

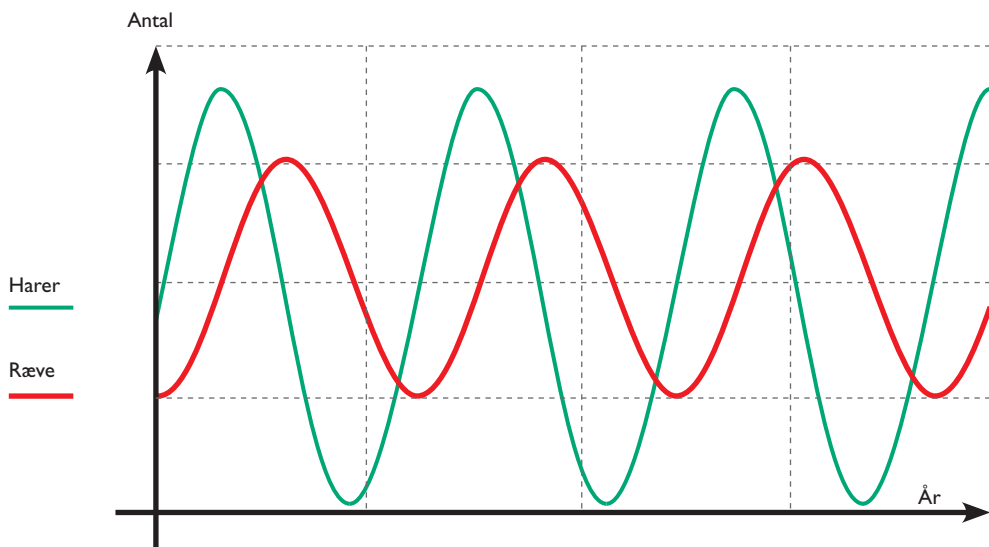
universitetet, intet var at sammenligne med de komplicerede vekselvirkninger og netværk, som man møder i virkeligheden. Kun sjældent kan man her finde en formel, som kan give en smutvej til indsigt. Tværtimod viser det sig ofte, at de interessante fænomener først opstår som resultat af mange elementers 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

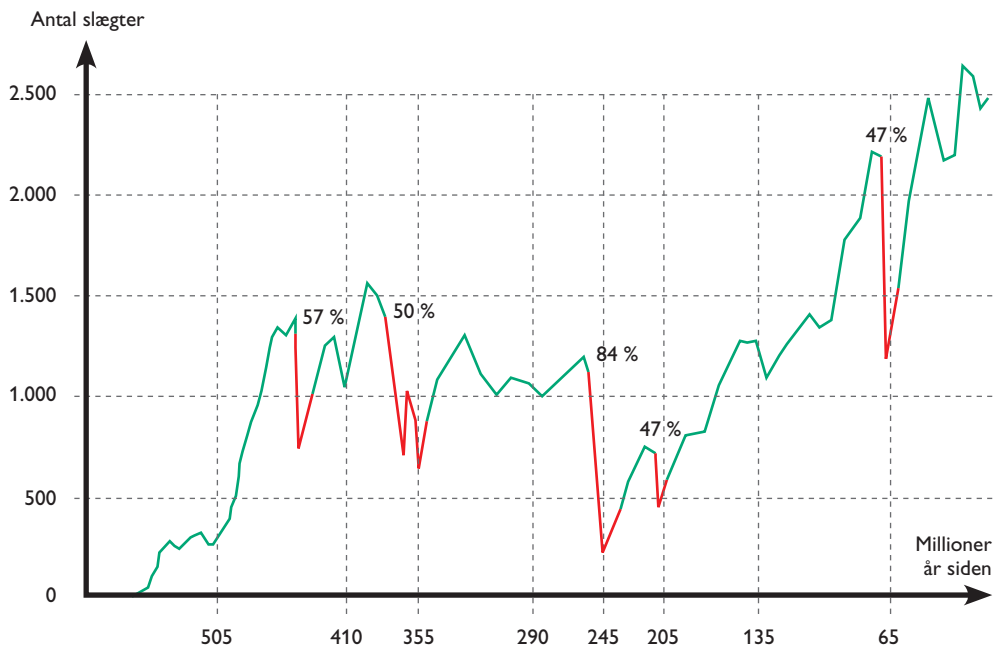


hen imod større kompleksitet. Men komplekse systemer har det med at bryde sammen.

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 slarafeland, 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 sisfyosbjerg, 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.

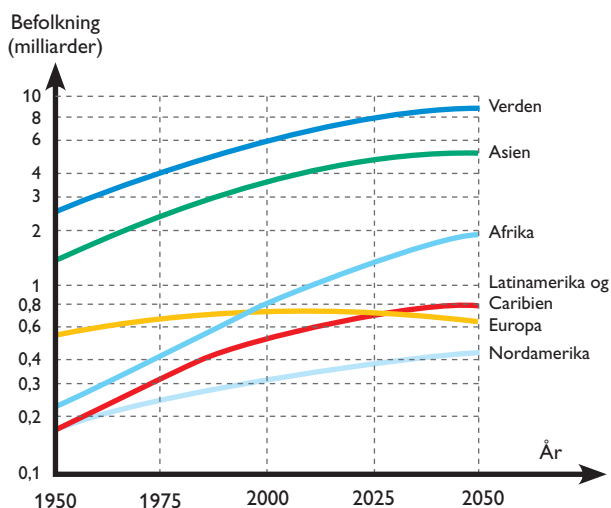
Panos Pictures, London/Dieter Telemans.

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 retfærdighedskulturene 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-ligevægtsskæbninger – 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