

## Hoofdstuk 2

### Evolutie en erfelijkheid

#### *Samenvatting.*

Na een korte aanduiding van de theorie van Darwin wordt de invloed van de omgeving en de aanleg via de genen met elkaar in verband gebracht. Er moet een wezenlijk onderscheid gemaakt worden tussen eigenschappen die afhankelijk zijn van een enkel gen en eigenschappen die door meerdere genen worden bepaald. Het begrip "heritability" wordt doorgenomen en de beperkingen ervan aangegeven. Autonome evolutionaire ontwikkelingen worden beschreven. Het ontstaan van mutaties wordt toegelicht. Vervolgens wordt ingegaan op het begrip genetische afstand en de indeling in soorten. De biologische diversiteit van levende wezens komt ter sprake. Het verband tussen toevalsvariaties en ontwikkeling wordt aan de hand van een voorbeeld over het ontstaan van warmbloedigheid toegelicht. Tenslotte wordt nagegaan of er onafhankelijke patronen in eigenschappen te ontdekken vallen en of die specifiek voor een bepaalde soort zijn.

#### Inhoudsopgave Hoofdstuk 2.

1. Inleiding. . . . .	2
2. Genen versus omgeving. . . . .	3
3. Heritability. . . . .	4
4. Autonome processen. . . . .	8
A. Veel of weinig nakomelingen? . . . . .	8
B. Partnerkeuze. . . . .	10
5. Erfelijkheid en mutaties. . . . .	12
A. Verdubbeling van genen. . . . .	16
B. Transductie. . . . .	17
C. Transposons. . . . .	19
6. Genetische afstand. . . . .	20
7. Biologische diversiteit. . . . .	21
8. Homeostasis. . . . .	21
A. Warmbloedigheid. . . . .	23
9. Basiseigenschappen. . . . .	27
10. Speltheorie en evolutie. . . . .	29

## *Evolutie en erfelijkheid*

### *1. Inleiding*

Darwin komt, tezamen met Wallace, de eer toe de evolutietheorie gestalte te hebben gegeven in een tijd dat het wereldbeeld nog sterk bepaald was door het scheppingsverhaal. (Zie 1: evolutietheorie (Gavin de Beer 1966)) Dit was temeer uitzonderlijk omdat destijds nog niets bekend was van de erfelijkheidsleer (Mendel) en het optreden van mutaties (de Vries). Het bleef dan ook min of meer een raadsel hoe erfelijkheid en variatie samen hingen.

Naast een globale uiteenzetting over de werking van de evolutie, zoals die nu bekend is, zal een aantal vragen worden behandeld voor zover ze van belang zijn voor een beter begrip van het functioneren van de evolutie en de gevolgen ervan voor ons mensbeeld. Op de volgende punten zal daarbij worden ingegaan.

1: Er is een vinnig debat ontstaan over de vraag welke eigenschappen aangeboren en welke aangeleerd zijn (*nature versus nurture*) De achterliggende vraag daarbij is of deze eigenschappen veranderd of aangepast kunnen worden of dat ze als een gegeven moeten worden beschouwd. Het antwoord daarop kan dan ook grote maatschappelijke en politieke consequenties hebben.

2: Wat is de consequentie van het feit dat de meeste erfelijke eigenschappen tot stand komen door een wisselwerking van vele genen? De proeven van Mendel suggereerden dat elke eigenschap bepaald wordt door één gen. Wordt ons beeld van de erfelijkheid mede daardoor vertekend?

3: Zijn er specifieke kenmerken van levende organismen en/of autonome ontwikkelingen die mee richting geven aan de evolutionaire ontplooiing ?

#### ***Hoofdpunten van Darwin's Evolutie-theorie.***

Zij kunnen als volgt worden samengevat:

1. Alle organismen produceren een veel groter aantal voortplantingscellen dan er ooit volwassen nakomelingen komen;
2. Het aantal individuen binnen een soort blijft min of meer constant;
3. Hieruit volgt dat er een hoge sterfte moet zijn;
4. De individuen binnen een soort zijn niet identiek aan elkaar, maar vertonen toevallige variaties in alle eigenschappen en kenmerken;
5. Zodoende zullen sommige variaties een grotere overlevingskans hebben dan andere in de strijd om het bestaan, en de ouders van de volgende generatie zullen op natuurlijke wijze geselecteerd worden uit die individuen van de soort, die variatie vertonen in de richting van meer effectieve aanpassing aan hun milieu (hun ecologische nis) en het vermogen de meeste nakomelingen te hebben;
6. De erfelijkheid zorgt ervoor dat nakomelingen op hun ouders lijken;
7. Daardoor zullen de volgende generaties de aanpassingsgraad die door geleidelijke verandering is verkregen, behouden en vergroten.

*Sir Gavin de Beer; Atlas van de Evolutie, blz.30; Elsevier.*

#### **1: Evolutie-theorie.**

4: Een belangrijke vraag is hoe de variatie in eigenschappen tot stand komt waarop de mogelijkheid tot selectie gebaseerd is. Wat voor mechaniek doet de genen veranderen en wat voor verdere perspectieven geeft deze kennis?

## ***2. Genen versus omgeving***

Gezond verstand zegt ons dat het verschil in huidskleur tussen een Europeaan en een West-Afrikaan aangeboren moet zijn. Ook dat de vaardigheid om Nederlands te spreken - in tegenstelling tot bijvoorbeeld Pools - totaal sociaal van oorsprong is. We kunnen vermoeden dat een virtuoze violist geboren is met andere neurale verbindingen dan iemand die toondoof is, maar de beroemde solist die voor een groot publiek speelt voor een hoog honorarium en bekend is bij miljoenen is een schepping van onze sociale cultuur. In de zeventiende eeuw zou een persoon met dergelijke gaven zijn maaltijden gedeeld hebben met dienaren en kamermeiden, die zijn sociale gelijken waren. De sociale druk tot verandering en selectie, die o.a. bij mensen naast de omgevingsdruk bestaat, kan de laatste tijd door modegevoeligheid in relatief korte periode veranderen. Meestal is die periode te kort om de op lange termijn werkende genetische selectie te beïnvloeden. Wat er van merkbaar is zal zich lange tijd geleden hebben afgespeeld tijdens het nomadisch bestaan toen de ontwikkelingen nog langzaam verliepen. Een aantal verschillen tussen mannen en vrouwen (bijv. in ruimtelijke oriëntatie) valt daar waarschijnlijk wel uit te verklaren.

Het is opmerkelijk dat verschillen in vorm en kleur, zoals dikte en dichtheid van de beharing, grootte van de mond, kleur van de ogen of het haar, pigmentering van de huid etc. eigenlijk zonder veel onderzoek als genetisch van oorsprong worden beschouwd terwijl verschillen in (karakter)eigenschappen en gedrag op dit punt grote controversen en diepgaand onderzoek hebben veroorzaakt zonder tot overtuigende conclusies te hebben geleid. Kennelijk zijn onze culturele opvattingen hierbij een interventionistische kracht.

Dit leidt tot de vraag of het verschil in trekken tussen mensen aangeboren of aangeleerd is (nature or nurture). Deze vraag is feitelijk biologische nonsens. De fout zit in de poging om aparte oorzakelijke rollen toe te delen aan interne en externe krachten bij de ontwikkeling van individuen en maatschappij.

De meeste dieren, inclusief mensen zijn aan het begin van hun leven niet alleen maar miniatuur volwassenen die eenvoudig groter moeten worden, maar zij moeten zich ook ontwikkelen. (Bateson and Martin 1999) Deze ontwikkeling is niet alleen een kwestie van aanleg maar ook van omgevingsinvloeden. Een goede kok weet dat niet alleen de kwaliteit van de ingrediënten van belang is maar ook de keukenuitrusting en de presentatie van het gerecht op tafel. In het kookproces is het belangrijk hoe de verschillende ingrediënten worden gecombineerd maar ook de timing ervan is vaak doorslaggevend. Toch blijft het eindproduct een

kwestie van smaak. Hetzelfde geldt voor mensen. Het kunstmatig beperken van de variatie in genen, zoals in de eerste helft van de vorige eeuw is geprobeerd, mist dan ook elke grond. Een eikel met de z.g. beste genen is geen garantie voor succes, net zo min als het omgekeerde waar is. De beste genen zijn trouwens die set genen die eigenschappen voortbrengen die het beste op de leefomgeving zijn aangepast, maar wie weet van tevoren wat de leefomgeving zal zijn? De z.g. beste genen vormen dan ook meer een maatschappelijke constatering achteraf als het proces gelopen is en zijn geen garantie voor de toekomst. Een grote variatie in genen is dan ook gunstiger daar het immers meer bijdraagt aan aanpassingsmogelijkheden aan onvoorziene omstandigheden. Zijn genen bovendien wel zo absoluut bepalend voor de eigenschappen en verschijningsvorm van individuen? Een-eiige tweelingen zijn ook niet volledig identiek mede als gevolg van toevallige omgevingsinvloeden. (Zie ook § 3: Heritability)

De meeste kenmerken en eigenschappen blijken nl. het gevolg te zijn van interacties van veel genen. Zij vertonen daardoor, mede onder invloed van omgevingsomstandigheden, een toevals variatie om een gemiddelde dat bepaald wordt door de samenstelling van het genepakket. De keukenuitrusting, combinatie en timing van de ingrediënten, uit de vorige alinea, hebben hun werk gedaan. Lichaamslengte, vorm, kleur, stofwisselingssnelheid zijn goede voorbeelden daarvan maar ook eigenschappen als neurotisme, vitaliteit, intelligentie e.d.

Er zijn echter ook kenmerken, die door één gen (of een zeer beperkt aantal) bepaald worden. Iemands bloedgroep is daar een model van. Iedereen kan in een bepaalde klasse (bloedgroep) worden ingedeeld, die onderling duidelijk verschillend zijn en geen continue maar een discrete variatie kent. Deze vorm van variatie heet *polymorfisme* en is fundamenteel verschillend van de eerder beschreven continue variatie. Er is daarbij een duidelijk herkenbaar patroon in erfelijkheid en er is geen of nauwelijks verandering gedurende de ontwikkeling of door de omgeving. Mendel's wetten zijn daarop gebaseerd. Wanneer een dergelijk gen muteert kan een erfelijke afwijking ontstaan. Een recente catalogus van erfelijke ontwikkelings- en stofwisselingsafwijkingen, die het gevolg zijn van een mutatie van een enkel gen, telt meer dan duizend stoornissen. Toch is dit maar een klein deel van alle (genetische) afwijkingen die bij mensen voor kunnen komen.

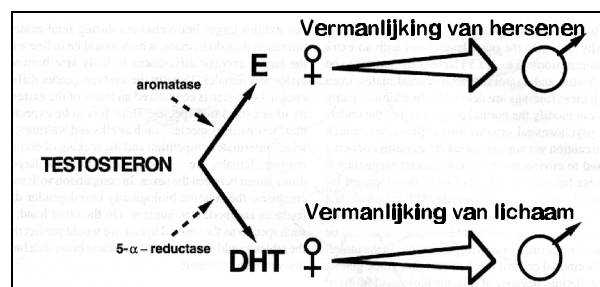
***Het verschil tussen de continue en discrete variatie van kenmerken heeft aanleiding tot veel verwarring over de rol van de erfelijkheid. De discrete variatie heeft het beeld (en de verwachtingen) te sterk bepaald. De continue variatie overheerst echter.***

### ***3. Heritability***

Is het mogelijk om de relatieve invloed van genen en omgeving te bepalen? Wat is de bijdrage van beide op de ontwikkeling van gedragspatronen of psychologische karakteristieken zoals muzikaliteit? Een oplossing werd gesuggereerd door de invoering van het begrip

***Hetero- en homoseksualiteit.***

Een goede illustratie van een proces dat zich vanuit genetische gegevens ontwikkelt en waarbij het verloop de uitkomst bepaalt, is de vorming van hetero- en homoseksualiteit. In tegenstelling tot de bijbelse opvatting vormt de man zich uit de vrouw. Elke foetus zal zich namelijk tot een vrouwelijk individu ontwikkelen als er zich geen verstoring voordoet. Zoals bekend heeft een vrouw een gelijk chromosomenpaar (XX) waar een man een verschillend chromosomenpaar heeft (XY). De X chromosoom laat de ontwikkeling in de vrouwelijke richting verlopen totdat testosteron (of eigenlijk verdere ontwikkelingen ervan) tussenbeide komt en de ontwikkeling ombuigt. Bij een foetus met een manlijk chromosomenpaar begint een gen op de Y-chromosoom TDF (Testis Determining Factor) te produceren, waardoor uiteindelijk, via de manlijke geslachtsklieren, testosteron wordt vervaardigd. Het opmerkelijke feit doet zich voor dat het proces naar een manlijke vorm van de hersenen anders verloopt dan bij de rest van het lichaam. Estrogeen, dat ontstaat door aromatisering van testosteron, is verantwoordelijk voor de vorming van manlijke hersenen terwijl dihydrotestosteron, dat ontstaat door conversie van testosteron door 5 $\alpha$ -reductase, zorgt voor de ontwikkeling van een manlijk lichaam. Het is daardoor mogelijk, wanneer een van de processen niet goed verloopt, door bijv. geen of te weinig aromatase of 5 $\alpha$ -reductase, dat er een manlijk lichaam ontstaat met vrouwelijke hersenen of omgekeerd. Dit proces speelt zich geheel in de baarmoeder af en is niet het gevolg van culturele invloeden.



