

# 2013

## Evolution, delprocesser i samverkan.

---

Red. Wilhelm Otto

## EVOLUTION, delprocesser i samverkan.

---

Dessa anteckningar beskriver en vetenskapens utveckling med nya begrepp, som leder till nya frågor och att man nu ser vad som funnits länge. Det är en komplex utveckling där olika processer interagerar. Denna utvecklingsspiral kan börjas med vilket led som helst. Den kan leda till en åtminstone temporärt fungerande [paradigm](#), i avvaktan på ett [större paradigmskifte](#). (Kuhn: *The Structure of Scientific Revolutions* (1962).

I här diskuterade enklaste lagar är såväl förändring som oförutsägbarhet invävd; i naturen finns självorganisation, t.ex. morfogenes i biologiska system, en kemisk reaktion kan t.ex. oscillera. Hur ser Din värld ut?

**Dessa anteckningar är avsedda att läsas på skärm.**

[http://en.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6bekli\\_Tepe](http://en.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6bekli_Tepe)

# Evolution, delprocesser i samverkan.

---

Anteckningar efter, och stundom rakt av, från ett Tv-program **Kaos i kosmos**, som bl.a. beskriver en vetenskapens utvecklingsprocess med nya & användbara begrepp, som leder till nya frågor och att man nu ser vad som funnits länge.

<http://urplay.se/Produkter/173242-Kaos-i-kosmos>

Utveckling "to take part in a severe contest between intelligence, which presses forward, and an unworthy, timid ignorance obstructing our progress" (The Economist Sept. 1843), kan påbörjas var som helst. Dessa anteckningar kan ses som ett exempel på en förändring mot utveckling, som skänker hopp till oss alla. De stöder sig i huvudsak på Tvprogrammet Kaos i kosmos. Mitt enkla bidrag är närmast att redigera några av des organisationsteoretiska begrepp.

## INNEHÅLL:

1. Frågor
2. Naturens självorganisation
  2. 1. Ett biologiskt system kan självorganisera sig
  2. 2. En kemisk reaktion kan oscillera
3. Kaos, en paradigmvältare
  3. 1. Kaos är en av vetenskapens mest ovälkomna upptäckter
4. Fjärilseffekten
5. Feedback
6. Fraktaler
7. Evolution
8. Självorganisationens förmåga
9. Entropi.
10. Ingen skapare

### **1. Frågor**

Nyligen passerade vetenskapen filosofin och ligger nu främst till att besvara den mycket enkla frågan: *How did we get here?*

I att söka svar står valet mellan det urgamla och lite märkliga svaret GUD, och att det är helt vanliga processer, som kan beskrivas med enkla ekvationer, ett fåtal av våra vanligaste grundämnen och möjligen några inslag av slumpen. Väljer man GUD som svar inkluderar det bl.a. antik magi, som sägs kunna förändra världen. Den senare vägen, däremot, är sammansatt av allsköns alldaglighet och kräver en förskräcklig massa tid. Men hur skapelsens underverk i så fall kan sättas samman av så enkla grundstenar är säkerligen den mest spännande fråga vi kan ställa oss. I dessa enklaste lagar finns förmågan att vara oförutsägbar in- vävd.

Hur kan livlös materia, utan syfte eller avsikt, spontant skapa utsökt skönhet och hur kan samma lagar, som gör universum kaotiskt och oförutsägbart, förvandla vanligt stoft till människor?

### **2. Naturens självorganisation**

Svaret på ovanstående frågor inleds med att nämna några relevanta processer. Det finns ett förhållande mellan ordning och kaos. [Alan Turing](#): "Det fanns en

matematisk grund till människans intelligens". Idén är, att den process, som pågår i ett embryo, kan få en enkel matematisk beskrivning: [Morfogenes](#), ett spektakulärt exempel på självorganisation. Före Turing hade ingen någon aning om hur det fungerade. Men 1952 publicerade Turing sin avhandling: The Chemical Basis for [Morphogenesis](#): En matematisk förklaring.

Följande citat från Wikipedia belyser situationen:

Some of the earliest ideas and mathematical descriptions on how physical processes and constraints affect biological growth, and hence [natural patterns](#) such as the [spirals](#) of [phyllotaxis](#), were written by [D'Arcy Wentworth Thompson](#) (1917)<sup>[1][2][a]</sup> and [Alan Turing](#) (1952).<sup>[3]</sup> Where Thompson explained animal body shapes as being created by varying rates of growth in different directions, for instance to create the [spiral shell](#) of a [snail](#), Turing correctly predicted the diffusion of two different chemical signals, one activating and one deactivating growth, to set up patterns of development. The fuller understanding of the mechanisms involved in actual organisms required the discovery of [DNA](#) and the development of [molecular biology](#) and [biochemistry](#). (Morphogenesis).

2. 1. Ett biologiskt system kan självorganisera sig.

En vind flyttar sandkorn. Sandkornen är i stort sett lika, men utvecklar olika former i öknen, trots att de saknar medvetande och mål för detta och kunskap om de former, de blir en del av. [Alan Turing](#) påstod att kemikalier som strömmar genom ett embryo, gör så att dess celler självorganiserar sig som olika organ. Kons fläckar på huden – [pattern formation](#).

