



Grzegorz Papaj, met illustraties van Jacek Lilpop

Laboratory of Bioinformatics and Protein Engineering / Szkoła Festiwalu Nauki
International Institute of Molecular and Cell Biology

Księcia Trojdena 4, 02-109 Warszawa, Poland | E: grzesiek@genesilico.pl

Tracking evolution

Instructies voor het bordspel

Doel

Het doel van het spel is om in een hedendaags organisme te evolueren, waarbij je start vanuit de laatste universele voorouder (the *Last Universal Common Ancestor* of LUCA). De winnaar evolueert sneller dan de andere spellers. Het maakt niet uit of je als kangoeroe, jeneverbes of spin eindigt: het enige dat telt is te eindigen voor de anderen in deze 'strijd om het bestaan'.

Wat heb je nodig?

- twee tot maximaal zes spelers
- voor iedere speler een pion
- minimaal 1 maar liever 4 dobbelstenen
- eventueel een extra pion

Elke speler heeft een unieke pion nodig om zijn positie op het spelbord aan te geven. Daarnaast heb je tenminste één dobbelsteen nodig, maar het speelt gemakkelijk met vier dobbelstenen. Soms is het handig om een extra positie op het spelbord aan te geven. Hiervoor kun je een extra pion, een pen of iets dergelijks gebruiken.

De 'game master'

Het is aan te bevelen om een van de medespelers te benoemen tot 'game master'. Dit is niet noodzakelijk, maar het zorgt voor een beter spelverloop. De game master kan deelnemen aan het spel, en heeft in dat geval een aantal extra taken. De game master zorgt dat de regels gevolgd worden en leest de beschrijvingen en regels hardop voor.

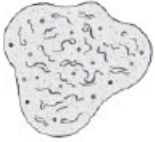
Als je zonder een game master speelt, moeten alle spellers de beschrijvingen op de volgende pagina's lezen. Het is handig als dit hardop gebeurt, zodat iedereen weet welke beslissingen gemaakt moeten worden en wat de evolutionaire gevolgen daarvan zijn.

Het spel

Voor de start plaatsen alle spellers hun pion op het bord bij 'start', bij de universele voorouder 'LUCA'. Daarna gooien de spelers om de beurt één dobbelsteen en bewegen hun pion als volgt:

- Het aantal gegooiden ogen geeft aan hoeveel posities de pion voorwaarts verplaatst kan worden over het bord.
- Een genummerde zwarte cirkel op het bord vertegenwoordigt een speciale evolutionaire gebeurtenis. Een *extra* worp van één of meer dobbelstenen bepaalt de uitkomst van deze evenementen en dus de richting van de volgende pionbewegingen. Bij elke beschrijving van de speciale evolutionaire gebeurtenissen geven de dobbelsteensymbolen (□) aan hoeveel dobbelstenen gegooid moeten worden. De pijltjes (⇌, ↑, ⇐) geven de richting van de volgende pionbeweging aan.
- Als een speler op een zwart omcirkeld cijfer komt, geeft de game master aan hoeveel dobbelstenen gegooid moeten worden. Afhankelijk van de gegooid score geeft de game master aan of de speler links- of rechtsaf gaat en leest hij of zij hardop de betreffende beschrijving van de evolutionaire gebeurtenis voor.
- Een speler kan *binnen dezelfde beurt* meerdere keren op een genummerde zwarte cirkel komen. De hierboven beschreven stappen worden bij elke genummerde zwarte cirkel herhaald.





Wetenswaardige evolutionaire gebeurtenissen

Je start het spel als een Laatste Universele Voorouder (a Last Universal Common Ancestor of LUCA) van alle organismen — een (chemo) autotrofe eencellige, die energie verkrijgt door de verbrandingen van anorganische componenten. Tijdens je reis naar moderne tijden onderga je verschillende speciale evolutionaire gebeurtenissen.

1 Archaea of bacterie? ☐

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Ophoping van kleine veranderingen in rRNA en sommige enzymen zetten je op het evolutionaire pad dat leidt naar de Archaea.

Als je minder dan vier gooit:

- ⇐ Je blijft in de klassieke bacteriële lijn.