**Figuur 1:** Patroon voor vermanlijking.  
E = Estrogeen; DHT = DiHydroTestosteron

Het verschil tussen manlijke en vrouwelijke hersenen manifesteert zich o.a. doordat de hersenhelften bij mannen onderling meer uiteenlopen dan bij vrouwen. Verder zijn er verschillen in de *interstitial nuclei* van de *anterior hypothalamus*. Ook is de invloed van twee hormonen, nl. vasopressin en oxytocine afwijkend. Vasopressin stuurt de manlijke seksualiteit sterker aan terwijl oxytocine meer invloed heeft bij vrouwen. Het gevolg daarvan is een duidelijk verschil tussen manlijk en vrouwelijk gedrag.

Het XX chromosomenpaar vertelt het (vrouwelijk) lichaam om eiwitten, zoals alfa-fetoproteïne, te maken, die de geslachtsovergang tegenwerken. Hierdoor wordt de foetus beschermd tegen het in het algemeen hoge niveau van estrogeen bij de moeder. Als echter dat niveau te hoog is (of er te weinig alfa-fetoproteïne is) zal er toch een manlijke ontwikkeling bij de foetus plaatsvinden. Ook stress bij de moeder tijdens een bepaalde periode van de zwangerschap blijkt een factor te zijn. (Panksepp 1998) Moederratten, die sterke stress ondervonden tijdens de zwangerschap hadden meer homoseksuele manlijke nakomelingen. In een normaal nest worden ongeveer 80% van de “zonen” actieve mannetjes terwijl 20% in gedrag asexueel blijft. Van de “zonen” van gestresste moeders waren slechts 20% actieve mannetjes terwijl 60% biseksueel of homoseksueel was. In twijfelgevallen kan de omgeving nog enige invloed uitoefenen. Bepaalde sociale omstandigheden (bijv. constante aanwezigheid van seksueel ervaren vrouwtjes) maakten het gedrag “normaler”. De overige 20% was weer in gedrag asexueel. Het is ook bekend dat in de laatste stressvolle jaren van de tweede wereldoorlog in Duitsland een hoger percentage homoseksuele jongens is geboren dan in latere jaren. Uit deze percentages blijkt dat er allerlei subtiele verschillen in het proces kunnen zijn die het eindresultaat beïnvloeden. Er zijn vele tussenvormen mogelijk die het eindresultaat sterk nuanceren kunnen. Het zijn niet alleen de genen maar vooral de (fysiologische) omstandigheden die het eindresultaat bepalen.

**2: Hetero- en homoseksualiteit.**

“*heritability*”, weergegeven door het symbool  $H^2$ . Dit begrip kan het beste worden geïllustreerd aan de hand van een karakteristiek zoals lengte, die klaarblijkelijk zowel door iemands achtergrond (genen) als door omstandigheden (voeding) wordt beïnvloed. De variatie in lengte tussen individuen die aan genen kan worden toegeschreven kan als een deel van de totale variatie van de gemeten groep worden uitgedrukt.  $H^2 = \text{genetische variatie} / \text{totale variatie}$ . Wanneer de totale variatie kan worden toegeschreven aan de genen zou de *heritability* dus gelijk aan één zijn, als daarentegen de totale variatie aan de omstandigheden ligt, zoals voeding, dan is de *heritability* gelijk aan nul. Een elegante manier om dat te meten is via bestudering van een-eiige tweelingen. Deze delen namelijk hun hele genenpakket. Verschillen ertussen zijn dus te wijten aan de omstandigheden. Door de variatie tussen een-eiige tweelingen te vergelijken met een willekeurige groep kan een beeld verkregen worden van de *heritability*. Op deze wijze is aan de hand van 30 studies, waarbij meer dan 30 000 tweelingen betrokken waren, een *heritability* voor IQ (Intelligentie Quotient) van ca 0,5 vastgesteld (tussen 0,3 en 0,7). (Plomin 1990) Toch is *heritability* geen absolute maat. De waarde ervan berust op een aantal factoren zoals de specifieke steekproef die is gebruikt. Als lengte alleen gemeten is bij mensen met een welvarende achtergrond dan zijn de omgevingsinvloeden meer gelijk en zal de *heritability* groter zijn. Ook is er een stilzwijgende aanname dat de erfelijke factoren onafhankelijk zijn van de omgevingsinvloeden. Er zijn echter veel gevallen waarin een duidelijke invloed aanwezig is. (zie ook 2: hetero- en homosexualiteit) Een onmiskenbaar voorbeeld is een geval bij de fruitvlieg, *Drosophila*, waar een variant van een bepaald gen verlamming veroorzaakt, maar alleen wanneer de omgevingstemperatuur boven de 29° C komt. (Cloninger 1982) (Zie ook 3: Onderlinge invloed van genen en milieu (Bateson and Martin 1999) ). De consequentie van de gevoeligheid van de genetische variatie voor de omgeving is dat op het eerste gezicht redelijke voorspellingen soms fout blijken te zijn. Alles wat de *heritability* van een eigenschap zegt is hoeveel genetische variatie er op een bepaald moment in die specifieke omgeving bestaat voor die eigenschap.

Ook is de vraagstelling soms misleidend. Een bewering dat alcoholisme op een biochemische, genetische basis berust haalt twee dingen door elkaar nl. dat er een fysieke gevoeligheid is voor alcohol, die erfelijk blijkt te zijn, en een complex sociaal

### **Erfelijkheid en omgeving.**

Erfelijke en omgevingsfactoren werken soms samen om een veel groter effect te bewerkstelligen dan het geval is wanneer elke factor alleen werkzaam is.

In een studie uit Zweden werd gekeken naar kinderen, die wel of niet uit een misdadig milieu kwamen en op jonge leeftijd geadopteerd waren in gezinnen waarvan sommige ook een geschiedenis van criminaliteit kenden. Wanneer kinderen uit een crimineel gezin kwamen was de kans om opnieuw crimineel te worden vier maal zo groot als bij kinderen uit een gewoon gezin die weer in een gewoon gezin waren opgenomen, terwijl kinderen uit een niet crimineel gezin, die in een crimineel gezin waren geadopteerd, tweemaal zo vaak crimineel werden. Maar de combinatie van criminaliteit in zowel het originele als het adoptieve gezin verhoogde de kans op criminaliteit met een factor veertien, veel sterker dan het product van de biologische en familiale invloeden.

**3: Onderlinge invloed van genen en milieu.**

gedrag, dwangmatig drinken, waar geen aanwijzing is voor erfelijkheid. Een lage *heritability* betekent niet noodzakelijkerwijs dat de erfelijkheid er geen grote rol in speelt en omgekeerd, alleen dat het gedragspatroon op een andere manier tot stand is gekomen. Aanleg voor iets, hoe zwak of sterk ook, is belangrijk maar alleen aanleg komt vaak zonder stimulerende omgeving niet tot zijn recht. Ze zijn en blijven tot elkaar veroordeeld.

Genen zijn sjablonen voor eiwitten. Niet meer en niet minder. Deze eiwitten werken meestal niet geïsoleerd maar in een omgeving waar vele andere eiwitten werkzaam zijn die op basis van andere genen zijn samengesteld. Per cel zijn dat er wel 2000 of meer. Er zijn in een menselijk lichaam ongeveer 350 verschillende cellen. Al die cellen hebben praktisch dezelfde set genen die echter alleen geactiveerd worden in antwoord op lokale condities in de cel en op verschillende ontwikkelingsstadia. (Coen 1999) De ontdekking van de mate waarin een gen andere genen kan activeren is een triomf van de ontwikkelingsbiologie. Praktisch elk gedragspatroon of psychologische karakteristiek wordt beïnvloed door veel verschillende genen (*polygeny*) en praktisch elk gen beïnvloedt veel verschillende gedragspatronen (*pleiotropy*).

Gedeeltelijk hierdoor zijn biologen zich bewust geworden van drie fundamentele kenmerken van levende organismen. (Lewontin 1982)

- Ten eerste: organismen zijn open systemen die constant nieuwe materialen en energie van buiten opnemen, zich constant veranderen en ontwikkelen.
- Ten tweede: interne en externe factoren kunnen in het algemeen geen gescheiden rollen worden toegekend bij de bepaling van eigenschappen van organismen.
- Ten derde: organismen streven er naar om intern zo stabiel mogelijke omstandigheden te handhaven. Dit onderscheidt ze van hun omgeving.

Dit heeft een aantal gevolgen voor een goed begrip van de oorsprong van de menselijke natuur en zijn verscheidenheid nl.

- ten eerste: dat elk organisme het voorwerp is van een continue ontwikkeling gedurende zijn leven op basis van de patronen, die door de genen gegeven zijn.
- ten tweede: dat het ontwikkelende organisme te allen tijde onder invloed is van wederzijds op elkaar inwerkende genen en omgevingsfactoren.
- ten derde: dat er tijdens de ontwikkeling, bij gelijke genen en omstandigheden, verschillen kunnen optreden die het gevolg zijn van ontwikkelingsruis. Toevallige variaties zoals de exacte plaats van haarzakjes op het

hoofd, kleine moedervlekjes op de huid en honderd andere kleine details van onze morfologie.

Een belangrijke consequentie van de constante medebestemming van karakteristieken van een organisme door de genen en de omgeving is dat dezelfde omgevingsinvloeden in verschillende levensfasen verschillende gevolgen kunnen hebben.

Er zijn geen karakteristieken van enig menselijk wezen die niet in een continue staat van ontwikkelingsverandering verkeren tijdens het leven. Genen kunnen in verschillende levensfasen een duidelijk verschillende invloed en uitwerking hebben. Twee mensen die op een moment in hun leven identiek zijn voor wat betreft een bepaalde trek kunnen later onomkeerbaar verschillend daarop zijn. Kinderen voor en na de pubertijd kunnen dat illustreren. In mensen is trouwens ook daarnaast veel onbekende (en vaak verschillende) informatie omtrent het verleden opgeslagen in het immuunsysteem, die altijd voor verrassingen kan zorgen. Vaardigheden, net als andere aspecten van de morfologie, fysiologie en het gedrag van organismen, zijn duidelijke trekken die zich gedurende het leven van het organisme blijven ontwikkelen.

#### ***4. Autonome processen***

Toch zijn niet alleen algemene regels geldig voor het uitslecteren van soorten en eigenschappen. Vaak zijn het toevallige details die bepalen welke richting een bepaalde ontwikkeling van een soort inslaat. Soms zijn er externe omstandigheden aanwezig en soms andere zelfversterkende elementen die niets te maken hebben met de externe omstandigheden, maar die volledig door interne processen in de soort worden bepaald. Enkele voorbeelden zullen hiervan worden geven.

##### **A. Veel of weinig nakomelingen?**

Wanneer er voldoende voedsel is en de omstandigheden voor leven gunstig zijn zal het hebben van veel nakomelingen de kans op voortbestaan vergroten. De evolutie zal die soorten uitslecteren die snel vruchtbaar zijn en veel nageslacht hebben. Kleine soorten zijn hierbij in het voordeel omdat ze gauw volwassen zijn en weinig nodig hebben. Door de grote aantallen zal de variatie hoog zijn waardoor een redelijke aanpassing aan wisselende omstandigheden mogelijk is. Schadelijke fouten bij celdeling of door mutaties, die hen voortijdig doen sterven, zijn door de grote aantallen niet catastrofaal, evenmin als het ten prooi vallen aan predators. Het ondersteunt zelfs het selectieproces. Overvloedigheid is mogelijk en gunstig.

