

Complexiteit en evolutie - Francis Heylighen

Situering

het Centrum Leo Apostel

- transdisciplinaire integratie
- wereldbeelden

ikzelf

- voltijds onderzoeker
- Principia Cybernetica Project
 - wereldbeeld gebaseerd op evolutie van complexe systemen
 - toepassingen o.a. in het ontwikkelen van een intelligent, zelforganiserend web
- Mijn persoonlijke benadering (<http://pcp.vub.ac.be/HEYL.html>)
 - nog voor een deel in het onderzoeksstadium
 - + niet iedereen mee eens
 - neemt de evolutionaire benadering verder dan meesten zouden gaan
 - gebaseerd op een integratie van een groot aantal bestaande en nieuwe inzichten

deze cursus

- eerste maal
- ietwat geïmproviseerd
- jullie vragen en interessen zorgen voor bijsturing
- discussie, vragen, kritische instelling ten zeerste geapprecieerd!

examens

- klassiek mondeling, > 20 minuten per student
- testen van begrip, inzicht in de fundamentele ideeën van de cursus
- studenten mogen zelf een onderwerp voorbereiden
 - uit de cursus, suggesties, op eigen houtje, ...
 - ze mogen dit in het kort uitleggen en worden dan verder hierover ondervraagd

bijkomende informatie

- vragen kunnen mij gesteld worden via email: fheylich@vub.ac.be
- informatie vnl. in het Engels
- website: <http://pcp.vub.ac.be/>
- artikels
- boeken: Dawkins, Davies, Prigogine, Waldrop, eigen manuscript...

Fundamentele filosofische vragen

Het eeuwige “waarom”?

- Waarom is het universum zoals het is?
- Waar komt alles vandaan?
- Waar komen wij vandaan?

- Wat is de zin van het leven?
- Samengevat: hoe en waarom ontstaan complexe, doelgerichte systemen?

Afgeleide vragen

- Waar gaan wij naartoe?
 - futurologie
- Wat is goed en wat is kwaad?
 - intrinsieke doelen
 - ethiek
- Wat is waar en wat is onwaar?
 - epistemologie, kennis
- Hoe best te handelen?
 - probleem-oplossing
 - praxeologie

De antwoorden op al deze vragen tesamen bepalen een wereldbeeld

- zoals gedefinieerd door Apostel en medewerkers
- een wereldbeeld geeft betekenis aan onze handelingen
- het geeft ons een leidraad om de wereld rondom ons te begrijpen

De huidige cursus ontwikkelt een evolutionair-systemisch wereldbeeld

- al deze vragen kunnen herleid worden tot vragen over de evolutie van systemen
 - materie, planeten, planten, dieren, mensen, hersenen, maatschappijen, enz.
- wetenschappelijke inzichten laten ons toe een antwoord op deze vragen te geven
 - soms zeer abstract, soms meer gedetailleerd
 - kunnen in principe wiskundig geformuleerd worden
- + meer dan alleen filosofie: ook concrete waarnemingen en toepassingen
 - bvb. computersystemen voor probleemoplossing
 - evolutie van onze huidige maatschappij

Historische ontwikkeling

De religieuze wereldbeelden

Reden van alle gebeuren: omdat God/de goden het gewild hebben

- goden als gepersonaliseerde krachten met eigen doelen en voorkeuren

de parabel van de uurwerkmaker

- Bisschop Paley
- je vind een complex, georganiseerd systeem (bvb. een uurwerk)
 - waar komt het vandaan?
- + het moet ontworpen of gebouwd zijn door een intelligent entiteit
 - de uurwerkmaker
- de verschillende levende wezens rondom ons zijn zulke systemen
 - dus moeten ze ontworpen zijn door een intelligent persoon: God

Het Newtoniaanse wereldbeeld

wereldbeeld geïnspireerd door de klassieke mechanica (natuurkunde)

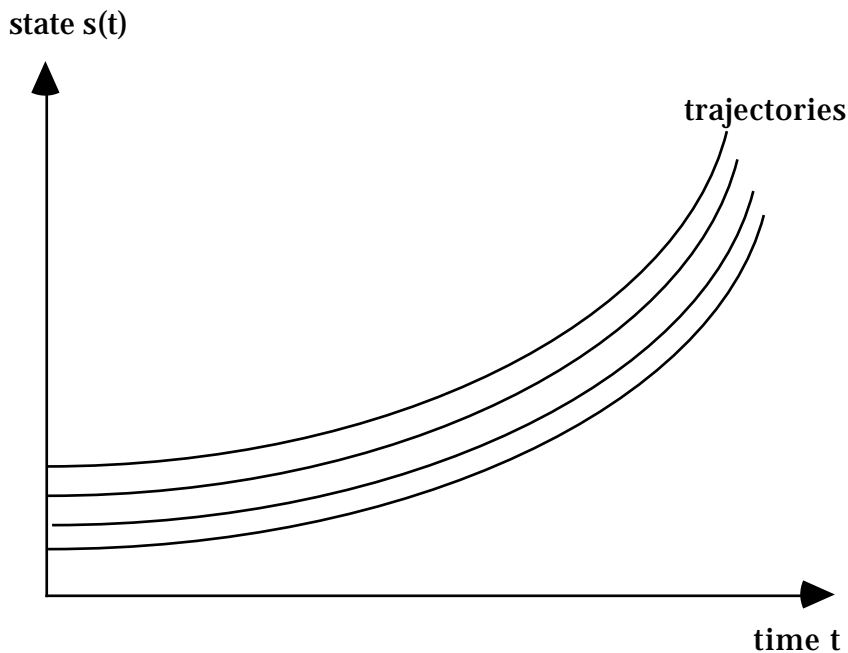
- wordt nog te dikwijls als “het” wetenschappelijke wereldbeeld gezien
- op dit ogenblik bijna volledig achterhaald
- biedt nochtans een simpele, logische en coherent visie
 - die nog steeds van nut is in bepaalde, wel-afgebakende gebieden

reductionisme

- alles moet geanalyseerd worden tot de kleinste componenten
 - atomen, elementaire deeltjes
 - materialisme
- deze bewegen door de ruimte, voortgestuwd door krachten

determinisme

- alle beweging, alle verandering is bepaald door de wetten van de Natuur
 - deze zijn absoluut en permanent
- als men de krachten en posities van de deeltjes kent, kan men hun bewegingen volledig voorspellen door deze wetten toe te passen
- vb. mogelijke banen van een deeltje



reversibiliteit

- men kan ook terugrekenen naar het verleden
- elke beweging is omkeerbaar
- in zekere zin is er geen verschil tussen toekomst, heden en verleden

het uurwerkuniversum

- het heelal loopt zoals een mechanisch uurwerk
 - alle radertjes passen perfect ineem

- het uurwerkmechanisme loopt perfect regelmatig en voorspelbaar
- voorbeeld: beweging van de planeten rondom de zon
- God heeft het uurwerk wellicht in gang gezet, maar houdt er zich nu niet meer mee bezig
 - God is niet langer nodig om verschijnselen te verklaren

tekortkomingen

- geen echte verklaring
 - de belangrijkste elementen (ruimte, tijd, deeltjes, wetten) worden gepostuleerd, zonder motivatie
- geen ruimte voor doelgerichtheid, waarde, betekenis
- geen ruimte voor creativiteit, nieuwe fenomenen
- werkt in de praktijk alleen voor de allersimpelste systemen
 - meer complexe systemen (levende wezens, mensen, maatschappijen) worden niet verklaard
- is zelfs voor simpele fenomenen tekort geschoten
 - bvb. onzekerheidsprincipe in de quantummechanica
- is totaal onbruikbaar om leven, mens en maatschappij te begrijpen

Het evolutionair-systemische wereldbeeld

niet langer nood aan God als schepper van het heelal en de mensheid

- organisatie ontstaat spontaan
- er is geen intelligente ontwerper nodig om leven, organisatie, intelligentie voort te brengen
- wat telt, is selectie: welke eigenschappen van materie of omgeving bepalen wat werkt en wat niet?
 - niet bij voorhand vastgelegd
 - afhankelijk van toevallige, onvoorspelbare factoren
- de mens is vrij om zijn eigen keuzes te maken
 - geen voorbeschiktheid
 - geen sturing, beloning of bestraffing van hogerhand
- + deze keuzes moeten echter leefbaar zijn
 - anders wordt ook de mensheid weggeselecteerd

gedetailleerd verhaal, ontstaansgeschiedenis

- dankzij de evolutietheorie kunnen we het ontstaan van alle complexe fenomenen verklaren door evolutie uit vroegere, gewoonlijk meer eenvoudige, systemen
 - bvb. bacterien uit chemische cycli, complexe cellen uit bacterien, meercelligen uit complexe cellen, complexe dieren uit eenvoudige, mens uit dieren
- cf. postmodern “einde der grote verhalen”
 - neen, er is wel degelijk een verhaal, het is alleen veel omvattender en ingewikkelder dan de traditionele verhalen

continuïteit tussen mens, dier, plant en mineraal

- er zijn geen stricte categorieën

- alles interageert met alles
 - co-adaptatie
- er is echter wel een continue graad van evolutie of complexiteit

optimistische visie: zelforganizatie, spontane ontwikkeling

- fouten, slechte ontwikkelingen blijven niet duren
- de “natuur” is creatief en vindt vroeg of laat altijd een oplossing
- zelfs als men de dingen aan hun lot overlaat komt het vroeg of laat toch goed
- ook maatschappelijk is er een duidelijke trend naar vooruitgang
- er is echter geen doel of eindpunt: alles kan steeds beter

hoewel evolutie onvoorspelbaar is, heeft ze een voorkeursrichting: toegenomen “fitness”

- dit kan ons helpen onze toekomst te begrijpen en te sturen
- vermijden van keuzes die niet leefbaar zijn
- geen echt “doel” maar een impliciete waarde van alle leven en materie
- geeft in zekere mate “zin” aan het leven

Complementaire ontwikkelingen

- Darwin en de evolutietheorie
- Zelforganizatie en Chaostheorie
- Systeemtheorie
- Cybernetica
- Complexe adaptieve systemen

Evolutietheorie

geschiedenis: Darwin en de oorsprong van de soorten

- verklaring van levende organismen door natuurlijke selectie
 - survival of the fittest
- maatschappelijk controversieel
 - + nog steeds bij fundamentalistische christenen en anderen
 - vnl. in de USA
 - katolieke kerk aanvaardt evolutietheorie
 - vnl. gebaseerd op onbegrip, inconsistentie met religie, en psychologische factoren
 - + ook vele “linkse” denkers staan kritisch
 - misverstand op basis van voorbijgestreefd “sociaal Darwinisme”
- binnen de wetenschap echter algemeen aanvaard

Wat is evolutie?

- “trial-and-error” mechanisme
 - probeer blindelings allerlei variaties uit
 - elimineer wat niet werkt (fouten)
 - behoud en/of vermeerder wat werkt

- begin opnieuw
- dit zichzelf herhalende mechanisme leidt vanzelf tot een voortdurende, onomkeerbare verbetering
- artificiële selectie
 - bvb. hondenrassen
- Vb. de lange nek van de giraf
 - de nakomelingen van een giraf hebben lichtjes verschillende genen
 - sommige van die genen geven aanleiding tot een langere nek
 - giraffen met een langere nek kunnen eten van hogere bomen
 - in tijden van schaarste overleven enkel die nakomelingen met de langste nek
 - hun nakomelingen erven de genen voor een lange nek, opnieuw met variaties
 - aldus krijgen opeenvolgende generaties een steeds langere nek
- variatie
 - er treden altijd kleine “storingen” of “fluctuaties” op
 - daardoor gaan verschillende systemen nieuwe vormen aannemen
 - mutaties in de genen
 - recombinatie van genen van vader en moeder
- natuurlijke selectie
 - de “beste” variaties worden automatisch geselecteerd
 - wat niet werkt, wordt geëlimineerd
 - + wat “werkt”, blijft behouden
 - op basis van overleving
 - op basis van aanpassing
 - op basis van groei, reproductie
 - mate waarin iets “werkt” = *fitness*

het toenemende belang van de evolutionaire benadering

- steeds meer disciplines zien het belang en nut in
 - bijna een modeverschijnsel, als het niet was dat de trend zeer diepe wortels heeft
- psychologie
- geneeskunde, scheikunde
- informatica
- economie
- cultuur
- sociologie (sociobiologie)
-

Wat ontbreekt er nog in de evolutionaire benadering?

- Verklaart niet echt hoe complexiteit ontstaat
- Legt teveel de nadruk op het effect van de omgeving

- nog te reductionistisch
 - organismen of genen als ondeelbare eenheden
 - te weinig aandacht aan interactie tussen eenheden
- vereist toevoeging van een aantal nieuwe inzichten
 - bvb. symbiose, zelforganisatie, co-evolutie, plotse veranderingen, ...
 - om deze goed te begrijpen moeten we een aantal complementaire benaderingen bestuderen

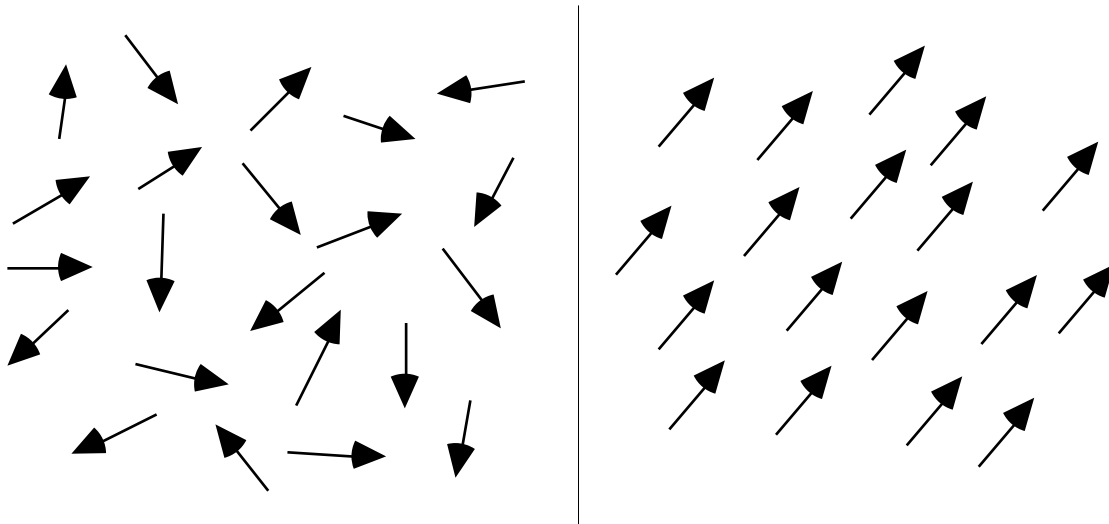
Zelforganisatie

Introductie

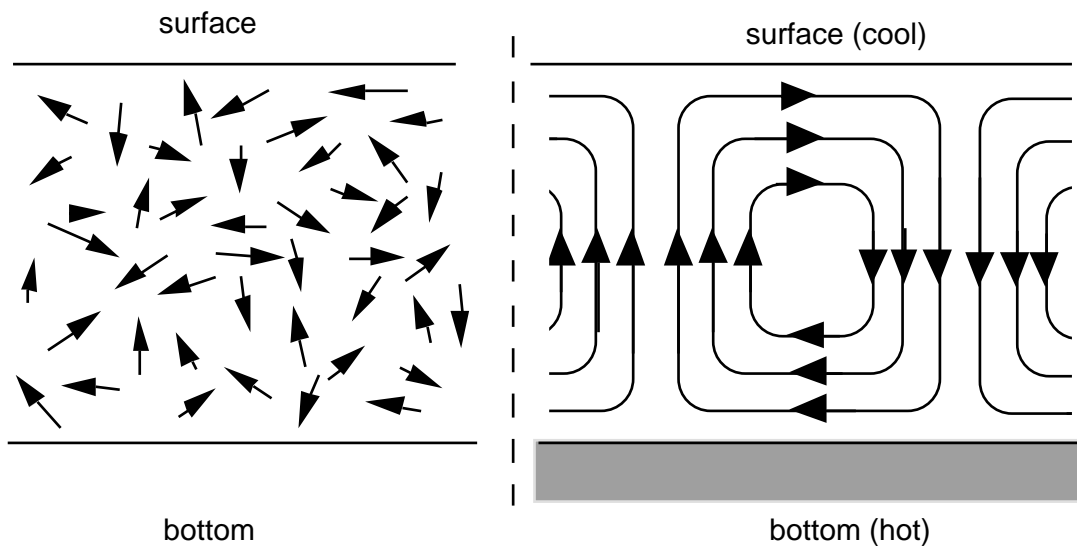
- spontaan ontstaan van structuur
 - bvb. kristallisatie, sneeuwkrystallen, ijsbloemen
- de thermodynamische paradox
- Prigogine en de dissipatieve structuren

Voorbeelden

- magnetizatie



- Bénard verschijnsel



Globale orde

- lokale interacties globale organisatie
 - propagatie (voortplanting) van orde van component tot component
- gedistribueerde controle
 - er is geen centrale “leider” of “manager” die bepaalt wat de andere componenten moeten doen
 - + alle componenten tesamen bepalen wat de andere doen
 - vb. magnetizatie: de gezamenlijke magnetische kracht houdt de individuele magneetjes op hun plaats
 - de organisatie is “gedistribueerd” over alle componenten
 - + Vb. de hersenen
 - + de hersenen werken als een geheel
 - er is geen hersendeel of neuron dat zegt wat de andere delen moeten doen
 - geen “homunculus”, d.z.w. een brein binnenin in het brein
 - elke neuron kan vervangen worden
 - + Vb. een hologram (foto die driedimensionaal beeld oplevert)
 - als men een deel van het hologram wegsnijdt, behoudt men toch een volledig beeld, dat alleen wat waziger is
 - robuustheid
 - redundantie: als een deel het laat afweten, blijven er genoeg andere delen over om de taak over te nemen
 - storingen worden opgevangen
 - het systeem is stabiel
 - bvb. een magneetje dat uit zijn richting wordt geslagen, wordt terug recht getrokken door de anderen
 - bvb. hersenbeschadiging laat mensen in staat om toch nog een grotendeels normaal leven te leiden
 - + anderzijds: beschadiging van een computerprogramma leidt i.h.a. tot een compleet stilvallen
 - computerprogramma is niet zelforganizerend

Chaos

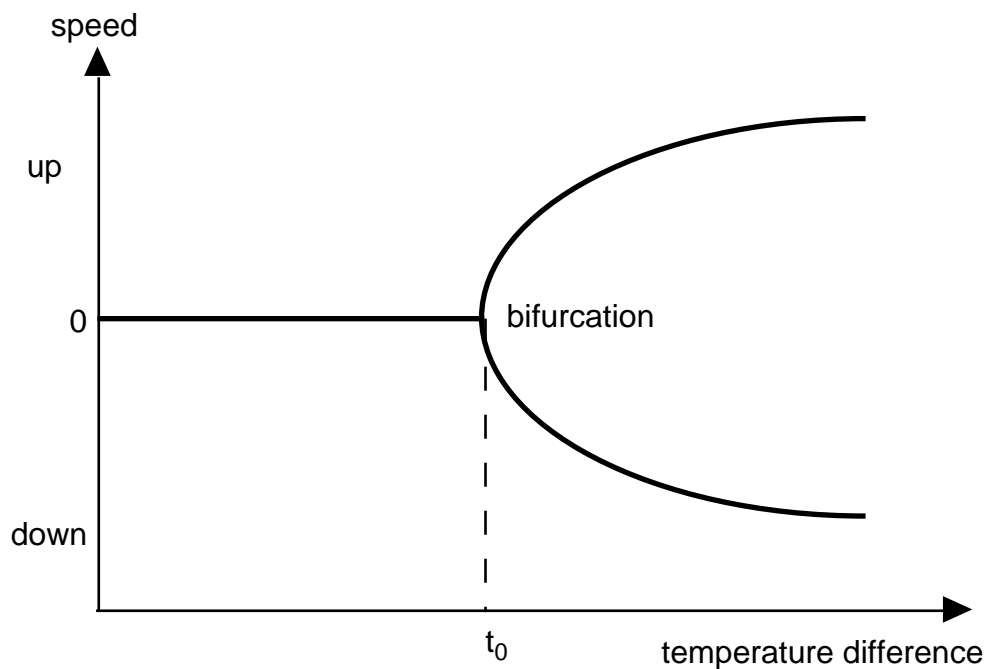
- lineariteit
 - additiviteit: $g(a+b) = g(a) + g(b)$
 - + gevolg proportioneel aan oorzaak
 - bvb. tweemaal zo hard duwen auto gaat twee maal zo snel vooruit
 - in de meeste quantitative modellen gaat men impliciet uit van lineariteit omdat dit de berekeningen gemakkelijker maakt
- de meeste systemen zijn niet-lineair
 - het gevolg kan sneller of trager toenemen dan de oorzaak

- + trager demping, afremming, stabiliteit
 - dit veronderstelt een verlies, diffusie of dissipatie van energie
- + sneller versnelling, uitvergroting, instabiliteit
 - dit veronderstelt een toevoeging van energie
- sensitieve afhankelijkheid van beginvoorwaarden
 - kleine oorzaken hebben grote gevolgen
 - de kleinste, onzichtbare fluctuatie kan tot een totaal verschillend resultaat leiden
- + Vb.
 - het potlood op zijn punt
 - + de vlinder die een orkaan veroorzaakt
 - d.i. het befaamde “vlindereffect”
 - zulk sensitief gedrag noemt men “chaos”
- Implicatie
 - + zelfs in principe deterministische systemen zijn in de praktijk onvoorspelbaar
 - bvb. het weer
 - + gedragingen van niet-lineaire systemen zijn in de praktijk vaak bizar
 - veranderen amper of niet als we ze onder druk zetten
 - veranderen plots zeer sterk door een minimale beïnvloeding
 - + gedragen zich op een zeer onregelmatige manier
 - bvb. turbulente stroming, waterval

Systemen ver van het evenwicht

- thermodynamisch gesloten systemen
 - wisselen geen materie of energie uit met de buitenwereld
 - bvb. gas in een perfect afgesloten doos
 - + evolueren vanzelf naar een evenwichtstoestand
 - bvb. gas in deel van de doos verspreidt zich homogeen over de gehele doos
 - evenwichtstoestand = maximale entropie of wanorde
- zelforganizatie = vermindering van wanorde => onmogelijk in gesloten systeem
 - + zelforganiserende systemen moeten tenminste entropie kwijtraken
 - typisch in de vorm van warmte
 - + als alle beschikbare energie omgezet is in entropie valt het systeem stil bereikt een evenwicht
 - vb. magnetizatie
- zelforganiserende systemen kunnen ook energie of materie (“negentropie” = negatieve entropie) invoeren
 - + zulke systemen bereiken nooit een thermodynamisch evenwicht gezien ze entropie blijven produceren en exporteren

- “ver van het evenwicht” systemen
- ze blijven “ bezig”
- export van entropie noemt men “dissipatie”
- + de organisatie die zo ontstaat noemt men een *dissipatieve structuur*
 - bvb. de Bénard rollen
- Systemen ver van het evenwicht zijn niet lineair
 - invoer van energie versterkt bepaalde gevolgen
 - uitvoer (dissipatie) van energie verzwakt andere gevolgen
- + dit maakt het systeem onvoorspelbaar of chaotisch
 - hoe verder van het evenwicht (=hoe meer energie), hoe chaotischer
- Bifurcaties
 - voor niet lineaire systemen zijn er i.h.a. meer dan één stabiele situatie
- + hoe verder van het evenwicht, hoe meer mogelijke oplossingen
 - het verschijnen van een keuzemogelijkheid noemt men een *bifurcatie*



- vb. Bénard: 2 mogelijke draairichtingen voor rol, wijzerzin of tegenwijzerzin
- + het systeem heeft geen a priori voorkeur maar moet toch kiezen
 - bvb. richting van magnetizatie of Bénard draaikolk
 - de uiteindelijke “keuze” hangt af van toevallige factoren
 - deze zijn i.h.a. te klein om waargenomen te worden
- hoe verder van het evenwicht, hoe meer bifurcaties, en dus hoe meer keuzemogelijkheden

Systemetheorie

reductionistische benadering

- elk verschijnsel kan herleid worden tot zijn kleinste onderdelen

- atomisme, materialisme, fysicalisme
- transdisciplinariteit door reductie tot universele elementen

holistische of systemische benadering

- het geheel is meer dan de som van de delen
- irreduciebele, emergente eigenschappen
 - bvb. temperatuur, rotatie van een Bénard rol
- samenhang, organisatie belangrijker dan elementen
- transdisciplinariteit door parallellen tussen systemen met verschillende elementen

wat is systeemtheorie?

- geen theorie in de stricte zin, beter:
 - systeembenadering
 - systeemdenken
 - systeembeweging
 - systeemwetenschap
 - systeemonderzoek
- een universele taal (in wording)
- een conceptueel kader
 - voor de analyse van systemen
 - voor de oplossing van problemen
 - voor het ontwerp van systemen (technologie, organisaties)
 - voor de integratie van gegevens uit verschillende disciplines
- een metadiscipline
 - analyse van modellen uit andere disciplines
 - vergelijking, evaluatie van modellen
 - synthese van modellen
 - creatie van nieuwe modellen

geschiedenis

- ontstaan
 - Emergentie, holisme: ±1925 Smuts, Whitehead, ...
 - General Systems Theory: ± 1955 von Bertalanffy, Boulding, Rapoport
 - Society for General Systems Research
- uiteenlopende toepassingen
 - wiskundige systeemtheorie: Mesarovic, Takahara, Klir
 - management en operationeel onderzoek: Simon, Ackoff, Churchman
 - “soft systems” : Checkland

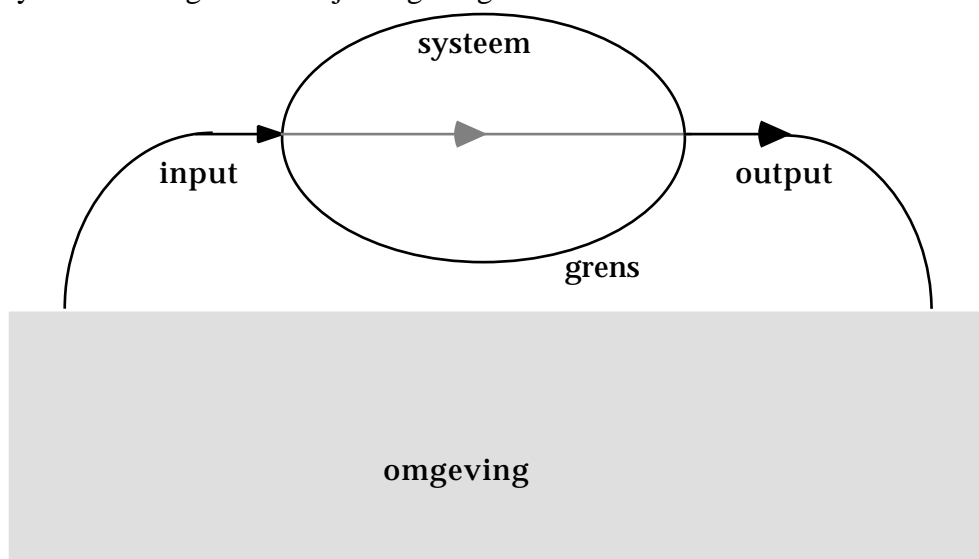
filosofie

- systeem=
 - elementen verbonden door relaties

- elementen kunnen zijn: atomen, moleculen, cellen, transistoren, neuronen, mensen, bedrijven, symbolen, getallen, enz.
- + relaties: invloed van een element op de gedragingen van een ander
 - bvb. atoom oefent kracht uit op ander atoom, manager geeft bevelen aan ondergeschikte, neuron geeft elektrische impuls aan ander neuron
 - het systeem als geheel heeft een identiteit, die het onderscheidt van zijn omgeving of achtergrond
 - Vbn. van systemen: organisme, organisatie, planeet, computer, fiets, periodiek systeem van de elementen
- emergentie
 - + emergente eigenschappen zijn niet herleidbaar tot eigenschappen van de onderdelen
 - bvb. een auto kan rijden, auto-onderdelen kunnen niet rijden
 - + Natrium Chloride is keukenzout
 - Natrium alleen of Chloor alleen zijn giftig
 - een levend wezen bestaat uit onderdelen die zelf niet levend zijn
- een systeem is abstrakt, onafhankelijk van zijn materiële substraat
 - + verschillende systemen kunnen isomorf zijn (hebben gelijkaardige structuur)
 - bvb. maatschappij en organisme, computer en hersenen
 - deze analogieën helpen ons systemen beter te begrijpen
 - wiskundige modellen mogelijk
 - computerimplementaties en simulaties van systemen

