

hjælp af computersimulationer – kan væves sammen til langt mere abstrakte, men også langt mere udsigelsesrige teoretiske modeller.

Fra designargumenter til selvorganisering

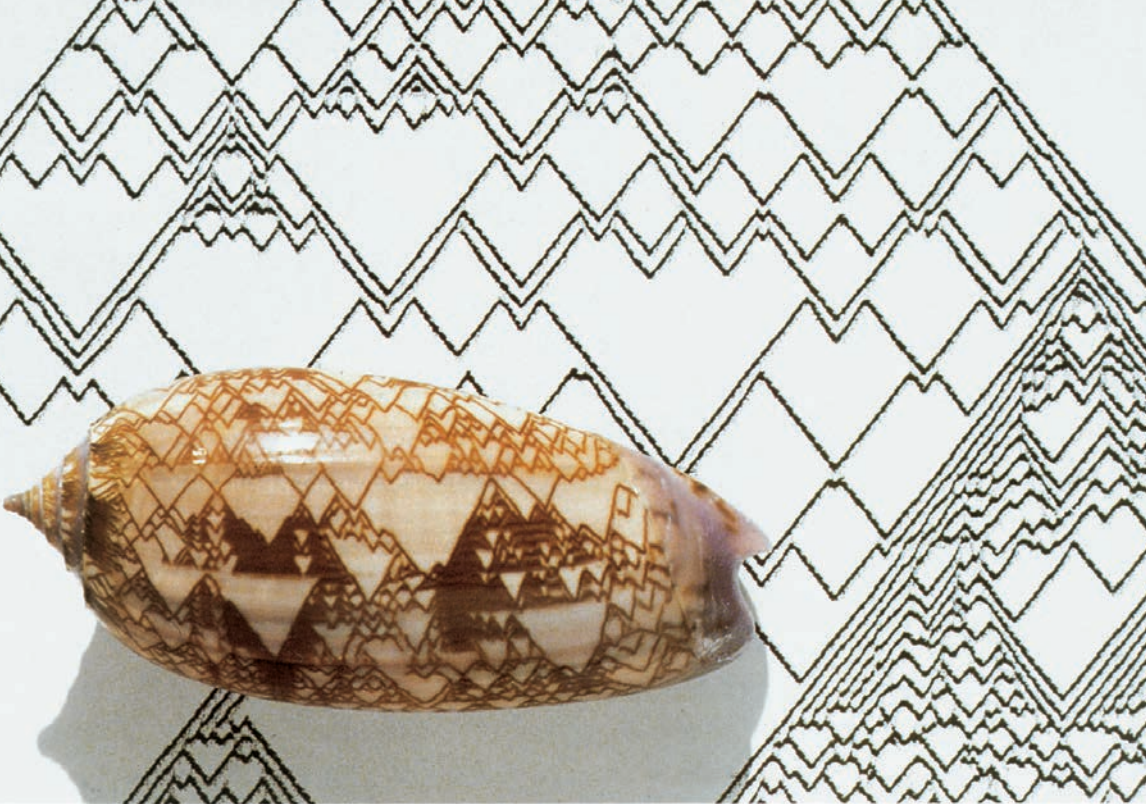
Det evolutionære princip om variation og tilpasning er ikke kun anvendeligt på arter, men på alt fra atomer over social kommunikation til universet som sådan. Det er en designproces uden en designer. Det bibeholder kun de atomer, de molekyler og de komplekse strukturer, som er tilpas fleksible og udskiftelige, idet de altid skal kunne tilpasse sig en omverden. En umiddelbar tanke er så, at hvis fleksibilitet og udskiftelighed er et afgørende kriterium for et vindende design, så er det fordi den allervigtigste egenskab for bibeholdelsen af liv ikke er materialet, det er lavet af, men formen. Og form er information. Én af hovedideerne i evolutionsteorien er tanken om den kontinuerte bevarelse af information gennem generationerne, ligegyldigt hvilket materiale der bærer budskabet. Derfor er der i løbet af den sidste halvdel af det 20. århundrede dukket flere og flere teorier op, som ikke fokuserer på byggematerialet, men i stedet kigger på de strukturelle og dynamiske processer, som kunne ligge til grund for komplekse systemers opståen og udvikling. Man spekulerer over de mulige arkitektoniske principper og de selvorganiserende netværk, som i kølvandet på kompleksitetsforskningen og forskningen i ikke-linearitet har kunnet finde en passende matematisk udtryksform. Man taler om emergens af nye kvaliteter og om autopoiesis, dvs. om materiens evne til selv at komme til live.