Anders ziet het er uit wanneer er maar een beperkte voedselvoorraad is of ongunstige omstandigheden om in te leven. De natuurlijke selectie zal grote en sterke exemplaren bevoorluden omdat die een voorsprong hebben in de onderlinge concurrentie om schaarse bestaansmiddelen. Ook zal het beschermen en trainen van opgroeiende jongen om hen door een betrek-



kelijk weerloos tijdperk te helpen een zichzelf versterkende eigenschap blijken te zijn. Dat lukt trouwens beter met weinig gelijktijdige nakomelingen per ouder. Een langer vruchtbaar leven kan dat compenseren. Correctiesystemen bij celdeling en immuunsystemen leveren dan voordeel op.

Zo ontstaan er dus twee zichzelf versterkende strategieën om te overleven. (Gould and Grant Gould 1989) laten we ze respectievelijk "muis" en "ijsbeer" noemen, naar de twee diersoorten die er als voorbeeld voor kunnen worden gebruikt.

Stel  $r$  is een maat voor het aantal gezonde nakomelingen dat in iedere generatie kan worden voortgebracht wanneer de omgeving geen beperkingen oplegt. Als  $r = 3$ , dan groeit het aantal volgens de serie: 1, 3, 9, 27, 81, 243, etc. Wanneer het aantal 100 is dan is dat 1, 100, 10 000, 1 000 000, 100 000 000, etc. Bij de zoogdieren horen o.a. muizen en konijnen meer bij de hoge  $r$  categorie en ijsberen en de mensen, evenals de mensapen, bij de lage  $r$  groep. Maar geen categorie kan onbeperkt doorgroeien. Het verschil zit hem in de wijze van afremmen. Bij muizen is dat in het algemeen niet het voedsel maar zijn het de roofdieren. De onderlinge concurrentie is niet de primaire remmende kracht. In de voedselketens vormen de hoge  $r$  - groepen de bodem en de lage  $r$  - groepen de top. Zelfs bij olifanten met een van de laagste  $r$ 's zou een ongeremde groei na 1000 jaar tot aantallen leiden die het hele landoppervlak van de aarde zou vullen. Daar olifanten al meer dan 10 miljoen jaar voorkomen is dat kennelijk niet het geval. De belangrijkste factor die dat helpt intomen is de beperkte beschikbaarheid van voedsel en leefruimte. Waar mensen dat probleem hebben weten op te lossen is de groei in aantallen spectaculair geweest. Dat heeft echter weer tot andere problemen en oplossingen geleid.

**Tabel 1:** Verschil strategieën "muis" en "ijsbeer" groep.

Strategie	"ijsbeer" groep.	"muis" -groep.
Aantallen	Bepaald door voedselaanbod	Bepaald door vijanden
Omgeving	Voorspelbaar, stabiel	Onstabiel
Onderlinge competitie	Hoog	Gematigd
Ontwikkeling	Langzaam	Snel
Lichaamsgrootte	Groot	Klein
Zorg voor jongen	Veel	Weinig
Aantal jongen	Laag	Hoog
Leefwijze	Specialist	Generalist

De verdeling in "muis" en "ijsbeer" groep is niet een universele indeling. Veel soorten zijn daarin niet inpasbaar zoals planten, parasieten, een-celligen etc. het is meer een illustratie hoe de evolutie, afhankelijk van de omstandigheden, een drijvende kracht kan zijn die op basis

van kleine verschillen in eigenschappen en omgeving de ontwikkeling van soorten een bijna tegenovergestelde richting kan geven en kan leiden tot zeer grote onderlinge verschillen, ja zelfs tot een zodanige specialisatie dat uitsterven praktisch onvermijdelijk wordt als de omstandigheden even niet meezitten. Mammoeten, sabeltijgers en waarschijnlijk grote pandaberen zijn daar voorbeelden van.

Evolutie is een tendens, die aanpassing aan omstandigheden tot gevolg heeft, zij het met een flinke vertraging. Veranderen de omstandigheden snel dan kunnen veel soorten dat niet bijhouden en sterven uit. Elke bestaande soort heeft vaak meer dan tien uitgestorven voorgangers.

### **B. Partnerkeuze.**

Natuurlijke selectie wordt niet alleen door de beste of de sterkste (“the fittest”) bepaald. Ze kunnen wel beter of langer leven maar hebben ze ook succes bij de voortplanting? Het is degene die effectief zijn erfelijke eigenschappen doorgeeft die de richting ervan mee bepaalt. De voorkeur bij actieve of passieve partnerkeuze en het succes daarvan is een bepalende factor daarbij. Een voorkeur voor grote en/of sterke partners kan er toe leiden dat op den duur de soort groter en sterker wordt. Bij bepaalde omstandigheden kan die voorkeur zich stabiliseren en een eigen leven gaan leiden waardoor de soort een nieuw eigen kenmerk krijgt. Maar de evolutie is een langzaam werkend proces dat vaak vele honderden generaties nodig heeft om bepaalde aanpassingen blijvend uit te selecteren. Beweren dat een trek het gevolg is van een evolutionaire aanpassing is een bewering over het verleden. Het verwijst naar een selectie uit alternatieven, die vroeger bestaan hebben, als antwoord op toen voorkomende toestanden. Het wil niet zeggen dat de trek ook de beste oplossing biedt voor de nu of in de toekomst voorkomende omstandigheden.

Er is altijd een vorm van herkenning in het spel bij geslachtelijke voortplanting. Eiwitten in het membraan van de eicel moeten passen bij eiwitten in het membraan van de zaadcel voordat de zaadcel het ei kan binnen dringen. Dat is functioneel om er voor te zorgen dat de gelijksoortige chromosomen van beide gameten<sup>1</sup> zich kunnen samenvoegen. (Daarnaast zijn er ook nog andere functies bijgekomen). Wilgen en sommige vissoorten zijn voorbeelden van planten en dieren die eieren en/of zaad los verspreiden om aan de bevruchting deel te nemen, en daarbij vertrouwen op een wederzijdse herkenning. De relatief geringe kans op bevruchting wordt gecompenseerd door een overvloedig aanbod van ei en/of zaad.

Vaak gaat de bevruchting ingewikkelder. Er is een paring tussen een mannetje en een wijfje voor nodig om deze tot stand te brengen. De kans op succes is daarbij in principe veel

---

<sup>1</sup> Gameten zijn geslachtscellen; ei-cellen of zaadcellen. Gametès is Grieks voor echtgenoot.

groter omdat de juiste ei- en zaadcellen bij elkaar gebracht worden. De prijs die daarvoor betaald moet worden is vaak een meer of minder complex paringsritueel. Er zijn een aantal doelen die daar mee gediend zijn.

Allereerst vindt het alleen plaats wanneer beide partners vruchtbaar zijn en de paring dus kans op succes kan hebben. Vaak wordt dat door middel van geuren kenbaar gemaakt maar ook kunnen andere signalen worden afgegeven. Zonder die signalen vindt meestal geen paring plaats. O.a. apen en mensen vormen hier echter een uitzondering op.

Vervolgens maakt het ritueel een selectie van de partner mogelijk. Niet alleen wordt daarbij vaak een paring van verschillende soorten of rassen voorkomen, ook is het mogelijk dat het mannetje of het wijfje een voorkeur aan de dag legt voor een partner met bepaalde eigenschappen die gunstig kunnen zijn voor het nageslacht. De evolutie wordt als het ware geholpen om versneld te werken. Soms ontstaan daarbij eigenschappen die niet direct nuttig zijn maar ook niet schadelijk zoals de pauwenstaart. Hoe sneller de evolutie werkt, des te meer is het resultaat ervan gericht op de korte termijn. Maar elke verbijzondering kan een handicap worden bij veranderende omstandigheden. Het vergroot de onderlinge afhankelijkheid van de soorten doordat de grotere specialisatie de infrastructuur van de soorten veel kwetsbaarder kan maken. Wanneer een schakel afwezig is of een nieuwe situatie zich voordoet kan het hele systeem in de war raken, zoals o.a. blijkt uit de konijnenplaag in Australië en het uitsterven van soorten op Mauritius waaronder de dodo's.

Tenslotte kan het paringsritueel een eigen leven gaan leiden. Zo kan de onderlinge concurrentie van mannetjes er toe leiden dat het winnen van het duel belangrijker wordt voor de ontwikkeling dan het voortbestaan van de soort. Ook kan de winnaar de paring monopoliseren waardoor de variatie in de soort afneemt. Er kunnen sociale structuren ontstaan zoals pikorde of territoriumgedrag die de selectie een richting opsturen die op voorhand de mogelijkheden van sommige deelnemers fnuikt waardoor een deel van de aanwezige variatie onbenut blijft.

Wat heeft de evolutie voor sporen nagelaten bij mensen? In principe hebben zowel mannen als vrouwen een bepaalde voorkeur die de keuze bepaalt wanneer tenminste de sociale context dit mogelijk maakt. Uit een groot aantal onderzoeken in verschillende culturen blijkt dat vrouwen een voorkeur hebben voor mannen die veel (potentiële) bronnen van bestaan hebben terwijl mannen jeugd en fysieke aantrekkelijkheid (beide correlerend met succesvolle voortplanting) belangrijk vinden. (Gould and Grant Gould 1989) Ook zijn mannen vaak ouder dan hun vrouwelijke partner. Als gevolg hiervan werd in drie onafhankelijke studies gevonden dat fysiek aantrekkelijke vrouwen meer met mannen verbonden waren die (potentieel) over

ruime bestaansbronnen beschikbaar. De mate van statistische correlatie bedraagt 0,45, wat hoog genoemd mag worden. Ook de gevolgde tactieken bij partnerwerving en het vasthouden van partners waren hiermee in overeenstemming. Mannen toonden hun vermogen tot het beschikken over bestaansmiddelen terwijl vrouwen verbetering van hun verschijningsvorm nastreefden. Daarnaast beschouwden beide seksen vriendelijkheid en begrip en andere, vaak cultureel bepaalde eigenschappen, van gelijk belang. Een van de methoden om aangeboren trekken bij partnerkeuze te onderzoeken bestaat uit het vragen naar voorkeur in veel verschillende culturen en zoeken naar consistente trends, aannemende dat locale culturele voorkeuren zullen verdwijnen. (zie bijv. 4: Onderzoek bij Amerikaanse college studenten)

#### ***Partnerkeuze.***

Highest-ranked characteristics sought in a mate.

Rank	Characteristics preferred by males	Characteristics preferred by females
1	Kindness and understanding	Kindness and understanding
2	Intelligence	Intelligence
3	<b><i>Physical attractiveness</i></b>	Exciting personality
4	Exciting personality	Good health
5	Good health	Adaptability
6	Adaptability	<b><i>Physical attractiveness</i></b>
7	Creativity	Creativity
8	Desire for children	<b><i>Good earning capacity</i></b>
9	College graduate	College graduate
10	Good heredity	Desire for children
11	<b><i>Good earning capacity</i></b>	Good heredity
12	Good housekeeper	Good housekeeper
13	Religious orientation	Religious orientation

#### 4: Onderzoek bij Amerikaanse college studenten

### 5. *Erfelijkheid en mutaties*

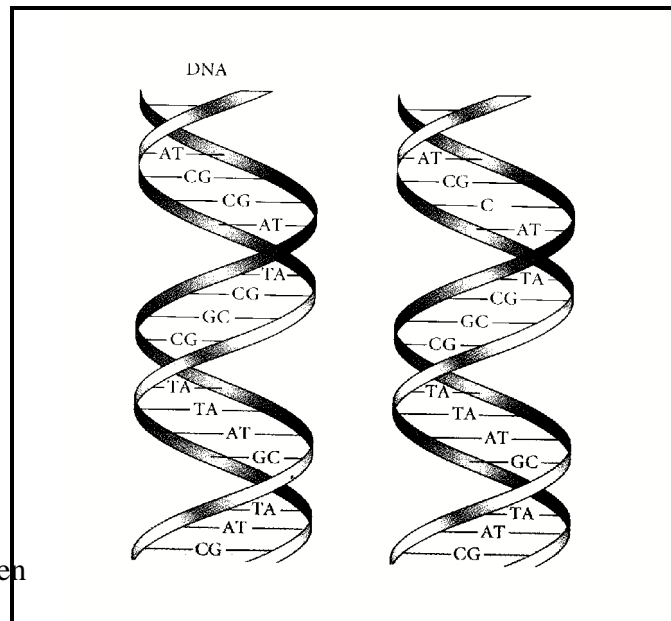
Men zou levende wezens kunnen zien als bestaande uit enerzijds het genoom, het erfelijk materiaal dat de gegevens voor de bouw bevat, waarmee anderzijds een apparaat, het lichaam, gemaakt kan worden, dat de instandhouding en verspreiding van dat genoom mogelijk maakt. Dat onderscheid werd al in 1883 door A. Weismann gemaakt. Het genoom vermenigvuldigt zich, wisselt eventueel delen uit met andere genomen en blijft bestaan terwijl het apparaat, dat die vermenigvuldiging mogelijk maakt, meestal daarna afsterft, zeker wanneer het een meer-cellig organisme betreft, zodat het weer opnieuw moet worden opgebouwd. Zo kunnen de wijzigingen in het genoom zich in het nieuwe apparaat manifesteren.