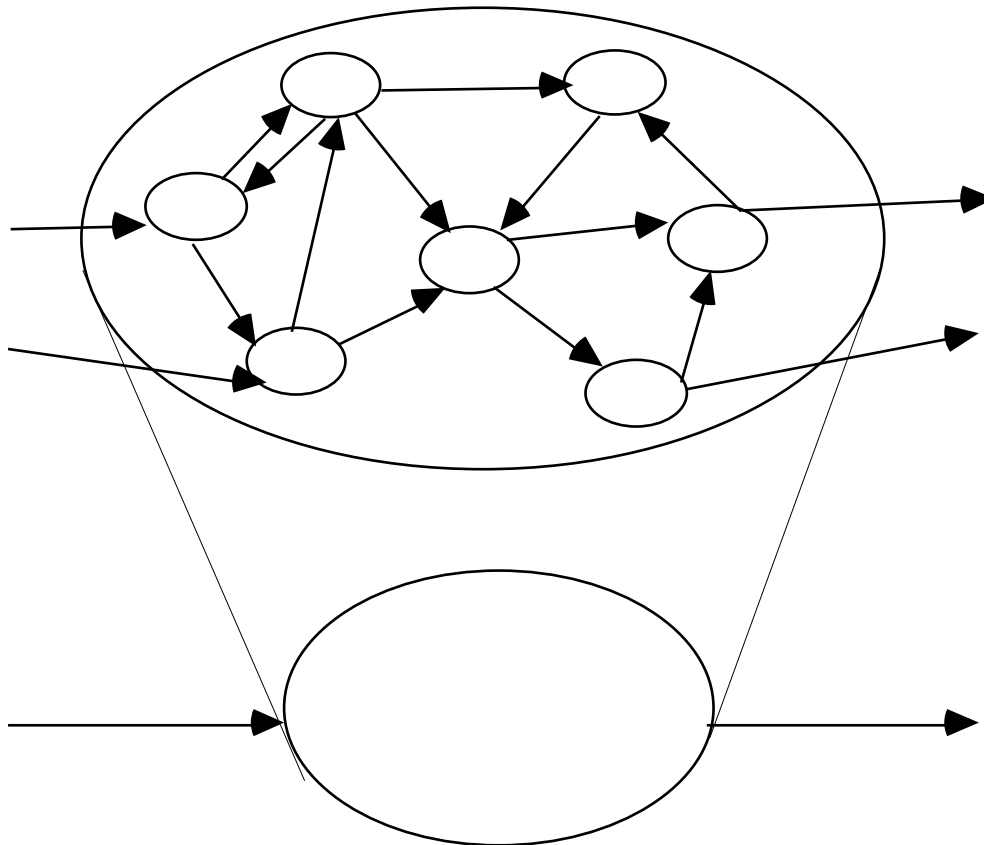
systemen en subsystemen

- systeem is gescheiden van zijn omgeving door een grens
- systeem interageert met zijn omgeving

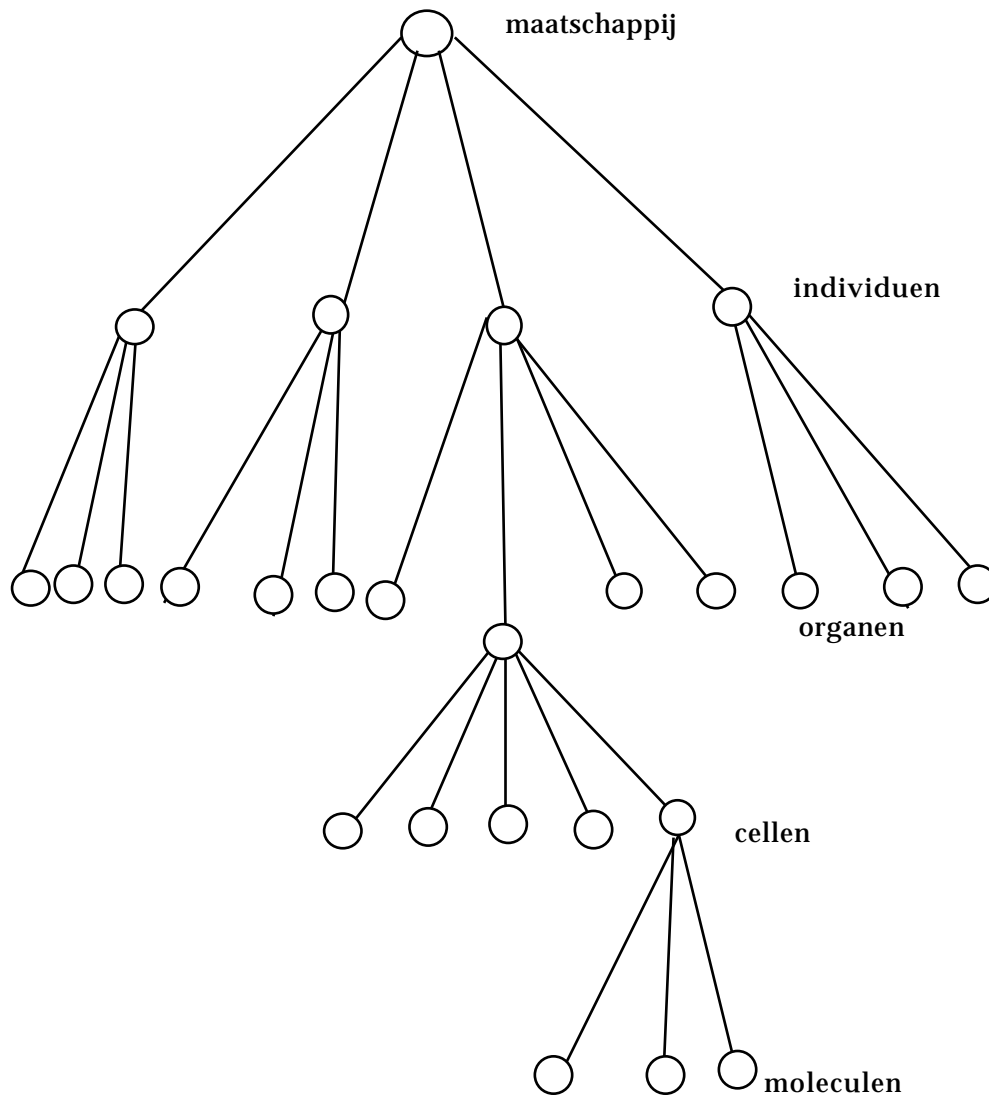


- binnenkomende interacties = input
- uitgaande interacties = output
- bvb. voedsel, zuurstof = input voor lichaam; uitwerpselen, urine, CO₂ = output

- bvb. waarnemingen, stimuli = input voor hersenen; beslissingen, acties = output
- bvb. : toetsenbord, muis = input voor computer; scherm, printer = output
- de delen van een system zijn i.h.a. zelf systemen: *subsystemen*



- bvb. organen in organisme, cellen in organen
- systemen behoren i.h.a. zelf tot een groter systeem: een *supersysteem*
 - bvb. mens is onderdeel van maatschappij
- supersystemen en subsystemen vormen een hiërarchie



-
- + men kan “inzoomen” (vergroten, microscoop) om subsystemen te bestuderen
 - naar beneden gaan in de hiërarchie
- + men kan “uitzoomen” (van op afstand bekijken, “macroscoop”) om supersystemen te bestuderen
 - naar boven gaan in de hiërarchie
 - beide zijn bewegingen in de “schaaldimensie”
 - vb. satelliet die foto’s met grotere of kleinere schaal maakt

Cybernetica

doelgerichtheid

- veel systemen zijn doelgericht
 - bvb. mensen, dieren, robots, organisaties, ...
 - alle levende wezens
- het doel ligt in de toekomst, maar bepaalt toch het gedrag in het heden
- lijkt in tegenspraak met Newtoniaans wereldbeeld
 - gevolgen volledig bepaald door hun oorzaak (in het verleden)
- cybernetica heeft de paradox opgelost
 - door circulaire causaliteit in te voeren: feedback

feedback (terugkoppeling)

- gevolg dat terugleidt naar de oorzaak
- bvb. meer mensen met verkoudheid → meer virussen verspreid → meer mensen worden geïnfecteerd met verkoudheid
 - dus: verkoudheid → meer verkoudheid
 - dit is een *positieve* feedback: meer (+) → meer (+)
 - positieve feedback vergroot afwijkingen
- + leidt tot explosieve ontwikkeling
 - vb. kettingreactie, sneeuwbaaleffect
- meer konijnen → eten meer gras → minder gras blijft over → minder konijnen
 - maar ook: minder konijnen → eten minder gras → meer gras blijft over → meer konijnen
 - dit is een *negatieve* feedback: meer (+) → minder (-), en (-) → (+)
- + negatieve feedback vermindert afwijkingen en leidt tot stabiel evenwicht
 - konijnen in evenwicht met beschikbare hoeveelheid gras
 - evenwicht kan gezien worden als een soort “doel” waar het systeem naar toe gaat

controle (regulatie, beheersing)

- het doel wordt bereikt en in stand gehouden door alle verstoringen of afwijkingen te onderdrukken
 - dit is een actieve, expliciete vorm van negatieve feedback
 - storingen ten gevolge van allerlei onbeheersbare of onvoorspelbare factoren
- aldus beheerst of controleert het systeem elke afwijking
- dit vereist:
 - + sensoren om afwijkingen waar te nemen
 - informatie moet verzameld worden
 - + kennis om te beslissen welke actie nodig is voor welke afwijking
 - informatie moet verwerkt worden
 - acties om afwijkingen te compenseren

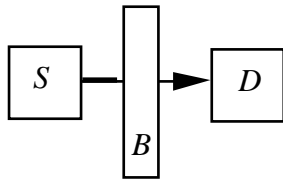
de thermostaat

- de thermostaat is het prototype van een doelgericht, cybernetisch systeem
- doel: een bepaalde temperatuur bereiken en in stand houden (bvb. 21° C)
- actie: aan/uitschakelen van verwarming
- sensor: thermometer meet de temperatuur in de kamer
- “kennis”: aanschakelen als het te koud is, uitschakelen als het te warm is
- storingen
 - veranderingen in de buitentemperatuur

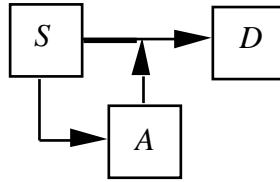
controlemechanismen

- controle = onderdrukking van variaties of afwijkingen van het doel

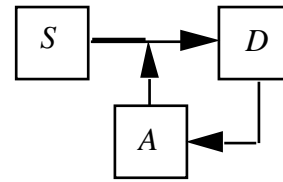
- er zijn 3 fundamentele vormen van controle



buffering



feedforward



feedback

- *buffering* of demping

- storingen *S* worden passief geabsorbeerd door de buffer *B*
- vb. schokdempers in een auto vangen schokken op
- + vb. een goed geïsoleerde muur zal de kamer afschermen van temperatuurschommelingen
 - dit verlicht het werk van de thermostaat
- vb. een waterreserve vangt schommelingen in de hoeveelheid beschikbaar water op
- + nadeel: kan alleen het effect van ongecoördineerde fluctuaties verminderen, maar kan het systeem niet systematisch in een bepaalde richting sturen
 - bvb. een muur alleen kan de kamer niet warm houden

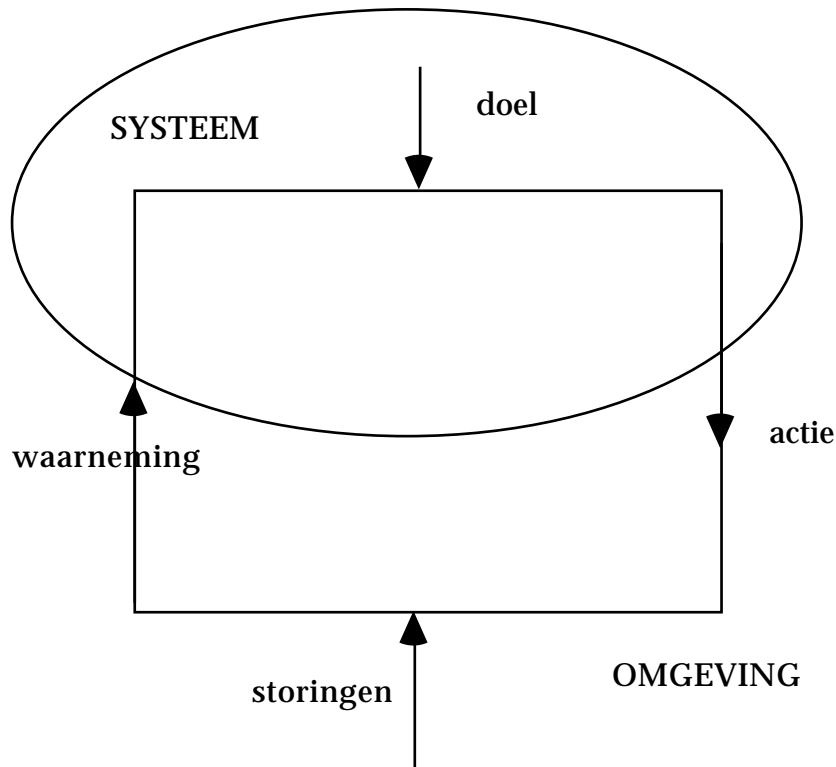
- *feedforward* (anticipatie)

- storingen *S* worden onderdrukt door acties *A* vòòr ze het doel *D* kunnen beïnvloeden
- vb. thermostaat met een externe temperatuursensor kan de verwarming aanschakelen als het buiten koud wordt, vòòr dat het ook in de kamer koud wordt
- + nadeel: het is niet altijd mogelijk om te anticiperen hoe de storingen zullen inwerken op het doel
 - bvb. als iemand de oven aanzet in de kamer zal dit meer dan genoeg zijn om de afkoeling buiten tegen te gaan, en dus hoeft de verwarming niet aan

- *feedback* (achteraf bijsturen):

- storingen *S* worden pas gecompenseerd nadat ze een afwijking van de doeltoestand *D* hebben teweeggebracht
- bv. de thermostaat zal normaal pas de verwarming aanschakelen nadat de temperatuur naar beneden is gegaan
- + nadeel: er moet eerst een afwijking van de doeltoestand zijn vòòr de storing kan onderdrukt zijn
 - feedback controle is dus nooit perfect

Componenten van een doelgericht systeem



kennis, modellen

- om storingen te onderdrukken moet een controlesysteem:
 - + 1) een voldoende groot repertoire van acties kunnen uitvoeren om elke storing te onderdrukken
 - wet van de benodigde verscheidenheid (*law of requisite variety*)
 - + 2) weten welke actie gepast is voor welke storing
 - wet van de benodigde kennis
- kennis is uitgedrukt in de vorm van gedragsregels: ALS conditie (storing), DAN actie
 - bvb. ALS temperatuur te laag, DAN schakel de verwarming aan
 - ALS temperatuur hoog genoeg, DAN schakel de verwarming uit
- feedforward: ook kennis in de vorm van voorspellingen
 - ALS conditie1, DAN conditie2
 - bvb. ALS temperatuur buiten daalt, DAN zal temperatuur binnen dalen
- een systeem van voorspellingsregels noemt men een *model*
 - het model representeert processen in de omgeving
 - het model laat het systeem toe om storingen te anticiperen
 - + een model is geen objectieve afspiegeling van de werkelijkheid
 - het is een subjectieve constructie
 - die dient om te helpen het doel te bereiken

Complexe adaptieve systemen

geschiedenis

- Santa Fe instituut
 - opgericht begin jaren '80
 - interdisciplinaire benadering van complexe systemen

- John Holland, Stuart Kauffman, Brian Arthur, Chris Langton, e.a.
- beïnvloed door, maar theoretisch minder onderbouwd, dan de voorgaande benaderingen
- voornaamste innovatie: gebruik van computersimulaties
 - dit maakt het mogelijk om complexere, minder geïdealiseerde systemen te bestuderen
 - computers waren nog niet krachtig genoeg ten tijde van de voorgaande benaderingen

“agenten” (“agents”)

- agent = geïdealiseerd (doelgericht) systeem
 - doel kan expliciet of impliciet zijn
 - vbn. van agenten: cellen in een lichaam, individuen in een maatschappij, vogels in een zwerm, kopers en verkopers op de beurs, mieren in een mierennest, ...
- in reactie op waarnemingen (inkomende informatie) voert de agent bepaalde acties uit
 - + volgt hierbij simpele gedragsregels
 - bvb. als de agent rechts van mij “A” doet, dan reageer ik met “B”, als hij “B” doet, dan reageer ik met “D”
 - + agenten kunnen soms individueel leren of evolueren
 - aanpassen van gedragsregels
- deze acties hebben een invloed op andere agenten
 - die op hun beurt reageren met acties
- op die manier zal een actie of gebeurtenis ergens in het systeem, i.h.a. alle agenten in actie brengen
- deze activiteit kan onbeperkt doorgaan, of tot stilstand komen in een evenwichtsconfiguratie

Complex adaptief systeem

- collectief bestaande uit een groot aantal interagerende agenten
- uit de individuele acties emergeert collectieve activiteit
- het systeem in zijn geheel is zelforganiserend
- het systeem in zijn geheel is adaptief
 - een verandering in de omgeving leidt tot een verandering in het systeem
 - het systeem past zich aan, bereikt een evenwicht
 - individuele agenten zijn niet noodzakelijk adaptief
- Voorbeelden:
 - + markten
 - afhankelijk van de prijzen gevraagd door andere agenten kunnen agent beslissen te kopen of te verkopen
 - dit heeft op zijn beurt invloed op de prijzen
 - + zelforganiserende scheikundige reacties
 - interagerende moleculen
 - + ecosystemen
 - acties van bepaalde plant of diersoorten hebben invloed op andere

- maatschappijen
- kuddes, zwermen, scholen vis, ...
- computersimulaties van zulke systemen laten ons toe beter te begrijpen wat er gebeurt (of zou kunnen gebeuren)
 - deze simulaties zijn echter meestal erg gesimplificeerd en artificieel
 - ze bieden daarom weinig garantie dat de gesimuleerde resultaten overeenkomen met de resultaten uit de echte wereld
 - we zullen nu enkele typische voorbeelden van zulke simulaties bespreken

cellulaire automaten

- een agent komt overeen met een “cel” op een soort van geometrisch schaakbord van cellen
- elke cel interageert enkel met de aangrenzende cellen
- afhankelijk van de toestand van de aangrenzende cellen verandert elke cel zelf van toestand
 - toestand kan zijn “actief”- “niet actief” of een keuze uit een meer ingewikkelde reeks opties
 - hoewel simpel en deterministisch voor elke cel afzonderlijk, is de evolutie van het geheel van cellen in de praktijk i.h.a. zeer ingewikkeld en onvoorspelbaar
 - quasi onbegrensde variëteit aan gedragingen
- vb. “game of life” (cf. <http://www.bitstorm.org/gameoflife/>)
 - tweedimensionaal “schaakbord” met vierkante cellen, die actief of inactief kunnen zijn
 - een cel blijft actief als 2 of 3 naburen (van de 8 aangrenzende cellen) actief zijn
 - anders wordt ze inactief
 - een inactieve cel wordt actief als 3 naburen actief zijn
 - allerlei patronen van activiteit evolueren, “planten zich voort”, “sterven uit”, ...

zwermen (“swarms”)

- demonstratie: <http://www.red3d.com/cwr/boids/applet/>
- voorstelling van het collectief gedrag van vogels, vissen, insecten, ...
- agenten zijn puntjes die bewegen in een twee (of drie) dimensionale ruimte
- gedragsregel voor een agent in een kudde
 - de agent probeert altijd naar de plaats te bewegen waar de meeste andere agenten zitten
 - de agent probeert een minimale afstand te bewaren van andere agenten
 - **resultaat:** de agenten vormen een onregelmatige kudde waarbij diegenen aan de rand voortdurend meer naar binnen proberen te komen, maar aldus andere agenten “wegduwen”
- bijkomende gedragsregels voor een agent in een zwerm
 - de agent probeert in dezelfde richting en met dezelfde snelheid te bewegen als de gemiddelde beweging van zijn burens
 - de agent bewaart een minimale afstand van obstakels
 - **resultaat:** de agenten vormen een sierlijk bewegende, mooi gesynchroniseerde zwerm, die geregeld van richting verandert, en obstakels vermijdt

- eventuele bijkomende gedragsregel:
 - de “roofdier” agenten vliegen naar hun prooi, de “prooi” agenten vluchten weg van de roofdieren
 - **resultaat:** adembenemende collectieve “jachttaferelen”

artificieel ecosysteem of artificieel leven

- agenten moeten “voedsel” of “energie” verzamelen
 - er is een beperkte hoeveelheid voedsel in omloop
 - agenten kunnen voedsel van elkaar “afpakken”
- agenten die onvoldoende voedsel vinden sterven uit
- agenten die meer dan een zekere hoeveelheid vinden planten zich voort
- bij de voortplanting worden kleine “mutaties” ingevoerd in de manier waarop de agent aan voedsel raken
- resultaat: evolutie van verschillende “soorten” agenten die met elkaar concurreren en aangepast zijn aan het collectief systeem
 - met inbegrip van parasieten en “roofdieren”

gesimuleerde maatschappij

- het spel van het “dilemma van de gevangenen” (Prisoner’s dilemma)
 - een agent kan een andere agent helpen (“coopereren”) of bedriegen (“defecteren”)
 - als beiden coopereren worden beiden beloond
 - als beiden bedriegen worden beiden bestraft
 - als een agent helpt, en de andere bedriegt, dan gaat de bedrieger met het grootste voordeel lopen, terwijl de helper benadeeld wordt
 - de bedoeling is dat een agent zoveel mogelijk voordeel, en zo weinig mogelijk nadeel accumuleert
- verschillende agenten hebben verschillende strategieën om het spel te spelen
 - afhankelijk van wat de andere agent in de vorige “zet” deed (helpen of bedriegen), beslist de agent hoe hij zich nu zal gedragen
- **resultaat:** de agenten die de “tit for tat” (als jij helpt, help ik ook, als jij bedriegt, bedrieg ik ook) strategie volgen, doen het gemiddeld het beste
- meer complexe variaties
 - + de agenten die veel voordeel halen reproduceren, de andere sterven uit
 - resultaat, alleen “tit for tat” blijft over
 - + als mutatie toegelaten is, ontstaan er ook agenten die altijd helpen
 - deze worden na een tijdje echter uitgebuit door bedriegers
 - deze worden op hun beurt weer in toom gehouden door “tit for tat”
 - netto resultaat: “tit for tat” blijft in de meerderheid, maar met fluctuerende subpopulaties van pure helpers en pure bedriegers

- + als de agenten enkel interageren met hun onmiddellijke buren
 - dan ontstaan er zones waarin iedereen elkaar helpt, en zones waarin iedereen elkaar bedriegt

artificiële cultuur

- systeem geprogrammeerd door Liane Gabora van CLEA
- agenten zoeken de beste oplossing van een probleem
- zij kunnen zelf een betere oplossing proberen te vinden of de beste oplossing van hun buur nabootsen of overnemen
- de groep vindt de beste oplossingen als ze deels imiteren, deels uitvinden
 - ratio van imitatie kan gevarieerd worden om optimale oplossingen te vinden
- dit laat goede oplossingen toe om zich snel te verspreiden, maar sluit niet uit dat nog betere oplossingen worden uitgevonden

Complexiteit

Een relationele ontologie

- ontologie= filosofie van het zijnde, van de meest fundamentele categorieën of verschijnselen
- we zoeken naar de basiscomponenten van de werkelijkheid
- in het Newtoniaanse wereldbeeld zijn dit deeltjes (kleinste stukjes materie) en krachten
- in het evolutionair-systemisch wereldbeeld is dit onbruikbaar
 - we willen immers emergente eigenschappen, en organisatie onafhankelijk van de materiele componenten, kunnen beschrijven
 - we moeten daarom naar meer abstracte elementen zoeken
 - deze abstracte elementen moeten van in den beginne complexiteit ondersteunen, i.p.v. deze te reduceren tot onafhankelijke bouwstenen
- + toch moeten de elementen zelf zo eenvoudig mogelijk zijn
 - anders lopen we het risico van in den beginne te verdrinken in de complexiteit
- dit kan opgevangen worden door de elementen relationeel te maken, d.w.z. intrinsiek van elkaar afhankelijk of aan elkaar gekoppeld i.p.v. op zichzelf staande

Distincties

- meest fundamentele handeling: onderscheiden
 - een onderscheid of distinctie verdeelt de wereld in twee delen
 - d.w.z. fenomenen in verschillende categorieën plaatsen
 - bvb. groot-klein, licht-donker, hoger-lager, binnen-buiten, ...
 - wat niet onderscheiden wordt, behoort impliciet tot dezelfde categorie
- dit behoort tot categorie X/dit behoort niet tot categorie X
 - ja-nee
 - waar-vals
- + de grens die binnen van buiten scheidt
 - “systeem” - “omgeving”

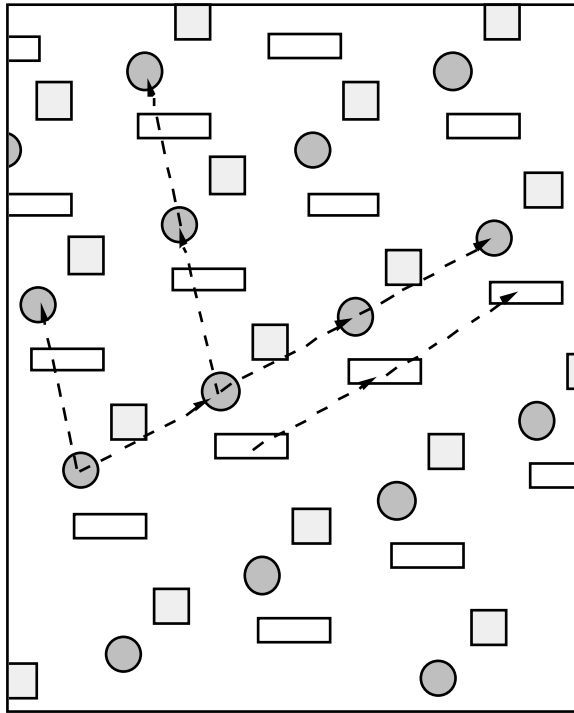
- “figuur” - “achtergrond”
- meest primitief element van een theorie: een verschil of distinctie
- een distinctie is geen “ding”, maar een relatie
 - een relatie tussen een fenomeen en de negatie of afwezigheid van dat fenomeen

Connecties

- distincties zijn pas zinvol als ze leiden tot andere distincties
 - d.w.z. er moet een relatie of connectie bestaan tussen distincties
 - + bvb. als iets tot categorie X behoort, dan behoort het ook tot categorie Y
 - als iets een banaan is, dan is het krom: banaan krom
 - als je een voorwerp loslaat, dan valt het: loslaten vallen
 - + “het verschil dat een verschil maakt”
 - een onderscheid dat niet tot een ander onderscheid leidt is waardeloos/onbruikbaar/zinledig
 - vb. ik voer een nieuwe categorie in
- Leibniz: het principe van de identiteit van de ononderscheidbaren
 - + als twee fenomenen a en b op generlei wijze onderscheidbaar zijn, dan is er in feit maar één fenomeen
 - + Vb. de “zombie”
 - gedraagt zich als een andere mens
 - heeft echter geen “bewustzijn”
 - volgens Leibniz zijn gewone mensen en zombies identiek
 - het verschil tussen a en b leidt tot geen enkel ander verschil
- connecties hebben pas zin als er verschillende fenomenen zijn om te connecteren
- conclusie: distincties en connecties zijn beide nodig om de werkelijkheid te beschrijven

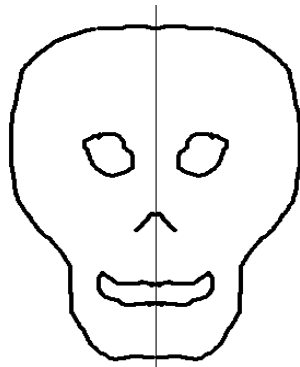
Orde

- symmetrie, regulariteit, herhaling
 - vb. kristal, magneet, behangpapier
- invariant onder transformaties
 - verschillende onderdelen zijn gelijk aan elkaar
 - het volstaat de ene te “projecteren” op de andere om dit zien
- + Voorbeelden



+

- de cirkels worden herhaald op even afstanden in de richting van de pijlen
- dezelfde soort “translatiesymmetrie” vindt men in behangpapier of kristallen



+

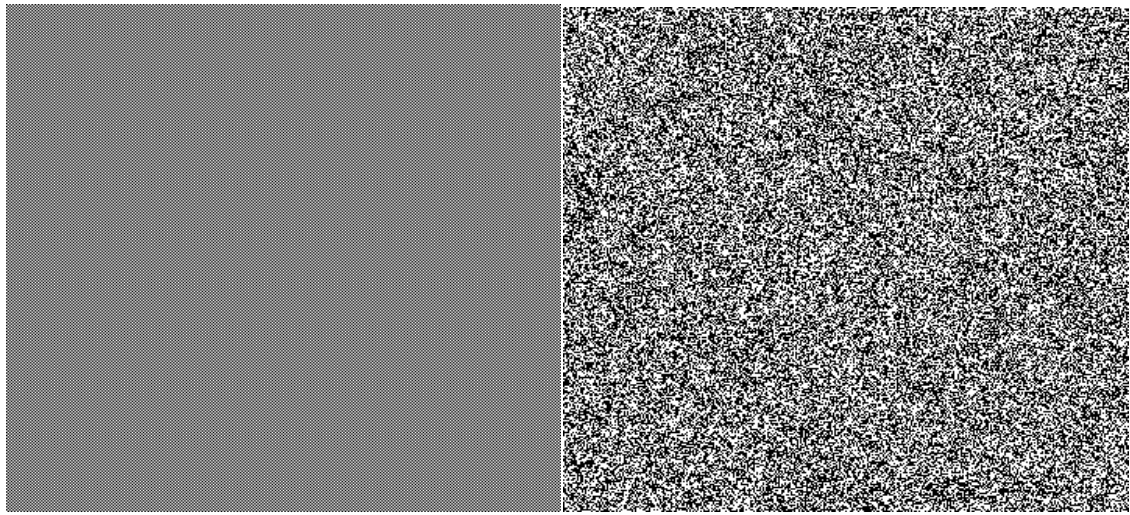
- de linker helft is het spiegelbeeld van de rechterhelft
- d.i. een spiegelsymmetrie

- dit betekent dat het volstaat een basispatroon te kennen om ook al de andere te kunnen reconstrueren
 - vb. linkerhelft van het gezicht, patroon met 1 cirkel, vierkant & rechthoek
 - + het ene basispatroon bepaalt of determineert alle andere, op een kleine “verschuiving” na
 - connectie: de ene component bepaalt de andere
 - de terugkerende patronen zijn allemaal gerelateerd, maar verschillen bijna niet
- Conclusie: orde = veel connecties, weinig distincties
 - in een geordend systeem zijn de componenten homogeen, en van elkaar afhankelijk
 - + prototype: kristal
 - in een kristal zijn alle moleculen identiek, georiënteerd in dezelfde richting, op dezelfde afstande van elkaar
 - als je de toestand van een molecule kent, dan ken je ze allemaal