2 Fotosynthese ☐

Als je zes gooit:

- ⇒ Je verwerft de capaciteit om chlorofyl samen te stellen en vandaar lichtenergie van de zon om te zetten in chemische energie door fotosynthese [Cyanobacteriën].

Als je minder dan zes gooit:

- ⇐ Je blijft in de klassieke bacteriële lijn.

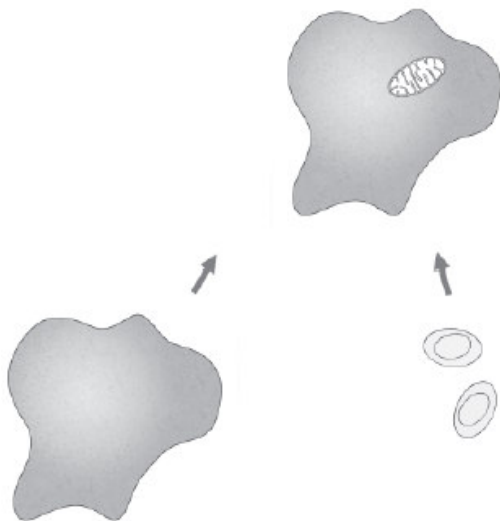
3 Mitochondriën ☐☐

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je wordt verslonden door een eencellig organisme, maar je hebt geluk en je kunt vermijden dat je verteert wordt. Je gaat samenwerken met je gastheer. Als endosymbiont (een mitochondrium), help je hem met het verwerven van energie. Vanaf deze dag is jullie lot verbonden: jullie evolueren met de Eukaryoten.

Als je twee gooit:

- ↑ Je blijft in de klassieke bacteriële lijn.



4 Chloroplasten ☐

Als je twee of meer gooit:

- ⇒ Je wordt verslonden door een eencellig organisme, maar je wordt niet verteerd. Je gaat samenwerken met je gastheer en je kunt daarbij energie verwerven uit zonlicht, als een chloroplast. Vanaf nu evolueer je verder met de eukaryote planten.

Als je één gooit:

- ↑ Je blijft in de klassieke lijn van cyanobacteriën.

5 Kern en tubuline ☐☐

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je organiseert je genetisch materiaal op een vernieuwende manier: binnen een membraanomsloten kern. De ontwikkeling van tubuline maakt het voor je mogelijk een spoelapparaat te maken en dit te gebruiken voor de mitotische celdeling. Bovendien kun je hierdoor je als een amoëbe bewegen en fagocytose toepassen [Eukaryoten].

Als je twee gooit:

- ⇐ Je blijft in de klassieke lijn van Archaea.



6 Ciliaten ☐☐

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van eukaryoten.

Als je twee gooit:

- ⇐ Je organiseert je genetische materiaal op een vernieuwende manier: door het te splitsen in 2 delen, waarbij het ene deel alleen bij reproductie gebruikt wordt (micro-nucleus) en het andere deel zorgt voor de alledaagse eiwitproductie (macronucleus). In de loop van tijd ontwikkel je korte, synchroon werkende 'flagellen' (cilliën) op het hele oppervlak van de cel [Ciliaten].

7 Flagellen □□*Als je drie of meer gooit:*

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van de eukaryoten

Als je twee gooit:

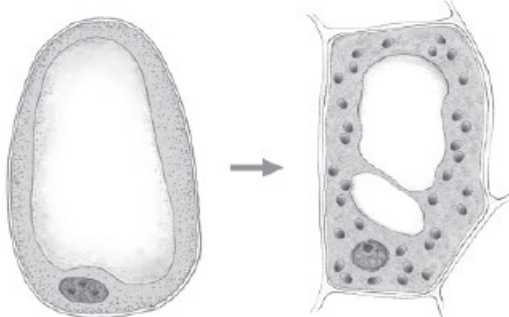
- ⇒ Je genereert twee stuwende, draaiende flagellen aan de voorzijde van de cel [Flagellaten].

8 Celwand en flagel □□*Als je tien of meer gooit:*

- ⇒ Je vormt een celwand van cellulosevezels [Algen/ Planten].