Het zal duidelijk zijn dat, wanneer het genoom om de een of andere reden verandert, het op te bouwen apparaat daar de invloed van zal ondervinden. Net zo als in een muziekstuk van Bach het vervangen van een noot door een andere slechts in uitzonderlijke gevallen tot een verbetering zal leiden, zo zal een verandering in het genoom (dat wordt een mutatie genoemd) slechts bij uitzondering leiden tot een verbetering van de werking van het apparaat.

Het apparaat wordt opgebouwd met behulp van eiwitten. Eiwitten worden op hun beurt weer in de cellen samengesteld uit de 20 basis aminozuren met behulp van instructies die vastliggen in de genen. Genen zijn delen van de lange moleculen DNA (Deoxyribo-Nucleic Acid) die als twee (complementaire) strengen in een dubbele schroef zijn gewonden. De ruggengraat van elke schroefvormige streng bestaat uit een suiker (deoxyribose), elk gekoppeld aan een fosforgroep en daardoor aaneenge-geen tot een ketting (Zie Fig.2: DNA-helix). Bij elke suiker steekt loodrecht op de as een hoofdbestanddeel uit, dat de codering van de volgorde van de aminozuren in een eiwit helpt vastleggen. De suiker, de fosforgroep en het hoofdbestanddeel vormen samen een z.g. nucleotide. Er zijn er vier van. Zij worden aangeduid met A, T, G, C. (voor: Adenine, Thymine, Guanine en Cytosine). Telkens drie opeenvolgende nucleotiden zijn bepalend voor een aminozuur. (Zie tabel 2: Codering Aminozuren). Er zijn 64 combinaties van drie nucleotiden beschikbaar (nl. driemaal een keuze uit de vier verschillende nucleotiden, hetgeen  $4^3$  mogelijkheden oplevert). Hierdoor is het mogelijk om sommige aminozuren door meer dan een code te definiëren. Er worden hiervoor 60 codes gebruikt. (Zie tabel 2: Codering aminozuren) Er is dus een zekere overtolligheid aanwezig, die een foutenmarge toestaat. De overige vier blijven beschikbaar voor andere doelen zoals start- en stopcodes.

De twee strengen zijn aan elkaar gekoppeld door waterstofverbindingen van de nucleotiden waarbij steeds A met T en G met C verbonden wordt. De volgorde in één streng bepaalt dus automatisch die in de andere. Bij de kopiëring van DNA bij celdeling scheiden de twee strengen zich en met behulp van enzymen worden nieuwe strengen gevormd die aan de oude gekoppeld worden waarbij een A met een T verbonden wordt en G met C.

Bij de vorming van eiwitten worden de strengen DNA over de lengte van een gen ont-wonden en met behulp van verschillende enzymen gekopieerd op een andere kortere streng, RNA (voor RiboNucleic Acid), bestaande uit een keten ribose suikers. Ook bij deze suikers steken weer nucleotiden uit, waarbij echter Thymine vervangen is door Uracyl (U). U bindt weer aan A en G met C. Deze messengerRNA (mRNA) bevat de volledige codering voor een eiwit. Deze mRNA verplaatsen zich naar cellichamen, ribosen genaamd, waar deze mRNA-



**Figuur1:** DNA-helix

In de rechter helix zit een mutatie; Guanine ontbreekt in de derde sport

ketens verbonden worden met kleine stukjes tRNA (transferRNA) bestaande uit een triplet nucleotiden en een daarmee verbonden, bij het triplet passend, aminozuur. Deze tRNA pikken de aminozuren op uit het protoplasma (celvocht) en brengen deze naar de ribosomen. Ook nu weer verbindt U zich met A en G met C. Zo worden de aminozuren in de goede volgorde aaneengelegd.

Genen coderen alleen voor eiwitten. Toch zijn al die eiwitten in staat om zo'n complex systeem als een levend lichaam op te bouwen en in stand te houden ook al zijn daar stoffen voor nodig die niet in de aminozuren voorkomen. Dat zegt iets over de veelzijdigheid, invloed en mogelijkheden van eiwitten, maar ook over het belang van de omgeving. Deze moet niet alleen de grondstoffen leveren waarop de eiwitten kunnen inwerken, maar ook de eindproducten van die processen een zinnige plaats bieden in een acceptabel klimaat. Dit moet gebeuren in een vijandig milieu waar veel concurrentie en bedreiging is van andere levensvormen. Deze levensvoorwaarden zijn doorslaggevend voor het slagen van het in stand houden van de soorten. Het is de omgeving die de grootste invloed heeft, niet de genen. Een van de eerste taken van het apparaat is dan ook om te zorgen voor een gunstige omgeving voor het instandhouden van het leven. Celmembranen zijn zeer vroege ontwikkelingen.

Bij het kopiëren van chromosomen, de dragers van de genen, kunnen fouten, o.a. in de volgorde van de nucleotiden, insluipen waardoor de code gewijzigd wordt. Overtolligheid van de code voorkomt in twee van de drie gevallen dat er een ander aminozuur wordt gecodeerd maar de kans erop blijft. De fout is ernstiger wanneer het geschiedt in een zaadcel of een ei maar ook hier is de kans op blijvende schade gering wegens het grote overschot dat geproduceerd wordt. Verder kan de fout weliswaar een ander aminozuur coderen maar de functie van het eiwit wordt soms niet of nauwelijks beïnvloed omdat de plaats van het aminozuur niet belangrijk is voor het functioneren. Tenslotte kan het een zodanig schadelijk effect hebben dat de vrucht niet levensvatbaar blijkt en sterft.

**Tabel 2: Codering aminozuren.**

Aminozuur	Triplet code	Aminozuur	Triplet code	Aminozuur	Triplet code
Alanine	GCT	Glycine	GGT	Proline	CCT
Alanine	GCC	Glycine	GGC	Proline	CCC
Alanine	GCA	Glycine	GGA	Proline	CCA
Alanine	GCG	Glycine	GGG	Proline	CCG
Arginine	AGA	Histidine	CAT	Serine	AGT
Arginine	AGG	Histidine	CAC	Serine	AGC
Arginine	CGT			Serine	TCT
Arginine	CGC	Isoleucine	ATT	Serine	TCC
Arginine	CGA	Isoleucine	ATC	Serine	TCA
Arginine	CGG	Isoleucine	ATA	Serine	TCG
Asparagine	AAT	Leucine	CCT	Threonine	ACT
Asparagine	AAC	Leucine	CTC	Threonine	ACC
		Leucine	CTA	Threonine	ACA
Aspartic acid	GAT	Leucine	CTG	Threonine	ACG
		Leucine	TTA		
Cysteine	TGT	Leucine	TTG	Tryptophan	TTG
Cysteine	TGC				
		Lysine	AAA	Tyrosine	TAT
Glutamic acid	GAA	Lysine	AAG	Tyrosine	TAC
Glutamic acid	GAC				
		Methionine	ATG	Valine	GTT
Glutamine	CAA			Valine	GTC
Glutamine	CAG	Phenylalanine	TTT	Valine	GTA
		Phenylalanine	TTC	Valine	GTG

Ook dan blijven de consequenties van de fout voor de soort beperkt. Tenslotte kan een gemuteerd gen op een allel<sup>2</sup> liggen dat recessief is. Dat houdt in dat van de twee in principe gelijkwaardige allelen, een van de vader en de ander van de moeder, die samen een chromosomenpaar vormen, er een (het dominante allel) gebruikt wordt om een gen te kopiëren terwijl de ander (het recessieve allel) alleen het gen bewaart en bij een nieuwe deling doorgeeft. De mutatie komt dan niet tot uitdrukking maar moet wachten totdat het in een van de volgende generaties gecombineerd wordt met een ander recessief allel. Er kan ondertussen weer een volgende mutatie optreden en zo kan door toeval een levensvatbare mutatie ontstaan. Deze zal pas tot uitdrukking kunnen komen wanneer dat recessieve gen ook actief wordt. In kleine of geïsoleerde populaties is de kans groter dat deze recessieve trek zich door inteelt manifesteert. Daar de kans groot is dat de mutatie nog schadelijk is, zal inteelt (of fokken, wanneer het bewust door mensen wordt gestuurd) vaak een kwetsbare ontwikkeling zijn. Wanneer de mutatie niet schadelijk is ontstaat er een variëteit op de soort, die door het gewijzigde genoom wordt gedefinieerd. Zo kan (langzaam) het aantal variëteiten van een soort groeien, nog het snelst in kleine of geïsoleerde populaties.

De invloed van een mutatie in het DNA is dus pas effectief wanneer aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- ! Het moet voorkomen in een ei- of zaadcel, die bij een bevruchting betrokken is en een nieuwe generatie oplevert.
- ! De mutatie moet tot gevolg hebben dat voor een ander aminozuur gecodeerd wordt.
- ! Dat aminozuur moet op een kritische (werkzame) plaats van het eiwit liggen waardoor de werking van het eiwit verandert.
- ! Het moet een levensvatbare vrucht opleveren die andere levensvoorwaarden kent dan zijn voorgangers.
- ! Het moet bij voorkeur niet in een recessief gen gebeuren.

Volmaakte duplicatie kan op zichzelf de integriteit van chromosomen niet garanderen. Omgevingsfactoren, zoals ultraviolet licht of andere straling, kunnen reeds mutaties hebben veroorzaakt, evenals hoog reactieve chemicaliën (speciaal waterstofperoxide, een bijproduct van normale celstofwisseling). In elke menselijke cel worden elke dag 5000 verbindingen ver-

---

<sup>2</sup>: Chromosomen komen in paren voor, een van de vader en een van de moeder. Mensen hebben 23 chromosoom-paren. Een allel (Grieks: allêlos) is (een deel van) de helft van een chromosoom-paar. In een cel kunnen in een bepaald stadium in een chromosomenpaar delen van het ene chromosoom met het andere chromosoom uitgeruild worden, waardoor genen van plaats verwisselen en het chromosoom verandert. Dit heet "crossing-over" en zorgt voor een grotere variatie bij erfelijke overdracht.

broken alleen al door de lichaamstemperatuur, nodig om onze biochemie optimaal te houden.

Organismen, vanaf bacteriën tot mensen, bezitten een reparatieploeg van ongeveer vier dozijn enzymen die constant naar abnormale nucleotidenparen zoeken en deze trachten te repareren. De “goede” helft van het chromosomenpaar dient daarbij als mal. Wanneer dat onduidelijk is of wanneer de fout niet ontdekt kan worden omdat de mutatie “geldig” is, kan, als er twee gelijke chromosomen zijn, de andere chromosoom als referentie dienen. Dit is echter bij bacteriën niet mogelijk omdat die maar een chromosoom hebben (haploïd zijn), dit in tegenstelling met de zich geslachtelijk voortplantende soorten, die chromosomen-paren hebben (diploïd zijn); één van de vader en één van de moeder. Ondanks de bijna perfecte werking van de reparatie-enzymen zijn toch de niet of verkeerd gerepareerde mutaties de belangrijkste bron voor verandering in het genoom van bacteriën en van veel planten en dieren. Er zijn echter nog andere wegen waarlangs mutaties gevormd kunnen worden. De voornaamste zullen kort besproken worden.

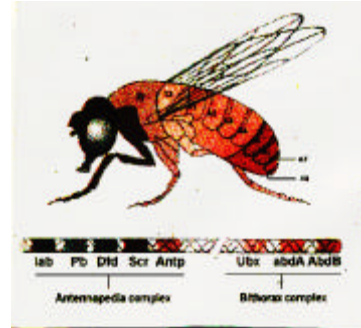
### A. Verdubbeling van genen.

Een andere veel voorkomende methode is dat er een verdubbeling van het gen in een chromosoom optreedt waarvan er (voorlopig) slechts

### HOX-GENEN

Wormen, vliegen, kikkers, kippen, muizen hebben ze, Hox-genen. Ze zijn essentieel voor een goed verloop van de embryonale ontwikkeling. Nadat andere genen het embryo in segmenten hebben onderverdeeld zorgen Hox-genen ervoor dat ieder segment zijn juiste identiteit krijgt. Een kopsegment legt de structuren voor een kop aan, hetzelfde geldt voor romp en achterlijf. De Hox-genen worden ook wel de Rosetta-steen van de ontwikkelingsbiologie genoemd.