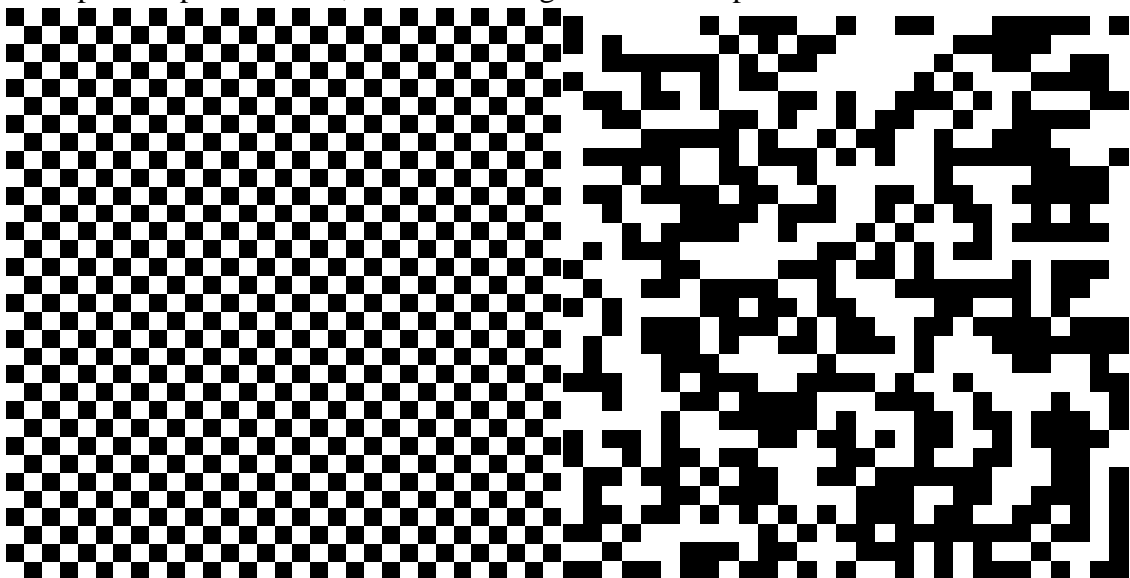
- limiet van maximale orde: alleen connecties, geen distincties
 - d.w.z. dat elke deel gelijk is aan elk ander deel, hoe klein het deel ook is
 - m.a.w. er is geen enkele distinctie of differentiatie, alles is perfect homogeen, man kan niets onderscheiden
- + dit betekent zo veel als: perfecte leegte of vacuum
 - volgt uit het principe van de identiteit der ononderscheidbaren:
 - als geen delen kunnen onderscheiden worden, dan zijn er geen delen, dus is er niets

Wanorde

- wanorde kan gedefinieerd worden als het omgekeerde van orde,
 - d.w.z. wanorde = veel distincties, weinig connecties
- in een wanordelijk systeem, zijn de onderdelen verschillend en onafhankelijk
- prototype: gas
 - de gasmoleculen bewegen volledig onafhankelijk van elkaar, allemaal met verschillende snelheden, richtingen en posities
 - als je de toestand van een molecule kent, dan weet je nog helemaal niets over de andere moleculen
- + toch is een gas *statistisch* homogeen
 - de waarschijnlijkheid om een bepaalde molecule in een bepaalde plaats aan te treffen is dezelfde voor alle plaatsen
 - moest dit niet het geval zijn dan is er statische afhankelijkheid en dus connectie
 - wet van de grote getallen: omdat er zoveel moleculen zijn, is het gemiddelde (verwachte) aantal moleculen in een bepaald gebied in de praktijk zo goed als gelijk aan het actuele aantal moleculen
 - gezien de waarschijnlijkheden en dus de gemiddelden homogeen verdeeld zijn, betekent dit dat ook de moleculen zo goed als homogeen verdeeld zijn
- limiet van maximale wanorde: allemaal distincties, geen connecties
 - d.w.z. dat elke deel, hoe klein ook, verschillend en onafhankelijk is van elk ander deel
- + dit is moeilijk voorstelbaar, maar een goede beschrijving van het vacuum in de quantummechanica
 - quantum fluctuaties produceren constant “virtuele deeltjes” die onmiddellijk weer verdwijnen
 - conclusie: in de limitet hebben we weer leegte of vacuum
- dit betekent dat de limieten van maximale orde en maximale wanorde in elkaar vloeien
-



- illustratie: orde (links) en wanorde (rechts) produceren een uniform grijs wanneer ze van voldoende afstand bekeken worden
- als je deze patronen echter van dichterbij bekijkt is het duidelijk dat het linkse perfect voorspelbaar/periodisch is, en het rechtse geheel onvoorspelbaar



Complexiteit

- Wat is complexiteit?
 - + Latijnse origine: complexus = samengevouwen
 - d.w.z. twee of meer delen, zodanig geconnecteerd dat ze moeilijk te scheiden zijn
 - + d.w.z. zowel distincties als connecties
 - onderscheidbare componenten die toch onderling afhankelijk zijn
 - + complex = ingewikkeld = moeilijk
 - problemen of systemen met veel, gerelateerde componenten zijn moeilijk te analyseren
- tussen orde en wanorde in
 - + “on the edge of chaos”
 - het tussengebied tussen starre, “bevroren” orde en turbulente, chaotische wanorde
 - dit is het gebied waar de “interessante” verschijnselen plaatsgrijpen

- Voorbeeld
 - + het regenwoud
 - miljoenen verschillende soorten planten en dieren (distincties)
 - die allemaal op een of andere manier van elkaar afhangen (connecties)
 - + de hersenen
 - miljarden neuronen (distincties)
 - verbonden door biljoenen synapsen (connecties)
- hoe meten?
 - + er zijn tientallen pogingen geweest om complexiteit te definiëren op een meetbare, quantificeerbare manier
 - maar geen enkele is algemeen bruikbaar
 - beste poging:
 - + lengte van de kortste beschrijving
 - + probleem: welke taal gebruik je voor de beschrijving?
 - sommige talen zijn efficiënt om bepaalde verschijnselen te beschrijven, zeer inefficiënt voor andere
 - je weet nooit zeker dat je beschrijving niet kan ingekort worden door een andere taal te gebruiken

Differentiatie en integratie

- we zijn niet zo zeer geïnteresseerd in statische complexiteit, maar in evolutie
 - we willen nagaan of complexiteit toeneemt of afneemt
- complexiteit neemt toe als het aantal distincties en/of het aantal connecties toeneemt
 - + toename van distinctie met afname van connecties betekent toename van wanorde, niet van complexiteit
 - + toename van distincties = differentiatie
 - d.w.z. meer verschillende soorten onderdelen kunnen onderscheiden worden
 - + toename van connecties = integratie
 - d.w.z. de onderdelen worden meer afhankelijk van elkaar, vormen meer een geheel
 - differentiatie + integratie = complexificatie
- Complexiteit is niet echt meetbaar
 - er zijn veel verschillende manieren om distincties en/of connecties toe te voegen
 - deze zijn echter niet onderling vergelijkbaar
 - het totaal aantal distincties/connecties tellen is een beetje zoals als appels en citroenen optellen
 - + Vb. is een helikopter complexer dan een vliegtuig of dan een tank?
 - niet vergelijkbaar

- Vb. een motorfiets is complexer dan een fiets, gezien deze alle onderdelen van de fiets omvat, maar plus nog een heleboel extra onderdelen
- + conclusie: complexiteit is een *partiële* orderrelatie
 - A kan complexer zijn dan B, of omgekeerd, maar A en B kunnen ook onvergelijkbaar zijn
 - partiële ordes laten geen eenduidige maat toe

Organisatie

- definitie: structuur (complexiteit) met functie
- d.w.z. dat we niet alleen een systeem van distincties en connecties hebben, maar dat deze structuur een bepaalde doelstelling heeft, een zeker nut beoogt
- vb.
 - de hersenen zijn duidelijk doelgericht, het regenwoud is dat niet
 - een machine heeft een functie, een ingewikkelde assemblage van losse onderdelen heeft die niet
- de meeste reële complexe systemen hebben een impliciet doel: overleven
 - in die zin vertonen ze niet alleen complexiteit, maar ook organisatie

Toestandsruimte

van distincties en connecties naar formeel model

- het is de bedoeling om de intuïtieve concepten “distinctie” en “connectie” te gebruiken als bouwstenen voor een logisch of wiskundig model
- dit model maakt het in principe mogelijk een systeem exact en ondubbelzinnig te beschrijven
 - eventueel ook kwantitatief
- dit maakt het mogelijk een aantal fundamentele concepten op een klare manier te definiëren
 - en om bestaande wetenschappelijke modellen beter te begrijpen
- het is niet de bedoeling om in technische details te treden of ingewikkelde berekeningen te maken
 - het is voldoende aan te tonen dat dit in principe mogelijk is voor degenen die een systeem in detail will beschrijven, voorspellen, ontwerpen, of simuleren

Objecten

- distinctie “systeem-omgeving”
 - bvb. “organisme”, “deeltje”, “auto”, “Frankrijk”
- een distinctie representeert een object als ze stabiel is
 - objecten blijven i.h.a. bestaan, zijn invariant, onder allerlei transformaties of manipulaties
 - hoewel de toestand of de eigenschappen van het object kunnen variëren, blijft het object zelf bestaan
 - bvb. de auto kan zich verplaatsen, worden gewassen, sneller of trager rijden, herschilderd worden, maar blijft toch een auto
- Vb. biljartbal
 - de distinctie tussen binnen en buitenkant van de biljartbal blijft bestaan, wat ook de positie of beweging van de bal

- ik kan de bal op allerlei manieren manipuleren, maar de bal zelf blijft bestaan
- + uitzondering: een bal kan ook in tweeën breken, smelten of verdampen, maar dit is zeer onwaarschijnlijk
 - objecten zijn zoals alles geidealiseerde, vereenvoudigde voorstellingen van een oneindig complexe werkelijkheid
 - men kan dit opvangen door een model zonder objecten te bouwen (zie verder), maar dit vereist i.h.a. meer andere distincties
- in een complex systeem kan men i.h.a. verschillende objecten of subsystemen onderscheiden
 - bvb. de verschillende biljartballen op een tafel
 - eenvoudige systemen, zoals elementaire deeltjes hebben geen subsystemen

Eigenschappen

- eigenschappen zijn distincties die i.h.a. variëren van situatie tot situatie
 - + bvb. iemands gewicht varieert van week tot week
 - de persoon blijft echter zichzelf
 - de positie van een auto varieert met elke verplaatsing, maar het object “auto” blijft invariant als object
- binaire eigenschappen
 - predicaten: $P(a)$
 - Vb. “rood”, “zwaar”, “weegt 1 kg”, “rond”, ...
- “dimensies”
 - attributen met meer dan twee mogelijke waarden
 - + vb. Temperatuur met waarden “ijzig”, “koud”, “lauw”, “warm” en “heet”
 - of waarden: ... 5°C , 6°C , 7°C , ...
 - aantal mogelijke waarden kan eindig of oneindig zijn
 - + oneindig aantal waarden kan aftelbaar (discreet) of continu zijn
 - + bvb. de natuurlijke getallen: 1, 2, 3, 4, ... zijn aftelbaar oneindig
 - er zijn onderbrekingen tussen opeenvolgende waarden
 - + de reële getallen
 - er zijn geen onderbrekingen tussen opeenvolgende waarden
 - + vb. positie van biljartbal op een biljarttafel heeft continu oneindig aantal waarden
 - tafel is 2 meter lang positie in de lengterichting
- Relaties
 - + relaties zijn predicaten met meer dan één subject
 - typisch twee subjecten
 - $\text{Rechts}(a, b)$: object a is verbonden met object b door de relatie Rechts
 - Vb. $\text{Bijt}(\text{man}, \text{hond}) = \text{de man bijt de hond}$

- vbn. bal a bevindt zich links van bal b, bal a beweegt sneller dan bal b, bal a bevindt zich op afstand rechts van bal b

Toestanden

- een object a op een bepaald ogenblik zal al dan niet een bepaalde eigenschap E hebben
 - dit bepaalt een elementaire propositie $E(a)$
 - deze propositie is waar als a inderdaad eigenschap E heeft, vals in het andere geval
- een systeem op een bepaald ogenblik kan beschreven worden door elementaire proposities
- elementaire proposities bestaan uit eigenschappen toegeschreven aan objecten
 - in geval er maar een object is, mag men het object in kwestie vergeten, want dan corresponderen proposities met eigenschappen
 - vb. de propositie “bal a bevindt zich linksonder” kan men afkorten tot “linksonder” als er maar één bal is, en dus geen dubbelzinnigheid voor wat betreft welk object zich nu linksonder bevindt
- vb.
 - bal a bevindt zich in de linkeronderhoek van de tafel
- elementaire proposities kunnen gecombineerd worden met logische operatoren: conjunctie, negatie, disjunctie
- de conjunctie van alle proposities die op een bepaald ogenblik waar zijn, definieert de *toestand* van het systeem
 - vb. bal a bevindt zich op positie (x_1, y_1) , en bal b bevindt zich op positie (x_2, y_2)
- de toestand van een systeem geeft ons alle relevante informatie over het systeem op dat ogenblik
 - “relevant” = nodig om problemen op te lossen of voorspellingen te maken
 - vb. de snelheid van een bal is relevant als we willen weten waar die bal zich het volgende ogenblik zal bevinden
 - de kleur van de bal is echter irrelevant als we de toekomstige posities willen voorspellen
- de definitie van een toestand hangt af van welke problemen men wil oplossen
- als de toestand onvoldoende informatie geeft, dan moet men i.h.a. bijkomende eigenschappen onderscheiden
 - bvb. positie van bal alleen is onvoldoende om bewegingen te voorspellen, men heeft ook snelheid of impuls nodig

Toestandsruimte

- Toestandsruimte = verzameling van alle mogelijke toestanden
- stel dat er N elementaire proposities zijn, dan zijn er 2^N mogelijke “waar-vals” combinaties, en dus toestanden
 - + bvb. 1 object met 3 mogelijke binaire eigenschappen: “links-recht”, “boven-onder”, “voor-achter”
 - dan zijn $2^3 = 8$ mogelijke combinaties:

- links-boven-voor, links-boven-achter, links-onder-voor, links-onder-achter, rechts-boven-voor, rechts-boven-achter, rechts-onder-voor, rechts-onder-achter,
- 1 object met verschillende eigenschappen elk met aantal waarden n_1, n_2, n_3, \dots
 - dan is het aantal toestanden gelijk aan het product van het aantal mogelijke waarden voor elke eigenschap: $n_1 \times n_2 \times n_3 \times \dots$
- meerdere objecten elk met één eigenschap met aantal mogelijke waarden n_1 (1ste object), n_2 (2de object), enz.
 - opnieuw, aantal toestanden gelijk aan het product van de mogelijke waarden: $n_1 \times n_2 \times n_3 \times \dots$
- meerdere objecten elk met meerdere eigenschappen
 - opnieuw, product van het aantal waarden
- eigenschappen corresponderen met de dimensies van de ruimte
- systeem bestaande uit meerdere objecten
 - toestandsruimte S van het systeem = Cartesisch product van de toestandsruimten S_1, S_2, \dots van individuele objecten
 - $S = S_1 \times S_2 \times S_3 \times \dots$
 - $s \in S = (s_1, s_2, s_3, \dots)$ met $s_1 \in S_1$, enz.

Afstandsmaat

- een toestandsruimte is meer dan een verzameling losse toestanden:
 - toestanden bevinden zich meer of minder “ver” van elkaar
 - er is een onderscheid tussen toestanden die zich dichtbij (“omgeving”) en veraf bevinden
 - dit noemt men een “topologische” structuur
 - dit verandert de verzameling in een elementaire “ruimte”
- het is mogelijk een elementaire afstandsmaat te definiëren tussen toestanden, waarbij de afstand gelijk is aan het aantal distincties of verschillen tussen toestanden
 - vb. links-boven-voor bevindt zich op afstand 1 van links-boven-achter, maar op afstand 3 van rechts-onder-achter
 - “afstand” komt overeen met het minimum aantal elementaire veranderingen dat men moet aanbrengen om een toestand in een andere te transformeren
- het omgekeerde van afstand is similariteit: hoe dichter bij elkaar twee toestanden in de toestandsruimte, hoe meer ze op elkaar lijken, d.w.z hoe minder verschillen ze hebben
- in geval van eigenschappen met meer dan twee waarden kan men meer ingewikkelde afstandsmaten definiëren
 - bvb. Euclidische of vectorafstand: $d(x,y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2}$

Variëteit (“variety”)

- de toestandsruimte is de ruimte van alle mogelijkheden die het systeem ter beschikking heeft
- hoe groter de toestandsruimte, hoe meer mogelijkheden, “ruimte”, of “vrijheid” het systeem heeft

- ook: hoe groter de verscheidenheid of “variëteit” van toestanden of verschijningsvormen die het systeem kan aannemen
- Variëteit is een maat voor de grootte van de toestandruimte
 - maat voor het aantal onderscheiden mogelijkheden
 - + gedefinieerd als het logaritme volgens basis 2 van het aantal elementen in de toestandruimte:

$$V = \log_2 |S|$$
 - d.w.z. V is het aantal binaire distincties
 - + inderdaad: $|S| = 2^N \Rightarrow V = N$
 - (log in basis 2 is de omgekeerde functie van 2 tot de macht ...)
 - + V is ook bruikbaar als eigenschappen niet binair zijn
 - bvb. 1 eigenschap met 5 mogelijke waarden $\Rightarrow V = \log_2 5 = \pm 2,3$
 - + V moet echter anders gedefinieerd worden als het aantal waarden oneindig is
 - + eenvoudigste geval: V = aantal dimensies (“vrijheidsgraden”)
 - bruikbaar als alle eigenschappen een oneindig aantal waarden hebben
- de eenheid van variëteit is de “bit”
 - één bit wil zeggen twee mogelijkheden (“1” of “0”)
 - N bit wil zeggen 2^N mogelijkheden
- waarom gebruikt men een logaritme?
 - het logaritme herleidt een product tot een som: $\log(a \cdot b) = \log a + \log b$
 - het aantal toestanden in een toestandruimte is het product van het aantal waarden voor elke eigenschap, of van het aantal toestanden voor elk object
 - + de variëteit van een “product” toestandruimte is daarom gewoonweg de som van de variëteiten voor elk van de deelttoestandruimten
 - vb. als één biljartbal een variëteit V heeft, dan heeft een biljartspel met twee biljartballen variëteit $V + V = 2V$
 - als een biljartbal variëteit V_b heeft en een biljartkeu variëteit V_k , dan heeft een spel bestaande uit één bal en één keu variëteit: $V_b + V_k$
 - 3 ballen en 2 keus \Rightarrow variëteit: $3V_b + 2 V_k$
 - het feit dat men met sommen kan werken maakt de berekeningen eenvoudiger

Dwang (“constraint”)

- dwang is het tegengestelde van vrijheid, het is datgene wat het aantal mogelijkheden beperkt
 - een betere Nederlands term voor het Engelse “constraint” zou zijn “beperking” of “belemmering”
 - “dwang” is echter de term die ingeburgerd is
- er is dwang als niet alle denkbare combinaties van eigenschappen ook in de praktijk mogelijk zijn
 - d.w.z. dat de feitelijke ruimte van mogelijke toestanden een deelverzameling is van de volledige toestandruimte

- Vb. biljart met één bal
 - toestandsruimte voor bal: alle mogelijke posities op de biljarttafel
 - + voer een dwang in: leg een lat in het midden van de tafel, zodat de bal zich nog alleen in de linkerhelft kan bewegen
 - de bal wordt “gedwongen” links te blijven, hij is “beperkt” tot de linkerhelft
 - het aantal mogelijke toestanden is nu gehalveerd
 - de variëteit is afgenomen met 1 bit
- Vb. toestandsruimte van een bes, bepaald door twee eigenschappen: **kleur** met waarden “rood” of “groen”, en **grootte** met waarden “groot” of “klein”
 - 2 eigenschappen met elk twee waarden => $2 \times 2 = 4$ toestanden, $V = 2$ bit
 - in de praktijk echter blijken alle groene bessen klein (want onrijp) en alle rode bessen groot te zijn, en vice versa
 - dit betekent dat er maar twee toestanden in de praktijk mogelijk zijn: (groen, klein) en (rood, groot) => $V = 1$ bit
 - er is een dwang of beperking, die de combinaties (groen, groot) en (rood, klein) uitsluit of verbiedt
- Vb. een biljart met twee ballen
 - toestandsruimte voor twee ballen: product van de twee toestandsruimten, d.w.z. alle koppels (positie 1, positie 2) waarbij positie 1 een willekeurige positie aanduidt op de tafel voor bal 1
 - + voer een dwang in: kleef de ballen aan elkaar
 - de eerste bal kan nog steeds een willekeurige positie op de tafel aannemen
 - de tweede bal is nu echter ten zeerste beperkt in de keuze van overblijvende posities
 - de toestandsruimte voor de twee aaneenklevende ballen is veel kleiner dan die voor twee losse ballen
- dwang C wordt gedefiniëerd als de maximale variëteit min de feitelijke variëteit: $C = V_{\max} - V$
 - d.w.z. het verlies aan variëteit of vrijheid ten opzichte van de best denkbare situatie
 - Vb. bessen: $C = 2 - 1 = 1$ bit, biljarttafel in twee gedeeld: $C = 1$ bit
- Dwang lijkt misschien negatief voor het systeem, daar het zijn vrijheid beperkt, maar is i.h.a. positief voor de waarnemer
 - de waarnemer weet nu beter waar het systeem zich bevindt, heeft er meer vat op, of controle over
 - bvb. bessen: het volstaat te weten dat een bes klein is (bvb. door ze te wegen) om te kunnen afleiden dat ze ook groen is
- Dwang op een systeem bestaande uit verschillende objecten leidt i.h.a. tot een relatie of afhankelijkheid tussen de objecten
 - vb. aaneengekleefde ballen: de positie van de ene bal is afhankelijk van de positie van de andere bal

- vb. magneetjes in het geval van zelforganizatie: de richting van de magneet is afhankelijk van de richting van alle anderen
- dwang is een maat van orde: onderlinge afhankelijkheid of determinering

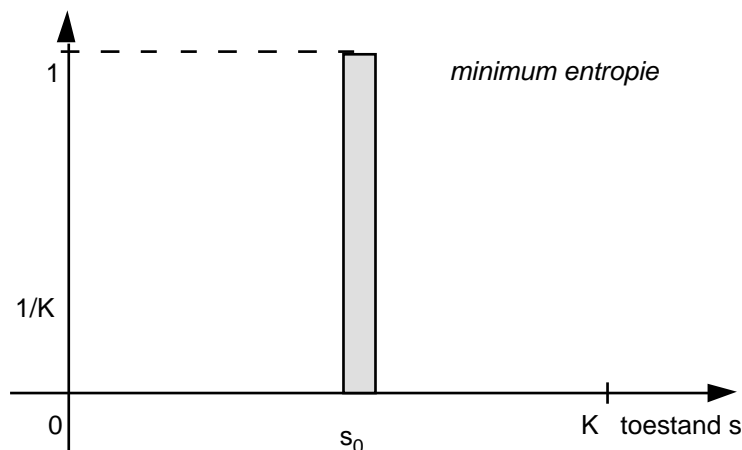
Entropie

- stel dat we niet de juiste toestand s van een systeem kennen, maar enkel de waarschijnlijkheid $P(s)$ dat het systeem in toestand s zou zitten
 - dit is normaal het geval voor systemen met een groot aantal componenten
 - + definieer dan de entropie of “onzekerheid” van de waarschijnlijkheidsdistributie:

$$H(P) = - \sum_s P(s) \cdot \log P(s)$$
 (logaritme nog steeds volgens basis 2)
 - entropie is een maat voor ons gebrek aan kennis aangaande de toestand van het systeem

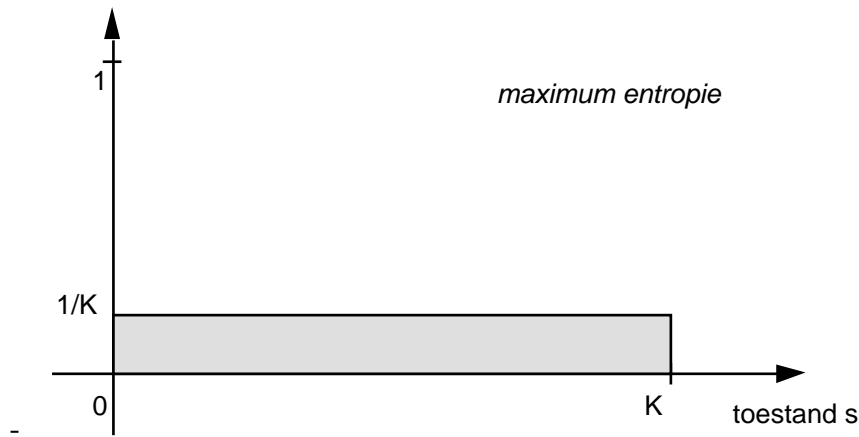
• Eigenschappen

- + als we zeker zijn dat het systeem in toestand s_0 zit, d.w.z. $P(s_0) = 1$, $P(s \neq s_0) = 0$
 - dan is $H(P) = 1 \cdot \log 1 + 0 \cdot \log 0 + 0 \cdot \log 0 + \dots = \log 1 = 0$
 - d.w.z. minimale entropie, geen onzekerheid, volledige kennis aangaande de toestand waarschijnlijkheid $P(s)$

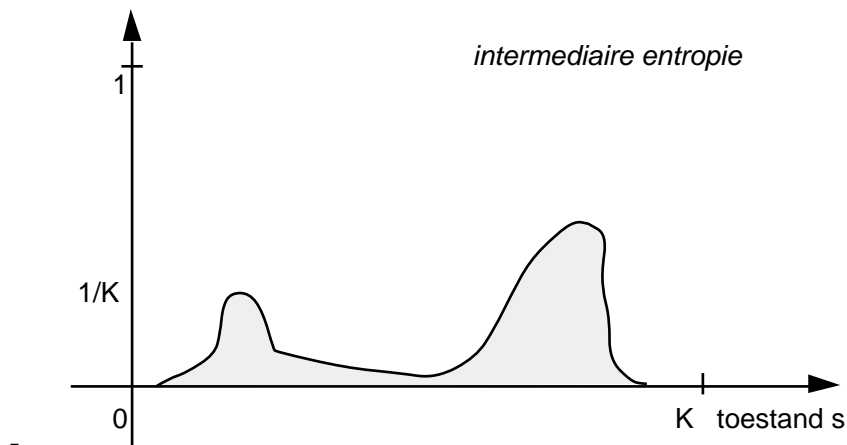


- + als we geen enkele aanwijzing hebben dat enige toestand s_1 in enige mate meer of minder waarschijnlijk zou zijn dan een andere toestand
 - d.w.z. als alle toestanden dezelfde waarschijnlijkheid hebben: $P(s) = 1/K$, met $K = |S| =$ aantal toestanden in toestandruimte S
 - + dan is $H(P) = - K \cdot (1/K) \cdot \log (1/K) = \log K = V$
 - d.w.z. de entropie wordt herleid tot de variëteit
 - de entropie bereikt haar maximale waarde
 - dit is de situatie waarin we absoluut geen kennis of informatie over de toestand van het systeem hebben

waarschijnlijkheid $P(s)$



- + in het intermediaire geval, d.w.z. waarschijnlijkheden die over het algemeen verschillend van elkaar zijn
 - dan bereikt de entropie een intermediaire waarde: $V > H > 0$
 - hoe “homogener” de waarschijnlijkheidsverdeling (d.w.z. hoe minder verschil tussen de waarschijnlijkheden voor de verschillende toestanden), hoe groter de entropie
 - hoe “heterogener” de verdeling, (d.w.z. hoe sterker de “pieken” van toestanden met hoge waarschijnlijkheid t.o.v. van de andere toestanden), hoe lager de entropie



- Interpretatie

- + entropie is een veralgemening van variëteit
 - d.w.z. dat het kan opgevat worden als een maat voor de vrijheid van het systeem om verschillende toestanden aan te nemen
 - het kan ook gezien worden als een maat voor ons gebrek aan kennis (onzekerheid) over het systeem
 - over de toestand van een systeem met hoge entropie kunnen we in feite weinig zeggen
- + entropie kan ook gezien worden als een maat van wanorde
 - vrijheid voor het systeem betekent onafhankelijkheid voor zijn componenten, en dus distinctie maar geen connectie

- zelfs als we de toestand van een deel van een systeem met hoge entropie kennen, dan weten we i.h.a. nog steeds niets over de andere delen
- omgekeerd betekent dit dat een systeem met lage entropie zou kunnen gezien worden als geordend: gezien we bijna alles reeds weten, is het wellicht voldoende de toestand van een klein deeltje te kennen om ook de toestand van de rest te kunnen bepalen
- **Belangrijke opmerking:** dit is een definitie van zgn. “statistische entropie”, geïntroduceerd door Boltzmann, en veralgemeend door Shannon
 - er bestaat echter ook een “thermodynamische entropie”, die een maat is voor de dissipatie van warmte
 - in sommige gevallen (zoals oorspronkelijk voorzien door Boltzmann) kunnen statistische en thermodynamische entropie samenvallen
 - statistische entropie is echter meer algemeen en kan gebruikt worden in gevallen waarin warmte of energie niet gedefinieerd zijn
 - statistische entropie hangt af van onze kennis, en kan dus veranderen zonder dat de thermodynamische entropie verandert

Informatie

- informatie is datgene wat ons gebrek aan kennis of onze onzekerheid opheft
 - informatie kan dus gedefinieerd worden als afname van entropie
- stel dat een systeem entropie $H(\text{voor})$ heeft, en dat we informatie I over het systeem krijgen (bvb. door het te observeren), zodanig dat de nieuwe, lagere entropie $H(\text{na})$ is
 - dan is de verkregen informatie: $I = H(\text{voor}) - H(\text{na})$
 - + stel dat $H(\text{na}) = 0$ (we zijn nu zeker over de toestand van het systeem)
 - dan is $I = H(\text{voor})$
 - + stel dat $H(\text{voor}) = 0$ (we waren zeker over de toestand van het systeem)
 - dan is $I = -H(\text{na})$, m.a.w. we hebben informatie verloren
- net zoals voor variëteit, dwang en entropie is de eenheid van informatie de bit
 - + dit is dezelfde bit waarmee het geheugen van een computer, of de transmissiesnelheid van een modem wordt gemeten
 - nota: 1 byte = 8 bit, 1 Kilobyte = 1000 (of 1024) byte, 1 Megabyte = 1 miljoen byte
 - 56.6 Kbps = 56 600 bit per seconde
 - de bitmaat voor informatietransmissie werd ontwikkeld door Shannon om de capaciteit van communicatiekanalen (bvb. telefoonlijnen) te meten
- Voorbeelden
 - + het antwoord op een “ja-nee” vraag (bvb. “Regent het?”) geeft je 1 bit informatie
 - in de veronderstelling dat de twee antwoorden dezelfde waarschijnlijkheid hebben
 - + als de waarschijnlijkheden verschillend zijn, is de verkregen informatie minder dan 1 bit
 - + bvb. stel dat je de vraag “regent het?” stelt in de Sahara, dan is de kans op het antwoord “ja” zeer klein

- in de meeste gevallen zal het antwoord “nee” alleen maar je verwachtingen bevestigen en dus amper enige informatie geven
- enkel in het uitzonderlijke geval dat het antwoord “ja” is, heb je echt significante informatie gekregen
- + onderstel $P(\text{nee}) = 0,99$, $P(\text{ja}) = 0,01$, dan is $I = -0,99 \cdot (\log_2 0,99) - 0,01 \cdot (\log_2 0,01) = 0,08$ bit
 - dit is in feite het *gemiddelde* (gewogen volgens de waarschijnlijkheid) van $I(\text{nee}) = -\log_2 0,99 = 0,014$, en $I(\text{ja}) = -\log_2 0,01 = 6,64$
 - $I(\text{nee})$ is dus veel kleiner dan $I(\text{ja})$, maar omdat “nee” veel meer voorkomt dan “ja” weegt het veel sterker door in de gemiddelde informatie die je krijgt
- + het antwoord op een vraag met meerdere mogelijke antwoorden geeft je i.h.a. meer dan 1 bit informatie
 - bvb. als de mogelijkheden zijn “zonnig”, “half bewolkt”, “bewolkt”, “regen”, “sneeuw” met dezelfde waarschijnlijkheid, dan geeft het weerbericht je $\log_2 5 = 2,3$ bit informatie
- Toepassing: compressie van gegevens
 - de meeste gegevens (bvb. in natuurlijke taal) bevatten veel minder feitelijke informatie dan je zou afleiden door het aantal letters te tellen (1 letter of karakter is typisch 1 byte)
 - + dat is omdat de waarschijnlijkheden van het voorkomen van letters niet homogeen is
 - bvb. “e” komt veel meer voor dan “q”, “ij” komt veel meer voor dan “uj” of “tx”
 - + in principe kan zulke taal gehercodeerd worden, zodat dezelfde informatie met minder letters kan worden voorgesteld,
 - bvb. door veel voorkomende combinaties van letters te vervangen door 1 nieuw teken, en zelden voorkomende letters door een combinatie van tekens
- Informatie kan weer geïnterpreteerd worden als een maat van dwang of van orde
 - hoe meer informatie we hebben over de toestand van een systeem, hoe minder mogelijkheden er overblijven voor het systeem
 - + informatie of entropie kan ook gebruikt worden om de onderlinge afhankelijkheid van componenten te meten
 - + hiervoor vertrekt men niet van $P(s)$, maar van $P(s_a | s_b)$
 - d.w.z. de conditionele waarschijnlijkheid dat component a in toestand s_a is, gegeven dat b in toestand s_b is
 - dit definieert $H(a|b)$, d.w.z. de onzekerheid over de toestand van a, gegeven de toestand van b
 - hoe kleiner $H(a|b)$, hoe zekerder we zijn over de toestand van a als we die van b reeds kennen, d.w.z. hoe meer informatie b ons geeft over a
 - $H(a|b)$ kan dus beschouwd worden als een maat voor de (afwezigheid van) connectie tussen b en a

Complexiteitsmaten?