2. 1. 1.

Ett "pattern"(mönster), som rikligen förekommer i Turings tankar är enligt Hodges en [Fibonacci](#) serie. (De två sista siffrorna i en serie adderas för att skapa en ny sista siffra). En dag, på gräsmattan vid Bletchley Park berättar en väninna till Turing hur hon fått i uppgift att ange och beskriva hur bladen är ordnade på plantor genom att följa dem nedifrån och uppåt runt växtens stam räknande antalet löv och antalet varv till löv direkt ovanför startpunkten. Dessa antal uppenbarade sig vanligen i Fibonacci serie. Plötsligt öppnades dörren och vi kunde se nya saker; matematiska modeller kan användas för att inte bara illustrera utan även analysera. Även om Turings modeller inte löste problemen så pekade han på vägen. Hodges fäster uppmärksamheten på hur Turing själv såg på detta och dessutom uttryckte det med en klarhet, som är eftersträvansvärd:

... a mathematical model of the growing embryo will be described. This model will be a simplification and an idealization, and consequently a falsification. It is to be hoped, that the features retained for discussion are those of greatest importance in the present state of knowledge. (Here quoting from AMT`s paper "The Chemical Basis of Morphogenesis", Phil. Trans. Roy. Soc. B 237 (1952).

[http://en.wikipedia.org/wiki/Synergetics\\_\(Haken\)\\_+\\_Synergetics](http://en.wikipedia.org/wiki/Synergetics_(Haken)_+_Synergetics) is an interdisciplinary science explaining the formation and [self-organization](#) of patterns and structures in [open systems](#). Den utveckling av ett system som pattern formation innebär, kan således endast ske i öppna system.

[Darwin](#) visade vad som kunde hända med en variation, men Turing antydde hur den kom dit "in the first place". Turing insåg att Skapelsens underverk utgick från enkla regler. Han tog de första stegen mot en ny vetenskap.

## 2. 1. 2. Patternformation utvecklas.

Marcus Kronforst vid Chicago Universitetet studerade hur en *Helioconius* utvecklade sina artspecifika egenskaper. Detta är en giftig fjärilsart, som utvecklat speciella teckningar på sina vingar. Dessa härmas i sin tur av andra flygfän som skydd.

Trots sin ambitiösa titel förklarar Darwin egentligen inte "the origin of species" utan snarare hur arterna förändras, vilket inte är riktigt samma sak. För att en ny art skall uppstå måste förändringen dela på sig. Det kan ske genom ett naturens ingrepp, som leder till att delarna inte återförs till varandra. Men detta är förmodligen inte tillräckligt för att förklara dagens artrikedom. I stället verkar det troligt att odelade populationer skapar nya arter. Hur det går till har dr Kronforst arbetat på i varje fall när det gäller arten *Helioconius*. Resultaten har publicerats i *Cell Reports*.

<http://www.economist.com/news/science-and-technology/21588840-how-species-separate-still-mysterious-lepidoptera-make-things>

## 2. 2. Räknas andra system som sociala eller rent av formangivande hit?

En fråga som hör ihop med det vi sysslar med här, men som inte TV-programmet tar upp, är vart sociala system skall räknas. Hör det rent av inte hit? Delvis skiljer sig sociala system från primitiva biologiska och natursystem som sanddyner, men i vissa fall uppträder de liknande. Bakom sociala förändringar spårar man vanligen någon aktörs (eller fleras) avsikt. (This business was not planned as a non-profit organisation, but it turned out ...).

Det fans aug. 2014 53 711 avhandlingar från svenska universitet och högskolor om sociala system, och sökandet på detta sökord (sociala system) gav ungefär 3 430 000 träffar, vilket ger en antydning om att begreppet är stort och mångtydigt.

## 2. 3. En kemisk reaktion kan t.ex. oscillera.

Vid samma tid en briljant rysk kemist Boris [Belousov](#) "chanced to discover an oscillating chemical reaction". ([B Z reaktionen](#)). Han undersökte hur våra kroppar extraherade energi ur socker. Han sökte efterlikna en del av glykosabsorptionsprocessen i kroppen. Kemikalieblandningen stod på bänken framför honom, klar och färglös medan han skakade den. När han blandade i den sista kemikalien ändrade blandningen plötsligt färg. Det är inte särskilt anmärkningsvärt i sig. Men sedan hände något, som inte var naturligt. Blandningen blev plötsligt åter klar och färglös. Belousov blev förvånad. Kemikalier kan blandas med varandra men borde inte kunna låta processen gå baklänges igen och separera utan hjälp. Man kan se en reaktion där blandningen går från klar till färgad, men inte att den sedan utan vidare går tillbaka igen. Och det blev ännu märkligare, blandningen börjar spontant oscillera. Med minutiös noggrannhet gjorde Belousov om försöket gång på gång. Det blev likadant varje gång. Han hade upptäckt en ny process, som tycktes strida mot naturens lagar. Vanligtvis går processen från att vara organiserad mot att närma sig [entropi](#).

2. 4. Begreppet entropi kan illustreras med en analogi.