Als je minder dan tien gooit:

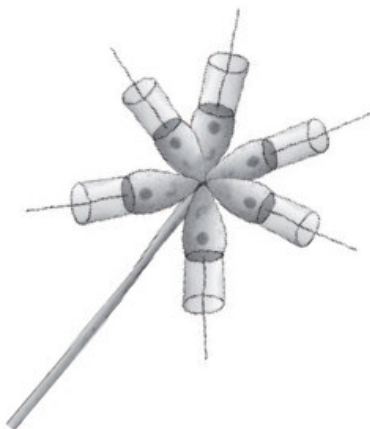
- ⇒ Je vormt een enkele stuwende, ronddraaiende flagel [Schimmel/ Dieren].

**9 Dieren en schimmels** □□□*Als je zeven of meer gooit:*

- ⇒ Je verkrijgt de capaciteit om collageen te produceren, dat complexe structuren vormt die de celmembranen stijver maken. In verloop van tijd vorm je met op jou lijkende organismen clusters welke beginnen te specialiseren [Dieren].

Als je minder dan zeven gooit:

- ⇒ Je vormt een celwand van chitine en vormt multicellulaire structuren. In verloop van tijd ontwikkel je de capaciteiten om in een terrestrische omgeving te leven [Schimmels].

**10 Vorming van sporen** □*Als je vier of meer gooit:*

- ⇒ Je begint van compacte hyphen complexe structuren te maken om de basidia te ondersteunen die de sporen voor seksuele reproductie dragen. [Basidiomycota].

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Je verwerft de capaciteit om veerkrachtige, resistente sporen te maken. [Zygomycota].

11 Twee cellagen en sponzen □□□*Als je zes of meer gooit:*

- ⇒ De formatie van een basaal membraan maakt het mogelijk om je cellen te organiseren in twee weefsellagen. [Eumetazoa].

Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Je verwerft een grondgebonden levensstijl, je genereert een intern skelet van stijve staafjes gemaakt van calcium carbonaat of silicaat (spicula). Deze gebruik je zowel voor structuur als voor bescherming [Sponzen].

**12 Drie cellagen en Netelceldragers****(Cnidaria)** □□□*Als je zes of meer gooit:*

- ⇒ Je wordt tweezijdig (bilateraal) symmetrisch en je vormt ook drie weefsellagen [Bilateria].

Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Sommige van je cellen (cnidocyten of nematocyten) worden giftig en worden gebruikt voor jagen en bescherming. Je levenscyclus wordt complexer: door de generatiewisseling ben je soms gebonden aan de grond (sedentair) of vrijzwemmend [Kwalachtigen of Cnidaria].

13 Een beschermende opperhuid?



Als je tien of meer gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van de ongewervelden [Platwormen/Deuterostomia].

Als je minder dan tien gooit:

- ⇒ Je opperhuid (epidermis) begint een beschermende pantserlaag te produceren [Rondwormen (Nematoden of Aschelminthes) / geledpotigen of Arthropods / ringwormen of Anneliden / schelpdieren en inktvissen of Molluscen].



14 Vervelling □

Als je vijf of meer gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van ongewervelden, kruipend over de zeebodem [ringwormen of Anneliden/ schelpdieren en inktvissen of Molluscen].

Als je minder dan vijf gooit:

- ⇒ Als je pantser steviger wordt, moet je vervellen om te groeien [Geledpotigen of Arthropoden / rondwormen, Nematoden of Aschelminthes].

15 Geledpotigen □

Als je twee of meer gooit:

- ⇒ Je maakt een hard exoskelet gemaakt uit chitine en verscheidene aanhangsels die elk bestaan uit verschillende segmenten [Geledpotigen of Arthropoden].

Als je één gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van zich vervellende ongewervelden [Rondwormen, Nematoden of Aschelminthes].