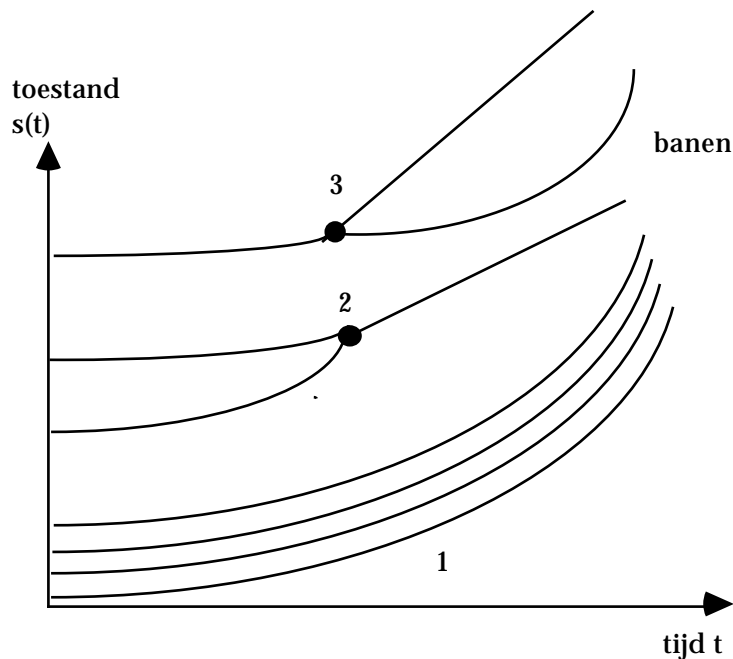
- in hoeverre kunnen variëteit, dwang, entropie of informatie gebruikt worden om de complexiteit te meten?
 - + variëteit/entropie meten wanorde, onbepaaldheid
 - dit wordt soms “ongeorganizeerde” complexiteit genoemd, maar is niet echt complex
 - + dwang/informatie meten orde, bepaaldheid
 - dit kan misschien beschouwd worden als een primitieve maat van organisatie, maar niet van complexiteit
 - + beide kunnen gebruikt worden om veranderingen in complexiteit te meten
 - maar niet complexiteit in zijn geheel
- Complexiteit stijgt enkel als zowel entropie als informatie stijgen
 - dit lijkt paradoxaal gezien toename van het ene gedefinieerd werd als afname van het andere
 - + toch kunnen we een situatie indenken waarin beide in zekere zin toenemen
 - + dit vereist echter een toename van de toestandsruimte met bijkomende distincties (objecten en of eigenschappen)
 - grotere toestandsruimte -> grotere variëteit/entropie
 - terzelfdertijd kunnen de connecties (relationele dwangen) tussen de componenten (objecten of eigenschappen) toenemen
 - + om dit soort processen te beschrijven hebben we een distinctiedynamica nodig
 - d.w.z. een theorie die verklaart hoe distincties kunnen toenemen/afnemen in de loop van de tijd

Variatie en selectieprincipes

Distinctiedynamica

- we zijn nu geïnteresseerd in de verandering in de loop van de tijd
 - evolutie, dynamica
 - + dit kan beschreven worden als een baan in de toestandsruimte die van vroegere naar latere toestanden loopt
 - baan = sequentie van opeenvolgende toestanden
 - i.h.b. hoe verandert complexiteit en de ermee verbonden fenomenen van variëteit, entropie en informatie?
- Newtoniaanse causaliteit
 - elke toestand wordt ondubbelzinnig door één welbepaalde andere toestand opgevolgd
 - + alle distincties blijven bewaard
 - twee verschillende begintoestanden komen overeen met twee verschillende eindtoestanden, en vice versa
 - Vb. baan van kanonkogel

- + variëteit (entropie, informatie) is dus constant
 - onze kennis over de begintoestand is niet groter of kleiner dan onze kennis over de eindtoestand
 - informatie blijft bewaard: neemt noch toe, noch af
- we kunnen dit soort van evolutie/dynamica samenvatten als: *distinctieconservatie*



- 1 distinctieconservatie
- 2 " destructie
- 3 " creatie

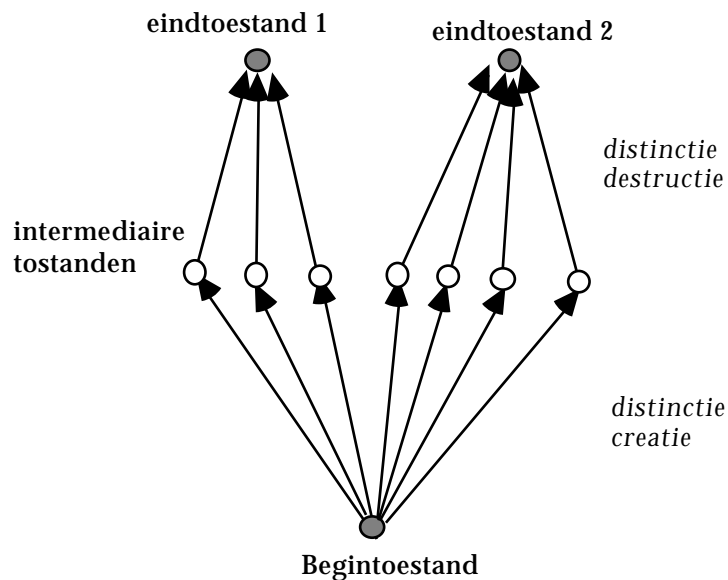
- irreversibiliteit

- + vb. bal rolt in put
 - vanwaar de bal ook wordt losgelaten, hij rolt naar het diepste punt en komt daar tot stilstand
 - + de bal kan niet op eigen krachten weer uit de put
 - de beweging is onomkeerbaar (irreversibel)
- + distincties worden vernietigd
 - verschillende begintoestanden resulteren in dezelfde eindtoestand
 - variëteit wordt kleiner
- + informatie neemt toe
 - we wisten eerst niet precies waar de bal lag, maar zijn nu zeker dat hij in de put ligt
 - we kunnen dit soort van evolutie/dynamica samenvatten als: *distinctiedestructie*

- onvoorspelbaarheid

- + vb. potlood vertikaal op zijn punt
 - wanneer het potlood wordt losgelaten, valt het om, in een richting die we niet kunnen voorspellen
- + distincties worden gecreeerd
 - dezelfde begintoestand kan tot verschillende eindtoestanden leiden

- als het experiment herhaald wordt, zal de uitkomst steeds verschillend zijn
- variëteit neemt toe
- + informatie neemt af
 - eerst wisten we precies waar het potlood zich bevond, nadien weten het niet juist meer
 - we kunnen dit soort van evolutie/dynamica samenvatten als: *distinctiecreatie*
- algemene evolutie
 - + een algemeen proces zal een combinatie zijn van distinctiecreatie, -destructie en -conservatie
 - bepaalde distincties zullen geconserveerd/gecreerd/vernietigd worden op bepaalde ogenblikken
 - als we vertrekken van één toestand (één distinctie) dan kan deze alleen bewaard blijven of splitsen (distinctiecreatie); zodra er meerdere distincties (toestanden) zijn, dan kunnen deze gedeeltelijk samensmelten (distinctiecreatie)



- een theorie (“dynamica”) van zulke processen zal ons een idee moeten geven van de “krachten” of “mechanismen” die deze sturen

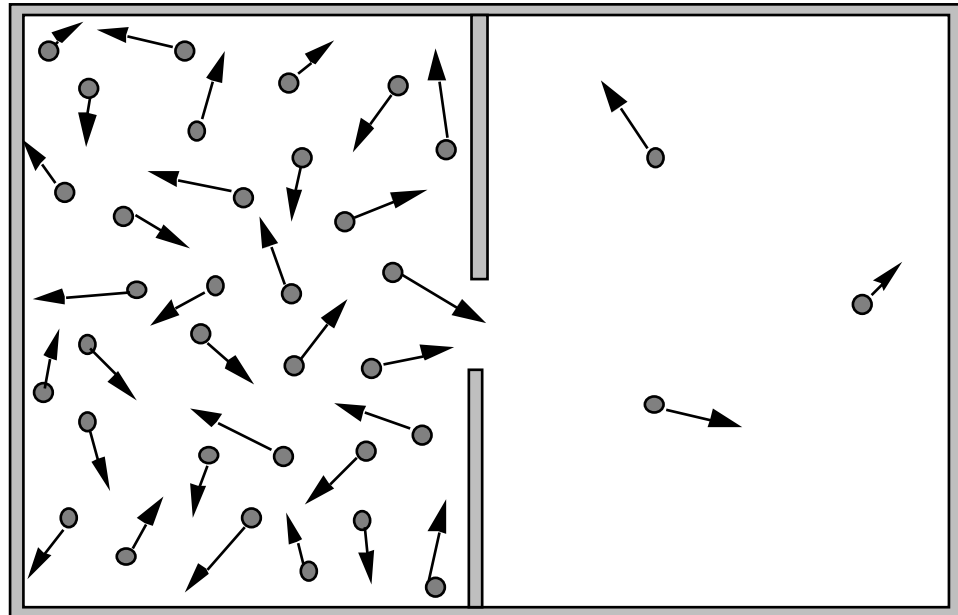
Variatie/drift

- een systeem aan zijn lot overgelaten zal i.h.a. willekeurig variëren onder invloed van allerlei onbekende storingen
 - we veronderstellen dat er geen systematische voorkeur of kracht is dat het in een welbepaalde richting stuwt
 - we kunnen de baan van het systeem in de toestandruimte niet bepalen
- daardoor verliezen we informatie over zijn toestand
 - als we eerst wisten in welke toestand het systeem zich bevond, dan weten we dat niet meer nadat onbekende storingen de toestand hebben beïnvloed

- Vb. een fles in zee geworpen, ten prooi aan de golven, stromingen, wind, etc.
 - hoe langer de fles “op drift” is, hoe verder ze i.h.a. zal verwijderd zijn van de plaats waar we ze in zee gooiden
 - we weten echter niet in welke richting de fles zal bewegen of waar ze zal terechtkomen
 - hoe langer we wachten, hoe groter onze onzekerheid is over waar de fles zich bevindt
- Vb. Brownse beweging
 - + een minuscuul stofdeeltje in een stilstaande vloeistof zal toch op een onvoorspelbare manier bewegen
 - dit is zichtbaar onder de microscoop
 - verklaring: vloeistof moleculen botsen tegen het deeltje vanuit willekeurige richtingen
 - elke botsing doet het deeltje een beetje bewegen
 - + dit soort van beweging wordt ook wel een “random walk” genoemd, d.w.z. een willekeurige, onvoorspelbare ‘wandeling’
 - vergelijkbaar met de baan van een dronkelap die niet weet waar hij naartoe wil
- toepassing: genetische drift
 - een populatie van dieren of planten zal variëren zelfs zonder natuurlijke selectie
 - door toevallige factoren zullen er nu eens meer dieren zijn met gen A, dan met gen B
 - als er toevallig eens geen dieren geboren worden met gen B, verdwijnt dit gen uit de populatie
 - op die manier evolueert de soort onafhankelijk van de omgeving

2de wet van de thermodynamica

- de voorgaande observatie over de spontane afname van informatie kan expliciet geformuleerd worden als een wet:
 - + in een systeem met enkel variatie kan de entropie slechts toenemen of gelijk blijven, maar nooit afnemen
 - entropie streeft naar een maximale waarde
 - pas wanneer het die bereikt heeft stopt de evolutie en komt het systeem tot evenwicht
 - dit impliceert dat zulke evolutie onomkeerbaar (irreversibel) is: de entropie kan nooit weer afnemen tot zijn oorspronkelijke waarde
 - dit komt overeen met de befaamde 2de wet van de thermodynamica (maar: zie nota!)
- Illustratie: de doos met twee compartimenten



- + beschouw een doos met 2 compartimenten gescheiden door een wand
 - in het linkercompartiment bevindt zich een gas, d.w.z. een verzameling moleculen die zich in willekeurige richtingen bewegen
 - het rechtercompartiment is aanvankelijk leeg
- + veronderstel dat een opening wordt gemaakt in de scheidingswand
 - + het gas stroomt vanzelf in het lege compartiment tot beide compartimenten homogeen gevuld zijn
 - daarna verandert er niets meer, het systeem is tot evenwicht gekomen
 - + de entropie is toegenomen
 - eerst wisten we zeker dat een willekeurige gasmolecule zich links bevond: $P(\text{links}) = 1$, $P(\text{rechts}) = 0$
 - nadien hebben we fifty/fifty kans om de gasmolecule links of rechts te vinden: $P(\text{links}) = P(\text{rechts}) = 0,50$
 - onze onzekerheid over de locatie van de molecules is dus toegenomen
 - de dwang op de moleculen is afgenomen: ze zijn niet langer beperkt tot het linkercompartiment
- + verklaring:
 - een molecule links die naar rechts vliegt ter hoogte van de opening zal in het rechtercompartiment terechtkomen
 - een molecule rechts die naar links vliegt ter hoogte van de opening zal in het linkercompartiment terechtkomen
 - de kans dat dit zou gebeuren is even groot voor links als voor rechts
 - er zijn echter aanvankelijk veel meer moleculen links, en dus ook veel meer moleculen die door het gat naar rechts vliegen

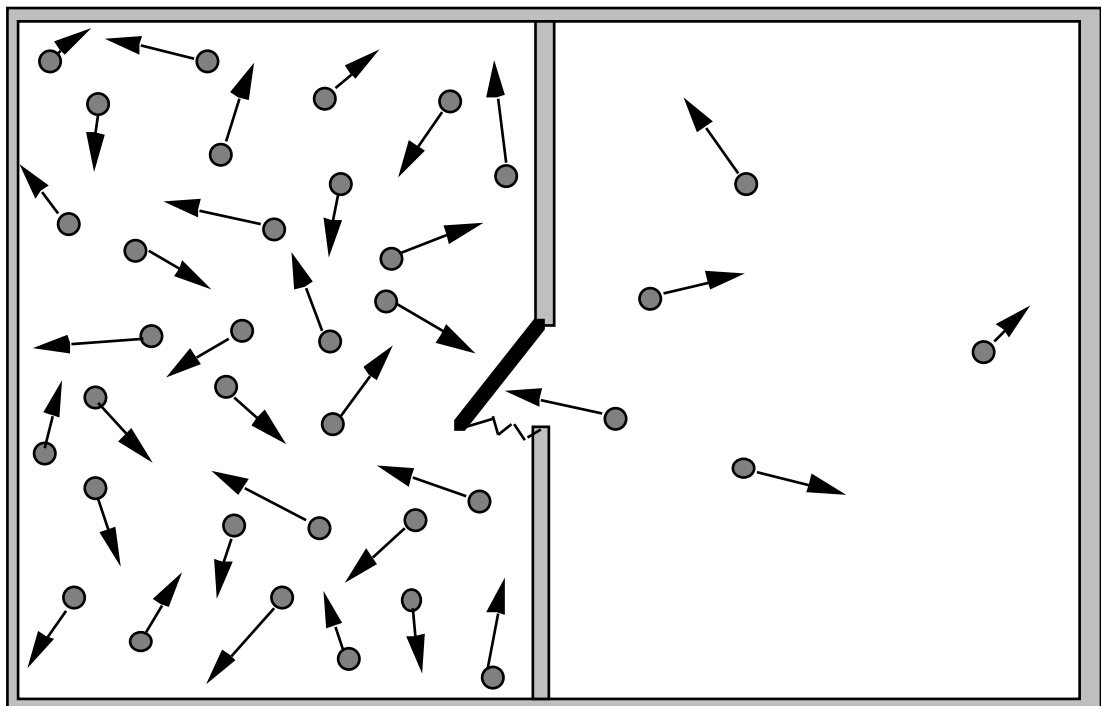
- + gemiddeld zullen dus veel meer moleculen links rechts vliegen dan omgekeerd
 - aldus zal het aantal moleculen rechts toenemen
 - wanneer beide compartimenten echter even vol zijn geraakt, zal het gemiddelde aantal moleculen die bewegen links rechts en rechts links even groot zijn
 - aldus blijft het aantal moleculen links of rechts vanaf nu gelijk
- Andere voorbeelden
 - een druppel inkt in een vloeistof verspreidt zich tot de vloeistof uniform gekleurd is
 - een ijsblokje in een glas water smelt, en warm en koud mengen zich
 - een zandkasteel valt geleidelijk uiteen onder invloed van weer en wind tot het zand weer helemaal egaal is
- Implicaties
 - + in systemen die aan hun lot worden overgelaten heeft de wanorde de neiging toe te nemen
 - + alle complexe systemen zijn onderhevig aan slijtage, aan het graduele verlies van organisatie, aan de ophoping van stof en vuil, etc.
 - Vbn. veroudering en dood, diffusie, lekkage, erosie, verval, kamers die niet worden opgeruimd worden chaotisch
 - + toegepast op het universum in zijn geheel lijkt dit erop te wijzen dat alle organisatie of structuur vroeg of laat zal verdwijnen: de “hittedood” van het universum
 - in de uurwerkmetafoor: de hittedood is wanneer de veer van het uurwerk is stilgevallen
 - alles is uniform of homogeen geworden: geen vorm, verandering of structuur meer, verlies van alle complexiteit of differentiatie
 - + indien men dit als een absolute wet beschouwt, dan is er geen ruimte voor zelforganisatie, evolutie, leven, vooruitgang
 - dit is een pessimistisch, fatalistisch wereldbeeld
 - + de enige mogelijk verklaring voor het leven/de organisatie die we rondom ons zien, moet dan zijn:
 - a) het resultaat van een ongelooflijk toeval (cfr. de visie van J. Monod, “Le Hasard et la nécessité”)
 - b) of de creatie van een of andere bovennatuurlijke kracht die in staat is de natuurlijke toename van de entropie tegen te gaan (bvb. de “élan vital” van H. Bergson)
 - + meer realistische interpretatie: toename van de entropie is slechts één zijde van de medaille
 - er is een complementair mechanisme dat het omgekeerde effect heeft
- **Belangrijke Nota:** de traditionele formulering van de 2de wet zegt dat de entropie niet kan afnemen *in een gesloten systeem*
 - gesloten = geen uitwisseling met de omgeving

- deze wet is geldig voor thermodynamische entropie (dissipatie van warmte)
- + we zullen nu echter tonen dat ze niet noodzakelijk geldig is voor statistische entropie (onzekerheid)
 - de nodige voorwaarde voor toename van statistische entropie is niet dat er geen uitwisseling is met de omgeving, maar dat er geen *selectie* is

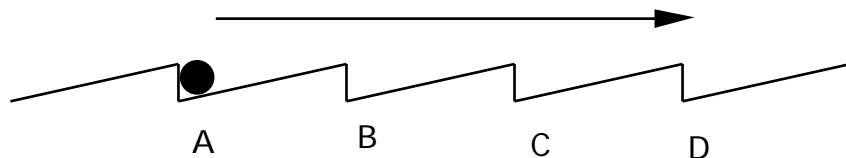
Asymmetrische transitie/Selectie

- Maxwell's demon

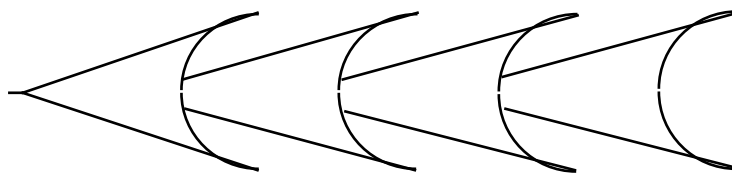
- beschouw opnieuw de doos met 2 compartimenten, met een opening in de scheidingswand
- beide compartimenten bevatten eenzelfde hoeveelheid gas
- veronderstel nu echter dat er op de opening een deurtje zit
- + de 19e eeuwse fysicus Maxwell vroeg zich af wat er zou gebeuren als er een klein duiveltje bij de deur zou zitten, en deze deur alleen zou opendoen voor de moleculen die van rechts komen
 - beweging links \leftrightarrow rechts \Rightarrow deur toe \Rightarrow de moleculen blijft links
 - beweging rechts \rightarrow links \Rightarrow deur gaat open \Rightarrow de moleculen verlaat het rechtse compartiment en komt het linkse binnen
 - netto resultaat: het rechtercompartiment ledigt zich in het linker
- + Conclusie: door de *selectieve* voorkeur van de demon neemt de entropie af
 - dit is in tegenspraak met de 2de wet van de thermodynamica
 - tal van wetenschappers hebben daarom geargumenteed dat zulke demon niet kan bestaan
- + we kunnen de demon echter gemakkelijk vervangen door een simpel mechanisme:
 - een veer die de deur open laat gaan als een moleculen er van rechts tegen aanbotst
 - maar die anders de deur sluit



- conclusie: om de entropie te doen afnemen volstaat het een *asymmetrie* aan te brengen in de bewegingen: rechts↔links gemakkelijker dan links↔rechts
- + opmerking: deze situatie is niet in tegenspraak met de 2de wet van de thermodynamica in haar oorspronkelijke betekenis
 - de *thermodynamische* entropie neemt wel degelijk toe: warmte wordt gedissipeerd
 - de *statistische* entropie (onzekerheid) neemt echter af
- Een ander voorbeeld van asymmetrische transities
 - demonstratie met kleine voorwerpen op stuk vasttapijt dat heen en weer bewogen wordt
 - + er is een voorkeursrichting: bewegingen in de ene richting zijn gemakkelijker dan in de andere richting
 - de haartjes van het tapijt wijzen in een bepaalde richting
 - gemiddeld genomen zal een willekeurige beweging (“random walk”, drift) dus omgezet worden in een gerichte beweging
 - alle objecten worden door deze beweging meegesleurd tot aan het eindpunt, waar ze zich ophopen
 - er is dus weer afname van de entropie: verspreide systemen concentreren zich in een klein deel van de toestandruimte
- + illustratie van het principe



-
- + wanneer het oppervlak willekeurig geschud wordt (bewegingen in beide richtingen even waarschijnlijk), dan zal de bal in de richting van de pijl bewegen
 - inderdaad, beweging van rechts naar links wordt geblokkeerd door steile trap
 - beweging van links naar rechts gaat vlot over zachte helling
- + Nog een vb.: een korenaar



-
- dringt gemakkelijk de kleding (bvb. pull) in met zijn punt
- eenmaal in de kleding is het zeer moeilijk het eruit te trekken
- Asymmetrische evolutie
 - deze voorbeelden illustreren een algemeen evolutieprincipe: de overgang van toestand A naar toestand B is i.h.a. niet even waarschijnlijk als de overgang van B naar A
 - + transities zijn i.h.a. asymmetrisch: A → B en B → A zijn niet evenwaardig
 - een van beide is i.h.a. gemakkelijker of waarschijnlijker

- in dit geval mogen we spreken van *selectie*: er bestaat een “voorkeur” voor een bepaalde richting en dus voor één van de twee toestanden
- stel dat $A \rightarrow B$ gemakkelijker is dan omgekeerd dan zullen de meeste systemen A verlaten en in B terechtkomen
- stel dat er geen andere toestand C is zodat $B \rightarrow C$ de voorkeur krijgt boven $C \rightarrow B$, dan zullen de systemen zich in B ophopen
- toestand B fungeert als een “attractor”, een plaats in de toestandsruimte die het systeem naar zich “aantrekt”
- Het “palrad” (“ratchet”) effect
 - sommige veranderingen zijn alleen mogelijk in één richting
 - vb. met een fiets kan je door trappen alleen vooruit gaan, niet achteruit
 - willekeurige variatie in zulke situatie zal geblokkeerd worden in de ene richting, gefaciliteerd in de andere
- + resultaat: willekeurige variatie wordt omgezet in gerichte, onomkeerbare verandering
 - zoals een trap met zeer hoge treden, waar je alleen van kan afvallen, maar nooit opklimmen
 - dit stuwt evolutie in een welbepaalde richting : “vooruitgang”
- Conclusie
 - bij willekeurige, onbekende (“random”) storingen hebben alle mogelijke verplaatsingen in de toestandsruimte dezelfde waarschijnlijkheid
 - d.w.z. dat er een diffusie zal plaatsgrijpen van een klein deel van de toestandsruimte naar een groter deel, en dus een toename van de entropie
- + in vele gevallen echter is de waarschijnlijkheid van verplaatsingen niet uniform
 - verplaatsingen in één richting zijn veel gemakkelijker dan in de andere
 - er is een selectieve voorkeur
 - in dat geval zullen systemen zich accumuleren in de regio van de toestandsruimte waar ze gemakkelijkst in kunnen (en moeilijkst uit)
 - entropie kan dus zowel af- als toenemen afhankelijk van de mate van selectie

Orde uit de chaos

- willekeurige variatie produceert entropie of wanorde
- selectieve voorkeur produceert orde of dwang
- tesamen produceren ze orde
- inderdaad: selectie blokkeert variaties in de “verkeerde” richting, maar laat variaties in de “goede” richting toe
- dus: toename van de willekeurige variatie leidt tot:
 - 1) meer wanorde als er geen selectie is
 - 2) meer orde als er wel selectie is