De Hox-genen zijn voor het eerst ontdekt in 1915 door Calvin Bridges in de fruitvlieg *Drosophila megalogaster*. Deze vlieg is opgebouwd uit veertien segmenten, drie voor de kop, drie voor de borst en acht voor het achterlijf. In iedere cel van de zich ontwikkelende fruitvlieg bevinden zich die Hox-genen. Het zijn er acht en ze liggen pal achter elkaar in een cluster. Ieder Hox-gen heeft zijn specifieke taak in een goed afgebakend deel van de vlieg. Het eerste Hox-gen in de rij is alleen actief in het voorste deel van de kop, het tweede gen iets meer naar achteren (waarbij het de actieradius van het eerste gen deels overlapt). Het laatste Hox-gen in de cluster is alleen in het achterste deel van het vliegenembryo actief. Gedurende de evolutie is dit cluster van acht genen tenminste twee keer in zijn geheel gekopieerd. Cellen van gewervelde dieren hebben namelijk 39 Hox-genen, die zijn verdeeld over vier clusters. Waarschijnlijk vraagt de complexere organisatie van gewervelde dieren om een fijnere regulatie waarvoor meer Hox-genen nodig zijn. Hox-genen bevatten informatie voor transscriptie-factoren. Dat zijn eiwitten die aan DNA binden en genen aanschakelen. De Hox-eiwitten beïnvloeden soms wel 150 andere genen. Ze kenmerken zich door een zogenoemd homeodomein. Dit is opgebouwd uit 60 aminozuren die zich opvouwen tot drie  $\alpha$ -helices. Een van die helices herkent de specifieke DNA-volgorde TAAT en bindt daaraan. Voor ontwikkelings-biologen was dit fenomeen lange tijd een raadsel. Het lijkt erop dat Hox-eiwitten allemaal eenzelfde DNA-volgorde herkennen. Waaraan ontleent zo'n eiwit dan zijn specifieke activiteit? Hoe kan het ene Hox-eiwit bijdragen aan de ontwikkeling van de kop, terwijl het andere een rol speelt bij de vorming van het borststuk? Uit onderzoek blijkt dat niet alleen de TAAT-sequentie bepalend is voor de binding. Ook omliggende DNA-letters zijn van belang. En de herkenningshelix vertoont ook kleine verschillen zo bleek na een onderzoek van een aantal homeodomein-eiwitten. Waar het ene eiwit in zijn herkenningshelix het aminozuur lysine heeft, zit bij het andere een glutamine groep. Het lysine herkent alleen de DNA-lettercombinatie AAG, glutamine herkent alleen CAG. Via dergelijke minieme verschillen kunnen de homeodomein-eiwitten dus andere genen aan- en uitschakelen en zo de differentiatie van segmenten bewerkstelligen. (NRC-Handelsblad)



### 5: Hox-genen.



één gebruikt wordt waardoor het andere gen vaak ongestraft kan muteren totdat het levensvatbaar is. Het oude gen blijft hierbij behouden. Het aantal genen wordt zo uitgebreid. Ook kunnen deze gen-kopieën zich over andere chromosomen verspreiden waar ze nieuwe functies op zich kunnen nemen. Een goed voorbeeld ervan zijn de z.g. Hox-genen (zie 5: Hox-genen). Via deze (gemuteerde en/of gedupliceerde) genen komt de differentiatie van de verschillende lichaamssegmenten tot stand, die tot het ontstaan van nieuwe soorten heeft geleid. (Allman 1999)

### **B. Transductie.**

Een andere vorm van incidentele overdracht, transductie, kan plaats vinden bij infecties met virussen. Virussen zijn pakketjes genoom zonder het bijbehorende protoplasma dat nodig is om levensprocessen op gang te houden. Voor hun vermenigvuldiging en verspreiding zijn virussen afhankelijk van levende cellen. Zij hechten zich aan het membraan van de cel en brengen hun genoom naar binnen. Wanneer de anti-virus enzymen van de gastheer-cel de binnendringer niet weten te vernietigen, nestelt het DNA van het virus zich in de chromosomen van de cel. Het begint daar enzymen en eiwitten te produceren met behulp van het protoplasma van de gastheer die zorgen voor het aanmaken van kopieën van het viraal genoom en speciale capsules ("capsids" genoemd) waarin het genoom opgeslagen kan worden. De gevulde "capsids" dringen dan door het membraan naar buiten om nieuwe cellen te infecteren. Soms wordt een deel van het DNA van de gastheer mee verpakt en zo naar een andere cel getransporteerd. Als de nieuwe gastheer het virus weet te overleven, vindt een recombinatie plaats en wordt het DNA in het genoom van de andere cel opgenomen. Transductie is vooral belangrijk bij infectie met z.g. retrovirussen. Het AIDS-virus is hier een voorbeeld van. Deze virussen hebben geen DNA maar mRNA en een speciaal enzym "reverse transcriptase" waarmee in het protoplasma van de gastheer een DNA kopie van de mRNA gemaakt kan worden dat op zijn beurt weer in het genoom van de gastheer kan worden ingebed. Deze kopie kan dan weer, soms met een vertraging van maanden of jaren, kopieën mRNA maken waarmee nieuwe retrovirussen kunnen worden gevormd. Er is echter een extra moeilijkheid voor retrovirussen bij het inpakken van zijn mRNA. Is het incidenteel meenemen van een stukje DNA van de gastheer moeilijk omdat deze uit het chromosoom gebroken moet worden, het is geen enkel probleem om stukjes mRNA van de gastheer mee te nemen, daar de cel deze constant aanmaakt om de synthese van zijn enzymen op gang te houden. Op deze wijze kan een mRNA die codeert voor een gen gemakkelijk naar een nieuwe cel gebracht worden waar het teruggeschreven wordt met het meegeleverde "reverse transcriptase" in het chromosoom van de nieuwe gastheer. Genomen van dieren zitten vol met deze "fouten". Sommige van deze inzettingen kunnen functioneren als nieuwe genen of kunnen bestaande genen uitbreiden. Het resultaat is een vergrote variatie, die, wanneer het plaatsvindt, gewone mutaties vaak in de schaduw stelt. (Zie ook 5: Overzicht typen DNA).

***Talking Trash: A glossary of junk DNA.***

Genes are DNA sequences that either carry the information for making proteins or play some direct role in protein synthesis (such as making the transfer RNAs that help assemble amino acids into proteins). But in higher species, the overwhelming majority of the DNA -97% in humans- does not code for proteins or RNAs with clear functions.

Many geneticists, uncertain about what to make of this apparently superfluous DNA, have taken to referring to it as "junk." But what looks like junk can hide gems, and there is new and growing evidence that some junk DNA may be of great value (see main story). Even in the junkpile, however, there are distinctions to be made. Researchers have found several different types of junk DNA and its companion RNA. Here is the main glossary.

***Introns:***

Most genes of higher organisms are interrupted by sequences called introns that don't code for proteins. Introns may play other vital roles, however. For instance, a slew of so-called small nucleolar RNAs (snoRNAs) are encoded by introns. Because snoRNAs accumulate in the nucleolus, where the protein making ribosomes are formed, researchers speculate that they play a role in ribosome assembly.

***Satellites:***

These short DNA sequences are repeated hundreds or thousands of times at a stretch, mainly at the ends and centres of chromosomes. Although they look like the quintessence of waste matter, in fact, the survival of the chromosome may depend on satellite DNA.

***Minisatellites:***

Similar to satellites, but shorter, these repetitive sequences are found throughout the genome. They can be dangerous --defects in some minisatellites are associated with cancer.

***Microsatellites:***

Even shorter than minisatellites. Defects in microsatellites are also associated with cancer.

***3' Untranslated regions (3'UTRs):***

The final protein coding portions of genes are followed by DNA that is transcribed into RNA but is not translated into protein. The 3'UTRs won new respect when researchers discovered that they contain sequences that regulate gene activity.

***Heterogeneous nuclear RNA (hnRNA):***

About 25% of the hnRNAs are immature messenger RNAs, containing both the exons and introns of genes. The other 75% is still a mystery.

***Short interspersed elements (SINEs):***

Numerous copies of these repetitive sequences clutter the human genome. For example the 300-base-pair "Alu" sequence (named for the enzyme that helped identify it) occurs 500,000 times. They are generally ignored as non functioning DNA of parasitic origin. But SINEs hop about the genome, and, if they land in a gene, may cause disease. This kind of disruption has caused neurofibromatosis-1, or elephant man's disease.

***Long interspersed elements (LINEs):***

Similar to SINEs but longer --up to 7000 base-pairs apiece. Also assumed to be nonfunctional; may also cause disease through disruption.

***Pseudo genes:***

These defective copies of genes lack introns and are rarely, if ever, expressed.

**Science.** vol 263. 4 February 1994. blz.: 609.

**6: Overzicht typen DNA.**

### **C. Transposons.**

Transposons zijn kleine stukjes DNA, die in de gastheer-chromosoom wonen waar ze normaal inactief zijn. Ze werden ontdekt door McClintock in de veertiger jaren. Het begin en het eind van de keten hebben nucleotiden die elkaars spiegelbeeld vormen. Maar soms - in de meeste soorten is dat in tijden van ongewone stress en crisis - roeren de transposons zich en komen tot leven. Net als sommige virussen coderen ze enzymen waarmee ze zich uit het chromosoom kunnen vrijmaken en zich op een andere plaats weer invoegen. Het enzym transposase verbindt zich met de uiteinden en voegt ze in dezelfde richting samen waarbij het tussen-deel een lus vormt als de rand van een tennisracket. Soms laten ze een kopie van zichzelf achter en soms keren ze niet terug. Ze voegen zich in het DNA van een andere cel in, soms midden in een gen waardoor dat gedeactiveerd wordt. Bij sommige planten wordt 10% van het chromosoom gevormd door transposons en neemt het 50% van de spontane mutaties voor zijn rekening. Zijn het virussen die de capaciteit verloren hebben om zich te vermenigvuldigen of zijn virussen uit transposons ontstaan? Het is nog onbekend.

Zoals uit het overzicht op de vorige bladzijde blijkt is het menselijk genoom vol van onbegrepen delen en werkt maar een paar procent mee aan onze vormgeving en ons gedrag. Het is een ironische gedachte dat de grote hoeveelheid tijd en inspanning die door zo veel soorten (en niet in het minst door onszelf) wordt besteed aan voortbestaan het gevolg kan zijn van genetische parasieten, in zo ruime mate aanwezig in ons genoom, die ons kunnen manipuleren om hun eigen overleven te verzekeren. Het is minder deprimerend om te beseffen dat we dankzij de evolutionaire druk van die parasieten geworden zijn wie we zijn. (Gould and Grant Gould 1989)

Evolutie kan alleen maar plaatsvinden wanneer er variatie in een soort is. Evolutie werkt omdat de omgeving ongenadig die levensvormen elimineert, die niet bestand zijn tegen bedreigingen uit die omgeving. Natuurlijke selectie heeft slechts blijvende waarde wanneer de eigenschappen van de goed aangepaste individuen erfelijk zijn en de kans op voortplanting ervan groter. Daardoor zullen de beter aangepaste individuen uitgeselecteerd worden, maar neemt de variatie af. Enerzijds is er de neiging om de variatie in een soort te verminderen doordat minder gunstige trekken zullen afnemen door concurrentie met beter aangepaste trekken en anderzijds zal de variatie toenemen door het ontstaan van levensvatbare mutaties. Een evenwicht tussen het groeien van de variatie enerzijds en het selecteren van de weerbaarsten anderzijds houdt de evolutie dus gaande. Beide processen verlopen langzaam omdat veranderingen slechts per generatie kunnen plaatsvinden. Dit betekent dat aanpassingen vaak vele generaties vergen. Een evenwichtige situatie zorgt voor een evolutionaire aanpassing aan de omstandigheden zonder de kans op kwetsbaarheid door gebrek aan variatie. Te snelle veranderingen in omstandigheden doen soms soorten uitsterven wegens gebrek aan daaraan aangepaste variaties. Dit is een aantal malen opgetreden waarbij soms tot 90% van de toen bekende soorten uitgestorven zijn.

Hoewel er weer ruimte ontstaat voor nieuwe soorten om onbedreigd tot ontwikkeling te komen blijkt het toch een lange periode te vergen voordat de beschikbare levensruimte weer is opgevuld en er een nieuw evenwicht is ontstaan waarbij de verschillende (nieuwe) soorten weer een harmonische balans gevonden hebben.