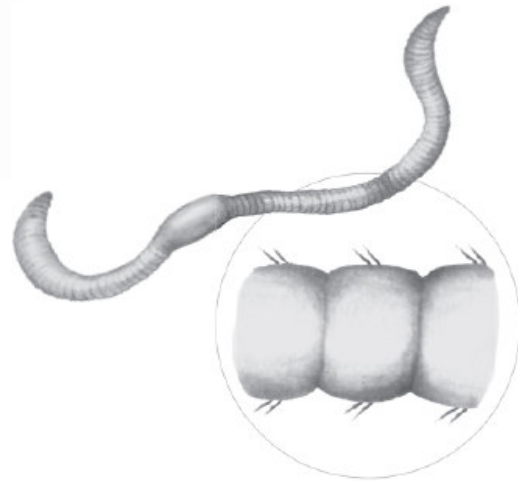
16 Ringwormen en Schelpdieren □

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je verkrijgt een mantel, welke je interne organen beschermt en je krijgt een schelp. Je vormt ook een tong bezet met tanden om voedsel te snijden en te kauwen (een radula) [Schelpdieren of Molluscen].

Als je één of twee gooit:

- ⇒ Je lijf wordt gesegmenteerd (metameer). Na verloop van tijd krijgen de segmenten elk een gespecialiseerde functie [ringwormen of Anneliden].



17 Platwormen □□

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Je krijgt een nieuwe mond waarbij je oude mond (blastopore) de anus wordt [Deuterostomes].

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van ongewervelden die geen chitine kunnen synthetiseren [Platwormen].

18 Kreeftachtigen en spinachtigen □□



Als je zes of meer gooit:

- ⇒ [Kreeftachtigen of Crustaceans/ Uniramia].

Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Je gaat in een terrestrische omgeving leven en je vermindert je aantal aanhangsels tot 4 paren. Je hoofd en lichaamssegmenten smelten samen tot een kopborststuk, een cephalothorax. Bovendien krijg je zijdeklieren waarmee je spindraad kunt maken [Spinachtigen of Arachniden].

19 Insecten en kreeftachtigen ☐

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je koloniseert een terrestrische leefomgeving en je vermindert het aantal benen tot drie paar. Je begint met behulp van tracheeën adem te halen en je vormt twee paar uitsteeksels op je exoskelet (vleugels) die je in staat stellen te vliegen [Insecten].

Als je minder dan drie gooit:

- ⇒ Je blijft in een waterige omgeving en je hoofd en lichaamssegmenten groeien samen tot een kopborststuk, een cephalothorax. Langzaam krijg je de mogelijkheden om op land te leven, maar je blijft steeds in de buurt van water [Kreeftachtigen of Crustaceans].

20 Kevers, bijen en mieren ☐

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Uit je eerste paar vleugels vorm je harde, schildachtige voorvleugels [Kevers]

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Je begint in grote gemeenschappen te leven [Vliesvleugelen of Hymenoptera: bladwespen, wespen, bijen en mieren].

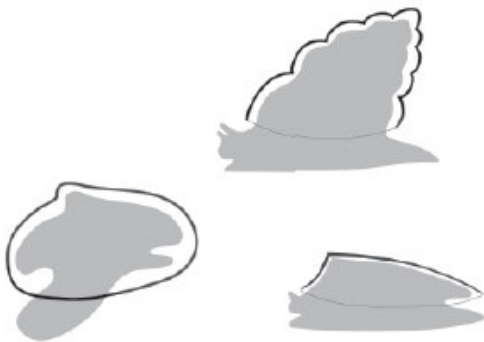
21 Tweekleppigen en slakken ☐

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Langzaam gebruik je je rasptong (radula) minder om voedsel te verkrijgen en wordt je een "filterfeeder": je filtert je voedsel uit het water. Bovendien maak je een schelp bestaande uit twee delen [Tweekleppigen of Bivalven].

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Langzaam draait je schelp asymmetrisch en je begint te leven op het land. [Slakken].



22 Gewervelden en stekelhuidigen ☐☐☐

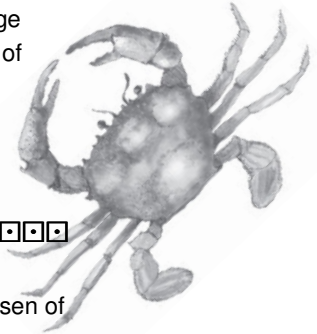
☐☐☐

Als je zes of meer gooit:

- ⇒ Je krijgt zeven kieuwopeningen en een flexibele staaf aan de rugkant van je lijf (de notochord) waaraan je spieren kunt aanhechten. Je ontwikkelt een complex intern skelet, zodat je lichaam steviger wordt. Bovendien is het voor je mogelijk om vinnen, kaken en schubben te ontwikkelen [Gewervelden of vertebraten].

Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Je lichaam ontwikkelt een vijfvoudige radiaire symmetrie [Stekelhuidigen of Echinodermen].



23 Been of kraakbeenvissen? ☐☐☐

Als je zes of meer gooit:

- ⇒ Je vormt een benig skelet [Beenvissen of Osteichthyes].

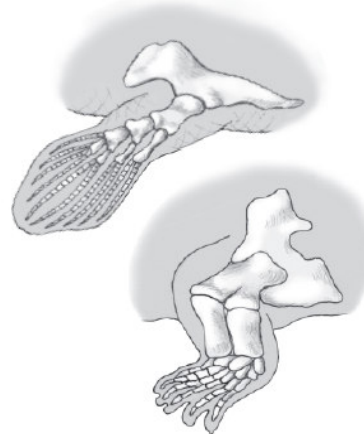
Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Je blijft binnen de klassieke lijn van vissen [Kraakbeenvissen of Chondrichthyes].

24 Amfibieën en beenvissen ☐☐☐

Als je zes of meer gooit:

- ⇒ Je begint op het land te kruipen: je vormt longen en verandert je vinnen in ledematen waarmee je kunt lopen [Amfibieën].



Als je minder dan zes gooit:

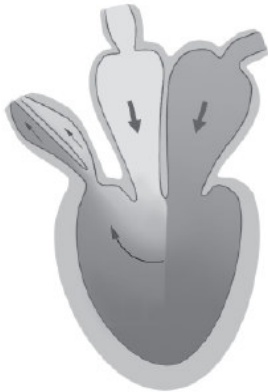
- ⇒ Je ontwikkelt een zwemblaas, waardoor je de diepte waarop je zwemt goed kan regelen en een benige klep waarmee je je kieuwen beschermt (kieuwdeksel of operculum) [Beenvissen].

25 Reptielen en amfibieën □□□*Als je zes of meer gooit:*

- ⇒ Je ontwikkelt een waterdichte huid, bedekt met schubben. Je bent op weg om een hart met 4 kamers te ontwikkelen. Je wordt onafhankelijk van de aquatische omgeving doordat je eieren legt met een lederachtige of kalkachtige schaal, waardoor er weinig waterverlies optreedt. [Reptielen].

Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van de amfibieën [Amfibieën]

**26 Zoogdieren** □*Als je drie of meer gooit:*

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van de reptielen

Als je minder dan drie gooit:

- ⇒ Je ledematen worden parasigitaal: aan beide zijden van je lichaam geplaatst. Je tanden veranderen van vorm, afhankelijk van hun functie en je ontwikkelt een vacht waardoor je een constante lichaamstemperatuur kunt handhaven. Je begint je nakomelingen te voeden met melk uit melkklieren [Zoogdieren of Mammals].

27 Zoogdier met placenta of buideldier? □*Als je drie of meer gooit:*

- ⇒ Doordat je zwangerschap langduriger wordt kunnen de foetussen zich beter ontwikkelen. Hiervoor ontwikkel je een speciaal orgaan dat voedingsstoffen levert en de gaswisseling regelt tussen moeder en kind (placenta) [Placentadier of Eutheria].

Als je minder dan drie gooit:

- ⇒ Je ontwikkelt een buidel om je kinderen groot te brengen. [Buideldieren of Marsupials].

28 Aapachtigen en vleermuizen □*Als je vier of meer gooit:*

- ⇒ Je ontwikkelt een opponeerbare duim wat het gemakkelijker maakt om takken vast te houden. Je ogen bewegen zich naar de voorkant van je hoofd, zodat je diepte kunt zien. Langzaam ontwikkelen je hersenen zich. Bovendien word je bipedaal: je kunt op twee benen lopen, zodat je je armen vrijhoudt om objecten te manipuleren. Veranderingen in de larynx (strottenhoofd) zorgen ervoor dat je steeds complexere klanken kunt maken en uiteindelijk in de ontwikkeling van spraak. Gedurende de tijd begin je werktuigen te maken en abstractere ideeën te gebruiken. [Aapachtigen of Primaten].