- m.a.w. in geval van selectie zal meer variatie (“chaos”, “noise”, storingen, fluctuaties) tot meer orde leiden
 - dit lijkt paradoxaal maar is een zeer fundamenteel principe met een grote toepasbaarheid
- Voorbeelden
 - + schudden van pot met tee/zout/nagels/zand...
 - hoe meer men schudt, hoe lager het niveau komt te liggen
 - selectieprincipe: brokjes die dichter tegen de bodem en tegen elkaar liggen zullen moeilijker weer omhoog komen
 - daarom “streven” alle stukjes naar een zo dicht mogelijke concentratie op de bodem
 - meer schudden (meer variatie) -> kleiner volume (meer orde)
 - toepassing: harden van metaal: hogere temperaturen -> meer variatie -> harder metaal (meer orde) na afkoeling
 - + demonstratie met paperclips
 - paperclips lichtjes geopend zodat ze in elkaar kunnen schuiven
 - het is gemakkelijker voor twee paperclips om in elkaar te schuiven dan om weer los te komen
 - dus: selectieprincipe: in elkaar geschoven paperclips verdienen de “voorkeur”
 - experiment: harder schudden van doos met paperclips -> meer paperclips hangen aan elkaar vast
 - resultaat: zelforganisatie van paperclips in losse kettingen
 - alternatief experiment: doos met magneetjes schudden tot ze allen aan elkaar plakken
- andere benamingen voor dit principe
 - Order from noise (von Foerster)
 - Order through fluctuations (Prigogine)
- Blinde variatie en Selectieve retentie
 - + in evolutietheorie spreekt men dikwijls over “blinde” of “willekeurige” (“random”) variatie
 - de mutaties in de genen zijn i.h.a. onvoorspelbaar, puur toevallig
 - de essentie van de Darwinistische evolutietheorie is dat dit voldoende is voor evolutie, zolang er ook selectie is
 - d.w.z. dat de variaties niet moeten gericht zijn om toch een gerichte evolutie voort te brengen
 - de variaties hebben geen “voorkennis” van wat de juiste evolutierichting is, ze zijn “blind”, ze kunnen niet “vooruitzien”
 - + de voorbeelden die we besproken hebben, maken het duidelijk dat we inderdaad niet meer nodig hebben voor gerichte evolutie
 - dit sluit echter niet uit dat sommige variaties min of meer gericht kunnen zijn
 - de essentie is echter dat evolutie zou werken *zelfs indien* variaties 100% blind waren

- + de onafhankelijkheid van variatie en selectie
 - “blindheid” betekent dat variaties niet “weten” welke de voorkeur is van selectie
- + selectie en variatiemechanismen zijn i.h.a. onafhankelijk
 - vb. mutaties in het DNA, en veranderingen in het klimaat
 - vb. bewegingen van de tapijt en richting van de haartjes op de tapijt
- + de “trial-and-error” methode
 - een algemene methode om problemen op te lossen: probeer iets (trial), en als het niet lukt (error), probeer iets anders, tot je tenslotte je doel bereikt hebt
- + dit is de methode die de evolutie gebruikt om te zoeken naar systemen die “de voorkeur verdienen”
 - Vb. organismen hebben verschillende nakomelingen (trial), sommige daarvan sterven (error), anderen overleven
- + indien je al eerder gelijkaardige problemen hebt opgelost, zal je i.h.a. niet puur willekeurig iets uitproberen, maar beginnen met dingen waarvan je uit ervaring weet dat ze een grotere kans van slagen hebben
 - in dit geval is je zoektocht niet echt “blind”, maar anderzijds weet je ook niet zeker hoe je naar je doel moet
 - dit is een voorbeeld van “heuristische” probleemoplossing: geen garantie op succes, maar een min of meer efficiënte methode om sneller tot het doel te komen
 - veel systemen in de evolutie hebben vormen van “heuristische kennis” ontwikkeld, zodat ze niet echt blind zijn, maar ook geen duidelijk zicht hebben op de toekomst
 - in dit geval blijft het algemene idee van variatie en selectie bruikbaar om het proces te beschrijven, eerder dan een visie uitgaande van voorbestemdheid of determinisme

Het stapsteenprincipe

- meer variatie maakt de kans groter om de “juiste” oplossing van een probleem te vinden
- dit helpt echter weinig als de kans op succes astronomisch klein is
- typische organismen zijn immens complexe systemen en kunnen maar overleven in zeer specifieke configuraties
 - zeer complex -> veel componenten en eigenschappen -> zeer grote toestandsruimte
 - zeer specifieke configuratie -> zeer klein deel van de toestandsruimte is levensvatbaar
 - het percentage levensvatbare toestanden is infinitesimaal klein
 - de vraag die rijst is dan: hoe is blinde variatie erin geslaagd net die toestand te vinden?
- Vb. denkbeeldig organisme met DNA streng van 1000 “woorden” lang
 - dit is veel eenvoudiger dan de eenvoudigste organismen die we kennen
 - 1 “woord” representeert 1 aminozuur (bouwsteen van de proteïnen die de cel vormen)
 - er zijn 20 mogelijke aminozuren (“woordenschat”)

- + de mogelijke toestanden voor dit systeem zijn de mogelijke “zinnen” die we kunnen maken van 1000 woorden lang elk woord gekozen uit 20 mogelijkheden
 - dit is 20^{1000} of ongeveer 10^{1301} (1 gevolgd door 1301 nulletjes) mogelijkheden
 - dit definieert de toestandruimte voor het systeem
- + veronderstel dat slechts één toestand de juiste is
 - hoe lang duurt het dan voor je die toestand kan vinden door variatie en selectie?
 - als je elke seconde een kans krijgt om te raden, en zo bezig blijft sinds het begin van het universum, dan heb je minder dan 10^{17} pogingen gehad
 - conclusie: hoe veel variatie er ook is, je zal nooit de juiste oplossing vinden enkel door blind te raden
- ander voorbeeld: stel dat een orkaan door een vuilnisbelt raast
 - hoe groot is de kans dat blinde variatie de verschillende stukken metaal zou assembleren in de vorm van een Boeing 747?
 - opnieuw is de kans zo goed als nul, onafhankelijk van de tijdsduur of de kracht van de orkaan
- + dit voorbeeld wordt dikwijls aangehaald door mensen die sceptisch staan tegenover de evolutietheorie van Darwin
 - + volgens hen is de kans om door willekeurige variaties een levend wezen te assembleren zodanig klein dat we wel een ander soort mechanisme moeten postuleren om het leven te verklaren
 - bvb. ingreep door God, door buitenaardsen, of door een soort kracht (zelforganisatie, élan vital, ...) die door Darwin niet voorzien werd
 - + Goddelijke verklaring in twee versies
 - + 1) creationisme: God heeft alle levende wezens direct gecreeerd, zoals in de Bijbel staat
 - probleem: hoe verklaar je dan de fossielen van primitieve diersoorten?
 - + 2) “intelligent design”: een ongespecificeerde intelligentie heeft op tijd en stond in de evolutie ingegrepen en ze in de goede richting gestuurd
 - + is moeilijker te weerleggen, maar geeft eigenlijk geen echte verklaring
 - vanwaar komt die intelligentie? hoe werkt ze? ...
 - het hierna volgende stapsteenprincipe geeft echter een veel simpelere oplossing
- de parabel van de brandkastkraker (voorbeeld gegeven door H.A. Simon)
 - stel een brandkast met een cijferslot bestaande uit 6 cijfers
 - om ze te openen moet je de juiste cijfercombinatie vinden
 - 6 cijfers elk met 10 mogelijkheden $\rightarrow 10^6 = 1$ miljoen mogelijke toestanden
 - dit is veel kleiner dan de toestandruimte van een organisme, maar nog steeds veel te groot om in de praktijk de oplossing te vinden door erop los te raden
- + hoe doet de brandkastkraker het?
 - elk van de radertjes van het cijferslot heeft 10 posities

- 1 van die posities, de juiste, is veel gebruikt en dus lichtjes uitgesleten
- wanneer het radertje door die positie gaat, hoor je een lichte “klik”
- je weet dan dat dat radertje juist zit en kan verdergaan met het volgende
- na maximum 6 x 10 pogingen zitten alle radertjes op de juiste plaats
- dus: ipv van 1.000.000 pogingen ben je er geraakt met max. 60
- + de cruciale stap is het horen van de “klik”
 - deze geeft je aan dat je op de juiste weg zit, en je nu kan concentreren op het volgende radertje
 - je hoeft dus niet alle mogelijke combinaties meer uit te proberen, gezien je de reeds geteste radertjes op hun plaats kan laten zitten
- in essentie: de “klik”, d.w.z. de informatie dat je op de goeie weg zit, dat je een deel van de oplossing hebt, herleidt het aantal uit testen mogelijkheden van een product (10 x 10 x 10 x...) tot een som (10 + 10 + ...)
 - het aantal mogelijkheden neemt dus niet exponentieel toe, maar lineair
 - + vb. van het denkbeeldig organisme: 20 + 20 + 20 ... = 20 x 1000 = 20.000 ipv 20^{1000}
 - met 20.000 pogingen ben je zeker om de oplossing te vinden
 - + voor de evolutie is dit triviaal
 - er zijn miljarden jaren en miljarden organismen geweest om de diverse mogelijkheden uit te proberen
 - + beschouw een meer realistisch organisme met 1 miljoen woorden in het DNA, dan hebben we 20 x 1 miljoen = 20 miljoen pogingen nodig,
 - dit is nog steeds zeer weinig naar evolutionaire normen
- in de praktijk krijgen we natuurlijk geen “klik” na elk juist gerade woord
- we vinden echter wel gedeeltelijke oplossingen, “tussenstappen” naar het verder afgelegen doel
- de metafoer van de rivier
 - stel dat een rivier 6 meter breed is, d.w.z. te breed om over te steken zonder nat te worden
 - stel nu dat er om de meter een grote steen boven het water uitsteekt
 - we kunnen dan van steen naar steen stappen tot we de rivier over zijn
 - aldus fungeren partiele oplossingen als “stapstenen” naar de volledige oplossing, die een schijnbaar onoplosbaar probleem bijna triviaal maken
 - **opmerking:** in de echte evolutie is er uiteraard geen “volledige” of “finale” oplossing: er zijn alleen partiele oplossingen, en alles kan altijd verder verbeterd worden
- Nog een vb: evolutie van het oog in 6 “stappen”
 - + de complexe organisatie van het oog is een andere voorbeeld dat de critici van de evolutietheorie graag gebruiken
 - door componenten blind door elkaar te gooien is de kans uiterst klein dat je een werkbaar oog krijgt

- + op het eerste zicht zijn er ook geen partiële oplossingen
 - wat kan je immers doen met een half oog?
- + nochtans is het heel simpel om een sequentie van partiële oplossingen of tussenstappen te bedenken:
 - 1) deel van huid wordt lichtgevoelig: dier kan nu nacht van dag onderscheiden
 - 2) lichtgevoelig deel zakt weg in holte: simpele “camera obscura”
 - 3) holte wordt afgeschermd door stukje transparante huid
 - 4) huid wordt dikker in het midden -> simpele lens focust het licht
 - 5) spiertjes trekken aan de lens om ze dikker of dunner te maken: het oog kan nu focussen zowel dichtbij als veraf
 - 6) de lichtgevoelige cellen muteren in verschillende types, gevoelig resp. voor blauw, groen en rood licht -> het oog kan kleuren herkennen
- elk van deze stappen is een onmiskenbare verbetering, die de voorkeur verdient boven de vorige, en die dus zal geselecteerd worden
- de sequentie is realistisch gezien er diersoorten bestaan die in elk van de 6 stadia zijn blijven zitten
- opmerking: min of meer dezelfde sequentie werd gevolgd bij de uitvinding van het fotoapparaat

Dynamica

Nogmaals: variatie en selectie

- variatie = distinctiecreatie = divergentie = toename van de entropie
 - variatie is het exploreren van nieuwe toestanden, zonder vooringenomenheid of gerichtheid
 - effect van willekeurige, ongecoördineerde storingen of invloeden
- + variatie hoeft niet echt verklaard te worden
 - zolang het universum niet totaal verstart of bevroren is, zijn er altijd bronnen van variatie
 - elk systeem waarvan de temperatuur boven het absolute nulpunt ligt (-273°C) ondergaat thermische fluctuaties (kleine bewegingen van de moleculen)
 - volgens de quantummechanica kan zelfs het vacuum (dat per definitie op het absolute nulpunt ligt) quantumfluctuaties ondergaan
- Selectie = distinctiedestructie = convergentie = afname van entropie
 - + selectie is het verkiezen van bepaalde toestanden of variaties
 - en het elimineren van de andere
 - + wat wordt er in feite geselecteerd?
 - de vraag is nu waarom bepaalde toestanden de voorkeur verdienen
 - waarom is er een verschil tussen toestanden?
 - het antwoord is *fitness*: toestanden met een hogere fitness verdienen de voorkeur

- Minimale stap in evolutie = variatie gevolgd door selectie
- voor we fitness beter gaan analyseren, moeten we eerst de verschillende klassen van variatie en selectie analyseren

Sequentiële of parallele variatie en selectie

- **sequentiële** variatie = de ene toestand volgt de andere op
 - er is een stricte sequentie of opeenvolging van verschillende toestanden
 - er wordt maar één toestand op een gegeven ogenblik uitgeprobeerd
 - + Vb. een fles in de zee wordt door wind en golven voortgestuwd
 - de fles kan maar op één plaats tegelijk zijn
 - + sequentiële selectie = één van de toestanden in de sequentie blijft behouden, de sequentiële variatie stopt
 - d.w.z. dat alle andere toestanden van de sequentie “verworpen” of geëlimineerd worden
 - + Vb. de fles spoelt aan op een eilandje, en blijft liggen
 - de aangespoelde toestand wordt geselecteerd, de rondrijvende toestanden worden geëlimineerd
- **parallele** variatie: verschillende toestanden worden in parallel, gelijktijdig uitgeprobeerd
 - dit veronderstelt dat er op een gegeven ogenblik verschillende exemplaren of kopiën van het systeem bestaan, elk in zijn eigen toestand
 - parallele selectie elimineert de onaangepaste exemplaren en behoudt de aangepaste
 - + Vb. bacteriën ontwikkelen resistentie tegen een antibioticum
 - op elk ogenblik zijn er in het lichaam van de patiënt miljarden bacteriën aanwezig die allemaal afstammen van één of enkele binnengebrachte kiemen
 - deze bacteriën planten zich voortdurend voort door splitsing
 - + elke nieuwe bacterie is potentiëel een variatie op de andere
 - door het optreden van mutaties: kleine foutjes in het kopiëren van het DNA van de bacterie
 - allemaal tesamen vormen de bacteriën een enorm aantal variaties op het basispatroon
 - sommige van deze variaties zijn beter bestand tegen het antibioticum en zullen dus langer overleven
 - als de bacteriën erin slagen voldoende nakomelingen met voldoende variaties voort te brengen, zullen ze vroeg of laat een toestand ontdekken die resistent is, en dus zich verder zal blijven ontwikkelen
- Relatie tussen beide types
 - + parallele variatie is de typische vorm van variatie zoals die door Darwin en de biologen wordt gezien
 - men gaat ervan uit dat levende organismen meerdere nakomelingen hebben die elk verschillend zijn
 - deze nakomeling leven naast elkaar (parallel), in concurrentie met elkaar

- + hoe groter het aantal parallele varianten (aantal nakomelingen, populatie), hoe groter de kans dat één of meerdere ervan een toestand zullen hebben die geselecteerd wordt
 - op hoe meer paarden je tegelijk wedt, hoe groter de kans dat één ervan zal winnen
 - om die reden is parallele variatie dus intrinsiek efficiënter dan sequentiële variatie
 - dit betekent echter niet dat sequentiële variatie niet tot snelle evolutie kan leiden
- + sequentiële variatie is meer typisch voor fysische, computer- of mentale systemen
 - + sequentiële variatie kan ook efficiënt gemaakt worden door de snelheid van de variatie op te drijven (meer verschillende toestanden per tijdseenheid)
 - bvb. het “orde uit chaos” principe: hoe harder de doos met paperclips geschud wordt, hoe sneller we een toestand bereiken waar de paperclips aan elkaar hangen
 - bewust denken verloopt grotendeels sequentiëel: we kunnen ons slechts op één mogelijke oplossing tegelijkertijd concentreren, en, als blijkt dat ze niet voldoet, onze aandacht richten op een volgende variatie, enz.
 - + de meeste computers werken nog steeds sequentiëel: ze kunnen niet meer dan één instructie tegelijk uitvoeren
 - + het is echter courant om parallele processen te simuleren op computers:
 - + bvb. je computer kan verschillende programma's tegelijkertijd laten lopen
 - in feit lopen ze niet echt gelijktijdig, maar besteedt de processor enkele milliseconden aan het eerste, dan aan het volgende, dan aan het volgende, ... om weer terug te komen bij het eerste, enzovoort
 - dit overspringen gaat zo snel dat het lijkt of de verschillende programma's gelijktijdig worden uitgevoerd
 - + doordat de huidige processoren zo enorm snel zijn, kunnen ze op enkele seconden tijd een “generatie” van parallel variërende systemen simuleren
 - bvb. een artificiële ecosysteem met virtuele organismen die in parallel evolueren
- + evolutie van de kennis gebeurt zowel parallel als sequentiëel
 - sequentiëel: een wetenschapper of filosoof beschouwt verschillende mogelijke oplossingen voor een probleem de ene na de andere (variatie), tot er eentje wordt gevonden dat het probleem oplost (selectie)
 - parallel: verschillende denkers zoeken gelijktijdig naar een oplossing; als één van hen succes heeft, zullen de anderen i.h.a. hun pogingen staken en de goede oplossing overnemen
- + traditionele evolutietheoretici, die vanuit een biologisch geïnspireerd kader denken, hebben gewoonlijk geen oog voor sequentiële variatie en selectie
 - voor hen is nog steeds “replicatie” (het maken van (parallele) kopiën met lichte variaties) nodig om evolutie te hebben
 - het feit dat computers sequentiëel werken en toch buitengewoon effectief zijn in het simuleren van parallele evolutie toont echter aan dat er geen fundamenteel onderscheid is

Interne of externe variatie

- variatie is i.h.a. intern: d.w.z. dat de componenten of eigenschappen van het systeem op zichzelf variëren
 - vb. mutaties in het DNA van een organisme, denkprocessen in een brein
 - dit betekent in essentie dat het systeem verschillende toestanden van zijn eigen, van te voren gedefiniëerde, toestandruimte doorloopt
 - de meeste evolutionaire theoriën gaan uit van interne variatie, omdat deze gemakkelijker te beschrijven is
- variatie kan ook extern zijn: d.w.z.. dat er een uitwisseling is van componenten met een ander systeem
 - + vb. seksuele voortplanting: stukjes DNA van de moeder en de vader worden gerecombineerd om het DNA van het kind te vormen
 - **Opmerking:** omdat het DNA van vader en moeder sterk op elkaar lijken (tot hetzelfde type systeem behoren), kan men in de praktijk recombinatie beschrijven op dezelfde manier als mutatie, d.w.z. interne variatie
 - + vb. symbiose: twee organismen van een verschillende soort passen zich zodanig aan elkaar aan dat ze als het ware een nieuw organisme vormen
 - vb. korstmoss is een symbiose van een soort alg en een soort schimmel
 - eukaryoten (complexe cellen, zoals die van ons lichaam) bevatten mitochondriën, energieproducerende organellen, die afstammelingen zijn van vrij levende bacteriën die in de cel binnengedrongen zijn
 - onze darmen bevatten bacteriën die nodig zijn voor de spijsvertering
 - + vb. chemische reacties: twee moleculen komen in contact en wisselen atomen uit, resulterend in één, twee, of meer nieuwe moleculen
 - Na (Natrium, metaal) + Cl (Chloor, gas) → NaCl (keukenzout)
 - in het geval van externe variatie ontstaat er in zekere zin een nieuw systeem, met nieuwe componenten, en dus een nieuwe toestandruimte

Interne of externe selectie

- in traditionele evolutietheoriën gaat men ervan uit dat selectie extern is, d.w.z. gestuurd door de omgeving
 - + eliminatie van toestanden die niet aangepast zijn aan de *omgeving*
 - vb. een langharige mammoet in een warm klimaat, een wit konijn in een donker bos
- selectie kan echter ook intern zijn: toestanden die *intrinsiek* onstabiel zijn, verdwijnen
 - zulke toestanden worden geëlimineerd onafhankelijk van de omgeving
 - vb. een onregelmatig gemagnetiseerd stuk ijzer waarvan de magneetjes in tegengestelde richtingen wijzen

- + interne selectie is typisch voor zelforganizatie: het is het systeem zelf dat bepaalt welke toestand “werkt” en welke niet
 - vb. alle interne magneetjes parallel is een toestand die verkozen wordt boven andere
- + interne selectie gebeurt ook in biologie
 - vb. niet levensvatbaar embryo wordt spontaan geaborteerd, vòòr het in contact komt met de omgeving
- + interne selectie is essentieel in mentale evolutie
 - een wetenschapper die een probleem probeert op te lossen zal het merendeel van de potentiële oplossingen (variaties) reeds verwerpen op basis van eigen, interne selectiecriteria (incoherent, te ingewikkeld, contradictie met gekende feiten) enz.
 - + pas als het idee deze interne selectie overleefd heeft, zal het in de buitenwereld uitgetest worden, bvb. door een wetenschappelijk experiment
 - dit is de fase van externe selectie
- + i.h.a. zal elke variatie intern geselecteerd worden vòòr ze met de buitenwereld in aanraking komt en daar externe selectie ondergaat
 - + dit verklaart waarom veel variaties (i.h.b. mentale) doelgericht, vooruitziend lijken te zijn
 - de oorspronkelijke variaties waren blind, maar de meeste hiervan zijn geëlimineerd door interne selectie, zodat alleen de beste overblijven

Classificatie van evolutionaire processen

- de typische, Darwinistische, biologische visie van evolutie gaat uit van parallelisme, interne variatie en externe selectie
- dit is echter een zeer beperkte visie: men moet ook rekening houden met sequentiële processen, externe variatie, en interne selectie
- als men dat doet, blijken allerlei processen die niet in het strict Darwinistische kader passen toch perfect te beschrijven door variatie en selectie
 - bvb. zelforganizatie, symbiose, denkprocessen, chemische reacties, etc.
- het feit dat de meeste auteurs geen onderscheid maken tussen deze verschillende klassen van processen leidt tot veel onnodige discussie en spraakverwarring
 - bvb. sommigen beschrijven zelforganizatie d.m.v. van selectie, anderen beweren dat zelforganizatie tot een totaal verschillende categorie behoort die niets met selectie te maken heeft
 - het begrip “natuurlijke selectie” (selectie door de natuur, d.w.z. de omgeving) wordt dikwijls gebruikt om de klassieke Darwinistische selectie aan te duiden, maar eigenlijk helpt dit weinig om de spraakverwarring te voorkomen, gezien zelforganizatie evenzeer een “natuurlijk” proces is

- vanuit een systeemtheoretisch perspectief is er geen strict onderscheid tussen de verschillende klassen:
 - + wat extern is voor een subsysteem, is i.h.a. intern voor het supersysteem dat dit subsysteem omvat, en vice versa
 - + bvb. een embryo dat niet overleeft omdat het niet in staat is zich te implanteren in de baarmoeder is het slachtoffer van externe selectie: het was niet aangepast aan zijn omgeving (de baarmoeder)
 - vanuit het standpunt van de moeder (het supersysteem) echter is de mislukte zwangerschap een voorbeeld van interne selectie: het embryo werd geëlimineerd vòòr het in contact kwam met de buitenwereld
 - bvb. uitwisseling van DNA tussen vader en moeder is externe variatie voor de moeder (substelsysteem), maar interne variatie voor de soort waartoe moeder en vader behoren (supersysteem)
 - + een verzameling subsystemen die in parallel evolueren, kunnen ook gezien worden als één supersysteem dat sequentiëel evolueert, en vice-versa
 - de toestand van het supersysteem is eenvoudigweg het Cartesisch product van de toestanden van de parallel evoluerende subsysteem
 - Vb. men kan de bewegingen van twee biljartballen op een tafel beschrijven door twee parallele banen, elk in een tweedimensionale toestandsruimte (x-coördinaat = lengte, y-coördinaat = breedterichting tafel), of door één, sequentiële baan in een 4-dimensionale toestandsruimte (x-coördinaat bal 1, y-coördinaat bal 1, x-coördinaat bal 2, y-coördinaat bal 2)
 - + intern of extern, sequentiëel of parallel, is dus enkel een kwestie van gezichtspunt
 - in de praktijk zijn de gezichtspunten echter belangrijk, omdat ze de beschrijving ondoenbaar ingewikkeld of juist heel eenvoudig kunnen maken
 - + bvb. als men een kolonie van een biljoen bacterien, elk met honderd genen die kunnen variëren, zou beschrijven als één sequentiëel evoluerend supersysteem, dan zou men een toestandsruimte met honderd biljoen dimensies nodig hebben
 - het is veel eenvoudiger het systeem te beschrijven vanuit het standpunt van één bacterie die een honderd-dimensionale toestandsruimte exploreert, en te veronderstellen dat de andere bacterien hetzelfde doen in parallel
- **Algemene conclusie:** alle evolutionaire processen kunnen begrepen worden als een resultaat van variatie en selectie
 - dit omvat zowel fysische, biologische, mentale als socioculturele processen
 - deze filosofie wordt ook wel *selectionisme*, of (*universele*) *selectietheorie* genoemd

Fitness

- natuurlijke selectie = “survival of the fittest”
 - de meest fitte worden geselecteerd, de minder fitte worden geëlimineerd

- + kan gezien worden als een tautologie:
 - + fit = dat wat overleeft => natuurlijke selectie betekent niet meer dan: wat overleeft, overleeft
 - lijkt triviaal, zinledig
 - deze interpretatie is niet strikt verkeerd, maar misleidend
 - + alle wetten van de logica en van de wiskunde zijn tautologieën
 - d.w.z. dat ze noodzakelijk, per definitie, waar zijn
 - bvb. $a \ \& \ \text{niet } a = \text{vals}$, $1 + 1 = 2$
 - dit betekent echter niet dat logica en wiskunde triviaal of zinledig zijn
 - + het nut van een gelijkheid is de connectie tussen twee verschillende voorstellingen, zienswijzen of aspecten van het zelfde fenomeen (bvb. $1 + 1$ en 2)
 - als je de ene voorstelling kent, kan je er de andere uit afleiden
 - de verandering van voorstelling laat je dikwijls toe niet-triviale voorspellingen of inzichten af te leiden
 - + hetzelfde geldt voor natuurlijke selectie
 - wat geselecteerd wordt en wat fit is, zijn twee zienswijzen op hetzelfde fenomeen
 - “fit” kijkt meer naar de eigenschappen van het fenomeen zelf
 - “selectie” kijkt meer naar wat er met het fenomeen gebeurt
 - + het voordeel van een tautologie is dat ze niet gejustifiëerd dient te worden: ze is per definitie juist
 - als men een verschijnsel heeft herleid tot natuurlijke selectie, dan heeft men het in zekere zin volledig verklaard
 - als men een verschijnsel daarentegen herleidt tot de wetten van de natuur of de wil van God, dan moet men nog steeds verklaren waarom God dat juist gewild heeft, of waarom de natuurwetten juist die vorm hebben
- abstracte definitie van fitness
 - fitte systemen of toestanden worden meer talrijk, onfitte systemen worden minder talrijk en verdwijnen tenslotte
 - + men kan dit op de volgende manier quantificeren: $F(s) = N(s, t+1)/N(s, t)$
 - d.w.z. de fitness van de toestand/systeem s is gelijk aan het aantal verschijningen van s op tijdstip $t + 1$ (toekomstige generatie) gedeeld door het aantal op tijdstip t (huidige generatie)
 - m.a.w. $F(s) = 1$ wil zeggen dat het aantal constant blijft, $F > 1$ wil zeggen dat het aantal toeneemt, $F < 1$ wil zeggen dat het aantal afneemt

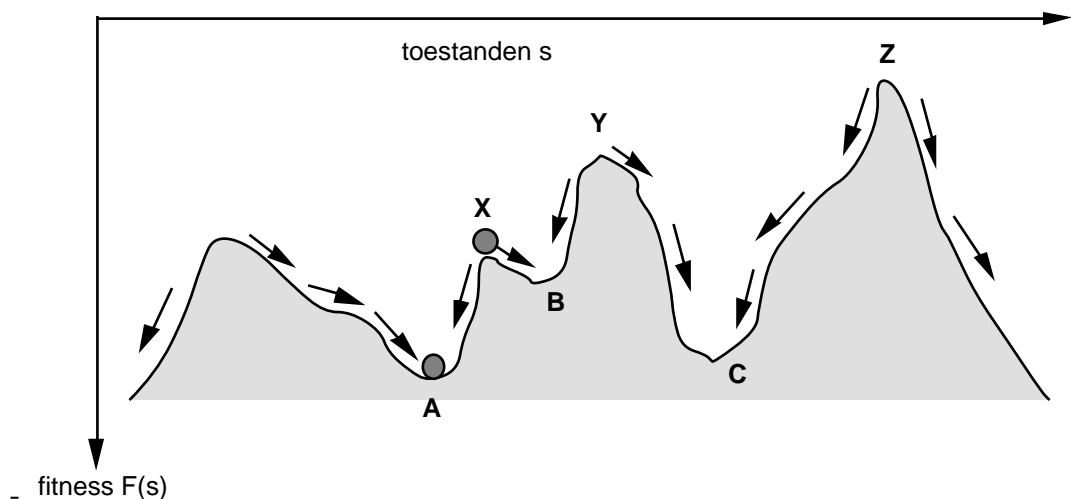
- + er zijn verschillende mechanismen waardoor het aantal “verschijningen” kan af- of toenemen
 - **overleving**: als niet alle verschijningen overleven, neemt het aantal af, wat leidt tot een lage fitness
 - **voortplanting**: als elke systeem veel nakomelingen produceert, neemt het aantal toe, wat leidt tot hoge fitness
- + **“spontane generatie”**: als systemen van een bepaald type uit zichzelf ontstaan (dus niet door reproductie van een bestaand systeem), neemt het aantal toe, wat leidt tot hoge fitness
 - + levende organismen ontstaan niet spontaan, maar bepaalde fysische systemen wel (bvb. moleculen, sneeuwvlokjes, kristallen, enz.)
 - sommige hiervan (bvb. autokatalytische moleculen, kristallen) kunnen zich zowel vermeerderen door voortplanting als door spontane generatie
 - Opmerking: gezien de meeste toepassingen van fitness en van evolutie uit de biologie komen, wordt spontane generatie i.h.a. over het hoofd gezien
 - Conclusie: fitte verschijningen sterven niet te snel af, en worden ofwel op tijd gereproduceerd of ontstaan spontaan
- + Er zijn echter wel verschillende “strategiën” om hoge fitness te krijgen, naarmate de nadruk wordt gelegd op één van de 3 mechanismen: overleving, reproductie, spontane generatie
 - + toepassing: r-K selectie
 - r-selectie: snelle voortplanting (maar korte levensduur): bvb. bacteriën, muizen, onkruid
 - K-selectie: lange levensduur (maar trage voortplanting): bvb. mensen, olifanten, eikebomen
- concrete eigenschappen van een fit systeem
 - + dubbele betekenis van het Engelse woord “fit”:
 - + aangepast, passend, geschikt
 - past in de omgeving, en maakt daar optimaal gebruik van
 - d.w.z. overleeft externe selectie
 - + robuust, levenskrachtig, in goede conditie (meer zoals het Nederlandse woord “fit”)
 - is zelfstandig in staat om te overleven
 - d.w.z. overleeft interne selectie
 - + externe of relatieve fitness
 - + voorbeelden van “fit” of “passen”
 - + illustratie: een stukje van een legpuzzel “past” in het juiste gaatje
 - eenmaal op de juiste plaats komt het nog moeilijk los