### 6. *Genetische afstand*

Wanneer we twee genomen vergelijken kan aan de hand van de verschillen in de genen bepaald worden wat de onderlinge verwantschap is. Elke mutatie die is opgetreden maakt het verschil groter. Mutaties die aan het begin van de ontwikkeling optreden hebben een verderstrekkende invloed op de ontwikkeling dan mutaties die later optreden omdat ze vaak voorwaardelijk zijn voor trekken die later tot uitdrukking komen. Zij zijn dan ook meestal evolutionair ouder. (Zie ook 7: Genetische afstand). Bovendien is de kans op een verandering daardoor geringer omdat er zoveel andere trekken van afhankelijk zijn. De meeste aanpassingen aan veranderingen in de omgeving vinden dan ook plaats via systemen die recent ontwikkeld zijn.

Ontwikkelingsprocessen zijn conservatief. Geslaagde ontwikkelingsvormen modelleren de basis waarop veranderingen plaats vinden. Het principe ervan blijft behouden.

Als de omgeving niet verandert, is het onwaarschijnlijk dat een eigenschap die al langere tijd bestaat nog voor verbetering vatbaar zal blijken. De kans dat er gunstige mutaties zullen optreden neemt met de tijd af. Alles is al een keer geprobeerd.

(Simon 1962) merkte op dat evolutionair bruikbare systemen daarom praktisch altijd hiërarchisch zijn. (Rozin 1976) betoogt dat intelligentie gezien moet worden als bestaande uit oudere, primitieve en afgeronde modulen, die hiërarchisch georganiseerd zijn. Iedere moduul heeft specifieke en beperkte programma's ontwikkeld om bepaalde oplossingen voor problemen te geven. In de loop van de tijd zijn de verschillende modulen, die onafhankelijk werken,

### ***Genetische afstand.***

Ongeveer een miljard jaar geleden ontstond een scheiding in meercellige organismen. De eicel deelt zich nl. na de conceptie herhaaldelijk, sterker aan de buitenzijde dan binnenin, waardoor er een instulping in de bolvorm groeit. Zo ontstaat een holle bol met een meercellige wand met een opening aan de zijde waar de instulping begon. In een groep organismen vormde deze opening bij de verdere ontwikkeling een mond, bij een tweede groep ontwikkelde die opening zich tot een anus. Uit de eerste groep evolueerden door verdere mutaties 17 phyla, (stammen) waarvan de insecten een belangrijke klasse zijn, terwijl de tweede groep slechts 4 phyla vormden, waar o.a. de vertebraten deel van uit maken, waartoe wij ook behoren. Het is duidelijk dat zowel de insecten als de vertebraten zeer veel mutaties terug moeten om een gemeenschappelijke "voorouder" te vinden. Het heeft in ieder geval praktisch 1 miljard jaar geduurd tot de huidige ontwikkeling werd bereikt. De evolutionaire afstand is dan ook zeer groot. De evolutionaire afstand tussen twee soorten is geringer wanneer de mutatie, die het begin van het verschil bepaalt, laat in de ontwikkeling van het individu plaats vindt. Veel functionele aspecten van de fysieke uitvoering zijn dan gelijk of ten minste sterk gelijkend aan die van de andere soort. Ruim 95% van het genetisch materiaal hebben mens en chimpansee gemeenschappelijk. Beide soorten hoeven dan ook maar 6 miljoen jaren terug om gezamenlijke "voorouders" te vinden. Er is geen dier dat zo gelijk aan mensen is als de chimpansee.

### 7: Genetische afstand.

meer en meer toegankelijk voor elkaar geworden. Hierdoor is bewustzijn ontstaan waardoor over een breed gebied controle mogelijk werd over verschillende mentale en gedragsfuncties. De modules blijven onafhankelijk van het bewustzijn werken en vormen zo de basis voor impliciete cognitieve processen. (Zie ook hoofdstuk 4: Leren en Geheugen, deel 1.)

Een van de standaard methodische resultaten van de evolutietheorie is dat oudere en primitievere structuren duidelijk andere eigenschappen hebben dan die, die recent zijn ontstaan. Er is ook een verband tussen het tijdstip waarop een bepaalde eigenschap of functie zich ontwikkeld heeft en de mate waarin wij ons van die functie bewust zijn. Hoe primitiever de functie is, des te ouder hij is en des te minder bewust zijn we ons daarvan. Doordat oudere functies egaler over de populatie verspreid zijn en daardoor stabiel aanwezig zijn dan nieuwere functies zullen zij ook beter geïntegreerd zijn met hun omgeving en minder kwetsbaar zijn voor verstoringen, kortom zij zijn robuuster omdat de evolutie meer tijd heeft gehad om ze bestand te maken tegen (normale) bedreigingen. Onbewuste systemen zijn dan ook vaak stabiel en wijder verbreid dan bewuste.

### **7. *Biologische diversiteit***

Het is mogelijk om op basis van uiterlijke kenmerken levende wezens te classificeren wanneer we hiervoor zoveel mogelijk afgaan op discrete variaties. Zo is destijds de classificatie begonnen. Er was veel inzicht en vindingrijkheid voor nodig om de vele twijfelgevallen in juiste groepen onder te brengen. Dat daar achteraf fouten bij gemaakt zijn valt dan ook niet te verwonderen. Tegenwoordig wordt meer en meer gebruik gemaakt van de genetische structuur zoals die in het DNA vastligt. Er blijken veel meer levensvormen te zijn dan vroeger gedacht werd. (Zie 8: Biologische diversiteit, blz. 22).

### **8. *Homeostasis***

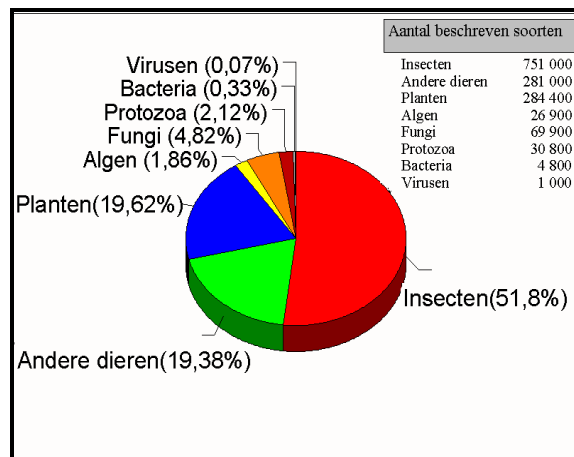
Een hoofdkenmerk van leven is dat het zich wenst te continueren door zich te vermenigvuldigen. Het heeft daarbij de taken verdeeld door enerzijds de blauwdruk van zijn samenstelling, die het wenst te continueren, in een genetische code vast te leggen en anderzijds deze code in te bedden in een lichaam dat deze code beschermt, voedt en in de gelegenheid stelt om zich geheel of gedeeltelijk te dupliceren. Als het lichaam zijn taak vervuld heeft kan het verdwijnen waarbij de blauwdruk in een of andere vorm behouden dient te blijven om op basis daarvan weer een nieuw lichaam te kunnen opbouwen waarna het hele proces zich weer kan herhalen. Men zou kunnen zeggen dat de blauwdruk trekken van onsterfelijkheid heeft en het lichaam sterfelijk is. Het lichaam wordt gekenmerkt door een belangrijk mechaniek. Wanneer er grote schommelingen optreden in de omgeving, die het lichaam omgeeft, dan zorgt het mechaniek ervoor dat in het lichaam deze schommelingen sterk afgedempt worden. Er bestaat kortom intern een negatieve terugkoppeling op die veranderingen, die de invloed ervan sterk vermindert. Leven vereist een continuïteit van de interne omgeving. Er is daarom een verschil

**Biologische diversiteit.**

Linnaeus is de grondlegger geweest van de classificering van levende wezens, in zijn geval voornamelijk planten. Hij rangschikte de individuele planten tot groepen, die belangrijke zichtbare kenmerken zoals bladvorm, kleur en bloeiwijze gemeen hadden. Deze groepen worden *species* genoemd. Nauw verwante *species* worden tot *genera* (enkelvoud *genus*) bijeen gevoegd, *genera* tot *familiae*, *familiae* tot *orders*, *orders* tot *classes*, *classes* tot *phyla* (enkelvoud *phylum*) en *phyla* tot *kingdoms*. (zie tabel 1, Biol. naamgeving)

Op deze wijze zijn een anderhalf miljoen verschillende soorten in kaart gebracht. (zie fig.1) Deze telling is niet een weergave van de werkelijke biologische rijkdom maar meer van onze (visuele) kunde in het onderscheiden van verschillen in vorm, kleur en andere kenmerken.

Ons wereldbeeld speelt ons weer parten omdat we geneigd zijn ons te richten op wat we kunnen zien. Toch zijn gewone microscopen krachtig genoeg om aan te tonen dat een klein kluitje aarde meer dan een miljard microben kan bevatten. Bacteriën, protozoa, virussen e.d. zijn (ook onderling) moeilijk te onderscheiden. Twee microben kunnen zo verschillend zijn als een koe en een kastanjeboom en we



Figuur 1. Beschreven soorten.

ontwikkeld sterk zullen verschillen. Door de volgorde van nucleotiden-paren in dit gen van een onbekende microbe te vergelijken met die van een bekende kan worden vastgesteld hoe nauw ze verwant zijn. De diversiteit bij micro-organismen blijkt zeer groot te zijn. Zo zijn er organismen die (net als wij) hun energie aan zuurstof ontleen, maar er zijn ook microben ontdekt die op basis van nitraat, CO<sub>2</sub> of zelfs mangaan, ijzer of zwavel leven. Alle dieren en planten zijn voor hun bestaan afhankelijk van de productie van (voedings)stoffen van miljoenen soorten microben. Zij houden het leven gaande en we weten er

**De taxonomie van twee organismen.**

Taxonomisch niveau	Mens	Knoflook
Kingdom	Animalia	Plantae
Phylum	Chordata	Angiospermophyta
Subphylum	Vertebrata	
Klasse	Mamalia	Monocotyledoneae
Orde	Primates	Ljiales
Familia	Hominoidea	Ljiaceae
Genus	<b>Homo</b>	<b>Allium</b>
Species	<b>Sapiens</b>	<b>Sativum</b>

tabel 1. Biologische naamgeving.

weten het niet. Door technieken te gebruiken die bij verschillende organismen de volgorde van nucleotiden-paren in bepaalde genen vergelijken zijn celbiologen er achter gekomen dat de 1,5 miljoen verschillende planten en dieren slechts een fractie vormen van de genetische variëteit. De meest gebruikte techniek berust op het vaststellen van de volgorde van ca. 1500 nucleotiden-paren in een gen die in alle cellen voorkomt en die codeert voor de zogenoemde 16S subunit van het ribosoom, een bouwsteen in de cel waar eiwitten worden samengesteld. Doordat deze 16S eenheid slechts langzaam muteert kunnen grote groepen worden onderscheiden. De volgorde in dat gen bij twee verwante organismen (bijv. mensen en chimpansees) is praktisch gelijk terwijl twee organismen, die zich lange tijd afzonderlijk hebben

**8: Biologische diversiteit.**

tussen wat zich in het lichaam afspeelt en wat er buiten gebeurt. Die continuïteit houdt niet in dat de toestand niet verandert. Ze is juist constant in beweging om te kunnen reageren op externe veranderingen maar moet daarbij binnen bepaalde grenzen blijven. (Cannon 1932) noemde deze eigenschap *homeostasis* en beschrijft ze als: “the coordinated physiological reactions which maintain most of the steady states of the body... and which are so peculiar to the living organism”.

Om een afwijkende toestand ten opzichte van de omgeving te handhaven zijn hulpmiddelen nodig. (Allman 1999) Dit is allemaal al bij eenvoudige levensvormen zoals bacteriën te vinden. (Zie 9: Bacteriën).

Een stofwisseling (chemische reacties die energie vrijmaken) levert de energie, nodig voor de handhaving van de homeostase, etc. Bij meercelligen worden de eisen die homeostasis stelt steeds zwaarder en de complexiteit van de middelen steeds groter. Eén voorbeeld van de ontwikkeling naar verdere homeostase zal worden gegeven om de complexiteit en consequenties van sommige evolutionaire ontwikkelingen te illustreren en dat is het ontstaan van een constante lichaamstemperatuur bij zoogdieren. De volgende stelling kan daardoor onderbouwd worden.