*Als je minder dan vier gooit:*

- ⇒ Je ontwikkelt een membraan tussen je ledematen wat het mogelijk maakt dat je glijvluchten maakt. Dit maakt het vangen van insecten gemakkelijker. Na verloop van tijd verkrijgt je de mogelijkheid te vliegen en je excellente gehoor maakt het mogelijk dat je je oriënteert in de ruimte (echolocatie) [Vleermuizen]

**29 Schildpadden** □*Als je twee of meer gooit:*

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van de reptielen

Als je één gooit:

- ⇒ Je vormt een (kraak)benig schild van ribben, wervels en sleutelbeenderen [Schildpadden]

30 Krokodillen, hagedissen en slangen ☐

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je ontwikkelt een vierkamerig hart [Krokodillen].

Als je één of twee gooit:

- ⇒ Je ontwikkelt een nieuwe manier van voortbewegen door middel van een zijwaartse golfbeweging, waardoor je behendiger en sneller wordt. [Slangen en hagedissen: Squamata].



31 Slangen ☐

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Je lichaam wordt opvallend langer en je doet afstand van de ledematen om nog efficiënter te bewegen. Je kaken evolueren zo dat je in staat bent zelfs zeer grote prooien te verzwelgen [Slangen].

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Je blijft binnen de klassieke lijn van hagedissen.

32 Krokodillen en vogels ☐

Als je vijf of meer gooit:

- ⇒ Je keert terug naar de levensstijl van de amfibieën als je een massieve staart krijgt die je kan voortstuwen in het water [Krokodillen].

Als je minder dan vijf gooit:

- ⇒ Je voorste ledematen transformeren in vleugels en je schubben worden veren. Je schaambeenderen richten zich meer naar achteren waardoor je bekken meer open staat en je grote eieren kunt leggen [Vogels].

33 Uilen en pinguïns ☐

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Je verbetert je vliegkwaliteiten. Bovendien bewegen je ogen zich naar de voorkant van je hoofd zodat je beter diepte kunt zien en wordt je gehoor sterk verbeterd [Uilen].

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Je doet afstand van je vliegcapaciteiten en ontwikkelt je vaardigheden om te zwemmen en duiken. Met je aangepaste vleugels kun je uitstekend sturen onder water [Pinguïns].

34 Algen en planten ☐

Als je zes gooit:

- ⇒ Je blijft binnen de klassieke lijn van de groene algen.

Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Gedurende verloop van tijd ontwikkel je meercelligen vormen. Je haploïde levensfase ontwikkeld zich tot een platte, laag bij de grondse structuur (thallus) met wortelachtige structuren (rhizoïden) aan de onderzijde en meercellige reproductieorganen aan de bovenzijde, vanwaaruit je diploïde levensfase ontspringt. [Planten].

35 Vaatplanten en mos ☐

Als je twee of meer gooit:

- ⇒ De diploïde sporenproducerende vorm (sporofyt) wordt de belangrijkste fase uit je levenscyclus. De ontwikkeling van lignine draagt bij aan de vorming van vaatbundels, waardoor je veel groter kunt worden. Gedurende de tijd ontwikkel je wortels en stengels [Vaatplanten].

Als je één gooit:

- ⇒ In jouw levenscyclus wordt de gametenproducerende haploïde vorm (gametofyt) de belangrijkste fase van de generatiewisseling. Je doet een poging om te overleven in terrestrische omgevingen, door het maken van stengelachtige-wortelachtige- en bladachtige structuren. [Mosplanten of Bryophyten]



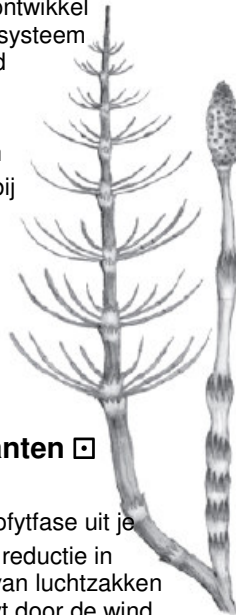
36 Varens en paardenstaarten ☐

Als je twee of meer gooit:

- ⇒ Door stengels te groeperen vorm je bladeren, waarop sporenproducerende organen (sporangia) ontwikkelen. Gedurende verloop van tijd ontwikkel je een complex reproductief systeem bestaande uit een micro- and megasporangia [Varens].