- een sleutel “past” in het slot
- de molecule van een medicijn past in de juiste receptor in ons lichaam
- het eerste type fitness is relatief t.o.v. de omgeving, en meer bepaald t.o.v. van de specifieke “positie” die het systeem inneemt in zijn omgeving
- + men noemt zulke positie waaraan een systeem specifiek aangepast is een “*niche*”
 - d.w.z. een specifieke levenswijze die gebruikt maakt van bepaalde dingen die de omgeving te bieden heeft
 - vb. koala’s leven van de bladeren van de eucalyptusboom, zonder eucalyptusbomen zouden koala’s niet overleven
- + in dezelfde omgeving leven echter ook andere organismen, zoals kangoeroes, die geen nood hebben aan eucalyptusbomen
 - de kangoeroes vullen een andere niche dan de koala’s
- + bvb. binnen onze economie bestaat er een niche voor reparateurs van auto-uitlaten
 - zonder auto’s zouden deze bedrijven niet kunnen overleven
- + relatieve fitness leidt i.h.a. tot specialisatie, om de specifieke eigenschappen van de niche zo efficiënt mogelijk uit te buiten
 - bvb. auto-uitlaatbedrijven zijn efficiënter in hun specifieke niche dan algemene autoreparateurs
- + interne of absolute fitness
 - het tweede type fitness is absoluut, onafhankelijk van de omgeving
- + deze fitness kan bereikt worden door intrinsieke stabiliteit
 - bvb. een diamant is zeer hard en dus quasi onverwoestbaar, in om het even welke omgeving
- + maar ook door intrinsieke flexibiliteit of aanpassingsvermogen
 - bvb. ratten, mensen, of kakkerlakken passen zich aan aan de meest diverse omgevingen
 - dit soort fitness bevoordeelt de “generalisten”, die van alle markten thuis zijn
 - generalisten doen het i.h.a. beter in een omgeving die veel verandert zodat er steeds opnieuw aanpassing nodig is, specialisten in een omgeving die zeer stabiel is
- De richting van de evolutie
 - + hoewel evolutie i.h.a. onvoorspelbaar is, zal ze de voorkeur geven aan toegenomen fitness
 - i.h.b. aan toegenomen absolute fitness, gezien de relatieve fitness zelf zal veranderen wanneer de omgeving verandert
 - + de metafoor van de berg
 - laat een bal los van de top van een steile, onregelmatige berg
 - de bal rolt naar beneden botsend op allerlei obstakels, zodat zijn baan zeer onvoorspelbaar is
 - je kan niet zeggen waar de bal juist tot stilstand komt

- je weet echter zo goed als zeker dat de bal tot stilstand komt op een positie *lager* dan de vertrekpositie
- de richting van de evolutie is dus onbepaald in de horizontale richtingen (Oost-West of Noord -Zuid) maar bepaald in de verticale richting (naar beneden, niet naar boven)
- we kunnen deze metafoor nu uitwerken tot een exact, wiskundig model waarbij fitness de rol van de verticale dimensie speelt

Fitness landschappen

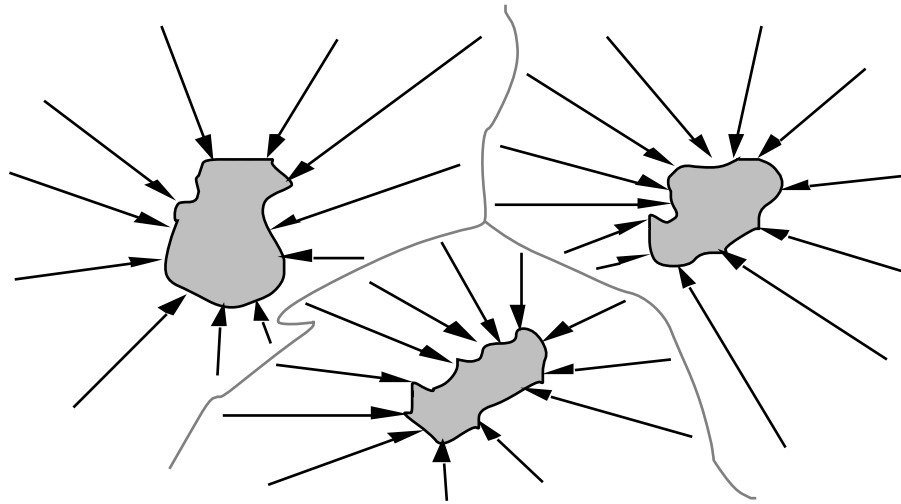
- veronderstel dat we voor elke mogelijke toestand s van een systeem de fitness waarde $F(s)$ kennen
- stel de fitness waarde voor als de verticale dimensie
 - + als we nu aan elk punt in de toestandsruimte zulke “hoogte” toekennen, dan vormen we de ruimte om tot een **fitnesslandschap**
 - + in de meeste artikels betekent “hoger” ook fitter, maar in dit geval zullen we hoger als *minder* fit beschouwen
 - dit is gewoon een conventie die niets verandert aan de bruikbaarheid van de voorstelling
 - d.w.z. dat we ipv een vlakke, uniforme ruimte nu een landschap met bergen en dalen krijgen



- volgens onze conventie komen bergen (X, Y, Z) overeen met lage fitness, dalen (A, B, C) met hoge fitness
- + Nota: in biologie is de traditionele conventie omgekeerd, en komt een “fitness peak” (piek, bergtop) overeen met hoge fitness
 - deze conventie is eigenlijk iets minder intuïtief om de evolutie in een fitness landschap te begrijpen
- per definitie zal een systeem een fittere toestand verkiezen boven een minder fitte
 - dit betekent dat variatie en selectie de baan van het systeem zullen leiden van de minder naar de meer fitte toestanden

- + vanuit elke toestand zal het systeem naar de aangrenzende toestand gaan met de hoogste fitness
 - + het kan echter niet *over* de aangrenzende toestanden *heen springen*, naar een verder afgelegen toestand, zelfs als deze nog fitter is
 - de reden is dat variatie i.h.a. klein is: slechts één of enkele eigenschappen tegelijk worden gevarieerd
 - men kan zich dit voorstellen als een bal die naar beneden rolt van de berg (bvb. X), het dal (bvb. A) in, en daar tot stilstand komt
 - hoe steiler de helling, hoe sneller de bal (het systeem) naar beneden zal rollen
- + de pijltjes in de tekening duiden aan in welke richting de evolutie zal gaan voor de verschillende gebieden in de toestandsruimte
 - bvb. van X naar A of B, van Y naar B of C
- Locale en globale maxima
 - een dal (bvb. B) is een *lokaal maximum* van de fitness functie
 - d.w.z. dat geen enkele toestand in de onmiddellijke omgeving een hogere fitness heeft (m.a.w. lager ligt)
 - een systeem dat in de omgeving van B komt, moet noodzakelijk in B eindigen
- + eens in B kan het niet verder of terug, gezien elke aangrenzende toestand nu een lagere fitness heeft, en dus minder goed is dan B
 - de bal kan enkel naar beneden rollen, niet naar boven
 - het systeem kan vanuit B dus A of C niet bereiken, zelfs al hebben deze toestanden een grotere fitness
- een *globaal maximum* is de toestand met de hoogste fitness van allemaal
- + het is in het algemeen echter zeer moeilijk voor een systeem om dit globaal maximum te bereiken
 - het systeem kan immers alleen lokaal, in zijn onmiddellijke omgeving, de meest fitte toestand proberen te vinden
 - de kans is groot dat het systeem blijft vastzitten in een lokaal maximum met een in feite zeer povere fitness, gewoonweg omdat er geen beter alternatief in de buurt is
 - zelfs al lag een toestand met zeer goede fitness “net om het hoekje”, dan nog zou het systeem niet weten hoe het dit maximum moest vinden
 - conclusie: evolutie optimaliseert (vindt de best oplossing) niet, het probeert alleen te verbeteren tot het niet meer verder geraakt
- + Hoe geraakt een systeem dan uit de vallei?
 - + “orde uit chaos” principe: toename van de variatie maakt het mogelijk om grotere “sprongen” te maken, en dus eventueel over een kleine bergkam heen te springen
 - i.h.a. zijn variaties klein, zodat ze in de onmiddellijke omgeving blijven

- als er in deze omgeving geen fittere toestanden te vinden zijn, komt het systeem altijd terug naar het lokaal maximum
- + af en toe gebeurt er een grote variatie, die eventueel in een diepere vallei terechtkomt
 - bvb. van sprong van B over X in vallei A
 - het risico op vermindering van de fitness is echter groter voor kleine dan voor grote sprongen
- + verandering in de structuur van het fitnesslandschap
 - nieuwe dalen en nieuwe bergen kunnen ontstaan door veranderingen in de omgeving
- + toestanden die voordien een lage fitness hadden kunnen plots een hogere fitness krijgen
 - + bvb. een ijsbeer die iets donkerder is dan zijn soortgenoten valt op temidden van een ijsvlakte en zal dus minder succesvol zijn in het vangen van zeehonden
 - wanneer het klimaat verandert, en het ijs verdwijnt, wordt de minder witte pels echter geen nadeel meer maar een voordeel, en zullen alle beren snel evolueren naar een donkere kleur aangepast aan die van de nieuwe omgeving
 - de witte toestand ligt niet meer op de bodem van de vallei, maar is door de klimaatverandering op een berg terechtgekomen
- + de structuur van het fitnesslandschap verklaart waarom de snelheid van de evolutie dikwijls zeer onregelmatig is: soms zeer snel, soms quasi stilstaand
 - een positie temidden van een brede en diepe vallei doet de evolutie stilvallen, gezien elke normale variatie ook een verslechtering (afname van fitness) met zich meebrengt, en dus weggeselecteerd wordt
 - een positie aan de rand van een diepe vallei (bvb. X dichtbij vallei A) kan resulteren in een plotse, zeer snelle afdaling in die vallei
- **Attractoren en bassins**
 - een vallei kan gezien worden als een “attractor” in de toestandsruimte: een gebied waar het systeem wel binnen kan gaan, maar niet op eigen krachten uit kan
 - de hellingen die de vallei omringen vormen het bassin van de vallei: alle plaatsen in de toestandsruimte vanwaar de verdere evolutie normaal in de vallei of attractor terechtkomt
- + de verschillende bassins worden van elkaar gescheiden door “bergkammen”: randgebieden vanwaar je ofwel naar beneden gaat in de ene vallei, ofwel in de andere
 - bvb. in de voorgaande tekening: X en Y zijn bergkammen die de valleien A, B en C van elkaar scheiden



- de grijze gebieden zijn valleien of attractoren, de witte gebieden daarbuiten zijn bassins, de pijlen tonen de richting van evolutie aan, en de onregelmatige scheidingslijnen representeren de “bergkammen” tussen de bassins in
- + **Belangrijke opmerking:** de concepten van attractor en bassin zijn meer algemeen dan die van fitnesslandschap
 - ze kunnen gedefinieerd worden ook voor processen waarvoor geen vaste fitnesswaarde gedefinieerd is
- + attractoren kunnen ook veel ingewikkeldere vormen of gedragingen vertonen dan simpele maxima van de fitness functie
 - bvb. een “limietcyclus” is een gesloten lus in de toestandsruimte langswaar het systeem voortdurend ronddraait, zonder ooit tot rust te komen
 - de bepalende eigenschap van een attractor is echter nog steeds die van een gebied in de toestandsruimte waar het systeem wel in, maar niet meer uit kan
 - in die zin is een attractor dus een essentiële illustratie van het principe van selectie of asymmetrische transitities: bepaalde transitities krijgen de voorkeur boven andere, zelfs al kan je geen vaste fitnesswaarde plakken op de resulterende toestand

Supersysteemtransities

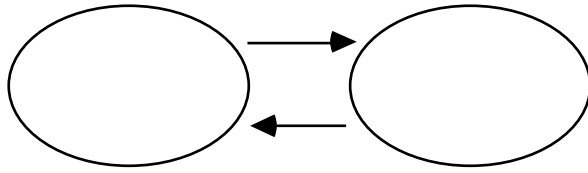
hoe leidt evolutie van simpele tot complexere systemen?

- in den beginne (Big Bang) waren er enkel elementaire deeltjes, geen complexe systemen
- naarmate de evolutie vorderde kwamen er steeds meer complexe systemen bij
- we zullen ons in deze sectie concentreren op “structurele complexiteit”
 - d.w.z. de statische structuur van systemen, niet hun dynamisch gedrag
- hoe komen een aantal componenten (subsystemen) tesamen om een supersysteem te vormen?
 - dit is wat we een “supersysteemtransitie” zullen noemen

Interacties

- alle systemen of componenten zijn in staat tot interacties of wisselwerkingen met andere systemen
 - anders zouden we deze systemen nooit of op generlei wijze kunnen waarnemen, wat erop neer komt dat ze in de praktijk niet zouden bestaan

- interactie kan gezien worden als actie gevolgd door reactie
 - + de toestand van het ene systeem beïnvloedt de toestand van het andere systeem
 - output van het ene wordt input van het andere
 - de toestand van het andere systeem beïnvloedt i.h.a. op zijn beurt de toestand van het ene



-
- + Vbn.
 - + twee magneten trekken elkaar aan/stoten elkaar af
 - + de Noordpool van elke magneet oefent een aantrekkingskracht uit op de Zuidpool van de andere magneet
 - maar stoot diens Noordpool af
 - touwtrekken: twee groepen trekken aan de twee uiteinden van een koord, om te proberen de anderen over de lijn te krijgen
 - + een discussie of onderhandeling tussen twee personen
 - de ene zegt iets, de andere antwoordt
 - argument of voorstel wordt gevolgd door tegenargument of tegenvoorstel
- een interactie is een proces van variatie, maar waarbij nu twee systemen betrokken zijn
 - het proces kan beschreven worden als een baan in de gezamenlijke toestandruimte
 - vb. touwtrekken kan beschreven worden als een variatie van het middenpunt van het touw t.o.v. van de lijn die beide partijen scheidt
 - interactie is dus niet fundamenteel verschillend van andere variaties, en zal dus aan dezelfde evolutionaire principes moeten voldoen
 - d.w.z. dat interactie i.h.a. onderhevig zal zijn aan selectie: bepaalde van de gezamenlijke toestanden van de twee systemen zullen “fitter” zijn, of bij voorkeur behouden blijven

Bindingen

- de variatie stopt wanneer ze een gezamenlijke toestand of verzameling toestanden bereikt die stabiel is
 - bvb. een vallei of attractor in het fitnesslandschap gedefinieerd op de gezamenlijke toestandruimte
 - op dat ogenblik is de interactie gestabiliseerd
 - de gezamenlijke toestand is “gefixeerd”
 - de systemen hebben zich onderling aan elkaar aangepast (de ene “fit” de andere)
- vbn.
 - de twee magneten hechten zich aan elkaar vast, Noordpool van de ene tegenover Zuidpool van de andere

- + de discussie eindigt wanneer beide gesprekspartners het met elkaar eens zijn geworden
 - of de moed hebben opgegeven om elkaar te overtuigen, d.w.z.. ze zijn het eens geworden dat ze het met elkaar oneens zijn (“agree to disagree”)
- zulke gezamenlijke, stabiele toestand zullen we een “binding” noemen
 - de twee systemen zijn aan elkaar gebonden
 - de ene kan niets doen zonder de andere met zich “mee te trekken”
- + per definitie kan de ene niet meer variëren onafhankelijk van de andere
 - als de ene varieert moet de andere dus mee
 - Vb. als de ene magneet verplaatst wordt, sleept hij de andere magneet mee
 - Vb. als twee personen een overeenkomst hebben afgesloten, en de ene doet iets dat deze overeenkomst aanbelangt, dan zal hij of zij de andere daar moeten bij betrekken
 - het meest traditionele voorbeeld van een binding is een molecuule, waarin de atomen aan elkaar gebonden zijn
- een binding is een relatieve dwang
 - + d.w.z.. een beperking van de vrijheid van variatie in de gezamenlijke toestandsruimte
 - i.h.b. vrijheid van beweging *ten opzichte van* elkaar
 - een binding vermindert dus de vrijheid van de systemen, maar verhoogt de voorspelbaarheid van hun gedrag

Systeem als dwang op subsystemen

- we kunnen het idee van een binding tussen twee systemen veralgemenen tot een binding tussen verscheidene systemen
 - vb. een complexe molecuule verbindt een groot aantal atomen
- + vb. in een vereniging of organisatie zijn mensen aan elkaar gebonden door de collectieve regels waaraan ze zich onderwerpen
 - deze regels houden i.h.a. in dat één lid bepaalde acties niet kan ondernemen zonder dat de anderen daarmee akkoord gaan
- het is de binding of dwang die de componenten tot een (super)systeem verbindt
 - + als de componenten onafhankelijk van elkaar kunnen variëren, dan is er in feite niets dat ze samenhoudt
 - ze vormen dan een “*aggregaat*” eerder dan een systeem
 - vb. zand is een aggregaat van zandkorrels
 - zandsteen is een binding (en dus een systeem) van zandkorrels
 - vb. mensen die toevallig over hetzelfde plein wandelen vormen een aggregaat
 - + de leden van een voetbalploeg die op datzelfde plein spelen vormen een systeem
 - de bewegingen van de spelers zijn niet onafhankelijk
 - + de dwang is wat het systeem onderscheidt van zijn omgeving:
 - wat zich aan de regels houdt, behoort tot het systeem
 - wat zich er niet aan houdt, behoort niet tot het systeem

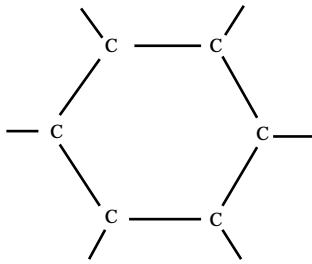
- Vb. individuen die zich niet aan de regels houden worden uit de vereniging gezet
- Vb. een brok zandsteen onderscheidt zich duidelijk van de het los zand waarin het ligt
- het ontstaan van een gezamenlijke dwang op een verzameling losse componenten is dus de essentiële stap in de creatie van een systeem
 - vb. van losse bakstenen naar bouwwerk
 - elke proces van onderlinge variatie en selectie van componenten zal dus vroeg of laat een systeem voortbrengen
- de vraag is nu hoeveel componenten i.h.a. nodig zijn om een systeem te vormen

Sluiting

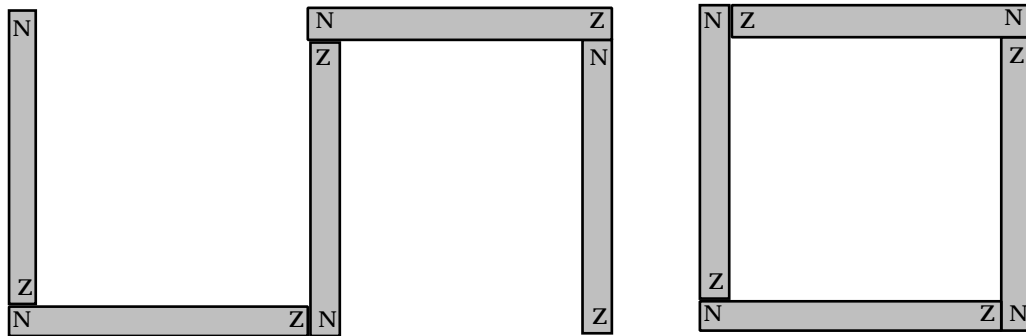
- het kan zijn dat twee interagerende systemen die tot een binding komen hun interactiecapaciteit “opgebruikt” hebben
 - d.w.z. dat de individuele systemen niet langer met andere individuele systemen kunnen interageren
 - + vb. $\text{Na} + \text{Cl} \rightarrow \text{NaCl}$
 - de NaCl molecule (keukenzout) kan geen verdere atomen meer opnemen
 - + vb. $\text{H}_2 + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ (waterstofmolecule + zuurstofatoom geeft watermolecule)
 - de H_2O molecule kan echter nog een bijkomend zuurstofatoom opnemen
 - dit produceert waterstofperoxide: H_2O_2
 - daarna is verdere reactie niet meer mogelijk
 - Vb. huwelijk: i.h.a. sluit de verbinding tussen 1 man en 1 vrouw verdere relaties uit (afgezien van een *ménage à trois*)
- in andere gevallen kunnen er nog nieuwe componenten toetreden tot de verbinding
 - + vb. polymeren: lange ketens van kleinere moleculen die onbeperkt kunnen groeien
 - DNA is een polymeer
 - vb. de nietjes die in elkaar schuiven tot gevorkte ketens
 - Vb. verenigingen die nieuwe leden blijven opnemen
 - + zulke “doorgroeïende” systemen hebben nog steeds “aanhechtingspunten” waaraan nieuwe componenten zich kunnen vasthaken
 - elke bijkomende component gebruikt een aanhechtingspunt, maar voegt op zijn beurt een nieuw aanhechtingspunt toe
- het kan echter ook gebeuren dat de aanhechtingspunten onderling aan elkaar vasthaken
 - vb. een polymeer waarbij de laatste molecule van de keten zich vasthaakt aan de eerste
 - in dat geval kunnen alle aanhechtingspunten “opgebruikt” raken
 - alle componenten zijn nu volledig aan elkaar vastgehaakt, zonder ruimte voor verdere interactie met “buitenstaanders”

- + in dat geval spreken we van *sluiting*
 - het systeem heeft zich in zichzelf gesloten en verleent geen toegang meer tot buitenstaanders

- Voorbeelden van sluiting



- een benzeen molecule, bestaande uit een gesloten, zeshoekige ring van koolstof (C) atomen



- + staafmagneten aan elkaar gebonden via de aantrekkingskracht tussen hun Noord- en Zuidpolen
 - de linkse assemblage is “open”: er is nog plaats om nieuwe magneten toe te voegen
 - de rechtse is “gesloten”: alle aanhechtingspunten zijn opgebruikt

- Voordelen van sluiting

- gesloten systemen zijn stabiel: alle componenten zitten vast aan alle aanhechtingspunten
- + bij open systemen daarentegen zijn de componenten aan de “rand” maar gedeeltelijk aangehecht
 - ze kunnen dus gemakkelijker loskomen
- bij een gesloten systeem is er een duidelijkere distinctie tussen systeem (binnen) en omgeving (buiten), gezien open systemen nog steeds componenten uit de omgeving kunnen opnemen, of componenten verliezen wanneer die loskomen
- het nadeel van sluiting is dat een gesloten systeem niet langer kan groeien

Selectie van stabiele combinaties

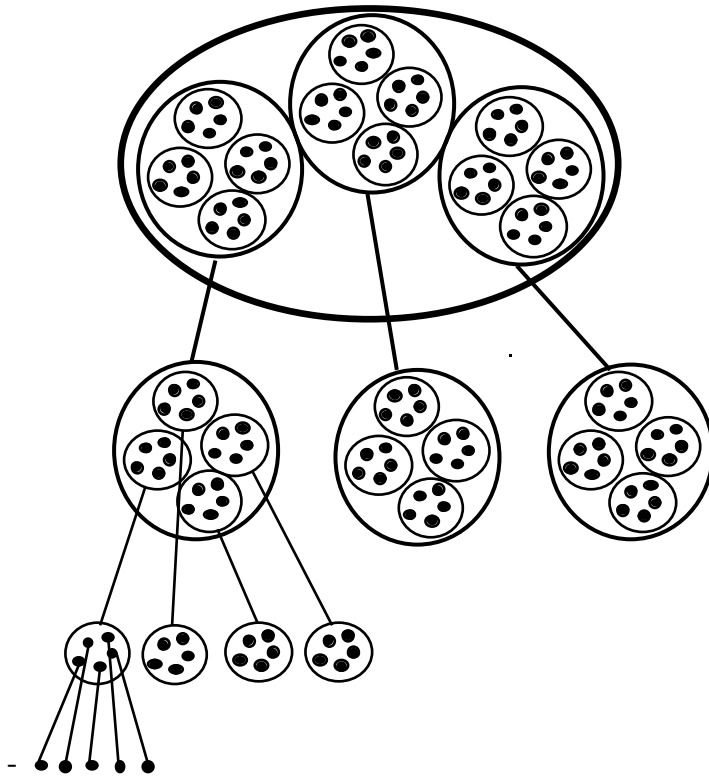
- veronderstel verschillende systemen die met elkaar interageren
 - die interactie produceert na verloop van tijd verschillende bindingen
- verschillende combinaties van bouwstenen ontstaan toevallig
 - degene die “werken” blijven behouden
 - de bouwstenen passen in elkaar, als de stukjes van een legpuzzel
 - als de combinatie gesloten is, zal ze niet meer groeien
 - individuele componenten kunnen dan niet meer interageren met andere componenten

- een gesloten systeem kan echter nog wel interageren *als een geheel* met andere systemen
 - dit zijn interacties van een ander type dan deze tussen de subsystemen onderling
- + Vbn.
 - voetballers in een ploeg interageren door elkaar de bal te passeren
 - voetbalploegen interageren door tegen elkaar wedstrijden te spelen
 - protonen en neutronen in een atoomkern interageren door de “sterke” nucleaire kracht tussen deeltjes
 - atomen interageren door de uitwisseling van elektronen
- + deze interacties op het niveau van het supersysteem leiden ook tot bindingen tussen supersystemen
 - dit resulteert in een super-supersysteem
- deze bindingen op een hoger niveau zijn i.h.a. zwakker dan die op het lagere niveau
 - “zwakker” wil zeggen minder stabiel, minder fit, gemakkelijker te verbreken
 - reden: evolutie verkiest de meer fitte configuraties, en zal deze dus eerst uitproberen voor ze aan de minder fitte begint
 - pas als alle mogelijke “sterke” bindingen gerealiseerd zijn, zal variatie de kans krijgen om de overblijvende “zwakke” bindingen uit te proberen
- + Vbn. de bindingen tussen elementaire deeltjes in een atoom zijn veel sterker dan de bindingen tussen atomen in een molecuul
 - men heeft reusachtige deeltjesversnellers die zeer veel energie produceren nodig om een atoom te splitsen
 - om een molecuul te splitsen is een chemische reactie i.h.a. voldoende
 - Vb. mensen of dieren in een groep zijn gemakkelijker uiteen te drijven dan de cellen in ons lichaam
- Conclusie: elk systeem kan als bouwsteen dienen voor een supersysteem van een hogere orde
 - dit supersysteem zelf kan weer als bouwsteen optreden voor een supersysteem van nog hogere orde
 - op die manier komen er steeds hogere niveaus van structurele complexiteit bij
- + bvb. combinaties van elementaire deeltjes atomen moleculen cellen multicellulaire organismen maatschappijen
 - of ook: rotsblokken planeten zonnestelsels melkwegstelsels clusters van melkwegstelsels

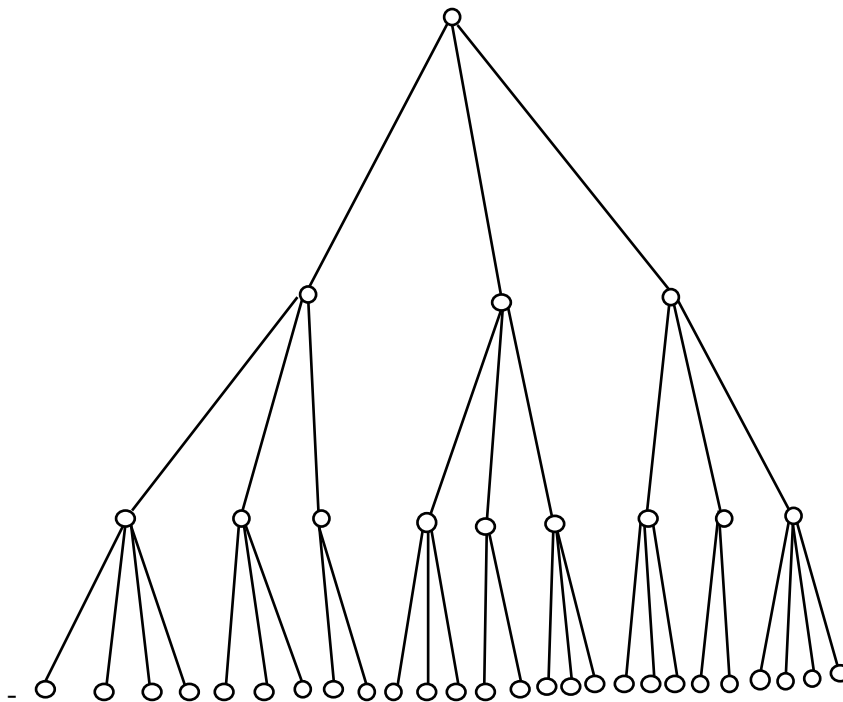
Hierarchische architectuur

- we hebben gezien dat evolutie steeds hogere niveaus van supersystemen genereert
 - hoe complexer het systeem, hoe later het gevormd werd

- elk van deze systemen bestaat nog steeds uit alle componenten waaruit het oorspronkelijk gevormd werd
 - aldus kan elk systeem geanalyseerd of “gedecomposeerd” worden in zijn constituyente subsystemen, die op hun beurt gedecomposeerd kunnen worden, enz., tot op het allerlaagste niveau, de elementaire deeltjes
 - deze niveaus of lagen van “subsystemen in systemen in supersystemen in ...” noemt men een *hierarchie*