Begreppet entropi kan illustreras med ett stökigt rum: I ett fullständigt städad/ordnat rum kan varje sak bara finnas på en plats, det vill säga det finns bara ett sätt att ställa alla saker i rummet så att det har egenskapen att vara fullständigt städad. I ett stökigt rum spelar det ingen roll om en viss bok står till höger eller vänster i bokhyllan; rummet är i alla fall lika stökigt. Rummets entropi är antalet sätt man kan ställa saker för att uppnå en viss stökighetsnivå. Ju stökigare rummet är, desto fler ställen kan de ligga på och desto högre entropi får rummet. Svårigheter att förstå begreppet entropi beror ofta på oklarheter angående begreppet "ordning". Införandet av begreppet [exergi](#) kan emellertid bringa klarhet. Det är när man använder [energi](#), som man förbrukar dess exergi = ökar entropin/ökar oordningen/minskar ordningen. Exergi anger någon form av kontrast eller skillnad och frånvaron av (=fullständigt utplånad) kontrast, dvs frånvaron av exergi, är detsamma som maximal entropi (den s.k. [värmedöden](#) när det gäller hela universum). Entropin ökar i universum som helhet, men kan inom denna ram minska lokalt, som t ex på jorden där entropin ju har minskat men på bekostnad av en ännu större ökning på solen, alltså en nettoökning totalt i universum, eller uttryckt med exergitermer: Exergin minskar totalt i universum, men kan öka lokalt, som på jorden där ju exergin ökat men till priset av en ännu större exergiförlust på solen (solexergi har överförts till jorden och här skapat energirika mönster som tillsammans utgör biosfären).

Matematiskt sett är entropi en fråga om sannolikhetsgrader. Det stökiga rummet befinner sig i ett mer sannolikt tillstånd än det städade. I en viss mängd gas finns molekyler som rör sig såväl hastigt som långsammare: Om det vore möjligt att på något enkelt sätt, exempelvis via något slags [filter](#), sortera dessa och på så sätt skilja ut snabbt rörliga från mer långsamma skulle man utan synbarlig arbetsinsats samtidigt ha åstadkommit en temperaturskillnad som skulle kunna användas i en [värmemaskin](#) - tillsammans med filtret utgörande delar av en [perpetuum mobile](#). Det är inte sannolikt att den av gasinventariet eller den del av rummet man skiljer ut genom att exempelvis dela av det med en vägg är i ett väsentligt mer ordnat tillstånd än resten. Om en del av gasen händelsevis skulle vara mer ordnat hög- eller lågenergetisk så innebär [diffusionen](#) en snabb övergång i ett mer utblandat, oordnat tillstånd. Varje tanke på motsatsen strider samtidigt mot [termodynamikens andra huvudsats](#). (Wikipedia entropi).

Belousov var övertygad om att han hade upptäckt något mycket märkligt och skrev ned vad som skett i iver att dela med sig till omvärlden. Men när han skickar sitt manus till en av de ledande ryska vetenskapliga tidskrifterna fick han ett helt oväntat och fördömande svar. Tidskriftens redaktör sa till Belousov att hans resultat var omöjliga. Vad som hade skett i labbet var helt enkelt omöjligt. Det stod i motsättning till fysikens grundlagar. Den enda rimliga förklaringen var att Belousov tydligen hade gjort ett misstag vid sitt experiment och hans rön kunde inte publiceras.

Avvisandet krossade Belousov. Han kände sig djupt förolämpad av att hans arbete ansågs klantigt. Han övergav sina experiment och snart slutade han med vetenskapligt arbete. Den tragiska ironin var, att eftersom järnridån skilde dem åt hade Belousov inte stött på Turings arbete - För om han hade gjort det skulle han ha fått total upprättelse. Det visade sig att Belousovs oscillerande kemikalier inte alls stred mot fysikens lagar utan faktiskt var ett verkligt exempel på precis det som Turings ekvationer förutsade.

Även om kopplingen inte är tydlig vid första anblick visade andra forskare att om man lät några av Belousovs kemikalier stå orörda i en petriskål så oscillerade de inte utan självorganiserar sig som former. De överträffar faktiskt Turings enkla klumpar och ränder, och skapar otroligt vackra strukturer och mönster ur ingenting.

Det förvånande med de oscillerande kemikalierna är att någon hade funnit ett system som reproducerar Turnings ekvationer.

Då och då inträffar i samband med ett experiment något oväntat, och under Newtons tankeparaply låg det nära till hands att se spåren av en utomstående kraft av något slag. I dag tittar vi efter en fjärliseffekt eller något annat som dyker upp som en lagenlig, men ovanlig händelse. Om man såg på det ur den här synvinkeln verkade idén med självorganisation som absurd. Det enda som kunde göra självorganisation accepterad var om det Newtonska paradigmet kollapsade, men det verkade inte troligt just då.

### 3. Kaos.

Men vid månlandningens ungefärliga tidpunkt upptäckte en grupp forskare att det Newtonska paradigmet inte stämde. Fjäliseffekten gjorde sin entré Ironiskt nog var det, som tvingade forskarna att ta självorganisation på allvar, upptäckten av ett fenomen, som kallades kaos. Kaos är ett av de överanvända orden, men inom vetenskapen har det en speciell betydelse. Det säger att ett system, som är fullständigt beskrivet av matematiska ekvationer ändå är kapabelt att vara oförutsägbart utan någon som helst form av yttre inblandning.