***Warmbloedigheid is niet ontstaan op grond van een doelstelling van de natuur om meer mogelijkheden te hebben bij het controleren van de omstandigheden bij het uitvoeren van chemische reacties. Het blijft een min of meer toevallige ontwikkeling die plaats kon vinden omdat alle voorwaarden ervoor vervuld waren. Er was maar een heel klein extra stapje voor nodig, de drempel ervoor was voldoende laag om het binnen bereik te brengen van toevallige veranderingen. Dat de gevolgen ervan groot zijn doet daar niets aan af.***

#### **A. Warmbloedigheid.**

Warmbloedigheid is niet zo maar ontstaan. De evolutionaire weg, die afgelegd is om een constante lichaamstemperatuur, die afwijkt van de omgeving, te kunnen handhaven is dan ook

#### ***Bacteriën en homeostasis.***

*Escherichia coli*, onze darmbacterie, neemt zijn omgeving waar via sensoren, receptoren in de vorm van eiwitten, die in de celwand zijn opgenomen. Deze kunnen voedsel zoals suiker of schadelijke stoffen, bijv. zware metalen, waarnemen en deze waarneming doorgeven in de cel en daar bewaren en integreren. Wanneer een stijgende concentratie van voedsel of een dalende concentratie van vergif wordt waargenomen zwemt de bacterie met zijn flagella er naar toe. De relatieve input van elk type receptor (er zijn er meer dan een dozijn van) moet worden geïntegreerd, zowel van de voedsel- als de gifconcentratie, om de bewegingsrichting te kunnen vaststellen. De sterkte van het signaal wordt door een elegant biochemisch mechanisme bepaald aan de hand van veranderingen van een binnen de cel gelegen lus van de receptor. Hiermee wordt een commando afgegeven aan de flagella-motor. Deze heeft een echte “drijfstang” die door de celwand steekt en verbonden is met de flagella. Deze drijfstang wordt aangedreven door acht “ratels” die hun kracht ontleen aan een stroom van hydrogeen-ionen. Deze drijfstang kan zowel vooruit als achteruit werken. De controle op een gradiënt vergt een vorm van geheugen waarbij de huidige toestand vergeleken wordt met een die daarvoor is opgetreden. Sommige van de meest fundamentele eigenschappen, zoals zintuigelijke integratie, geheugen, beslissen en de controle van gedrag, kunnen al gevonden worden in deze “eenvoudige” organismen.

#### **9: Bacteriën.**

lang en grillig. Veel onderling onafhankelijke veranderingen, alle op zichzelf gunstig voor het voortbestaan, zijn daarbij samengegaan waarbij er niet één aan te wijzen valt als de hoofdoorzaak van het eindresultaat.

Het hebben van een constante, optimale lichaamstemperatuur heeft grote voordelen daar chemische reacties qua snelheid erg temperatuurgevoelig zijn. Als reacties in een proces te langzaam of te snel verlopen kan het hele proces verstoord raken. Een constante lichaamstemperatuur brengt daarentegen stabiliteit en de mogelijkheid voor precieze regeling en coördinatie van chemische systemen.

Een van de consequenties van warmbloedigheid is dat er veel meer energie voor nodig is. Zeker het tienvoudige van dat bij de koudbloedige reptielen. Dit heeft een aantal gevolgen. Deze extra energiebehoefte betekent de noodzaak voor een grotere voedselopname en/of een aanzienlijk efficiëntere vertering ervan. De ontwikkeling van een specialisatie van de tanden in snijtanden, hoektanden en kiezen maakte het mogelijk het voedsel beter te vermalen en daardoor efficiënter te verteren. Ook het permanent worden van het gebit bij volwassen dieren verbeterde de onderlinge plaatsing waardoor de werking ervan effectiever werd. Het doorgroeien en steeds weer vernieuwen van het gebit, dat voordien bestond, liet dat niet toe. Daarnaast vonden ontwikkelingen plaats waardoor de zuurstofopname verbeteren kon, hetgeen nodig was bij de intensievere energiehuishouding. Er vond o.a. door de vorming van een gehemelte een scheiding in de mondholte plaats tussen de ademhaling en het voedseltransport. Daarbij was in de neusholte een complexe, dunne, beenachtige structuur ontstaan, waar de reukreceptoren op aangebracht waren zodat deze dieren een verhoogd reukvermogen hadden. De *olfactory bulb*, het hersendeel waar de reukreceptoren hun signalen heen sturen, werd duidelijk vergroot. Er was een ontwikkeling gaande naar een forse vermeerdering van genen die zou leiden naar een set van ongeveer 1000 genen voor reuk die bij zoogdieren wordt aangetroffen. Tevens kon de warmteuitwisseling van de lucht verbeterd worden. Verder zorgde de ontwikkeling van een middenrif voor een verdere verbetering van de ademhaling. Ook de vorming van een apart bloedcircuit voor uitwisseling van zuurstof en koolzuur door verdubbeling van de hartfunctie was een essentiële verbetering. Hoewel al deze ontwikkelingen extra energie kosten bleken de baten toch groter te zijn dan de kosten waardoor ze stand hielden. Bij het handhaven van een constante temperatuur is zowel verwarming als koeling nodig. Verwarmen gaat aanzienlijk gemakkelijker dan koelen doordat er toch al warmte vrijkomt door spierarbeid en kost daardoor duidelijk minder extra energie. Verder helpt goede isolatie. Een vetlaag, beharing en daaruit voortgekomen veren zijn een machtig hulpmiddel daarbij. Een relatief hoge standaardtemperatuur maakt het koelen eenvoudiger. Een temperatuur van 37° C wordt op aarde weinig overschreden, meestal is het kouder, waardoor de bewegingsenergie goed kan worden afgegeven. Ook kan het 's nachts actief zijn, in plaats van overdag, hierbij helpen. De eerste zoogdieren zijn dan ook zeer waarschijnlijk nachtdieren geweest. Trouwens ook nu nog

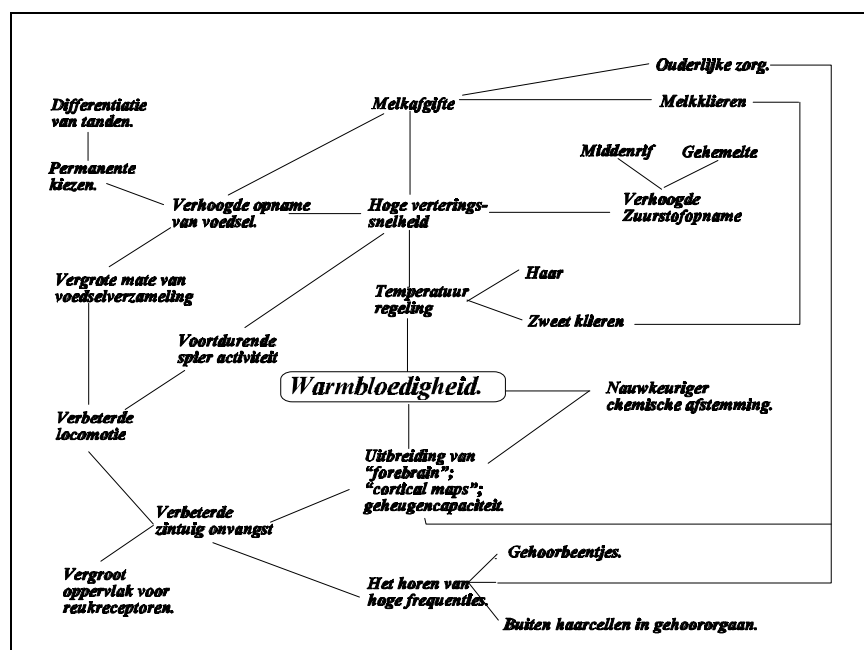


zijn de meeste zoogdieren nachtdieren. Vogels, die voor hun voedsel op hun ogen moeten vertrouwen en dus overdag actief zijn hebben in het algemeen een hogere lichaamstemperatuur van ca 40° C. Koelen kan op verschillende manieren bereikt worden. Van het stoppen van activiteiten en het zich terugtrekken op een koele plaats tot het verdampen van vocht door zweten of hijgen. De ontwikkeling van zweetklieren is al begonnen bij de reptielen. Uit de zweetklieren zijn namelijk de melkklieren geëvolueerd die kenmerkend zijn voor de zoogdieren. Melkafgifte en de daarmee verbonden ouderlijke zorg hebben een eigen plaats veroverd bij de zoogdieren. Zowel warm blijven als groeien stelt vaak te hoge eisen aan de zelfstandige voedselvoorziening van jonge zoogdieren. Zonder ouderlijke zorg lukt dat meestal niet. Een van de ondersteunende ontwikkelingen daarbij is de verbetering van het gehoor. Het ontwikkelen van de gehoorbeentjes uit kaakdelen van de reptielen verbeterde het gehoor-niveau niet alleen maar vergrootte ook het frequentiebereik van het waar te nemen geluid. Dit laatste werd nog verder verbeterd door het ontwikkelen van de z.g. buiten-haarcellen in het gehoororgaan.

William Brownell stelt in 1985 dat deze cellen hun vorm razendsnel in reactie op geluid kunnen veranderen en dat deze verandering tot een verhoogd vermogen van de binnen-haarcellen leidt om hoge frequenties te kunnen onderscheiden. Dit is een ander voorbeeld van verdubbelde structuren om functionele eigenschappen te verbeteren. Dit vermogen om hogere frequenties te kunnen onderscheiden was gunstig voor de eerste zoogdieren om insectgeluiden te kunnen horen en ze zo te kunnen vangen. Als bijproduct ontstond ook de mogelijkheid om angstsignalen e.d. van hun kroost te horen dat onopgemerkt bleef voor reptielen en vogels.

Verontruste babymuisjes roepen hun moeder op een frequentie van ca 25000 Hz. Dit helpt bij de noodzakelijke ouderlijke zorg.

Gebleken is dat de ontwikkeling van kiezen en de formatie van de forebrain onder invloed van dezelfde genen tot stand komt. Tandens worden nl. gevormd door z.g. neural crest cellen, die afkomstig zijn van de hindbrain en



**Figuur2:** Het homeostasis netwerk.

dus gezien kunnen worden als verplaatst en getransformeerd hersenweefsel. De evolutie van die genen heeft geleid tot een verdere ontwikkeling en specialisatie van de *forebrain* waardoor de geheugencapaciteit toenam en de coördinatie van de zintuigen en het bewegingsapparaat verbeterde, hetgeen resulteerde in een verbeterde locomotie en vergrote mogelijkheden tot voedselverzameling.

Tegen het eind van het Perm, 240 miljoen jaar geleden, waren er een aantal massieve vulkaanuitbarstingen in Siberië waarbij zeer grote lavavelden optraden en de aarde afkoelde waardoor ca 95% van de bekende diersoorten uitstierf en er ruimte ontstond voor nieuwe soorten om zich te ontwikkelen. Een van de overlevenden was een klein reptielachtig roofdier, een cynodont, zo genoemd omdat het een hondachtig gebit had met snijtanden, hoektanden en kiezen. Het is een voorvader van de zoogdieren. Het is een lange weg geweest van reptielen naar zoogdieren en vogels. Pas aan het eind van het Trias, zo'n 220 miljoen jaren geleden, verscheen het eerste echte zoogdier. Het schema in fig. 2 is zeker niet uitputtend. Er zou een nog complexer schema getekend kunnen worden waarin de ontwikkeling naar sociale structuren wordt gevolgd. Ook zijn alle zijsprongen en doodlopende ontwikkelingen niet weergegeven. Zij zijn op de vuilnisbelt van moeder natuur terechtgekomen. Het is typerend voor de evolutie dat hoewel in het begin, in de oceanen, een constante temperatuur aanwezig was, waarin homeostase relatief gemakkelijk tot stand kon komen, er toch een aanpassing is ontstaan aan omstandigheden die daar zeer sterk van afwijken. Het heeft iets tegendraads.

Voorgaand overzicht maant tot voorzichtigheid bij het zoeken naar menselijke eigenschappen bij andere diersoorten. Ook als er sporen van een gewenste eigenschap gevonden worden, hoeft dat nog niet te betekenen dat deze door omgevingsinvloeden versterkt kunnen worden. Alle voorwaarden scheppende factoren moeten eerst vervuld zijn voordat de nieuwe eigenschap goed door kan breken. Ongetwijfeld zullen er (grote) dinosaurussen geweest zijn die de indruk wekten dat ze warmbloedig waren doordat hun massa zo'n groot warmtereservoir vormde dat alleen daardoor de temperatuur in bepaalde lichaamsdelen redelijk stabiel bleef, maar het systeem is onvergelijkbaar met dat van de kleine zoogdieren. Ook het gebruik van taal is een goed voorbeeld van dat dilemma. Hoewel bepaalde aspecten ervan bij chimpansees en papagaaien zijn aangetoond, blijft het onderzoek, hoe nuttig ook voor bepaalde deelaspecten, in de lucht hangen omdat er nog veel voorwaarde scheppende aspecten onbekend zijn. Het is zelfs de vraag of bij de mens aan alle voorwaarden is voldaan en dat de variatie in taalgebruik niet te wijten is aan nog onvoldoend stabiele nevenvoorwaarden. De evolutionair gezien korte tijd sinds taal zijn intrede heeft gedaan doet vermoeden dat het systeem ervoor nog niet geheel afgerond is en er daardoor nog grote fluctuaties op kunnen treden.