- zulke hierarchie is een voorbeeld van wat men in de wiskunde een “boomstructuur” noemt:



- de boomstructuur wordt gedefinieerd door het feit dat elke kleinere tak (beneden) voorstspruit uit precies één grotere tak (boven)

- dit betekent dat elk systeem maar tot 1 supersysteem kan behoren
- + Opmerking: in de praktijk is dit niet altijd het geval
 - een systeem kan een subsysteem zijn van meerdere supersystemen tegelijkertijd
 - Vb. een persoon kan tegelijkertijd behoren tot een familie, een voetbalploeg en een bedrijf
- + dit komt echter zelden voor omdat de kans klein is dat eenzelfde toestand van het systeem aan verschillende, van elkaar onafhankelijke dwangen of bindingen zou voldoen
 - omdat mensen zulke uiterst complexe systemen zijn, met zulke grote toestandsruimte, is het voor een persoon gemakkelijker aan verschillende dwangen tegelijk te voldoen (verschillende “rollen te spelen”) dan voor een elementair deeltje
- + Om deze redenen zijn de meeste complexe systemen hiërarchisch gestructureerd
 - dit noemt H.A. Simon de “architectuur van de complexiteit”

bijna decomposeerbare systemen

- de decompositie in subsystemen blijft echter een *benadering* van de werkelijkheid
- door de decompositie hebben we de essentiële samenhang van het systeem verloren
 - d.w.z. de dwang of de binding die de delen tot een geheel verbindt, die het systeem als zodanig kenmerkt of definieert
- + het systeem op elk niveau is meer dan de som (aggregaat) van zijn subsystemen
 - het heeft emergente eigenschappen, die volgen uit de dwang of binding
 - Vb. een biljart is rond, en heeft geen orientatie of richting
 - twee aan elkaar geplakte biljartballen vormen een soort staaf, die in een welbepaalde richting wijst
 - deze “richting” is een emergente eigenschap
- toch is deze decompositie in de praktijk bruikbaar
 - de decompositie verbreekt immers de zwakkere bindingen die het supersysteem vormen, maar behoudt de sterkere bindingen die de subsystemen vormen
 - de componenten die overblijven na decompositie zijn stabielere dan het oorspronkelijke systeem
- om die redenen noemt men zulke systemen “bijna decomposeerbaar “ (“nearly decomposable”, begrip geïntroduceerd door H.A. Simon)
 - ze zijn niet volledig decomposeerbaar of reduceerbaar tot hun delen, maar vormen ook niet één, onsplitsbaar geheel
 - in de praktijk hebben zowel reductionisten als holisten gelijk: er is een geheel dat meer is dan de som van de delen (holisme), maar het opsplitsen in delen behoudt toch tal van fundamentele eigenschappen, en is daarom een nuttige manier om de complexiteit te reduceren

Toename van de structurele complexiteit

- variatie en selectie zullen spontaan componenten assembleren tot hoger order systemen, en deze weer als bouwstenen gebruiken van systemen van een volgend niveau

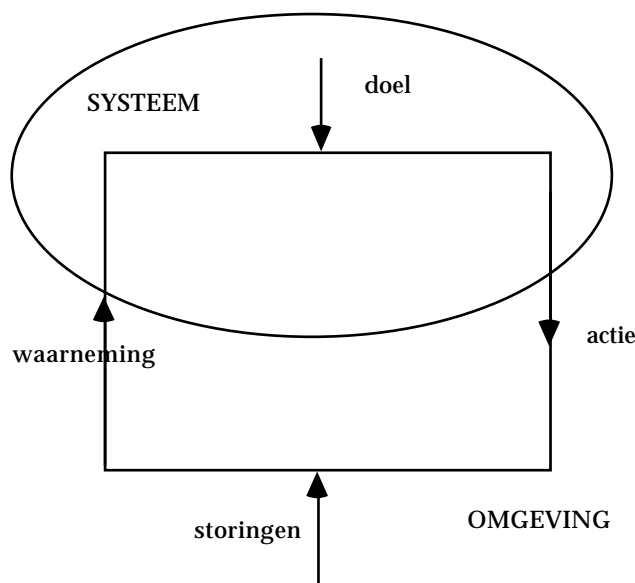
- hierbij nemen zowel distinctie als connectie toe
 - + distinctie omdat sluiting van een assemblage van componenten een duidelijke grens of onderscheid trekt tussen “binnen” en “buiten”
 - sluiting differentieert systemen van elkaar
 - + connectie omdat de componenten binnen een gesloten systeem aan elkaar gebonden zijn
 - sluiting integreert de subsystemen binnen een systeem
 - differentiatie + integratie = complexificatie
 - deze complexificatie neemt i.h.a. de vorm aan van een steeds groeiende hiërarchie (meer niveaus, meer componenten per niveau)
- deze complexiteit is echter nog zuiver statisch
 - bindingen beperken de variatie, verminderen de beweeglijkheid of aanpassingsvermogen
 - wanneer we aan levende wezens, intelligentie, maatschappij en cultuur denken, dan ligt de complexiteit daarvan eerder in flexibiliteit of aanpassingsvermogen
 - om dit te begrijpen, hebben we een ander soort van systeembouwend mechanisme nodig

Metasysteemtransities

Aanpassingsvermogen

- alle systemen “streven” in zekere zin naar fitness
 - d.w.z. dat selectie de voorkeur geeft aan fitte systemen
 - het is niet noodzakelijk dat het systeem een ingebouwd doel of plan heeft om desondanks fitness te bereiken
- fitness is gebaseerd op interne stabiliteit en externe aanpassing aan de omgeving
 - + een systeem dat eenmaal zijn “niche” gevonden heeft, is aangepast, heeft een toestand bereikt die overleeft binnen de gegeven omgeving
 - bvb. een subsysteem is aangepast aan het systeem waarvan het deel uitmaakt
 - eens aangepast, evolueert het systeem i.h.a. niet verder meer
 - + wanneer de omgeving echter zelf verandert, dan volstaat het niet meer om perfect aangepast te zijn aan een vaste situatie
 - wat fit was, is het niet meer nadat de omgeving veranderd is
 - + Vb. op de ijsvlakte is het voor sneeuw hazen fit om een witte kleur te hebben, zodat ze minder zichtbaar zijn voor roofdieren
 - als het ijs smelt, valt de witte kleur echter juist op, en zal een witte haas dus sneller opgepeuzeld worden
- in een veranderlijke omgeving is het dus nuttig om zich direct te kunnen aanpassen, eerder dan te moeten wachten tot evolutie een nieuwe fitte toestand heeft voortgebracht
 - + Vb. als het warme klimaat lang genoeg aanhoudt, zal natuurlijke selectie de populatie van sneeuw hazen een donkere pels geven door de lichter gekleurde exemplaren generatie na generatie te elimineren

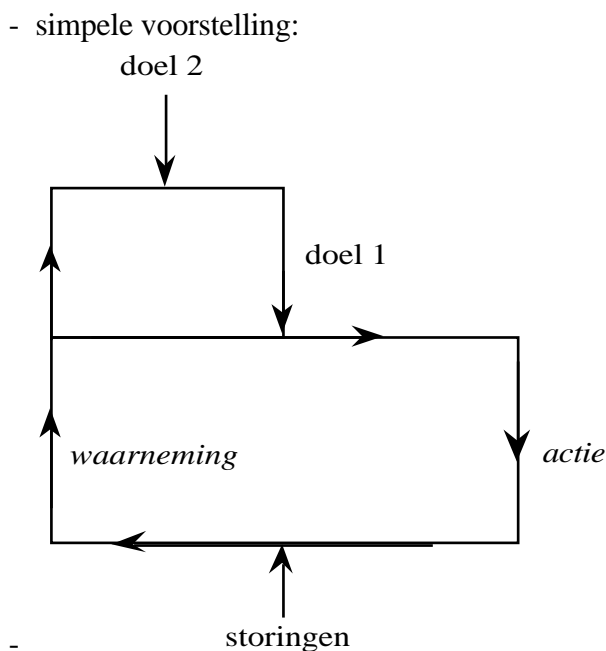
- als het ijs echter enkel in de zomer smelt, om in de winter terug te komen, dan is er geen tijd om op natuurlijke selectie van de populatie sneeuw hazen te wachten
- + in dat geval is het voor de sneeuw hazen nuttig om de kleurverandering “voorgeprogrammeerd” te hebben
 - de witte haartjes vallen uit in de lente, en bruine groeien in hun plaats
 - het omgekeerde gebeurt in de herfst
- + in dit voorbeeld is de verandering van omgeving altijd dezelfde, en dus voorspelbaar
 - dit maakt het gemakkelijk om een voorgeprogrammeerde aanpassing te evolueren
- + i.h.a. echter is de verandering in de omgeving onvoorspelbaar
 - in dat geval moet aanpassing flexibel zijn, niet voorgeprogrammeerd
 - Vb. een kameleon (of een inktvis) kan van kleur veranderen om zich onmiddellijk aan de omgeving aan te passen, welke omgeving dit ook is
- Definitie van aanpassingsvermogen
 - het vermogen de interne (of externe) toestand van een systeem te veranderen op zulke manier dat de veranderingen in de externe toestand van de omgeving gecompenseerd worden, en het systeem fit blijft ondanks de veranderde omgeving
- in feite is aanpassingsvermogen (adaptiviteit) hetzelfde als controle (zie sectie over cybernetica), maar nu met overleving of fitness als doel
 - ter herinnering: controle vereist een lus met negatieve feedback, waarbij inkomende storingen (afwijkingen van de doeltoestand) na waargenomen te zijn, gecompenseerd worden door de juiste acties
 - acties kunnen zowel de interne toestand (bvb. kleur van de huid, temperatuur) als externe toestand (bvb. nabijheid van een schuilplaats) veranderen



Metasystemen

- stel dat een systeem aanpassingsvermogen heeft:
 - het varieert als de omgeving varieert

- maar zodanig dat zijn essentiële eigenschappen, zijn capaciteit tot overleven, bewaard blijft
- dit betekent dat de variatie niet meer willekeurig is maar beheerst, gecontroleerd
- er moet dus een soort van controlesysteem bestaan dat de variaties van het systeem stuurt
- de combinatie van het oorspronkelijke systeem (of systemen) en het controlesysteem noemen we, niet supersysteem, maar *metasysteem*
- een metasysteem is geen statische dwang zoals een supersysteem, maar een dynamische dwang, die zich voortdurend aanpast
- Vb. thermostaat
 - de thermostaat is het prototype van een elementaire controlesysteem, dat de temperatuur in een kamer constant houdt
 - het doel van de thermostaat is een bepaalde temperatuur T te bereiken en behouden
 - + we kunnen nu een controlesysteem bouwen dat de thermostaat controleert, door de doeltemperatuur T te variëren afhankelijk van de omstandigheden
 - bvb. als er mensen in de kamer zijn, stel T dan gelijk aan 21°
 - als de kamer leeg is, stel dan T= 16° om energie te sparen
 - een infraroodsensor kan nagaan of iemand de kamer binnenkomt
 - als de sensor personen detecteert wordt de doeltemperatuur aangepast
 - zulk controlesysteem kan meerdere kamers controleren, en voor elke kamer de thermostaat afzonderlijke regelen
 - + dit controlesysteem is een metasysteem met twee niveaus: controle van de temperatuur binnen een kamer, en controle van de doeltemperatuur over alle kamers
 - de verwarming past zich aan aan de afkoeling/opwarming buiten
 - de thermostaat past zich aan aan de behoefte van de bewoners



- Vb. een multicellulair organisme is meer dan een verzameling cellen die aan elkaar gebonden zijn
 - verschillende cellen van verschillende celtypes voeren verschillende handelingen uit, afhankelijk van de omgeving
 - vb. spiercellen trekken al dan niet samen, zenuwcellen zenden al dan niet impulsen door
 - deze cellen worden gecoördineerd door een controlesysteem, dat kan gelokaliseerd zijn (bvb. in de hersenen), maar dat ook verspreid kan zijn over alle cellen (bvb. het DNA in elke celkern)
 - in feite bevat ons lichaam een veelheid van controlesystemen op verschillende niveaus, waarbij het ene de doelen van het andere aanpast
- Controle betekent dat de toestand op een welbepaalde manier gevarieerd wordt, afhankelijk van de waargenomen situatie
 - dit betekent dat het systeem gecontroleerde variatie ondergaat eerder dan willekeurige of blinde variatie
 - gecontroleerde variatie laat het systeem toe om zijn fitness te behouden, en vermijdt het fitnessverlies dat het meest waarschijnlijke gevolg is van blinde variatie
 - gecontroleerde variatie vereist wel dat het systeem *kennis* heeft over welke variatie aangewezen is in welke omstandigheid
 - dergelijke gecontroleerde variatie of kennis kan uitgedrukt worden door een conditie-actieregel, van de vorm: ALS bepaalde situatie wordt waargenomen, DAN voer bepaalde, hieraan aangepaste actie uit
 - korter: ALS conditie, DAN actie, of nog: conditie actie
- + Vb. thermostaat: temperatuur te laag (lager dan doeltemperatuur) verwarm, temperatuur hoog genoeg schakel verwarming uit
 - thermostaat met aanwezigheidssensor: iemand in kamer stel de doeltemperatuur in op 21°, kamer leeg stel de doeltemperatuur in op 18°

Hierarchieën van metasystemen

- net zoals een supersysteem i.h.a. zelf deel uitmaakt van een hogere orde systeem, kan een metasysteem zelf onderworpen zijn aan een metasysteem van hogere orde
- formule: metasysteem = controle van objectsysteem, meta-metasysteem = controle van metasysteem, enz.
 - + vb. thermostaat = controle van verwarming
 - aanwezigheidssensor = controle van de thermostaat
 - + dit kan ook uitgedrukt worden in conditie -actie regels
 - + de regels van het eerste niveau variëren de toestand van het objectsysteem
 - vb. thermostaat varieert de hoeveelheid warmte die wordt geproduceerd
 - + de regels van het tweede niveau variëren de regels van het eerste niveau
 - de aanwezigheidssensor varieert de instelling van de thermostaat, en dus de manier waarop de thermostaat de warmtetoevloed regelt

- net zoals evolutie leidt tot hogere niveaus van supersystemen, leidt ze ook tot hogere niveaus van metasystemen
 - + reden: een metasysteem heeft een groter aanpassingsvermogen dan een objectsysteem, maar een meta-metasysteem heeft een nog groter aanpassingsvermogen
 - waar een metasysteem altijd op dezelfde manier zal reageren op een bepaalde conditie, zal een meta-metasysteem zijn reactie kunnen aanpassen door rekening te houden met bijkomende condities, die typisch van een hoger, meer abstract niveau zijn
 - + een meta-meta-metasysteem zal op zijn beurt weer een groter aanpassingsvermogen hebben dan een meta-metasysteem
 - elke vorm van aanpassing kan zelf weer voorwerp worden van een aanpassingsmechanisme op een hoger niveau
 - hoe groter het aanpassingsvermogen, hoe groter de (interne of absolute) fitness, en dus hoe groter de kans dat zulk systeem vroeg of laat zal evolueren
 - + een hiërarchie van metasystemen is wel veel complexer dan een systeem met één of twee niveaus
 - om te beslissen welke actie moet uitgevoerd worden, moeten veel verschillende controleniveaus doorlopen worden, die elk hun eigen condities moeten checken om dan de instelling van het onderliggende controleniveau te bepalen
 - + een teveel aan controleniveaus vertraagt de werking, en maakt de kans groter op fouten of misverstanden
 - + vb. complexe bureaucratieën zijn over het algemeen traag en weinig flexibel
 - daarom is het in de mode om hiërarchieën in organisaties af te vlakken, en het aantal niveaus te verminderen
 - + het is dus best elk controleniveau zo intelligent en zo flexibel mogelijk te houden, zodat er niet meer hiërarchie moet ingesteld worden dan strikt noodzakelijk
 - vb. de vermindering van hiërarchie in een bedrijf of instelling is slechts mogelijk als de werknemers op de verschillende niveaus voldoende intelligent en voldoende geïnformeerd zijn om grotendeels autonoom te kunnen werken, zonder constante supervisie of bevelen van bovenaf
- in de evolutie lijkt het probleem van te veel metaniveaus niet echt op te treden
 - + de creatie van een nieuw metaniveau door variatie en selectie is zeer moeilijk, en zal alleen plaatsgrijpen als er geen andere manier meer is om fitness te verbeteren
 - in een bureaucratie daarentegen is het gemakkelijk en verleidelijk om voortdurend nieuwe niveaus te creëren, zodat managers steeds weer naar een hoger niveau kunnen gepromoveerd worden
 - in de evolutie echter zal eerst het bestaande niveau zo goed mogelijk uitgebouwd en aangepast worden vòòr een nieuw niveau zal worden uitgetest

- + in de evolutie wordt de autonomie van de bestaande lagere orde systemen zo veel mogelijk in stand gehouden
 - + d.w.z. dat de meeste acties ondernomen worden door de lagere orde systemen, die daar immers door miljoenen jaren van variatie en selectie zeer goed voor aangepast zijn
 - aldus worden de vertragingen en verwarringen die kunnen optreden door alle niveaus van de hiërarchie te doorlopen in 99,9... % van de gevallen vermeden
 - het hogere orde systeem zal pas interveniëren als de situatie echt te uitzonderlijk of te complex is om door het lagere orde systeem alleen opgelost te worden
 - + Vb. onze ademhaling, of onze reflexbewegingen (bvb. hand wegtrekken van heet oppervlak) worden grotendeels gecontroleerd door een lagere orde, onbewust systeem, dat zeer snel, efficiënt en automatisch werkt
 - in bijzondere omstandigheden kan ons bewust denken (een hogere orde systeem) echter ingrijpen, en het lagere orde systeem doen afwijken van zijn normale instelling
 - Vb. indien nodig kunnen we onze adem inhouden, of onszelf dwingen om over gloeiende kolen te stappen

Metasysteemhiërarchie volgens Valentin Turchin

- de Russisch/Amerikaanse cyberneticus Turchin heeft een sequentie opgesteld van de meest fundamentele metasysteemtransities in de evolutie van het leven
 - van primitieve diersoorten tot menselijke cultuur
- eenvoudige reflex = controle van de beweging
 - reflexbewegingen waarbij een specifieke gewaarwording door een zintuig via een zenuw direct een bepaalde spier in actie brengt
 - hoewel wijzelf nog steeds zulke reflex-acties hebben, is dit controleniveau typisch voor primitieve dieren, zoals zeeanemonen of wormen, die wel zenuwbogen maar geen hersenen hebben
- + deze dieren reageren altijd op dezelfde manier op dezelfde simpele prikkels
 - bvb. aanraking zeeanemoon trekt zich samen
- complexe reflex = controle van de eenvoudige reflex
 - + wanneer verschillende zenuwbogen, afkomstig van verschillende sensoren (zintuigcellen) samenkomen kan het organisme het belang van de verschillende prikkels of sensaties tegen elkaar afwegen, en een geïntegreerde reactie produceren, die rekening houdt met de verschillende aspecten
 - + vb. als de sensatie “aanraking” wordt gecombineerd met de visuele waarneming “groot” of “klein”, kan het dier meer aangepast reageren
 - “aanraking” door iets “groots” gevaar, wegtrekken
 - “aanraking” door iets “kleins” prooidier, opeten

- dit veronderstelt een knooppunt van zenuwen, waar alle prikkels bij elkaar komen voor ze doorgestuurd worden naar de spieren die de acties uitvoeren
- dit zenuwknoppunt vormt een rudimentair hersenstelsel
- leren of associëren = controle van de complexe reflex
 - complexe reflexen zijn nog steeds rigiede, en dezelfde combinatie van prikkels zal steeds tot dezelfde reactie leiden
 - wanneer de omgeving echter complex en veranderlijk is, is het nuttig om zijn reacties aan te passen aan nieuwe verschijnselen
 - + d.w.z. dat nieuwe conditie-actieregels of conditie-conditie regels kunnen aangeleerd worden
 - kennis hoeft niet langer overgeërfd te worden, maar kan individueel geleerd worden
 - leren is dus een gecontroleerde variatie van regels
 - + leren werkt door associatie
 - + als een waargenomen conditie A dikwijls gevolgd wordt door een conditie B, dan leert het organisme de associatie A → B te maken
 - d.w.z. dat als A waargenomen wordt, dit een min of meer sterke verwachting van B produceert
 - Vb. experiment van Pavlov: als een hond telkens eten krijgt kort nadat een bel gaat, dan zal de hond beginnen kwijlen zodra hij de bel hoort, omdat hij eten verwacht
 - hoe meer de twee condities tesamen worden waargenomen, hoe sterker de associatie of de verwachting, en hoe meer kans dat de regel A → B effectief wordt toegepast om te voorspellen wat er zal gebeuren
 - + als een conditie A gevolgd wordt door een actie B, en het resultaat is positief (het organisme komt dichterbij de doeltoestand), dan wordt de associatie A → B versterkt
 - als het resultaat daarentegen negatief is, dan wordt de associatie verzwakt
 - + Vb. een rat die een hendeltje waarneemt en op dat hendeltje drukt, wordt telkens beloond met voedsel
 - deze rat zal snel leren om steeds op dat hendeltje te duwen
 - als diezelfde rat echter een elektrische schok krijgt wanneer ze op dat hendeltje duwt, dan zal ze snel afleren om er nog aan te komen
- denken = controle van het associëren
 - leren door associatie kan enkel connecties leggen tussen fenomenen die tesamen worden ervaren
 - fenomenen die men nooit tesamen heeft waargenomen worden niet geassocieerd
 - + denken = zich combinaties van fenomenen voorstellen die men niet noodzakelijk in werkelijkheid heeft meegemaakt
 - met kan dingen leren zonder ze zelf te ervaren

- + dit is typisch voor de menselijke intelligentie
 - vb. wij kunnen ons een konijn met een bolhoed voorstellen, zonder er ooit één gezien te hebben, of overwegen hoe we een probleem kunnen oplossen dat we nooit eerder hebben meegemaakt
- + denken maakt gebruik van symbolische concepten (bvb. woorden) die volgens bepaalde combinatieregels (bvb. grammatica) kunnen gecombineerd worden
 - omdat de concepten abstract of symbolisch zijn, hangen ze niet af van specifieke waarnemingen
 - dit laat toe ze vrij met elkaar te combineren, onafhankelijk van wat er in de omgeving gebeurt
 - de combinatieregels zorgen ervoor dat dit proces van variatie toch in zekere mate gecontroleerd of beheersd blijft
- cultuur = controle van het denken
 - + de taal, concepten en combinatieregels die wij gebruiken hebben wij i.h.a. niet zelf uitgevonden, maar overgenomen van anderen
 - dit beperkt ons in de vrijheid van ons denken, in onze creativiteit
 - nieuwe concepten en regels ontstaan i.h.a. door een cultureel, maatschappelijk proces, waar een individu geen controle heeft
 - + tot nu toe is dit proces echter nog voornamelijk een voorbeeld van blinde variatie en natuurlijke selectie van de meest bruikbare concepten
 - het is niet gestuurd, en dus niet erg efficiënt
 - + naarmate maatschappij en cultuur complexer worden, ontstaan er echter systemen en methoden om systematisch nieuwe concepten te ontdekken
 - bvb. de wetenschappelijke methode, filosofische analyse, artistieke exploratie, intelligente computerprogramma's...
 - + wij staan dus aan de vooravond van een nieuwe metasysteemtransitie naar een hoger niveau van organisatie
 - + het “globale brein”?
 - d.w.z. het intelligente systeem dat ontstaat uit de integratie van alle mensen op de planeet, waarbij het informatienetwerk de rol speelt van zenuwstelsel, dat informatie overbrengt, maar dat ook nieuwe concepten en theorieën helpt om te ontstaan

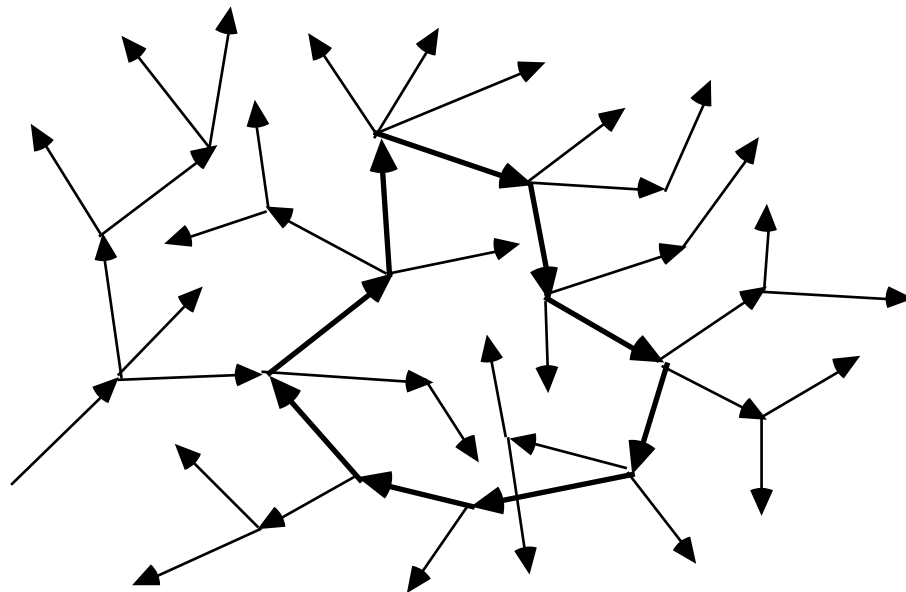
Het ontstaan van het leven

- wellicht de meest fundamentele metasysteemtransitie is het ontstaan van het leven zelf
 - deze ontbreekt nog in de sequentie van Turchin
 - levende wezens zijn systemen met aanpassingsvermogen
 - dit betekent dat ze doelgericht zijn, met overleving of fitness als doel

- om te begrijpen hoe het leven kon ontstaan, moeten we ons de vraag stellen hoe variatie en selectie tot doelgerichte of controlesystemen konden leiden
- de volgende overwegingen zijn nog grotendeels speculatief, en hoeven dus niet in detail gekend worden, maar geven een plausibel beeld van de meest geheimzinnige transitie van allemaal
- i.h.a. gaat men ervan uit dat voor het meest primitief denkbare organisme (een soort rudimentaire bacterie) 3 componenten nodig zijn geweest
 - 1) een membraan of celwand, dat het systeem afschermt van de omgeving maar toch voedsel binnenlaat
 - + 2) een autocatalytische cyclus van chemische reacties die binnenkomende voedselmoleculen gebruikt om de interne componenten te produceren, herstellen of reproduceren
 - catalysator = stof die een chemische reactie vergemakkelijkt of versnelt
 - autocatalyse = zelfversterking of zelffacilitatie, d.w.z. de moleculen in de cyclus faciliteren hun eigen productie
 - vb. $A + X \rightarrow 2A$: A vermenigvuldigt zichzelf door deze reactie
 - dit is een cyclus omdat je met A begint en met A eindigt
 - meer complexe cyclus: $A + X \rightarrow B$, $B + Y \rightarrow C$, $C + Z \rightarrow 2A$, $2A + 2X \rightarrow 2B$, ... $2C \rightarrow \dots$
 - de cyclus bestaat uit 3 tussenstappen (A, B, C) waarna we weer bij het beginpunt (A) aanbelanden, behalve dat we nu een dubbele hoeveelheid hebben
 - X, Y, Z zijn “voedselmoleculen” die worden geconsumeerd om meer A’s, B’s, en C’s te produceren
 - 3) een “geheugenmolecule” of “replicator” (zoals DNA) die de werking van het organisme “onthoudt” en die kan gecopiëerd (gerepliceerd) worden, en aldus doorgegeven aan nakomelingen, eventueel met variaties
- de wetenschappers zijn het er echter nog niet over eens welke van deze componenten de meest fundamentele is, en hoe, of in welke volgorde, deze componenten ontstaan zijn
- als we een levend wezen als een controlemechanisme beschouwen, dan zien we dat het niet uitmaakt in welke volgorde ze ontstaan zijn, zolang ze maar op een zeker ogenblik geïntegreerd werden
 - het is bvb. mogelijk dat lege membranen, vrije “replicatoren” en autocatalytische cycli, onafhankelijk, naast elkaar, zouden ontstaan zijn
 - membranen die toevallig een autocatalytische cyclus zouden omvat hebben zouden het wellicht beter gedaan hebben omdat de componenten geproduceerd door de cyclus mee het membraan doen groeien, terwijl de membranen op hun beurt de cyclus zouden afgeschermd hebben tegen storingen
 - “replicatoren” die toevallig deel uitmaakten van een autocatalytische cyclus zouden het om de dezelfde reden beter gedaan hebben, terwijl ze de werking van de cyclus in hun “geheugen”

zouden hebben opgeslagen, zodat deze cyclus gemakkelijker gereproduceerd kon worden

- Hoe kunnen de componenten elk op zich ontstaan zijn?
 - + membraan: bepaalde vetachtige moleculen (bilipiden) organiseren zich spontaan in de vorm van twee-dimensionale membranen, die zich sluiten en zo “cellen” vormen
 - als het aantal bilipiden toeneemt kunnen deze cellen zich spontaan in twee splitsen
 - + autocatalytische cyclus:
 - als er een voldoende grote verscheidenheid is van moleculen die met elkaar interageren wordt de kans groot dat in het netwerk van mogelijke interacties een lus ontstaat, zodat het eindproduct gelijk is aan het beginproduct
 - hierbij is de laatst geproduceerde molecule van hetzelfde type als de eerste: de keten is gesloten
 - bovendien wordt er meer geproduceerd dan waarmee de keten gestart is
 - alle moleculen in de keten zullen dus in aantal toenemen, zolang er voldoende “voedsel” of “grondstof” moleculen aanwezig zijn om de reactie te laten voortduren
 - in een voldoende complex netwerk van reacties waarbij elke molecule één of meer nieuwe moleculen produceert, die op hun beurt weer nieuwe moleculen produceren, enz. zal vroeg of laat altijd een lus ontstaan, waarbij een van de beginmoleculen opnieuw geproduceerd wordt
 - + dit is een vorm van sluiting, zoals besproken in de sectie over supersysteemtransities, maar nu niet meer statisch maar dynamisch
 - er ontstaan voortdurend nieuwe moleculen
 - Illustratie

