

Adaptief leren denken

Fred Janssen, ICLON, sectie voortgezet onderwijs, Universiteit Leiden, fjanssen@iclon.leidenuniv.nl

1. Introductie

In het biologieonderwijs worden meestal theorieën behandeld die slechts enkele verschijnselen verklaren bij één soort organisme. Denk bijvoorbeeld aan de theorie over de bouw en werking van ons immuunsysteem. De selectietheorie van Darwin is de belangrijkste uitzondering op deze regel. Darwin heeft een geweldige prestatie geleverd omdat hij liet zien dat hij met één eenvoudig mechanisme in principe de evolutie van alle complexe functionele eigenschappen van alle organismen kon verklaren: de structuur van ons hemoglobine; de staart van de pauw; de sprint van de cheetah; de bloembladeren van de wespenorchis etc. (Dawkins, 1987). Maar de tentakels van de selectietheorie reiken zelfs nog verder. Omdat ook onze hersenen zijn geëvolueerd is het aannemelijk dat natuurlijke selectie ook een rol heeft gespeeld bij de evolutie van fundamentele psychologische eigenschappen zoals jaloezie, ons gevoel voor rechtvaardigheid, ons taalvermogen etc. (Pinker, 1997).

Het aantal eigenschappen dat de selectietheorie in principe kan verklaren is dus enorm. Maar hoe indrukwekkend een dergelijke in-principe-verklaring ook mag zijn, ze is nog weinig informatief. Interessant wordt het wanneer je concreet voor een bepaalde eigenschap nagaat in hoeverre ze het product van natuurlijke selectie is en waarvoor ze is geselecteerd. Dit type onderzoek wordt dan ook veel door evolutiebiologen verricht in het kader van het zogenaamde adaptationistische onderzoeksprogramma (Dennett, 1995; Ridley, 2004). Men tracht bijvoorbeeld antwoorden te vinden op vragen als: Waarom heeft een mannetjes pauw zo'n grote staart? Waarom planten werkstermieren zich niet voort? Waarom planten wij ons geslachtelijk voort en niet ongeslachtelijk? Waarom zijn wij jaloers? Waarom hebben wij taal ontwikkeld? Antwoorden op dergelijke vragen worden adaptieve verklaringen genoemd. Adaptief denken is het bedenken en toetsen van dergelijke verklaringen.

Nu leren leerlingen in het biologieonderwijs wel de selectietheorie, maar ze leren niet adaptief denken. Ze leren niet hoe ze zelf adaptieve verklaringen voor eigenschappen kunnen opstellen. Om verschillende redenen zou het echter zinvol zijn dat leerlingen wel met deze manier van denken kennis maken.

Ten eerste leidt adaptief denken er toe dat veel vertrouwde en bekende eigenschappen van mensen en andere organismen in een heel ander daglicht worden gesteld. Leerlingen leren dan ook de natuur, inclusief zichzelf, op een andere manier te bekijken. Laat ik dit met drie voorbeelden van adaptieve verklaringen illustreren waaraan al veel onderzoek is verricht:

- *Seksuele voortplanting* zou wel eens het resultaat kunnen zijn geweest van een wapenwedloop tussen organismen en parasieten. Doordat seksuele voortplanting er toe leidt dat de nakomelingen verschillen van de ouders, wordt het de parasieten (en ziekteverwekkers) moeilijker gemaakt zich aan te passen (Maynard Smith & Szathmary, 1999).
- *Bloedarmoede bij infecties* wordt veelal beschouwd als een ziektesymptoom dat met staalpillen moet worden bestreden. Evolutiebiologen hebben laten zien dat we bloedarmoede beter kunnen beschouwen als een functionele aanpassing waar we blij mee moeten zijn en dus beter niet kan worden bestreden. Bacteriën hebben namelijk ijzer nodig. Ons lichaam is zo verstandig het ijzergehalte van ons bloed bij infectie te verlagen, waardoor de infectie wordt verminderd (Nesse & Williams, 1995).
- *Verlangen naar vet eten* dateert volgens evolutiebiologen nog uit een tijd waarin dit ook een functionele aanpassing was. Onze voorouders hadden net als wij vet nodig als

voedingsbestanddeel, maar voor hen was vet een schaars goed. De leefomgeving van de mens is laatste paar duizend jaar radicaal veranderd, vet is nu al lang niet meer schaars. Maar evolutie is een traag proces. Wij bezitten dus nog steeds het erfelijke verlangen naar vet, met veelvoorkomende ziekteverschijnselen als zwaarlijvigheid en hart-en vaatziekten als gevolg (Nesse & Williams, 1995).