[Robert May](#), som var betydelsefull vid utvecklandet av teoretisk ekologi : Det är en vida spridd uppfattning att kaos är just komplicerat /invecklat. Den där figuren i [Jurazzi Park](#) levde under den missuppfattningen. Det innebär att några verkligt enkla ekvationer, eller regler helt utan inslag av slump, och som vi vet allt om, kan ha slutresultat, som är helt oförutsägbara.

3. 1. Kaos är en av vetenskapens mest ovälkomna upptäckter.

Mannen som tvingade världen att ta itu med problemet var en amerikansk meteorolog; [Edward Norton Lorenz](#). I början av 1960-talet försökte han hitta ekvationer som kunde hjälpa till att förutspå vädret. Liksom sina samtida trodde han att vädersystemet inte skiljde sig från planetariet; ett mekaniskt system som kunde beskrivas och förutsägas matematiskt. (Ofta är det illustrerat med en kugghjuls-konstruktion). Men han hade fel. När Lorenz skrev ner ekvationer, som skulle beskriva luftströmmars rörelse gjorde de inte, vad de skulle göra. Dom gjorde inga användbara förutsägelser över huvud taget. Det var den minsta vindpust en vacker dag, som kunde göra skillnad av en snöstorm en senare dag. Hur kan ett enkelt system som fungerar regelbundet bli oförutsägbart? Allt beror på hur det är uppbyggt. (Hur kugghjulen är ordnade). I grund och botten kan en minimal skillnad i kuggarnas startposition, skillnader som är så små att de inte kan mätas, under vissa förhållanden bli större och större för varje varv som veven snurras. Varje steg i processen för sen systemet allt längre bort från den plats man trodde att det var på väg mot.

Kaos är en paradigmvältare. (Analogt till kioskvältare.)

#### 4. Fjärilseffekten, den newtonska drömmens död.

Lorenz fångade den här radikala iden i ett inflytelserikt föredrag: Kan en fjärils vingslag i Brasilien förorsaka en tornado i Texas? Det var en kraftfull och evokativ bild och inom några månader hade ett nytt begrepp myntats: Fjärilseffekten. Och **fjärilseffekten, kännetecknet för alla kaotiska system** började dyka upp överallt. (dvs händelser eller icke-händelser utan logisk/matematisk förklaring.)

I början av 70-talet undersökte den unge Australiern [Robert May](#) en matematisk ekvation på hur djurpopulationer förändrades över tiden. Men även här lurade den fruktade fjärilseffekten. Omätligt små förändringar i djurens reproduktionstakt kunde ibland få enorma konsekvenser för hela populationen. Antalet kunde öka eller minska dramatiskt utan någon uppenbar anledning. Idén att en matematisk ekvation kunde förutsäga hur ett system skulle uppföra sig hade gått i graven.

Det var den newtonska drömmens död. När jag var doktorand trodde man att efter man fick mer och mer processorkraft skulle vi få allt mer möjlighet att lösa allt mer invecklade ekvationer. Men det är inte nödvändigtvis sant. Man kan ha de enklaste ekvationer helt utan slumpfaktorer i sig, men där är ett kaosinslag och du saknar exakt kunskap om startpunkten. (Ian Stewart, Professor of Maths at Warwick University)

Århundraden av vetenskaplig visshet löstes upp på några få år. Universums urverk visade sig vara en illusion. Något, som verkade som logisk visshet visade sig vara en trossats. Vad värre var att sanningen hade varit uppenbar hela tiden. Därför att kaos i endera formen, positiv eller negativ, är överallt. Kaosvariationen kan antingen inträffa eller utebli.

Det verkade som oförutsägbarheten var inbyggd i alla aspekter av världen. Det globala klimatet kunde förändras dramatiskt på bara några år. Börserna kunde krascha utan förvarning. Vi kunde utplånas från jordens yta från en dag till en annan och ingen kunde göra något åt det.

Jim: Tyvärr måste jag tala om för er att allt det här är sant. Men att vara rädd för kaos är meningslöst. Kaos är invävt i fysikens grundsatser. Vi måste acceptera det som ett faktum.

Begreppet kaos ändrade hur man såg på vetenskap. Det förändrade så mycket att folk glömde sin gamla syn. Kaos visade oss att de möjligheter, som ligger förborgade i enkel matematik är mycket mer omfattande, bredare och generella, än vad man kan föreställa sig. Ett universum, som är ett urverk kan ändå bete sig på det rika och komplexa sätt, som vi upplever.

Den klassiska läran om orsak och verkan kommer närmast från Aristoteles och skärptes av Newton med sina tre rörelselagar:

*Newton's First Law* (also known as the Law of [Inertia](#)) states that an object at rest tends to stay at rest and that an object in uniform motion tends to stay in uniform motion unless acted upon by a net external force. The meaning of this law is the existence of reference frames (called inertial frames) where objects not acted upon by forces move in uniform motion (in particular, they may be at rest).

