to vidt forskellige ting. Ganske små forskelle kan være ansvarlige for udvælgelsen af helt andre udviklingsbaner. Det er derfor ofte kun muligt at belyse de kvalitative aspekter, det vil sige fænomenernes meget generelle karaktertræk, mens det er umuligt at forudsige det helt præcise udfald på et senere tidspunkt. Man kan kun lave forudsigelser for den meget nære fremtid. Det er f.eks. også derfor, at forudsigelser om klodens klima er ekstremt svære at lave. Vil der komme en ny istid? Hvordan vil drivhuseffekten påvirke Europas vejr? Hvornår og hvor kommer det næste jordskælv? Ingen kender svarene med sikkerhed.

Kendetegnende for ikke-lineære systemer er, at deres udfoldelse i tid og rum pludselig kan spaltes op i to eller flere mulige baner. Antallet af disse såkaldte "bifurkationer" kan stige så meget, at man til sidst har det rene kaos – et ragnarok, hvor ingen udviklingsbane er mere sandsynlig end den anden. Den russiske matematiker Andrey Kolmogorov (1903-87) kunne således i 1959 formulere endnu et entropi-begreb, som kvantificerer mængden af den manglende viden, vi har om de kaotiske udviklingsbaner. Igen er der her tale om en slags negativ bevisførelse: vi kan måske ikke vide, hvor systemet befinder sig i en bestemt fremtidig situation, men vi kan måle graden af informationstab for hvert enkelt trin. Og det er på mange måder lige så godt, fordi det kan bruges til at finde ud af, hvor meget information, der som minimum er tilbage, hvilket igen kan bruges til at sætte en øvre grænse for komprimeringen af data og til at finde det kortest mulige program, der kan genskabe disse data.

Modsat Shannons entropibegreb, som kun beskæftiger sig med et signals gennemsnitlige information, er Kolmogorovs entropi et mål for et individuelt objekts absolutte information. Også de amerikanske matematikere Ray Solomonoff (f. 1926) og Gregory Chaitin formulerede lignende "algoritmiske", dvs. mekanisk beregnelige, måleredskaber for kompleksiteten af data, hvorfor hele feltet i dag har flere navne, alt efter skole og behag: algoritmisk informationsteori, algoritmisk sandsynlighed og algoritmisk kompleksitet.

## Naturens fraktale geometri

Kaotiske attraktorer har en fraktal natur. Ordet fraktal kommer af latin, hvor "frangere" og "fractum" betyder henholdsvis "at bryde" og "at være brudt op". Det blev opfundet af matematikeren Benoit Mandelbrot (f. 1924) i 1975, hvor han viste, at utrolig mange naturfænomener og objekter bedst

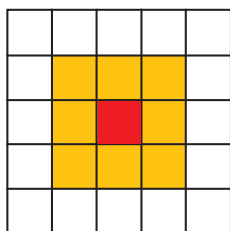
En fraktal med form som et bregneblad. Hvis man zoomer ind på et enkelt udsnit, vil man kunne se, at bladets geometriske form med små variationer gentages i det uendelige. Dette kaldes selv-similaritet og viser, at en fraktal kan generere uendelig komplekse geometriske figurer ud fra blot en enkel algoritme · Larry Bradley.



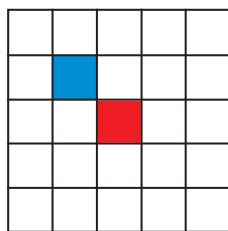
lader sig beskrive ved hjælp af en fraktal geometri. Kendetegnen for en fraktal er, at dens kant er uendelig ru og derfor uendelig lang, hvis man vil gøre sig det besvær at tage et uendelig fint målebånd og måle omkredsen. Den danske kyststrækning er derfor i princippet også uendelig lang – for hvis man kunne gå ned til det enkelte sandkorn og måle længden, ville der åbenbare sig sprækker og kløfter af alle størrelsesordener. Hvis man forstørre en fraktal, vil man altid genfinde lignende strukturer. Fraktaler er derfor “selv-similære”, og man har defineret deres dimension til at kunne være “brudt”, dvs. eksempelvis 1,5 eller 0,7 i modsætning til f.eks. et stykke papir, der altid har den heltallige dimension 2.

Der er utrolig mange naturlige former og ikke-lineære systemer, som har en fraktal-lignende struktur, f.eks. skyer, bjerge, planter, galakser, vejr, lunger, blodkredsløbet, hjernen osv. Noget af deres fascinationskraft består formodentlig i, at man kan genfinde et billede af helheden i hver af dens dele.

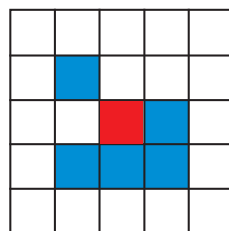
John Horton Conways “Game of Life” giver nogle simple regler for, hvordan de enkelte celler i gitteret skal udvikle sig over tid. Resultatet kan være meget komplekse strukturer, som kan formere sig og bevæge sig hen over gitteret, alt efter hvilken startkonfiguration, man vælger.