Het bezit van een relatief groot hoofd heeft bij de mens veel nieuwe ontwikkelingen mogelijk gemaakt. Veel groter kan het echter niet worden wegens beperkingen in de doorvoer mogelijkheid van het geboortekanaal. Buideldieren zouden deze beperking niet kennen, maar

er is geen verdere ontwikkeling bekend van buideldieren in de richting van mensapen en zelfs mensen. Misschien is dat een gemiste kans voor de verdere ontwikkeling en/of perfectionering van mensen en leidt de huidige ontwikkeling tot een dood spoor. De evolutie zal in de loop van de tijd hiervoor echter ook wel weer een weg weten te vinden.

Het lijkt wel of de natuur bij planten een gelukkiger greep gedaan heeft om tot oplossingen te komen (zie 10: Planten en evolutie). Toch heeft kennelijk de mogelijkheid om zich te verplaatsen evolutionair voordeel opgeleverd, zij het ten koste van extra gecompliceerdheid en kwetsbaarheid. Alle mogelijkheden, die de aardse omgeving biedt, worden kennelijk benut en deze trend is niet te stoppen, zelfs niet door de mens.

### 9. *Basiseigenschappen.*

In feite bepalen functiesystemen de basiseigenschappen van mensen. Bij elk mens is de afzonderlijke zowel als de onderlinge invloed van die functiesystemen verschillend, hetgeen mensen verschillende karakters geeft. Veel functiesystemen zijn bekend, zoals honger, angst, slaap, etc. maar nog meer zijn onbekend, deels omdat ze onbewust functioneren, deels omdat ze nog niet als zodanig herkend zijn. Met behulp van vragenlijsten en factoranalyse is men waarschijnlijk een aantal ervan op het spoor gekomen, die naar het zich laat aanzien universeel bij mensen gevonden kunnen worden. (Bouchard Jr 1994) Een overzicht ervan wordt gegeven in 11: de "big five". Gezien het ontstaan via vragenlijsten zal het niet verbazen dat alle vijf functies sociale aspecten hebben. Ze zijn zowel afhankelijk van de aanleg als omgevingsinvloeden. Het *Procesdeel 1* staat voornamelijk onder invloed van de genen terwijl *Procesdeel 2* veel omgevingsinvloeden kan ondergaan. De invloed van deze functiesystemen kan per persoon uiteenlopen van zeer sterk tot zeer zwak en heeft in de populatie een normale verdeling.

### ***Waarom hebben planten geen hersenen?***

Levende wezens, zowel plant als dier, bestaan uit twee hoofdsystemen. Eén voor de voortplanting, bestaande uit o.a. eicellen en zaadjes waarin het erfelijke materiaal is vastgelegd, dat in wezen onsterfelijk is, zij het niet onveranderbaar, en één voor het zorgen dat dit erfelijke materiaal kan worden vermenigvuldigd en doorgegeven, het lichaam, en dat in principe afsterft, het liefst pas nadat het zijn taak vervuld heeft. Het belangrijkste verschil met dieren is dat het lichaam van planten zich niet hoeft te verplaatsen. Dat is niet nodig omdat plantenlichamen niet afhankelijk zijn van andere wezens voor hun stofwisseling (behalve bacteriën, die echter overal aanwezig zijn) en via zonlicht en chlorofyl hun eigen energievoorziening kunnen verzorgen. Alles wat nodig is ligt binnen handbereik. Het noodzakelijke overplaatsen geschiedt via de verspreiding van zaden, waarbij deze, indien de omstandigheden ongunstig zijn, daar niet op hoeven te reageren om in leven te blijven maar gunstiger omstandigheden kunnen afwachten alvorens weer een nieuw bijbehorend lichaam op te bouwen om nieuwe zaden door te geven. De splitsing tussen de twee hoofdsystemen is daarbij van grote betekenis. Door deze gelukkige evolutionaire ontwikkelingen en het uitbesteden van veel taken aan regen, wind en zon en waar mogelijk dieren, kan het systeem zonder zintuigen en zonder bewegingsorganen functioneren waardoor de coördinatie tot chemische signalen beperkt kan worden. Hersenen zijn niet nodig! De evolutie heeft het zich bij planten gemakkelijker gemaakt. Dat dieren nuttig en nodig zijn om de groei van planten in toom te houden is een andere zaak!

### 10: Planten en evolutie.

**Vijf onafhankelijke gedragsdimensies.**

<b>Opbruisendheid:</b> Dominantie.		<i>Positieve emotionaliteit</i>
Extraversie-Introversie (-);		
+ (sterk)		- (zwak)
Vlot, besluitvaardig, overtuigend, neemt graag het initiatief.	Gereserveerd, teruggetrokken, afgezonderd, Staat niet graag in het middelpunt.	
<b>Neuroticisme:</b> Spanningsgevoeligheid.		<i>Negatieve emotionaliteit</i>
Angstig-emotioneel stabiel (-):		
+ (sterk)		- (zwak)
Emotioneel instabiel, nerveus, snel geïrriteerd, zorgelijk.	Stabiel, niet gevoelig voor zorgen, onbevreesd Snel over schokkende ervaringen heen.	
<b>Gewetensvolheid:</b> Betrouwbaarheid.		<i>Beheersing</i>
Inschikkelijkheid-eigenmachtigheid (-)		
+ (sterk)		- (zwak)
Georganiseerd, verantwoordelijk, praktisch, betrouwbaar.	Impulsief, zorgeloos, onverantwoordelijk, Kan niet op gerekend worden.	
<b>Sociale Houding:</b>		<i>Agressie</i>
Botheid-vriendelijkheid (-)		
+ (sterk)		- (zwak)
Querulant, agressief, koud, onvriendelijk, Wraakzuchtig.	Sympathiek, warm, goedaardig, Misbruikt anderen niet.	
<b>Ontvankelijkheid:</b> Intelligentie, distinctie.		<i>Absorptie</i>
Verbeeldingskracht-kleurloosheid (-)		
+ (sterk)		- (zwak)
Nieuwsgierig, origineel, inzichtelijk open voor nieuwe ervaringen en stimuli.	Ongeïnteresseerd, dom, geen diepgang, Onbedachtzaam.	

(-) geeft de namen van de trekken, die karakteristiek zijn voor de polen van de gedragsdimensie.  
De cursieve termen duiden de 'Multidimensional personality Questionnaire' factoren aan die gebruikt zijn in de Minnesota studie van apart opgevoede tweelingen.

Ontleend aan: Science: 17-6-1994 blz.:1700.

**11: De "big five".**

Uiteraard zijn ze niet continu actief maar alleen als ze stuurvoorrang krijgen, hetgeen mede afhankelijk is van de basissterkte. Deze functiesystemen zijn betrekkelijk onafhankelijk van elkaar, evenals trouwens de overige functiesystemen. Ze zijn betrekkelijk stabiel, daar zorgt de

operant conditionering van *Procesdeel 2* wel voor. Eenmaal gevormd zullen ze slechts weinig veranderen maar het is niet uitgesloten. De omgevingsinvloeden blijven doorwerken.

Gezien het feit dat deze functiesystemen in sterkte per persoon kunnen variëren en er voor de populatie een normale verdeling aanwezig is met een maximum- en een minimumgrens die de polen aangeven waartussen de variatie kan optreden, kan er ook van gedragsdimensies worden gesproken.

Opbruisendheid kan slechts tussen haar grenzen extravert en introvert variëren, niet daarbuiten. Hoewel het verleidelijk is om de dimensie door te trekken van positieve emotionaliteit naar negatieve emotionaliteit, omdat dat voor ons gevoel in elkaars verlengde ligt, is dat zonder meer niet mogelijk daar er met een ander *Procesdeel 1* een andere genen-set in het geding komt. Anders zouden deze dimensies niet onafhankelijk kunnen zijn. Het is dus mogelijk dat iemand zowel sterk extravert als tegelijk erg neurotisch is.

Zijn deze genen-sets typerend voor mensen, kortom komen deze gedragsdimensies slechts bij mensen voor? Dat is zeer onwaarschijnlijk. Het ontstaan van nieuwe genen vergt vele generaties en daardoor een lange tijd. Homo Sapiens bestaat in zijn huidige vorm ongeveer 100 000 jaar. Dat zijn ca 4000 generaties. Voor een nieuwe eigenschap in een populatie is vaak veel meer tijd nodig om goed verspreid te raken. Op zijn hoogst kunnen er verschuivingen zijn opgetreden in de onderlinge wisselwerking van de genen. Dat ze allemaal nieuw tot ontplooiing zijn gekomen is dan ook zeer onwaarschijnlijk. Het feit dat we deze eigenschappen bij andere zoogdieren menen waar te nemen is helaas geen bewijs. De wens is nu eenmaal de vader van de gedachten. Maar het herkennen wijst er wel op dat een zekere verwantschap bestaat. In hoofdstuk 10: Cultuur komen we hierop terug.

### ***10. Speltheorie en evolutie.***

(Sigmund 1993), (Nowak, Sigmund et al. 2000) en anderen hebben geprobeerd om met behulp van speltheorie na te gaan of bepaalde eigenschappen of gedrag tot stand zijn gekomen doordat het bij de evolutionaire ontwikkeling van mensen overlevingswaarde had. Zij construeerden situaties waarin op beslissingen van anderen geanticipeerd moest worden bij het maken van een eigen keuze. Op deze wijze probeerden ze na te gaan of eigenschappen als altruïsme dan wel egoïsme gunstig voor het individu uit zouden werken. Hoewel eigenbelang naar de mening van velen gunstig voor overleven zal zijn (Adam Smith: "Ieder streeft zijn eigenbelang na") bleek dat in de sociale omgeving, waarin mensen nu eenmaal leven, maar beperkt waar te zijn. Volstrekt altruïstisme, zoals bij mieren, bleek ook niet optimaal maar een mengeling van beide trekken waarbij ca 70% van de populatie eerder altruïstisch was en ca 30% meer egoïstisch gaf de beste uitkomst. Deze uitkomst bleek zich na vele generaties te ontwikkelen. Deze uitkomst lijkt logisch omdat er steeds een evenwicht nodig is tussen alter-

natieve mogelijkheden om kwetsbaarheid door eenzijdigheid te kunnen vermijden. Utopische werelden zijn inherent instabiel doordat ze geen antwoord hebben op afwijkingen. In bijlage B: “Evolutie en gedrag” wordt hun onderzoek en werkwijze nader uiteen gezet. Ook in een ander onderzoek waarbij na gegaan werd in hoeverre mensen met elkaar rekening hielden en zich aan (ongeschreven) regels, die door culturele invloeden gevormd zijn, zouden onderwerpen, leverde verrassende resultaten op. (Zie bijlage B: “Het ultimatumspel”). Of speltheorie een bruikbare methode is om sociaal gedrag te onderzoeken moet nog blijken maar de gevolgde procedure is zeker de moeite waard om kennis van te nemen.

- Allman, J. M. (1999). Evolving Brains. New York, Scientific American Library.
- Bateson, P. and P. Martin (1999). Design for a Life. London, Jonathan Cape.
- Bouchard Jr, T. J. (1994). "Genes, environment and personality." Science **264**: 1700-1702.
- Cannon, W. B. (1932). The Wisdom of the Body. New York, W. W. Norton and Co.
- Cloninger, C. e. a. (1982). Arch. Gen. Psychiat. **39**: 1242.
- Coen, E. (1999). The Art of Genes, Oxford University Press.
- Gavin de Beer (1966). Atlas van de evolutie. Amsterdam, Elsevier.
- Gould, J. L. and C. Grant Gould (1989). Sexual Selection. New York, Scientific American Library.
- Lewontin, R. (1982). Human Diversity. New York, Scientific American Books Inc.
- Nowak, M. A., K. Sigmund, et al. (2000). "Fairness Versus Reason in the Ultimatum Game." Science **289**: 1773 -1775.
- Plomin, R. (1990). Science **248**: 183.
- Rozin, P. (1976). "The Evolution of Intelligence and Acces to the Cognitive Unconsciousness." Progress in Psychobiology and Physiological Psychology **6**: 245 - 280.
- Sigmund, K. (1993). Games of Life. Oxford, New York, Tokio, Oxford University Press.
- Simon, H. A. (1962). "The Architecture of Complexity." Proceedings of the American Philosophical Society **106**: 467 - 482.