*Newton's Second Law* states that an applied force,  $\mathbf{F}$ , on an object equals the rate of change of its momentum,  $\mathbf{p}$ , with time. Mathematically, this is expressed as

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}.$$

*Newton's Third Law* states that for every action there is an equal and opposite reaction. This means that any force exerted onto an object has a counterpart force that is exerted in the opposite direction back onto the first object. A common example is of two [ice skaters](#) pushing against each other and sliding apart in opposite directions. Another example is the [recoil](#) of a [firearm](#), in which the force propelling the [bullet](#) is exerted equally back onto the gun and is felt by the shooter. Since the objects in question do not necessarily have the same mass, the resulting acceleration of the two objects can be different (as in the case of firearm recoil).

Unlike Aristotle's, Newton's physics is meant to be universal. For example, the second law applies both to a planet and to a falling stone.

The [vector](#) nature of the second law addresses the geometrical relationship between the direction of the force and the manner in which the object's momentum changes. Before Newton, it had typically been assumed that a planet orbiting the Sun would need a forward force to keep it moving. Newton showed instead that all that was needed was an inward attraction from the Sun. Even many decades after the publication of the *Principia*, this counterintuitive idea was not universally accepted, and many scientists preferred [Descartes'](#) theory of vortices.<sup>[130]</sup>

I och med att [Norbert Wiener](#) och andra började att använda den systemteori som härstammade ur Telecom industrin började man notera att systemets utformning bestämde orsak. Redan här hade det Newtonska paradigmet kollapsat och ersatts av ovissheten inför ett paradigms fastställande.

Upptäckten av kaos var en viktig vändpunkt i vetenskapshistorien. När den rev ner den newtonska drömmen började forskarna se mera välvilligt på [Turings](#) och [Belousovs](#) arbete om spontan mönsterbildning och när de gjorde det insåg de något helt makalöst. Att det fanns en väldigt djupgående och oväntad koppling. Ett kosmiskt samband mellan naturens förmåga att självorganisera sig och de kaotiska krafterna av fjärlseffekten.

Turing, Belousov, May, och Lorenz hade alla upptäckt olika sidor av samma stora idé. De hade upptäckt att naturen kunde vara djupt oförutsägbar. Men det som gör den oförutsägbar låter den skapa mönster och struktur. Ordning och kaos. De verkade vara mera intimt förknippade än vi kunde ha föreställt oss. Så hur är det här möjligt? Vad har fenomenen, som verkar så olika som mönstren i Belousovs kemikalier och vädret gemensamt?

## 5. Feedback.

1. Trots att båda systemen uppför sig på komplicerade sätt är båda baserade på överaskande enkla matematiska regler.
2. De här reglerna har en unik egenskap. En egenskap som ofta kallas återkoppling / feedback. Det är en signal,



För att visa vad det betyder, för att visa att både ordning och kaos kan bildas av sig själva i ett enkelt system med feedback ska vi göra ett experiment, som vid första anblick verkar ganska banalt.

Skärmen bakom mig är kopplad till kameran som filmar mig. Kameran filmar mig och skärmen. Det skapar en krets. Flera kopior av mig syns på skärmen. Det här är ett klassiskt exempel på en återkopplings slinga. Vi får en bild i en bild i en bild, först verkar det ganska förutsägbart. Men när vi zoomar in med kameran börjar det hända ganska underliga saker.

Det första vi lägger märke till att föremålet, som filmas, inte liknar det som dyker upp på skärmen. Små förändringar i tändstickans rörelser förstärks snabbt när de går från kameran till skärmen och tillbaka till kameran. Så även om vi kan beskriva varje steg i processen matematiskt kan vi fortfarande inte förutsäga hur små förändringar i lågans fladdrande kommer att se ut på slutbilden. Det här är fjärilseffekten i praktiken. Men här kommer den läskiga delen. När man gör bara en liten justering av systemet börjar de här underliga och vackra mönstren att framträda. Samma system, som baseras på enkla regler om återkoppling framkallar kaos och ordning. Samma matematik ger både kaos och mönster.

Det förändrar hur man ser på allt. Tron att det finns regelbundenheter och helt åtskilt från dem finns oregelbundenheter, så är det inte. Det är olika spektrum av samma värld och kan genereras av samma typ av matematik. Och detta är det närmaste vi kommer en naturens matematik idag.

En av de viktigaste insikterna ur Turings arbete och ur upptäckterna inom kemi och biologi är att mönsterbildning verkar invävt i universums struktur. Det krävs bara ett tillägg av enkla och välbekanta processer som diffusion och kemiska reaktioner för att vi skall nå en helt ny systemnivå. Samspelet mellan dem ger naturligt upphov till mönster. Så mönster finns överallt, latent. ([Andrea Sella](#), kemiprofessor, Department of Chemistry, UCL London)

## 6. Fraktaler

Från och med 70-talet började fler och fler forskare ta till sig konceptet att kaos och mönster är inbyggda i naturens mest grundläggande regler. Men en forskare bidrog med en helt ny förståelse av den här makalösa och ofta förbryllande idén. Han var en färgstark personlighet och lite av en vilde. Han hette Benoit Mandelbrot. Han var inte något vanligt barn. Han hoppade över två årskurser i skolan och som jude i krigets Europa blev hans skolgång fragmentarisk. Han fick lära sig själv mycket. Släktingar undervisade honom. Han lärde sig aldrig alfabetet eller multiplikationstabellen efter 5 x. Men liksom Turner kunde Mandelbrot se naturens gömda mönster. Han kunde se regler, där andra såg anarki, han kunde se form och struktur, där vi andra ser oreda. Men framför allt kunde han se att en ny matematik byggde upp naturen. Mandelbrots livslånga strävan var att hitta en enkel matematisk grund för den verkliga världens grova och oregelbundna former.