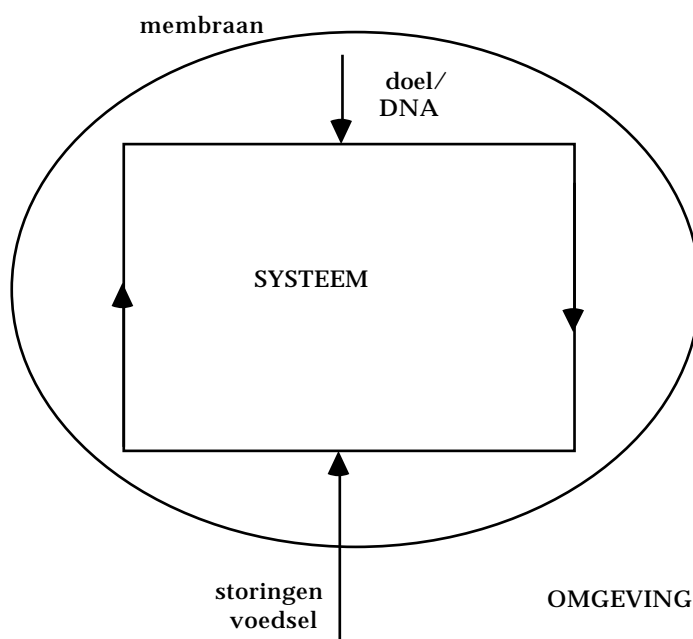


- de dikke pijlen stellen een cyclus voor binnen een groter, willekeurig netwerk
- + Geheugenmolecule
 - het simpelste gekende type van dergelijke molecule is RNA, een enkelvoudige vorm van de “dubbele spiraal” van het DNA

- men heeft relatief eenvoudige vormen van RNA gevonden die in staat zijn om zichzelf te reproduceren
- + er is op dit ogenblik nog geen concreet scenario voor het ontstaan van het eerste RNA
 - alhoewel de componenten van RNA relatief gemakkelijk te produceren zijn
- + RNA kan ontstaan zijn als:
 - een “nevenproduct” van een autocatalytische cyclus,
 - een meer complexe vorm van een oorspronkelijk eenvoudigere molecule die nu niet meer voorkomt
 - of eventueel rechtstreeks door combinatie en selectie van zijn componenten

Oorsprong van controle

- we zoeken nu een scenario dat een doelgericht, adaptief systeem spontaan laat ontstaan uit niet-doelgerichte componenten
 - d.w.z. dat we de oorsprong van het leven gaan proberen te verklaren op basis van evolutionaire en cybernetische principes
- wat hebben we minimaal nodig voor een controlesysteem?
 - + 1) negatieve feedbacklus
 - zorgt ervoor dat storingen onderdrukt worden, en het systeem terugkeert naar een evenwichttoestand
 - + 2) met doel dat de geprefereerde toestand representeert
 - zorgt ervoor dat de toestand waar het systeem naar terugkeert inderdaad de meest fitte is, degene die tot lange termijn overleving leidt
 - + 3) met amplificatie: effect van acties is groter dan effect van storingen
 - zorgt ervoor dat de onderdrukking voldoende krachtig is, zodat de afwijkingen ten gevolge van storingen nooit zo groot worden dat ze de overleving in gevaar brengen



- alle drie “levens”-componenten dragen bij tot efficiënte controle
 - geheugenmolecule: opslaan van kennis en doel, die de autocatalytische cyclus sturen, d.w.z. ervoor zorgt dat de juiste moleculen geproduceerd worden voor de gegeven omstandigheden
 - + membraan: buffering, d.w.z. passieve demping van storingen uit de omgeving
 - verzwakt effect van storingen t.o.v. van effect van doel, en draagt dus bij tot amplificatie
 - filtert binnenkomende moleculen, zodat in de eerste plaats slechts “goede” (voedsel) moleculen binnenkomen, en “slechte” (gifstoffen) niet
 - + autocatalytische cyclus: produceren van voldoende krachtige “acties” om storingen te compenseren, en beschadigde componenten opnieuw te produceren
 - draagt ook bij tot amplificatie
 - dit vereist energie in de vorm van voedsel
 - de autocatalytische cyclus is in feite een positieve feedback cyclus: je eindigt met meer dan je begint
 - zonder beheersing zou de cyclus leiden tot een ongebreidelde groei
 - deze groei is echter afhankelijk van de voedselmoleculen: als deze “op” zijn, komt de cyclus tot stilstand
 - de voedselmoleculen op hun beurt hangen af van wat voorhanden is in de omgeving
 - wat we nu nog nodig hebben is een combinatie van deze componenten met negatieve feedback en dus beheersing
- Mogelijk scenario voor de constructie van een controlelus uit de componenten
 - + stel dat een van de “grondstofmoleculen” nodig om de autocatalytische cyclus te laten functioneren niet uit de omgeving komt, maar uit de cel zelf
 - + dan kan deze molecule het tempo van de cyclus beperken, onafhankelijk van de omgeving
 - immers de cyclus kan niets produceren zonder dat deze molecule tussenkomt
 - deze molecule speelt dan de rol van een “doelmolecule”, die de cyclus onder controle houdt
 - + zolang er meer voedsel voorhanden is dan doelmoleculen zal het tempo van de autocatalytische reactie afhankelijk zijn enkel van de doelmolecule
 - de minst beschikbare molecule beperkt immers alle andere
 - als deze toeneemt, verhoogt het tempo, als deze afneemt, vermindert het tempo
 - aldus kan een “doelmolecule” de reactie volledig beheersen
 - + stel dat er verschillende types of varianten van de doelmoleculen zijn, die elk de cyclus in een andere richting sturen
 - d.w.z. dat er andere moleculen geproduceerd worden
 - dan krijgt de doelmolecule niet alleen controle over de hoeveelheid maar ook over de soorten moleculen die geproduceerd worden

- + dit is pas nuttig als de doelmoleculen aangepast zijn aan de omstandigheden
 - vb. verschillende soorten voedsel vragen de productie van verschillende soorten “verteringsenzymen” en dit vereist dat de doelmoleculen de cyclus in de juiste richting zouden sturen
- + dit kan bereikt worden door de doelmoleculen zelf te laten produceren door een autocatalytische cyclus die beïnvloed wordt door wat er in de omgeving gebeurt
 - zulke cyclus die één of meerdere andere cycli controleert, noemt met een *hypercyclus*
 - het ontstaan van een hypercyclus is een voorbeeld van een metasysteemtransitie
 - eenmaal zulke hypercyclus ontstaan is, krijgen we een organisatie gelijkaardig aan die van een levende cel
- + Vb. in een cel worden bepaalde stukken DNA “geactiveerd” door andere moleculen (onder invloed van de omgeving)
 - het geactiveerde DNA produceert specifieke RNA moleculen
 - de RNA moleculen sturen specifieke reacties, aangepast aan de omstandigheden

Conclusie: het evolutionair-systemische wereldbeeld (ESW)

Ontologie

- beantwoordt de vragen “wat is?”, “welke zijn de fundamentele categoriën?”
- in het ESW zijn de fundamentele bouwstenen relationeel: distincties en connecties
- distincties en connecties zijn de bouwstenen van meer complexe structuren: systemen
- systemen ontstaan spontaan door variatie en selectie
 - eerst eenvoudige systemen, waaruit gaandeweg meer complexe systemen evolueren
 - systemen worden geselecteerd op basis van fitness: het vermogen om te overleven en geproduceerd of reproduceerd te worden
 - fitness kan bereikt worden door: 1) stabiliteit (intern); 2) aangepastheid (extern); 3) aanpassingsvermogen
- vanaf een zekere graad van complexiteit kunnen systemen doelgericht zijn
 - ze zijn dan niet meer passief onderworpen aan hun omgeving, maar gaan actief hun eigen doelstellingen nastreven, en hiervoor ingrijpen in de omgeving
 - doelgerichte systemen hebben aanpassingsvermogen: als de omgeving verandert passen ze zich autonoom aan, zonder te moeten wachten op evolutie
 - om hiertoe in staat te zijn, hebben ze kennis nodig: i.p.v. blinde variatie te moeten toepassen, “weten” ze wat te doen in gegeven omstandigheden
- systemen vormen i.h.a. hiërarchiën
 - supersystemen (statisch): atomen, moleculen, rotsen, planeten, enz.
 - metasystemen (dynamisch, doelgericht): levende wezens, intelligentie, maatschappij

- supersystemen bestaan uit verschillende componenten of subsystemen (distincties) bijeengehouden door connecties (dwang)
- + metasystemen bestaan uit een controlemechanisme dat de processen in een objectsysteem stuurt naar een bepaald doel
 - bij metasystemen die ontstaan zijn door evolutie is het uiteindelijke doel (hoogste metaniveau) steeds fitness
 - de doelen op lagere niveaus zijn ondergeschikt of instrumenteel

Epistemologie

- kennis is een product van de evolutie
- kennis is geen objectieve afspiegeling van de omgeving, maar een hulpmiddel voor controle
 - d.w.z. dat kennis een systeem helpt om zijn eigen, subjectieve doelen te bereiken
 - kennis selecteert de juiste acties vòòr dat selectie door de omgeving de kans krijgt om het systeem te elimineren
- + verschillende systemen met verschillende doelen of verschillende manieren om zich aan te passen zullen verschillende kennis hebben
 - zelfs als ze in dezelfde omgeving leven
- kennis ontstaat door variatie en selectie
 - kennis kan niet passief opgenomen worden door observatie van de omgeving
 - kennis moet door het systeem zelf geconstrueerd worden, door verschillende mogelijke regels of combinaties van regels uit te proberen, en zien wat werkt

Ethiek

- Evolutie van altruïsme
 - + Selectie voor egoïsme
 - + er is steeds competitie voor schaarse levensmiddelen
 - niet elk individu kan succes hebben
 - de meest aangepaste wordt geselecteerd, onafhankelijk van de anderen
 - anderen helpen draagt i.h.a. niet bij tot de eigen overleving
 - in tegendeel, het draagt kosten, terwijl het ten goede komt aan de rivaal
 - + altruïsme = gedrag dat anderen ten goede komt, maar niet zichzelf
 - vb. in het water springen om iemand te redden die verdrinkt
 - daarom zal natuurlijke selectie in eerste instantie zelfzuchtige organismen voortbrengen
 - + Groepsselectie
 - + een groep waarin men elkaar helpt, zal beter overleven
 - vb. wolven die samenwerken kunnen veel grotere prooien (bvb. elanden) doden, dan alleen
 - daarom komt altruïsme binnen de groep ten goede aan elk van zijn leden

- daarom zal er een selectie zijn van groepen met altruïsme ten koste van groepen met enkel egoïsten
- + er is echter een fundamenteel probleem:
 - egoïsten binnen een altruïstische groep hebben meer voordeel bij altruïsme dan de altruïsten zelf
 - + zij dragen immers niet bij tot de kosten, en laten de anderen het vuile werk opknappen
 - bvb. wie niet betaalt op de metro profiteert van de bijdragen van anderen
 - daarom zullen binnen de altruïstische groep de egoïsten het tenslotte halen
 - op die manier zal altruïsme/samenwerking ten gronde gaan
 - Hoe kan altruïsme, samenwerking, moraal dan evolueren?
- + Voorgestelde oplossingen
 - + “kin selection”: selectie op basis van verwantschap
 - hulp aan familieleden (i.h.b. afkomelingen) komt de eigen genen ten goede
 - daarom zal een gen voor “nepotisme” geselecteerd worden
 - + verklaart samenwerking in insectkolonies
 - alle bijen, mieren, enz. stammen immers af van één “koningin”
 - daarom is iedereen familie van iedereen
 - + wederzijds (reciprook) altruïsme
 - + “tit-for-tat”
 - als jij mij helpt, dan help ik jou
 - vereist vertrouwen in de andere en dit vereist ervaring met de persoon
 - + moeilijk in grote groepen waar men weinig mensen kent
 - bvb. winkelier kan toerist gemakkelijk bedriegen: deze komt waarschijnlijk toch niet terug naar dezelfde winkel
 - Geen van deze oplossingen verklaart onderlinge hulp en samenwerking in onze huidige maatschappij op een voldoende wijze
 - Daarom: evolutie van moraal niet als biologisch maar als cultureel verschijnsel
- Evolutie van Moraal
 - niet alleen de genen, ook de memen (ideeën, normen, tradities...) zijn aan evolutie onderhevig
 - + conformistische verspreiding binnen de groep
 - als iemand een goed idee heeft, is het voordelig dat te kopiëren
 - wederzijds altruïsme is een goed idee
 - daarom zal het meer en meer nagebootst worden
 - hoe meer mensen iets doen, hoe meer dat gedrag geïmiteerd wordt
 - + tenslotte zal iedereen in de groep het gedrag vertonen (conformisme)
 - individuele egoïsten worden buiten spel gezet

- + culturele groepsselectie
 - als iedereen (wederzijds) altruïstisch is, kan men de reciprociteit vergeten
 - het idee dat overblijft is altruïsme tegenover *iedereen binnen de groep*
 - verschillende groepen met verschillende vormen van altruïsme komen in concurrentie
 - die met het beste systeem van samenwerking zullen meest succesvol zijn
 - hun systeem zal overgenomen worden door de minder succesvolle groepen
- tenslotte zal iedereen een gelijkaardige moraal hanteren
- + echter, niet alle onderdelen van een moraal zullen effectief voordelig zijn
 - + natuurlijke selectie elimineert alleen “slechte” ideeën
 - bvb. mensenoffers
 - neutrale of weinig terzake doende ideeën blijven i.h.a. bestaan
 - + ideeën die “toevallig” goed werkten, zullen blijvend nagevolgd worden
 - bvb. niet eten van varkensvlees (Islam) of rundsvlees (Hindoes)
 - ingewikkelde systemen van goden, precepten en tradities in verschillende culturen
 - + ideeën die goed werkten in het verleden zijn niet altijd van toepassing in het heden
 - omgeving is veranderd
 - + het mechanisme van conformisme is conservatief
 - het is zeer moeilijk een nieuw idee te lanceren dat ingaat tegen de gevestigde ideeën
 - om die redenen kan men een moraal niet grondvesten enkel op traditie, hoewel traditie een nuttig uitgangspunt biedt
- Het probleem van de moraal
 - hoe de fitness van componenten (individueen) en het geheel (groep, maatschappij, ecosysteem) maximaal op elkaar af te stellen?
 - dit is niet triviaal, want wat best is voor een subsysteem, is niet noodzakelijk best voor het systeem in zijn geheel
 - men heeft een diepgaande evolutionair-systemische analyse nodig om de waarden van het individu of een subgroep zo goed mogelijk te verzoenen met die van de maatschappij in haar geheel
 - dergelijke analyse zou kunnen bijdragen aan het funderen van een wetenschappelijke moraal

Fundamentele vragen

- Waarom is de wereld zoals hij is?
 - de huidige toestand van het universum is gedeeltelijk het resultaat van toeval (want variatie is intrinsiek onvoorspelbaar), gedeeltelijk van rationeel begrijpbare wetmatigheden (want het concept “fitness” en zijn afgeleiden, zoals sluiting, laat ons toe in zekere mate te voorspellen welke variaties geselecteerd zullen worden)

- Waar komt de wereld rondom ons vandaan?
 - evolutionaire principes en concrete waarnemingen laten ons toe te reconstrueren hoe alle fundamentele systemen één na één uit elkaar geëvolueerd zijn
 - Big Bang, elementaire deeltjes, atomen, moleculen, sterren, planeten, cellen, meercelligen, dieren, mensen, ...
- Waar komen wij vandaan?
 - mensen evolueerden uit dieren die het vermogen hadden te leren door daarbovenop een metasysteemtransitie te ondergaan naar het niveau van denken
 - de details van deze transitie zijn nog niet bekend, maar hebben waarschijnlijk te maken met het beginnen gebruiken van een taal met grammatica door chimpanseeachtige protomensen
 - + chimpansees en hun verwanten (bonobo's, gorilla's) vertonen zeer grote gelijkenis met mensen in fundamentele biologische, sociale en zelfs mentale aspecten
 - tot het gebruik van werktuigen, een primitieve taal, en cultuur toe
 - één of meerdere toevallige factoren (bvb. een klimaatverandering die het oerwoud tot een savanne omvormde) hebben waarschijnlijk kleine veranderingen teweeggebracht (bvb. rechtop lopen waardoor de handen vrij komen om beter werktuigen te gebruiken) die de evolutie van taal en cultuur plots hebben doen versnellen
 - de meer complexe taal en cultuur hebben geleid tot selectie voor hogere intelligentie (en dus grotere hersenen) in individuen
 - de toenemende intelligentie heeft op zijn beurt het verder complexifiëren van taal en cultuur gestimuleerd
 - aldus hebben evolutie van cultuur en evolutie van hersenen elkaar versneld, in een positieve feedback lus
- Wie zijn wij?
 - mensen vormen het voorlopig hoogste metaniveau
 - + dit geeft hen een ongehoorde macht en inzicht t.o.v. andere systemen
 - verbeelding, creativiteit, abstract denken, zelfbewustzijn, enz.
 - + zij dragen in zich echter nog tal van de beperkingen die zij hebben overgeërfd van hun voorouders
 - bvb. agressie, gebrekkig redeneervermogen, jaloezie, onaangepaste stressreacties, enz.
 - deze reacties waren aangepast aan de omgeving van onze voorouders, maar zijn in onze huidige omgeving eerder contraproductief
 - + een beter begrip van de evolutie zal ons toelaten ons meer bewust te worden van deze beperkingen
 - en er aldus beter mee te leren omgaan
- Waar gaan wij naartoe?
 - de steeds snellere evolutie van wetenschap, technologie, cultuur, enz. lijkt een nieuwe metasysteemtransitie aan te kondigen

- deze zal leiden tot een systeem met alsnog onvoorstelbare capaciteiten tot creativiteit, denken, bewustzijn en actie
- wellicht de beste metafoor hiervoor is het “wereldwijde brein”, het denkend systeem dat ontstaat door de integratie via een intelligent computernetwerk van alle individuen op deze planeet
- Is er een ultiem doel?
 - neen, evolutie streeft niet naar een welbepaald eindpunt, en zal nooit beëindigd zijn
 - hoewel evolutie doelgerichte systemen voortbrengt, is ze zelf niet doelgericht
 - evolutie blijft intrinsiek onvoorspelbaar
 - toch is deze evolutie niet willekeurig, maar heeft een “voorkeursrichting”: toename van de fitness
- Bestaat er een God of hogere macht?
 - een evolutionaire verklaring maakt een verklaring teruggaand tot één of andere Schepper overbodig
 - wie dat wenst, kan echter het proces van de evolutie zelf, of het universum dat hierdoor werd voortgebracht, als “goddelijk” beschouwen, in de geest van het pantheïsme
 - + in die zin kan men religieuze gevoelens hebben (verbondenheid met het geheel, ontzag tegenover de onvoorstelbare complexiteit van het universum, aantrekking tot het mysterie van alles wat nog niet verklaard is) zonder in een persoonlijke God te geloven
 - cfr. Leo Apostel over “atheïstische religiositeit”
- Wat zijn goed en kwaad?
 - + er bestaat geen absoluut goed of absoluut kwaad
 - wat goed is in bepaalde omstandigheden kan kwaad zijn in andere
 - er zijn geen absolute wetten, noch natuurlijke, noch goddelijke, waaruit men absolute waarden kan afleiden
 - tenslotte is het de mens zelf die een keuze moet maken
 - + er zijn echter wel evolutionaire waarden die ons een leidraad kunnen bieden bij onze beslissingen
 - keuzes zijn niet willekeurig
 - evolutionaire basiswaarde: Fitness
 - + enkele algemene evolutionaire waarden afgeleid van “fitness”
 - stabiliteit, evenwicht
 - innovatie, exploratie, experimentatie
 - diversiteit, verscheidenheid
 - vermogen tot groei en ontwikkeling
 - autonomie, zelforganisatie
 - inpassing in het grotere geheel

- + afgeleide waarden voor doelgerichte systemen/individuen
 - beheersing van eigen situatie
 - sensitiviteit, perceptie
 - kennis
 - intelligentie
 - kracht, energie, vermogen tot actie
 - efficiëntie
 - geluk, plezier, genot: biologisch signaal dat alles goed gaat
- Wat is waar en wat is onwaar?
 - + er zijn geen absolute waarheden
 - de “waarheid” van een theorie is niet meer dan haar vermogen om voorspellingen te produceren die in de praktijk uitkomen
 - twee verschillende theorieën kunnen echter gelijkaardige voorspellingen maken zonder dat de ene waar is en de andere vals
 - + deze theorieën kunnen vergeleken worden met twee systemen die zich op een verschillende manier aan dezelfde werkelijkheid hebben aangepast
 - beide zijn even fit, toch zijn ze heel anders georganiseerd
 - + waarheid is echter niet enkel relatief, subjectief of cultuurafhankelijk
 - er is wel degelijk een verschil tussen een theorie die betrouwbare voorspellingen maakt (bvb. astronomie) en een theorie die dat niet doet (bvb. astrologie)
 - van twee systemen die voor dezelfde niche concurreren zal de ene i.h.a. fitter zijn dan de andere
- Waarom zijn wij niet onsterfelijk?
 - fitness wordt bereikt door een combinatie van overleving en voortplanting
 - + elk levend systeem heeft een eindige hoeveelheid energie te investeren in fitness
 - wat gebruikt wordt voor het ene (bvb. voortplanting) is niet langer beschikbaar voor het andere (bvb. overleving)
 - er moet dus een compromis gevonden worden
 - + gezien het onmogelijk is om overleving in alle omstandigheden te garanderen (vanwege bvb. ongelukken, ziektes, roofdieren...) moet er voldoende geïnvesteerd worden in voortplanting om het onvermijdelijke verlies aan levens te compenseren
 - daarom zal ons organisme niet maximaal investeren in overleving op lange termijn
 - dit resulteert in veroudering of aftakeling eens de vruchtbare periode van voortplanting voorbij is
 - + dit heet de “disposable soma” (wegwerplichaam) theorie van de veroudering
 - het belangrijkste is dat de genen voortleven in de nakomelingen, het individuele organisme (“soma”) is bijkomstig

- Hoe kunnen wij gelukkig zijn?
 - + geluk, positieve gevoelens is het biologisch geëvolueerde signaal dat alles goed gaat, dat het organisme zo mag verder doen
 - d.w.z. dat het organisme fit is, en in staat alle praktisch voorzienbare problemen het hoofd te bieden
 - m.a.w. dat het organisme controle heeft over zijn situatie, dat het zijn doelen kan bereiken, dat het de situatie beheerst
 - het is niet zozeer de feitelijke, objectieve situatie die telt, maar het gevoel dat men de situatie beheerst, dat er geen onoverkomelijke problemen zullen opduiken
 - + geluk vereist een aantal basisvoorwaarden
 - gezondheid, kennis (informatie, inzicht, “wijsheid”), sociale ondersteuning (relaties, aanvaard worden binnen een groep), vrijheid (zijn eigen weg kunnen gaan), gelijkheid (niet onderdrukt of gediscrimineerd worden), veiligheid (laag risico op ongelukken, misdaad, oorlog,....)
 - het belang van deze factoren voor geluk is aangetoond door empirisch onderzoek
 - deze voorwaarden kunnen echter ook theoretisch afgeleid worden uit algemene evolutionair-systemische waarden
- Wat is de zin van het leven?
 - “Moeder, waarom leven wij?”
 - + de essentie samengevat in één zin: de zin van het leven is het streven naar fitness
 - alle levende wezens hebben fitness als impliciet doel
 - + in de praktijk weten we daarmee echter nog niet wat de beste manier is om fitness te vergroten voor een gegeven systeem
 - fitness zelf is een zeer abstract, multidimensioneel concept
 - er zijn zeer veel, onderling verschillende manieren om fitness te verhogen
 - iedereen moet dus nog steeds zijn eigen keuzes maken, maar het EWS kan hierbij ongetwijfeld een leidraad bieden

Situering	1
<u>het Centrum Leo Apostel, 1</u>	
<u>ikzelf, 1</u>	
<u>deze cursus, 1</u>	
<u>examens, 1</u>	
<u>bijkomende informatie, 1</u>	
Fundamentele filosofische vragen	1
<u>Het eeuwige “waarom”?, 1</u>	
<u>Afgeleide vragen, 2</u>	
<u>De antwoorden op al deze vragen tesamen bepalen een wereldbeeld, 2</u>	
<u>De huidige cursus ontwikkelt een evolutionair-systemisch wereldbeeld, 2</u>	
<u>Historische ontwikkeling, 2</u>	
De religieuze wereldbeelden	2
<u>Reden van alle gebeuren: omdat God/de goden het gewild hebben, 2</u>	
<u>de parabel van de uurwerkmaker, 2</u>	
Het Newtoniaanse wereldbeeld	3
<u>wereldbeeld geïnspireerd door de klassieke mechanica (natuurkunde), 3</u>	
<u>reductionisme, 3</u>	
<u>determinisme, 3</u>	
<u>reversibiliteit, 3</u>	
<u>het uurwerkuniversum, 3</u>	
<u>tekortkomingen, 4</u>	
Het evolutionair-systemische wereldbeeld	4
<u>niet langer nood aan God als schepper van het heelal en de mensheid, 4</u>	
<u>gedetailleerd verhaal, ontstaansgeschiedenis, 4</u>	
<u>continuïteit tussen mens, dier, plant en mineraal, 4</u>	
<u>optimistische visie: zelforganisatie, spontane ontwikkeling, 5</u>	
<u>hoewel evolutie onvoorspelbaar is, heeft ze een voorkeursrichting: toegenomen “fitness”, 5</u>	
<u>Complementaire ontwikkelingen, 5</u>	
Evolutietheorie	5
<u>geschiedenis: Darwin en de oorsprong van de soorten, 5</u>	
<u>Wat is evolutie?, 5</u>	
<u>het toenemende belang van de evolutionaire benadering, 6</u>	
<u>Wat ontbreekt er nog in de evolutionaire benadering?, 6</u>	
Zelforganisatie	7
<u>Introductie, 7</u>	
<u>Voorbeelden, 7</u>	
<u>Globale orde, 8</u>	

<u>Chaos, 8</u>	
<u>Systemen ver van het evenwicht, 9</u>	
Systeemtheorie	10
<u>reductionistische benadering, 10</u>	
<u>holistische of systemische benadering, 11</u>	
<u>wat is systeemtheorie?, 11</u>	
<u>geschiedenis, 11</u>	
<u>filosofie, 11</u>	
<u>systemen en subsystemen, 12</u>	
Cybernetica	14
<u>doelgerichtheid, 14</u>	
<u>feedback (terugkoppeling), 15</u>	
<u>controle (regulatie, beheersing), 15</u>	
<u>de thermostaat, 15</u>	
<u>controlemechanismen, 15</u>	
<u>Componenten van een doelgericht systeem, 16</u>	
<u>kennis, modellen, 17</u>	
Complexe adaptieve systemen	17
<u>geschiedenis, 17</u>	
<u>“agenten” (“agents”), 18</u>	
<u>Complex adaptief systeem, 18</u>	
<u>cellulaire automaten, 19</u>	
<u>zwermen (“swarms”), 19</u>	
<u>artificieel ecosysteem of artificieel leven, 20</u>	
<u>gesimuleerde maatschappij, 20</u>	
<u>artificiële cultuur, 21</u>	
Complexiteit	21
<u>Een relationele ontologie, 21</u>	
<u>Distincties, 21</u>	
<u>Connecties, 22</u>	
<u>Orde, 22</u>	
<u>Wanorde, 24</u>	
<u>Complexiteit, 25</u>	
<u>Differentiatie en integratie, 26</u>	
<u>Organisatie, 27</u>	
Toestandsruimte.	27
<u>van distincties en connecties naar formeel model, 27</u>	
<u>Objecten, 27</u>	

<u>Eigenschappen, 28</u>	
<u>Toestanden, 29</u>	
<u>Toestandsruimte, 29</u>	
<u>Afstandsmaat, 30</u>	
<u>Variëteit (“variety”), 30</u>	
<u>Dwang (“constraint”), 31</u>	
<u>Entropie, 33</u>	
<u>Informatie, 35</u>	
<u>Complexiteitsmaten?, 37</u>	
Variatie en selectieprincipes	37
<u>Distinctiedynamica, 37</u>	
<u>Variatie/drift, 39</u>	
<u>2de wet van de thermodynamica, 40</u>	
<u>Asymmetrische transitie/Selectie, 43</u>	
<u>Orde uit de chaos, 45</u>	
<u>Het stapsteenprincipe, 47</u>	
Dynamica	50
<u>Nogmaals: variatie en selectie, 50</u>	
<u>Sequentiële of parallele variatie en selectie, 51</u>	
<u>Interne of externe variatie, 53</u>	
<u>Interne of externe selectie, 53</u>	
<u>Classificatie van evolutionaire processen, 54</u>	
<u>Fitness, 55</u>	
<u>Fitness landschappen, 59</u>	
Supersysteemtransities	62
<u>hoe leidt evolutie van simpele tot complexere systemen?, 62</u>	
<u>Interacties, 62</u>	
<u>Bindingen, 63</u>	
<u>Systeem als dwang op subsystemen, 64</u>	
<u>Sluiting, 65</u>	
<u>Selectie van stabiele combinaties, 66</u>	
<u>Hierarchische architectuur, 67</u>	
<u>bijna decomposeerbare systemen, 69</u>	
<u>Toename van de structurele complexiteit , 69</u>	
Metasysteemtransities	70
<u>Aanpassingsvermogen, 70</u>	
<u>Metasystemen, 71</u>	
<u>Hierarchieën van metasystemen, 73</u>	

Metasysteemhierarchy volgens Valentin Turchin, 75

Het ontstaan van het leven, 77

Oorsprong van controle, 80

Conclusie: het evolutionair-systemische wereldbeeld (ESW) 82

Ontologie, 82

Epistemologie, 83

Ethiek, 83

Fundamentele vragen, 85