Ten tweede beschikken leerlingen die adaptief kunnen denken over denkgereedschap waarmee ze zelf verder kunnen leren. Ze zijn tot op zekere hoogte in staat zelf adaptieve verklaringen op te stellen voor eigenschappen die ze interessant vinden. Tevens hebben ze geleerd om adaptieve verklaringen van anderen kritisch te beoordelen. Dit oordeelsvermogen is belangrijk omdat leerlingen via de media steeds vaker geconfronteerd worden met adaptieve verklaringen over uiteenlopende onderwerpen. Lang niet al deze verklaringen zijn gebaseerd op gedegen onderzoek. Denk aan de volgende ad-hoc adaptieve verklaringen. Waarom vermijden mannen vaak de weg te vragen? Omdat onze mannelijke voorouders gemakkelijk konden worden gedood wanneer ze vreemden benaderden. Waarom barbecuen mannen graag? Omdat ze zich dan weer de holenbewoner voelen die het vlees thuisbrengt. Wanneer leerlingen inzicht hebben in adaptief denken zijn ze beter in staat het kaf van het koren te scheiden.

Ten derde biedt adaptief denken leerlingen een beter inzicht in de mogelijkheden en beperkingen van de selectietheorie. Deze theorie ligt immers ten grondslag aan adaptief denken. Leerlingen leren voor welk type eigenschappen natuurlijke selectie wel een verklaring kan bieden en welk type eigenschappen door andere evolutionaire mechanismen moeten worden verklaard.

Tenslotte leidt adaptief denken tot een beter inzicht in de bouw en werking van eigenschappen van organismen en de omgeving waarin ze functioneren. Enerzijds ontdekken leerlingen door het opstellen van adaptieve verklaring nieuwe aspecten van de bouw en werking en omgeving van eigenschappen. Anderzijds is gedegen kennis hiervan noodzakelijk om een adaptieve verklaring te kunnen opstellen¹.

In deze bijdrage wordt een onderwijsaanpak beschreven voor het ontwikkelen van adaptief denken bij leerlingen². In deze onderwijsaanpak wordt er vanuit gegaan dat leerlingen al adequate kennis hebben verworven over de selectietheorie³. In paragraaf 2 zal ik de globale opzet van de onderwijsaanpak kort beschrijven en verantwoorden. De onderwijsaanpak bestaat uit 5 fasen die in paragraaf 3 tot en met 8 achtereenvolgens gedetailleerd worden beschreven.

2. Karakterisering van de onderwijsaanpak

Adaptief denken is een complexe denkvaardigheid bestaande uit vier componenten:

- Vooronderstellingen over de rol van natuurlijke selectie bij de evolutie van eigenschappen.
- Een bepaald type vraag.
- De adaptieve verklaring als antwoord op dit type vragen.
- Een strategie om adaptieve verklaringen op te stellen.

De vooronderstellingen spelen een hoofdrol binnen adaptief denken. Zij bepalen namelijk vraag- en antwoordtype en de strategie waarmee deze vragen kunnen worden beantwoord.

¹ In het kader van mijn promotieonderzoek heb ik de strategie voor adaptief denken omgebouwd tot een ontwerpstrategie waarmee leerlingen juist kennis kunnen ontwikkelen over de bouw en werking van biologische systemen door ze opnieuw te ontwerpen (ontwerpend leren) (Janssen, 1999; Janssen, 2006).

² Veel activiteiten die in deze onderwijsaanpak worden beschreven zijn al beproefd.

³ Voor didactische aanwijzingen voor het onderwijzen van de selectietheorie verwijs ik Gearardts (dit boek) en Janssen en Voogt (1997).