Mandelbrot arbetade åt IBM, inte i Akademien. Han jobbade med en hel rad av problem som hängde ihop med oregelbundenheter inom naturen, finansmarknader och andra ställen. Han kom att inse att allt han arbetade med var aspekter av samma verklighet. Han var tillräckligt speciell person för att inse att han ville få ett grepp om helheten. Mandelbrot tyckte det var löjligt att matematiker hade

tillbringat århundraden med att begrunda idealiserade former som raka linjer och perfekta cirklar. Men ändå hade de inget systematiskt sätt att beskriva de grova eller bristfälliga former, som dominerar den verkliga världen.

Ta den här stenen som exempel. Är det en sfär eller kub eller lite av båda? Och hur är det med något mycket större? Se på valvet bakom mig! På avstånd ser det ut som en halvcirkel, men på nära håll ser man att det böjt och krokigt. Så vilken form har det egentligen?

Mandelbrott undrade om det fanns något unikt som definierar naturens alla varierande former. Har molnens fluffiga ytor, trädens grenar, flodernas förgreningar och kustlinjens veckade kanter en gemensam matematisk egenskap? Ja, det har de faktiskt. Bakom nästan alla former i den verkliga världen ligger en princip, som kallas **självlikformighet**. Den beskriver allt vars form upprepas om och om igen i allt mindre skala. Ett bra exempel är trädens grenar. De förgrenar sig och förgrenar sig och upprepar den enkla processen om och om i mindre och mindre skala. Samma förgreningsprincip gäller för våra lungors struktur och det sätt på vilket blodkärlen är fördelade i våra kroppar. Den beskriver tom hur floder delar upp sig i allt mindre vattendrag. Och naturen kan upprepa alla sorters former på det här sättet. Titta på den här grönsaken. Dess övergripande struktur består av en rad koner som upprepas i allt mindre skala. Mandelbrot insåg att självlikformighet var grunden för en helt ny typ av geometri. Och han gav den t.o.m. ett namn, fraktal.

Det är en rätt häftig observation, men tänk att kunna framställa den här egenskapen matematiskt. Tänk att rita en bild med den. Hur skulle bilden se ut? Kunde man använda en grupp matematiska regler för att skapa något, som inte verkade konstgjort? För att skapa en bild som inte verkade gjord av människa? Svaret skulle komma från Mandelbrot. Han hade tagit ett jobb vid IBM i slutet av 1950-talet för att få tillgång till deras otroliga datakapacitet och arbeta vidare med sin besatthet av naturens matematik. Utrustad med ett nytt slags superdator började han undersöka en ganska besynnerlig och till synes enkel ekvation som kunde användas för att rita en ovanlig form.

”Jag (Jim) skall nu visa en av de mest slående matematiska bilderna som någon har upptäckts. (ever discovered). Storslagen gör den inte rättvisa. Detta är [the Mandelbrot set](#), som kallas Guds fingeravtryck och när vi tittar närmare på det förstår ni nog varför. Precis som med trädets eller grönsaken: Ju närmare man studerar bilden ju fler detaljer ser man. Varje form i mängden innehåller ett oändligt antal mindre former. Små Mandelbroter som fortsätter i evighet. Ändå härstammar all denna komplexitet från en otroligt enkel ekvation.”

Den här ekvationen har en väldigt viktig egenskap. Den återkopplar till sig själv, liksom en videoslinga blir varje resultat utgångspunkten för nästa beräkning. Denna återkoppling innebär att en enkel matematisk ekvation kan ge upphov till en bild av oändlig komplexitet. Det mest fascinerande är att Mandelbrotmängden inte bara är ett bisarrt matematiskt påhitt. Den fraktala egenskapen att *dess likformighet i alla skalor speglar en grundläggande ordningsprincip i naturen*.

Det finns flera formtyper, som överensstämmer med väsentligheterna i Mandelbrot setets ekvationer, t.ex. The [Koch snowflake](#) och [Turtle graphics](#). En utveckling är [MicroWorlds](#) "a program, that uses the [Logo programming language](#), a

dialect of [Lisp programming language](#). It uses a *turtle* object which can be moved around, given commands, and eventually make shapes or even an [animation](#)." Det senare är en dörr in till dynamiska system, som leder till praktiska övningar i reklam och underhållningssyfte. Med små förändringar i värdet på den grundläggande ekvationen får man hel rad av varianter, som ger en uppsjö av beskrivningsmöjligheter. Ett annat sätt att skapa variation är att ändra startpunkten och därmed perspektivet. Flera varianter finner man på [http://en.wikipedia.org/wiki/The\\_mandelbrot\\_set](http://en.wikipedia.org/wiki/The_mandelbrot_set)

Startpunktens betydelse talas det om i programmet illustrerat av en bild av en vattenyta. Och på bilder av The Mandelbrot set förekommer ett utrymme intill den stora cirkeln, som kallas hav. Startpunkten spelar också en stor roll i arbetet vid [Bletchley](#) Park. För att få kodmaskinerna att fungera just den dagen behövdes en lösen, som den tyska väderrapporteringen motvilligt försåg de allierade med. Denna lösen var inställningen av kugghjulen i sökmaskinerna = startpunkten; angivande av den ordning de den dagen satt i.