Allerede i 1910 foreslog den østrigskfødte matematiker og biolog Alfred Lotka (1880-1949) en hypotetisk kemisk reaktion, som han mente ville udvise periodiske svingninger. Men da den amerikanske kemiker William C. Bray (1879-1946) i 1921 som den første så sådanne svingninger i et kemisk eksperiment og offentliggjorde resultatet, var der ingen, der troede på ham. Man mente ikke, at fænomenet var foreneligt med termodynamikkens anden lov, idet dogmet jo var, at alle kemiske reaktioner uundgåeligt måtte bevæge sig hen imod den højest mulige grad af entropi, dvs. den højeste grad af “uorden”. Stabile svingninger, endsige mønstre, i kemiske blandinger – det kunne ikke eksistere. Først langt senere blev man klar over, at disse fænomener sagtens kan forenes med termodynamikken. De kemiske og biologiske processer skal blot være langt fra en termodynamisk ligevægt. Når der f.eks.

er en vedvarende stofomsætning, og der hele tiden produceres affaldsstoffer og kommer nye forsyninger til, kan mønstre og svingninger opretholdes visse steder, mens den entropiske "uorden" placeres i affaldsstofferne. Den første grundige beskrivelse af dette blev givet af belgieren Ilya Prigogine (1917-2003), der i 1977 fik nobelprisen i kemi for sit arbejde med det, han kaldte dissipative strukturer.

De mest simple ikke-ligevægtsfænomener er svingninger, simple oscillationer i tid og rum. Og det har vist sig, at netop svingninger typisk er det første trin hen imod de meget mere komplekse og dynamiske fænomener, som man sædvanligvis karakteriserer som livsprocesser. Men der skulle gå mange år, før naturvidenskaben kunne acceptere, at sådanne formodede "perpetua mobila" – dvs. pseudo-evighedsmaskiner, da der jo er tale om vedvarende stofomsætning – faktisk var i overensstemmelse med etableret viden om fysik, kemi og biologi. Den russiske kemiker Boris P. Belousov (1893-1970) opdagede f.eks. i 1951 nogle voldsomme oscillationer i antallet af cerium-ioner i sin kolbe, da han brugte dem til at oxidere citronsyre med. Artiklen blev frådende afvist af tidsskriftsredaktørerne, og først i 1958 kunne han offentliggøre sine fund gemt langt væk i mødereferaterne fra en obskur russisk lægekongres.

Lidt bedre gik det for den engelske matematiker Alan Turing (1912-54), der i 1952 fremsatte den første realistiske model for spontan rumlig mønsterdannelse ud fra vekselvirkningen mellem kemiske reaktioner og almindelig diffusion. Turing mente, at hans model kunne anvendes til at forklare de mange mønstre og former, som man kunne finde i blomster- og dyreverdenen. Som en meget simpel model forestillede han sig, at to stoffer kommer i berøring med hinanden og reagerer på en sådan måde, at et af stofferne dannes igen (og faktisk i en højere mængde, end der var fra start – det er det, man kalder autokatalyse), mens det andet stof forbruges normalt. Dette giver en selvforstærkende effekt, som ville eskalere, hvis der ikke var en hæmmende faktor. Eksplosionen af dynamit er et godt eksempel på en selvforstærkende reaktion, idet det her er ilt, der forbruges, og varme der dannes, og da nye forsyninger af ilt umiddelbart er tilgængelige fra luften, kan reaktionen fortsætte og løbe løbsk, hvis der ikke er en hæmmende faktor. Denne faktor kan være mangel på nye stoffer (med hensyn til dynamitten er det dynamitten selv), men den kan også i tilfælde af mindre reaktive kemikalier (som farvepigmenter) være simpel diffusion. Diffusion er den spred-



ningsproces, som får en dråbe blæk til at fordele sig ligeligt i et badekar med vand. Mønsterdannelse opstår altså ud fra selvforstærkende reaktioner og diffusion, og hvis der tilmed altid kommer friske forsyninger af stoffer – dem som f.eks. sommerfugle og snegleskaller producerer ustandseligt – kan resultatet blive et ret stabilt mønster af pigmenter.