Voor het aanleren van deze complexe denkvaardigheid heb ik een onderwijsaanpak ontwikkeld die gebaseerd is op twee principes. Ten eerste zou het onderwijs zo moeten worden ingericht dat het aansluit bij en productief voortbouwt op voorkennis van leerlingen. Leerlingen beschikken namelijk al over relevante voorkennis met betrekking tot de vier componenten van adaptief denken. Ten tweede zou het onderwijs zo moeten worden ingericht dat leerlingen ook zelf inzien *waarom* ze hun voorkennis moeten uitbreiden. Wanneer onderwijs volgens dit principe is ingericht leren ze de denkvaardigheid niet als een blinde truc maar kunnen ze de geleerde denkwijze ook verantwoorden. Bovendien zorgt dit er voor dat leerlingen ook inhoudelijk gemotiveerd zijn hun kennis uit te breiden of bij te stellen (Klaassen, 1995).

In de praktijk leiden deze principes tot een onderwijsaanpak die opgebouwd is uit een aantal activiteiten die leerlingen stimuleren hun voorkennis met betrekking tot de vier componenten van de denkvaardigheid uit te breiden. Deze activiteiten zijn zo geordend dat het uitvoeren van de ene activiteit leerlingen laat inzien dat het nodig is hun kennis verder uit te breiden en daarmee dus een motief verschaft voor het deelnemen aan de volgende activiteit.

Wanneer we op een globaler niveau de onderwijsaanpak beschrijven dan kunnen er vijf fasen worden onderscheiden die ieder uit een aantal activiteiten bestaan. Het doel van elke fase zal hieronder kort worden beschreven en verantwoord.

Oriëntatiefase

In deze fase krijgen leerlingen een heel globaal beeld van adaptief denken en wordt hun interesse voor adaptief denken gewekt. Ze ontdekken tevens dat ze hun huidige kennis nog niet toereikend is voor het opstellen van adaptieve verklaringen, waardoor ze interesse krijgen in een strategie voor het opstellen van adaptieve verklaringen.

Ontdekkingsfase

In deze fase wordt relevante voorkennis van leerlingen over herontwerpen in de technologie gebruikt om hen een strategie te laten ontdekken voor het opstellen van adaptieve verklaringen. Tevens worden de vooronderstellingen over natuurlijke selectie die ten grondslag liggen aan deze strategie geëxpliciteerd.

Toepassingsfase I

De geleerde strategie wordt in deze fase toegepast voor het opstellen van een adaptieve verklaring voor enkele eigenschappen, onder meer voor de eigenschap waar ze in de oriëntatiefase nog niet uitkwamen.

Reflectiefase

De strategie die leerlingen hebben geleerd is gebaseerd op vereenvoudigde vooronderstellingen over de rol van natuurlijke selectie bij de evolutie van eigenschappen. In deze fase ontdekken leerlingen dat voor bepaalde eigenschappen deze vooronderstellingen niet opgaan en voor deze eigenschappen de strategie dus niet werkt. Dit leidt tot nadere nuancering van eerder geleerde vooronderstellingen en tot een bijstelling van de strategie.

Toepassingsfase II

In de oriëntatiefase hebben leerlingen al ontdekt dat adaptief denken ook wordt toegepast voor onderzoek naar psychologische eigenschappen. Na de bijstelling van vooronderstellingen en strategie in de reflectiefase, kunnen leerlingen dit toepassingsgebied gaan verkennen. In deze fase leren leerlingen niet alleen de mogelijkheden maar ook de beperkingen kennen van adaptief denken over psychologische eigenschappen. Tevens ontdekken ze dat ze hun intuïtieve opvattingen over de menselijke geest zullen moeten bijstellen.

In de komende paragrafen zal nu telkens van één fase worden beschreven en verantwoord. De onderwijsaanpak is redelijk gedetailleerd uitgewerkt, dit is bedoeld als handreiking en niet als

keurslijf. De gekozen volgorde van de activiteiten vormt de kern van de onderwijspak. De invulling van deze activiteiten (de gekozen voorbeelden, groeperingsvorm, mate van sturing etc.) kan uiteraard aan de eigen situatie worden aangepast.