När vi ser komplexitet undrar vi varifrån den kommer. Vi har spontant fått för oss att komplexitet inte kan springa ur enkelhet utan måste komma från något komplext. Men det som matematiken säger oss är att enkla regler ger upphov till komplexa saker. Ser man på saken och den verkar den komplex, men regeln bakom är enkel så saken är både komplex och enkel, beroende på perspektivet. Vi måste därför omvärdera sambandet mellan enkelhet och komplexitet.

Turings mönster, Belousovs reaktion och Mandelbrots fraktaler är alla vägvisare, som pekar på en djup, bakomliggande naturlig princip.

Komplexa system kan vara baserade på enkla regler. Det är den stora uppenbarelser. Och det är en makalös idé. Den verkar kunna tillämpas på hela vår värld. Titta på en flock fåglar. Varje fågel följer väldigt enkla regler. Men flocken i sin helhet gör otroligt komplicerade saker. Den undviker hinder, den navigerar sig fram utan någon särskild ledare eller ens en medveten plan. Men även om flockens beteende är fantastiskt är det omöjligt att säga hur den kommer att bete sig. Den upprepar aldrig exakt vad den gör ens i omständigheter, som tycks vara identiska. Det är precis som Belousov reaktionen. Varje gång blir mönstren lite annorlunda. De ser kanske liknande ut, men de är aldrig identiska. Samma sak gäller för sanddyner och videoslingor. Vi vet att de ger upphov till en viss sorts mönster, men vi kan inte förutsäga de exakta formerna.

## 7. Evolution

Den stora frågan är: Kan naturens förmåga att förvandla enkelhet till komplexitet på detta mystiska och oförutsägbara sätt förklara varför det finns liv? Kan den förklara hur i ett universum fullt av enkelt damm, människor kan bli till? Hur kan livlös materia producera intelligens? Det kan först verka bortom vetenskapens förmåga? Om naturens lagar är oförutsägbara, borde vi då inte ge upp? Absolut Inte. Tvärtom snarare. Passande nog finns lösningen till problemet i den verkliga världen. Runt omkring oss pågår en process, som bakom dessa oförutsägbara system också finslipar dem så att de kan utföra nästan mirakulösa uppgifter. Processen kallas evolution. [Evolution](#) bygger på de här mönstren och använder dem som råvara.

Den kombinerar ihop dem på olika sätt för att se vad som funkar och vad som inte funkar, sparar det som funkar och bygger vidare på det. Det är en omedveten process, men det är vad som händer.

Var man än tittar kan man se att evolutionen använder naturens självorganiserande mönster. Våra hjärnan använder Belousov liknande reaktioner för att reglera hur de slår. Våra blodkärl är organiserade som fraktaler. Till och med våra hjärnceller interagerar enligt enkla regler.

Det sätt på vilka evolutionen berikar och förädlar komplexa system är en av de mest spännande idéerna inom ny vetenskap. De kan simulera evolutionen. Mer exakt kan datorer använda evolutionens principer för att forma och förädla sina egna program på samma sätt som den naturliga världen använder evolutionen för att forma och förädla levande organismer. Min lilla HP letar i många fall upp fel och lagar dem, något som gör den nästan levande. (Programmet Windows 7, professionell).

Och dagens datavetare har upptäckt att den här utvecklade mjukvaran kan lösa problem, som skulle vara för svåra för de smartaste människor.

En sak vår forskning har visat, är hur kraftfull evolutionen är, sett som system eller algoritm, när den skapar något anpassningsbart.

Torsten Reil (C E O [Natural motion](#)) och hans teams mål var faktiskt att använda datoriserad evolution för att skapa en virtuell hjärna, som kunde kontrollera en virtuell kropp. Till att börja med skapade de 100 slumpmässiga hjärnor. Som ni kan se var de inte mycket att hurra för. Sen tog evolutionen över. Datorn valde ut de hjärnor, som var lite bättre på att röra sina kroppar och fick dom att föröka sig. Algoritmen tar de individer, som klarar sig bäst och låter dem skapa avkomma.

Generation 5.

Dom som rörde sig bäst i nästa generation parades sen ihop och så vidare.

Generation 10.

Efter 10 generationer var figurerna fortfarande lite ostadiga, men de kunde otroligt nog gå. Till slut får man fram någonting, som fungerar – helt mirakulöst.

Det skrämmande är att man inte varför. Man vet inte vad om händer. Evolutionen optimerar automatiskt. På 20 generationer hade evolutionen förvandlat det här till det här. Men dessa utvecklade datorvarelser kunde snart göra mer än bara gå. Dom utvecklades till att kunna göra saker, som är omöjliga att programmera på vanligt sätt. Figurerna reagerar realistiskt på oväntade händelser.