Als je één gooit:

- ⇒ Je sporenvormende organen (sporangia) groeperen waarbij een kegelvormige structuur ontstaat. Je kleine bladeren groeien rondom een holle stengel [Paardenstaarten].



37 Zaadproducerende planten ☐

Als je twee of meer gooit:

- ⇒ Je krimpt de manlijke gametofytfase uit je levenscyclus dramatisch: de reductie in massa met de ontwikkeling van luchtzakken zorgt ervoor dat de gametofyt door de wind weggeblazen kan worden (pollen). Dit maakt dat de bevruchting onafhankelijk is van water. Je vormt een zaadhuid, waaronder het haploïde weefsel van de vrouwelijke gametofyt transformeert in een bron van voedingsstoffen voor het ontwikkelende embryo [Zaadplanten of Spermatofyten].

Als je één gooit:

- ⇒ Je blijft binnen de klassieke lijn van varens.

38 Ginkgo ☐☐

Als je zes of meer gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van de zaadplanten

Als je minder dan zes gooit:

- ⇒ Je genereert bladeren die tweelobbig en gewaaierd zijn [Ginkgoaceae].

39 Bloemplanten ☐

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je genereert tweeslachtige bloemen en begint met het gebruik van insecten als bevruchters. Ook gebruik je fruit, wat ervoor zorgt dat je zaden ook over lange afstanden verspreid wordt via dieren [Bloemplanten].

Als je één of twee gooit:

- ⇒ Je blijft binnen de klassieke lijn van zaadproducerende planten [Zaadplanten of Spermatophytes].

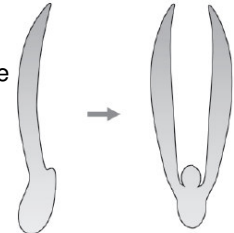
40 Eénzaadlobbigen ☐

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Je reduceert het aantal zaadlobben in de zaadknop tot één [Eenzaadlobbigen of Monocotylen].

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Je blijft binnen de klassieke lijn van bloemplanten.



41 Groene en bruine algen ☐☐

Als je elf of twaalf gooit:

- ⇒ Je begint naast chlorofyl A ook chlorofyl C te gebruiken en de polysacharide laminarin is je belangrijkste reservestof [Bruine algen].

Als je tien of minder gooit:

- ⇒ Je begint naast chlorofyl A ook chlorofyl B te gebruiken, en zetmeel wordt je reservestof. [Groene algen].

42 Chloroplasten ☐☐

Als je drie of meer gooit:

- ⇒ Je blijft binnen de klassieke lijn van groene algen

Als je twee gooit:

- ⇒ Je wordt verslonden door een eencellig eukaryoot organisme met flagellen, maar je wordt niet verteerd. Je gaat samenwerken met je gastheer en je kunt daarbij energie verwerven uit zonlicht, als een chloroplast.

43 De draadalg Spirogyra ☐

Als je vier of meer gooit:

- ⇒ Je blijft in de klassieke lijn van de groene algen

Als je minder dan vier gooit:

- ⇒ Je vormt met soortgenoten draadachtige kolonies [Draadalg of Spirogyrae].

Noot van de auteur

Toen ik de spel ontwikkelde, hoopte ik dat studenten (en wellicht niet alleen studenten) geïnformeerd zouden worden over een aantal belangrijke aspecten van evolutie die soms weggelaten worden of onvoldoende benadrukt worden - in ieder geval in Polen. Een bordspel heeft echter een aantal beperkingen. Sommige van deze kunnen leiden tot misverstanden, die ik hier graag wil bespreken.