I dag kaldes den slags mønstre for Turingstrukturer. De opstår spontant og er selvorganiserede. Der er ikke brug for nogen gener, som koder for de enkelte dele af strukturen. Tværtimod er hele systemet, hele opsætningen, en betingelse for skabelsen af mønstre, og omvendt er mønstrene en nødvendig følge af helt basale fysisk-kemiske vekselvirkninger. Det er sandsynligt, at de ligger til grund for en hel række mønsterdannelsesprocesser som f.eks. mønstrene på pattedyrs skind, snegleskaller og fisk, ligesom de tænkes at bidrage til styring af fostres udviklingsmekanismer og til celledeling. Turingstrukturer er også blevet anvendt til at

Snegleskaller vokser ikke ligesom, når man puster en ballon op, men snarere som en endimensional proces, fra top til bund, med det ene lag efter det andet. Kun ved kanten af skallen kan nye elementer af mønstrets pigmenter dannes, og derfor henviser ethvert punkt på skallen til et bestemt tidspunkt i dens tilblivelse. Skallen er derfor et størknet historisk aftryk af den dynamiske mekanisme, som har dannet den i første instans. På billedet ses en computerfrembragt Turingstruktur, der svarer til mønstret på snegleskallen i forgrunden. Springer Science and Business Media.

forstå dannelsen af geologiske formationer og spredning af epidemier. De kan således ses som et generelt mønsterdannende princip, hvor man kan tale om emergens, en tilsynkomst af egenskaber, der netop ikke lå i det foreliggende stof fra starten. Alan Turing sagde selv, at han ligesom Darwin ønskede at “overvinde design-argumentet”, med hvilket Thomas Aquinas (1225-74) havde ment at kunne bevise, at der lå en intelligent bevidsthed bag livets form og virke (s. 66). Turings arbejde med Turingstrukturer og de mange efterfølgende modeller for ikke-lineære systemer, dissipative strukturer og autokatalytiske netværk har grundigt udhulet designargumenterne i idehistorien og gjort udviklingsbiologien og kompleksitetsforskningen til veletablerede videnskabelige discipliner, hvor et utal af computermodeller og laboratorieeksperimenter lader mønsterdannelse og selvorganisering finde sted.

Teorier om spil, spas og samarbejde

Mod midten af 1900-tallet begyndte biologer at opdage, at der fandtes endnu et hidtil overset, men meget vigtigt element i udviklingen af den biologiske mangfoldighed, et element, som umiddelbart forekom at være i modstrid med den dominerende forståelse af darwinismen, der fokuserede på konkurrence og de stærkes overlevelse. Dette element var Kooperation. Det vil sige et gensidigt samarbejde, hvor to arter drager fordel af hinanden, ofte i så høj grad, at der udvikles en form for symbiose mellem dem. Det viste sig, at naturen svælger i symbiose og samarbejde, både inden for en art og arterne imellem. Fisk får gratis rengøring af små rejer, der spiser parasitterne på deres hud. Sønemoner giver havdyr et sikkert tilholdssted til gengæld for føde. Med nektar og pollen lokker blomster insekter til, for at planterne kan bestøves. De fleste planter er også afhængige af svampe, der lever af deres rødder, men til gengæld giver dem mineraler og næringsstoffer. Græssende pattedyr ville ikke kunne fordøje deres føde uden bakterier i deres maver. Også mennesker viser sig at være symbiotiske væsner. Bakterier lever i vores hud og i vores indre organer og påtager sig mange gavnlige opgaver: de holder farlige mikrober ude, hjælper med fordøjelsen og producerer vitaminer. Den teoretiske biolog Lynn Margulis (f. 1938) fremsatte i 1967 den teori, at menneskets mitokondrier, og i øvrigt også alle andre eukaryotiske (dvs. kerneindeholdende) cellers mitokondrier, oprindeligt var nogle frit levende bakterier, som på et eller andet tidspunkt i evolutionshistorien gik i symbiose med andre cel-