Hver celle har 8 naboer (de gule celler), og kan være enten ubeboet eller beboet (den røde celle)



Hvis en beboet celle har 0 eller 1 nabo, dør den pga. ensomhed.



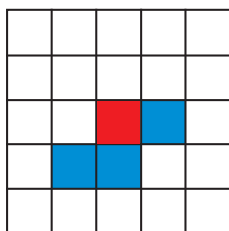
Hvis en beboet celle har 4 til 8 naboer, dør den pga. overbefolkning.

Men hvis naturen er fraktal og ikke-lineær, og hvis fraktaler og ikke-lineære systemer er noget, der har med udfoldelsen af et program i tid og rum at gøre, hvorfor kan man så ikke forestille sig, at hele universet er ét stort program? Og når det er tilfældet: må alle andre processer i universet så også forstås som programmer, der udfoldes i tid og rum? Ja, måske bestemmer programmet ligefrem tidens retning og rummets form? Kan man mon finde universets kildekode?

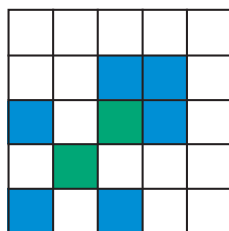
En lang række videnskabsmænd har spekuleret i den retning. Man har også forsøgt at udvikle nogle computerprogrammer, de såkaldte cellulære automater, der skal kunne simulere kompleksiteten af "universet" ud fra nogle meget simple programmer. Cellulære automater er diskrete dynamiske systemer, hvis opførsel udelukkende er defineret af lokale regler. Deres udfoldelsesrum er repræsenteret ved et skakbrætlignende gitter, hvor hver celle i gitteret indeholder nogle data, der kan skifte tilstand, alt efter hvilken tilstand nabocellerne er i. Reglerne for cellernes opførsel kan slås op i en lille tabel, hvorudfra computeren beregner de nye tilstande for hvert nyt tidstrin. Systemets regler er derfor meget simple, ensartede og lokale. På trods af det kan cellulære automater udvise ekstremt komplicerede mønstre, inklusive kaotiske attraktorer, såkaldte grænsecykler og fraktal selv-similaritet. Deres opførsel er irreversibel og uforudsigelig og kan i visse tilfælde minde om levende systemers udvikling, som det f.eks. er blevet foreslået i forbindelse med matematikeren John Horton Conways (f. 1937) "Game of Life" fra 1970.

Den første cellulære automat blev udtænkt af den polske matematiker Stanislav Ulam (1909-84) sent i 1940'erne. Men det blev især Ulams kollega, ungarenen John von Neumann (1903-57), der arbejdede videre med ideerne. Von Neumann var klar over, at der findes en tæt forbindelse mellem

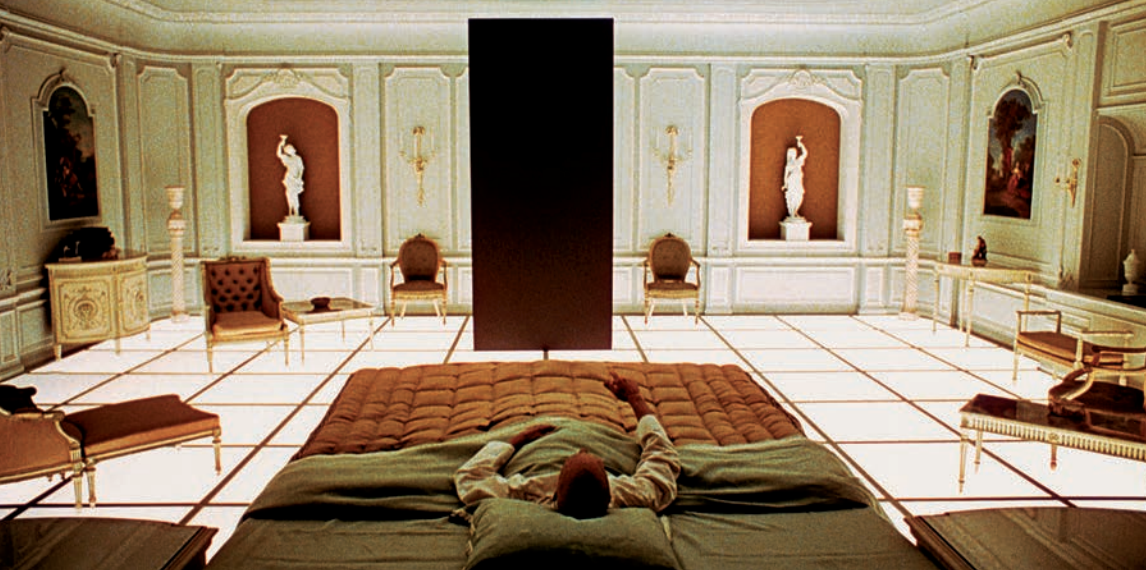
cellulære automater og Gödels og Turlings arbejder, fordi de havde vist, at den formelle logik kan repræsenteres som rekursive algoritmer, der kan beregnes af en Turingmaskine. Og når det er tilfældet, kan den matematiske logik analyseres via cellulære automater.