Als eerste is de evolutionaire afstammingsreeks die in dit spel gepresenteerd wordt niet de enige juiste. Ondanks geavanceerde moleculaire technieken en een grote (maar nog onvoldoende) hoeveelheid fossiele bewijzen wordt er met name over de lagere vertakkingen van de boom nog flink gediscussieerd en worden zienswijze voortdurend bijgesteld. Het gevolg hiervan is dat er verschillen zijn tussen de informatie die hier gegeven wordt in dit spel en de informatie die je elders kunt vinden. Dit betekent echter niet dat een van de bronnen fout is. Liever nemen we aan dat de grenzen van het niet weten benaderd worden.

Ondanks waardevolle recente bewijzen uit de moleculaire fylogenetica, heb ik de evolutionaire boom gebruikt die gebaseerd is op fossiele bewijsmaterialen. Een van de belangrijkste redenen hiervoor is dat zulke afstammingsreeksen direct gerelateerd zijn aan de geschiedenis van de aarde en dat deze gemakkelijk opgedeeld kunnen worden in perioden, zoals geologische tijdsperiodes

Het spel omvat niet alle groepen van levende organismen. Ik heb gekozen voor de taxa die in Poolse scholen behandeld worden en ik heb een veel verschillende groepen andere organismen weggelaten, welke vaak belangrijk en interessant zijn vanuit evolutionair oogpunt. Het is niet mogelijk in een bordspel alles dat we weten te presenteren.

De relatieve grootte van bepaalde taxonomische groepen is op geen enkele manier gepresenteerd. Als ik dit wel zou doen dan zouden sommige groepen domineren (zoals de geleedpotigen, of bij de gewervelden, de vissen) en taxa met minder vertegenwoordigers, die wel de diversiteit van het leven laten zien, verdringen. Belangrijker nog is dat het spel veel minder spelenswaardig zou zijn - 90% van de spelers zou eindigen als een kever!

Het spel presenteert kenmerken van levende wezen die geleid hebben tot nieuwe vertakkingen in de evolutionaire boom. Deze zijn sterk vereenvoudigd. Niet alle kenmerken van een bepaalde soort of taxon worden gegeven in de beschrijvingen, alleen de belangrijkste. Sommige van de kenmerken ontwikkelen zich langzaam,

soms zelfs gedurende een periode van vele miljoenen jaren.

De soorten zijn moeilijk te definiëren en zelfs onder hedendaagse organismen is het onmogelijk om een strikte scheiding te maken tussen twee soorten. Het mechanisme dat gepresenteerd wordt in het spel is ook een vereenvoudiging, veroorzaakt door de regels van het spel. Vooral het proces van soortsvorming is niet het resultaat van het veranderen van een enkel organisme, maar komt voort uit de evolutionaire verandering van een populatie van soorten. De hiervoor beschreven aanwijzingen over het spelverloop zijn natuurlijk gericht op de speler, maar moeten opgevat worden als informatie over een groep van organismen.

Ik hoop dat ondanks deze tekortkomingen het spel een interessante bron van kennis is en dat het de studenten veel plezier geeft.

Grzegorz Papaj

Meer informatie:

Boeken

- Tudge, C. (2002) *The variety of life: A survey and a celebration of all the creatures that have ever lived*. Oxford University Press, Oxford. ISBN: 0 198 60426 2.
- Dawkins, R. (2004) *The ancestor's tale. A pilgrimage to the dawn of life*. Weidenfeld and Nicolson, London. ISBN: 0 297 82503 8.
- Prothero, D. (2007) *Evolution: What the fossils say and why it matters*. Columbia University Press, New York. ISBN: 0 231 13962 4.

Web sites

- The Tree of Life web project
<http://tolweb.org/tree>
 Interactive Tree of Life
<http://itol.embl.de>

Dankwoord

Het spel is geïllustreerd door Jacek Lilpop. Vertaling in het Engels werd gedaan door Małgorzata Perycz en Debra Gregory beoordeelde de eerste versie van de tekst. Joanna Lilpop, Izabela Szczupakowska en Agnieszka Choluj hielpen met de ontwikkeling van het spel.

Dit spel is aangepast voor het *Volvox* project, welke gefinancierd wordt door the Sixth Framework Programme of the European Commission.

Nederlandse vertaling: Karen de Boer.