Som att bli slagna eller ramla. Fast vi har programmerat dessa algoritmer styr vi inte det som faktiskt händer och mycket är oväntat. Det är en lustig känsla att skapa dessa självstyrande algoritmer. En "icke-tänkande" process av evolutionär "trial and error" har skapat de här virtuella varelserna, som kan röra sig och reagera i realtid. Det som ni ser här är fantastiska experimentella bevis för den kreativa förmåga som finns hos system baserade på enkla regler.

## 8. Självorganisationens förmåga

Att se hur datorer omedvetet kan utveckla program till att göra saker som ingen människa medvetet skulle kunna programmera är ett fantastiskt exempel på självorganisationens förmåga. Det demonstrerar att evolutionen är precis som de andra systemen vi stött på. Det är baserat på enkla regler och återkoppling och det uppkommer komplexitet spontant.

Fundera på det här: Den enkla regeln är att en organism måste reproducera sig med några få slumpmässiga mutationer då och då. Återkopplingen kommer från miljön som gynnar mutationerna, som passar bäst i den. Resultatet är en ständigt ökande komplexitet, som uppkommer utan tanke eller avsikt. Det intressanta är att systemet kan gå till en högre nivå. När man har organismer som har mönster på sig kan de selekteras för eller mot genom processer som är återkoppling. Evolutionen i sig, hela den darwinistiska "tanken" är på sätt och vis Turrings tanke med olika återkopplande processer.

Och det är själva kärnan i den här historien. Icke-tänkande enkla regler kan skapa otroligt komplexa system utan någon form av medveten tanke. I den bemärkelsen är datorvarelserna självorganiserande system precis som systemet Belousov såg i sina kemikalier. Precis som de i sanddynerna eller i Mandelbrotmängden, i våra lungor, i våra hjärtan och i vår planets geografi, i vädret och vår planets geografi. Design behöver ingen aktiv ingripande designer. Den är en naturlig del av universum.

### 9. Entropi.

Entropin är en termodynamisk process, som oförtrutet arbetar för att reducera komplexiteten i tillvaron; att förändra tillvarons status. Motsatsen till status innebär att

### 10. Onödig skapare.

"En sak som gör att folk ogillar tanken på spontan mönsterbildning är att man inte behöver någon skapare. Men en riktigt smart skapare kanske skulle, enligt Jim al hal Khalili behandla universum som en enorm simulering där man ställer in startförhållandena och låter resten sköta sig själv. Ske spontant. På ett underbart och vackert sätt. Mönsterbildningens matematik visar att samma mönster kan dyka upp i enorm mängd av olika fysiska, kemiska och biologiska system. Allt sker av samma matematiska orsaker. I de faktumen finns de vackra mönster som vi ser överallt. Jag tycker det är häpnadsväckande."

"Så vad kan vi lära av detta? Jo att all komplexitet och all oändliga rikedom i universum springer ur enkla regler som upprepas gång på gång. Men även om processen är kraftfull är den oförutsägbar till sin natur. Även om jag kan lova att framtiden blir förbluffande kan jag med vetenskaplig visshet säga att jag inte har någon aning om vad som väntar." ([Jim al hal Khalili](#)).

[Jim al hal Khalili har skapat TV-programmet Kaos i Kosmos.](#)

Jim Al-Khalili is professor of physics, and professor of the public engagement in science, at the University of Surrey

Litteratur:

Andrew Hodges: Alan Turing the enigma. Vintage 1992.

Kaos I Kosmos, var ett Brittiskt vetenskapsprogram från 2009, som visar hur långt det evolutionära tänkandet då hade kommit om evolutionen. Det var en produkt av ett samarbete mellan Jim (se ovan) och BBC.

Vad som skildras är ett antal evolutionära delprocesser, som framför allt visar att de komplexa fenomenen växer fram ur en påfallande enkelhet. Det är de vanligaste grundämnen ordnade enligt de enklaste fysikaliska och/eller matematiska modellerna, som visar stor skönhet och en svårbegriplig komplexitet. Det kan ju nu vara så att den enkelhet forskaren tycker sig se, egentligen är förhållandevis komplex.

Men vad är egentligen enkelhet? Och vad är verklig komplexitet? En forskare, som analyserar, säg kungadömena, som skapats under folkvandringstiden kanske tycker att de är närmast generande primitiva, ändå har de gått igenom en lång utveckling mot en tilltagande komplexitet även om vi inte har börjat kalla dem kungadömen. Stammarna har varit organiserade för tävlan med andra stammar om utvinnande av föda och att möta en växlande naturs svårigheter samt inte minst möten av andre stammar.

På sid 10 skrev jag att sambandet mellan enkelhet och komplexitet beror på perspektivet. Så frågan om kungadömena är både enkel och komplex på en gång – samtidigt.

Organisationsbeteckningar som kungadömen tillkommer ofta i efterhand. Det är inte så att en hövding samlar sina närmaste förtrogna och säger att nu skall vi organisera om oss och skapa det första kungadömet. Den sortens planering förutsätter att någon annan redan gjort det först.

Vad jag har gjort här i dessa anteckningar är att med utgångspunkt i detta TVprogram underkasta det en hårdhänt redigering och förkortning och dessutom komplettera det med uppgifter bl. a. från Wikipedia och andra källor jag råkat snubbla över.