Hvis en beboet celle har 2 eller 3 naboer, overlever den til den næste generation.



Hvis en ubeboet celle har 3 naboer, sker der en "fødsel", og den bliver beboet.



Baseret på Alan Turings ideer arbejdede John von Neumann også med at bygge en selv-reproducerende maskine, som han kaldte for en "kinematon". Den skulle have den fantastiske egenskab at kunne reproducere en hvilken som helst maskine, der kan beskrives ved et program – således skulle den også kunne bygge en kopi af sig selv. Ideen blev blandt andet brugt af Stanley Kubrick (1928-99) i filmen *2001 – A Space Odyssey*. De sorte monolitter begynder at dukke op flere forskellige steder i løbet af filmen og reproducerer øjensynligt sig selv, indtil det viser sig, at deres eksponentielle vækstrate til sidst tillader dem at transformere Jupiter til en ny stjerne. Scenen, der skulle forklare sammenhængen med von Neumanns kinematon, blev dog klippet ud af den færdige film. © Turner Entertainment Co. A Warner Bros. Entertainment Company. All Rights Reserved.

Mange mennesker var (og er) skeptiske over for, om man nogensinde vil kunne bygge en maskine, der kan gøre nærmest hvad som helst, inklusive at tænke ligesom mennesket. Von Neumanns svar på denne skepsis var typisk følgende: "Du insisterer på, at der findes noget, som en maskine ikke kan gøre. Hvis du fortæller mig helt præcist, hvad det er, en maskine ikke kan gøre, så vil jeg kunne lave en ma-

skine, som kan netop det!" Pointen er med andre ord, at hovedårsagen til at vores maskiner stadig er så dårlige til at udføre bestemte ting, er at vi stadig ikke forstår disse ting i detaljer. Det kan, som vi har set, også skyldes, at maskinerne ikke kan gennemføre opgaven i et endeligt antal trin. Men at bruge Gödels ufuldstændighedsteorem, ubestemmelighed, Turingmaskiner som aldrig stopper osv. hjælper ikke rigtigt, fordi den menneskelige hjerne eksisterer – og den tænker jo faktisk.

Von Neumann vidste, at den menneskelige hjerne opererer i en situation af manglende viden og fejlfinding. Derfor måtte hans maskiner også operere med ufuldstændig information og fejl. Men da den matematiske logik på daværende tidspunkt hverken accepterede støj eller gråzoner og kun beskæftigede sig med deterministiske operationer i en idealiseret ja/nej verden, var

det svært at inkludere muligheden for fejlfunktioner i komponenterne. Von Neumann arbejdede længe på at udvikle en probabilistisk logik til at understøtte kontinuerte cellulære automater for selv-reproduktion, men nåede aldrig særlig langt. Igen var det Alan Turing, der var den første, som udviklede en selv-reproducerende model for biologisk mønsterdannelse. Den vil blive beskrevet i kapitel ni.

De cellulære automater har bidraget til at skifte ud i de metaforer, som fysikere typisk bruger til at anskueliggøre universets udvikling med. I dag betragter mange universet som “en fortsat beregning”, hvilket er noget ganske andet end at betragte universet som noget, der følger en lov på en formel, og som derfor kan beregnes og måske endda forudsiges. Men de cellulære automater viser, at forudsigelser beror på evnen til at finde en smutvej til det beregningsmæssige arbejde, som systemet selv udfører. Det kan lade sig gøre for meget simple mekaniske systemer, men ikke for komplekse sammenhænge – ikke engang for blot tre lige store legemer, der kredser om hinanden i et tyngdefelt.

## Den statistiske vending

Som nævnt i starten af kapitlet, blev troen på et deterministisk verdensbillede i begyndelsen af 1900-tallet ledsaget af mange pessimistiske forudsigelser for menneskeheden. Civilisationens undergang og varmedød var de dystre perspektiver. Men mellem 1920 og 1960, hvor den ene grundantagelse efter den anden opløstes i lyset fra de nye erkendelser, blev den ofte ledsaget af en mere optimistisk begehstring. At man kunne bevise nogle teorier og kende nogle love, var interessant. Men at man kunne bevise, at noget var ubeviseligt, og at man kunne vide, at der var nogle ting, som man ikke kunne vide noget om, det var højst bemærkelsesværdigt.

Således udvikledes et helt nyt koncept for forståelsen af naturen. Dette var det føromtalt koncept om information. En vigtig idehistorisk pointe i udviklingen af informationskonceptet, og alle de dertil hørende teorier i 1900-tallet, lå i, at man umærkeligt havde omdefineret ordet “tilfældighed” fra at være noget naturgivent, til at betyde “manglende viden”. Ordet tilfældighed har med andre ord ikke længere en ontologisk status, hvor “Gud spiller terninger”, men betegner en begrænsning ved vores viden og vores evne til at forudsige ting.