3. Oriëntatiefase

Bij adaptief denken wordt voor functionele eigenschappen van organismen nagegaan waarvoor ze zijn geselecteerd. Voordat leerlingen zich gaan oriënteren op adaptief denken wordt daarom eerst de voorkennis van leerlingen over de selectietheorie geactiveerd en, indien nodig, bijgesteld. Daarbij gaat het er vooral om dat leerlingen zich realiseren dat de selectietheorie een in-principe-verklaring biedt voor alle complexe functionele eigenschappen van organismen.

Herintroductie selectietheorie

U kunt beginnen leerlingen verschillende voorbeelden te tonen van verbluffende functionele eigenschappen in de natuur. Denk bijvoorbeeld aan de bloembladeren van de wespenorchis of de tong van de specht. U kunt leerlingen natuurlijk ook zelf bijzondere voorbeelden van functionele eigenschappen laten noemen of laten opzoeken.

Leerlingen wordt vervolgens verteld dat functionele eigenschappen van organismen mensen al eeuwenlang hebben verbaasd. Veel mensen hebben zich in het verleden afgevraagd hoe deze eigenschappen, die wel lijken te zijn ontworpen voor een bepaald doel, kunnen zijn ontstaan. Vóór Darwin konden de meeste mensen zich niet anders voorstellen dan dat deze goede ontwerpen in de natuur wel door een almachtige Ontwerper (i.c. God) moesten zijn ontworpen. William Paley, een theoloog en belangrijke inspirator van Darwin, heeft in 1802 met een analogie proberen aan te tonen dat God ook de enige verklaring kan zijn voor het ontstaan en bestaan van goede ontwerpen in de natuur (Dawkins, 1987). Deze analogie kunt u ook aan leerlingen presenteren.

Stel je voor, je loopt over de heide en vindt een zakhorloge (polshorloges hadden ze nog niet in die tijd). Je opent het horloge aan de achterkant en ziet dat vele tandwielletjes en veertjes onderling zo zijn verbonden dat het horloge de tijd kan aangeven. Hoe zou je het bestaan en de eigenschappen van het horloge verklaren? Iedereen, zo betoogt Paley, zal het toch uiterst onwaarschijnlijk vinden dat het horloge door toeval tot stand is gekomen, dat regen en wind brokken materie hebben veranderd in een horloge. Daarvoor is het horloge te complex, het bestaat uit vele verschillende onderdelen die op een ingewikkelde manier samenwerken. Veel waarschijnlijker is het dat het horloge het product is van een intelligente en vaardige horlogemaker. Paley stelt vervolgens dat wanneer je het eens bent met zijn conclusie over het horloge, je dan een vergelijkbare conclusie moet trekken voor de levende natuur. Ook in dit geval is het uiterst onwaarschijnlijk dat de bijzondere ontwerpen in de natuur door louter toevalsprocessen tot stand zijn gekomen. Ze zijn immers vaak nog vele malen complexer dan een horloge. Ze moeten dus wel zijn ontworpen door God, de alwetende Ontwerper.

U kunt leerlingen vervolgens vragen welke twee mogelijke verklaringen Paley geeft voor het ontstaan van goede ontwerpen (toeval en God) en welke verklaring Darwin hiervoor geeft. De verklaring van Darwin kan nu eerst nader worden uitgewerkt. Het bijzondere van Darwin's verklaring wordt beter begrepen wanneer leerlingen deze vervolgens vergelijken met de twee verklaringen van Paley.

Voor een in-principe-verklaring van functionele eigenschappen met behulp van de selectietheorie is het van belang dat leerlingen zich realiseren dat je voor natuurlijke selectie drie dingen nodig hebt: variatie in eigenschappen, erfelijkheid en verschillen in voortplantingssucces (Ridley, 2004). Dus als er variatie is in erfelijke eigenschappen in een populatie, dan zullen organismen die de best aangepaste eigenschappen bezitten de grootste kans hebben zich voort te

planten. Natuurlijke selectie zorgt er dus voor dat de best aangepast eigenschappen in een populatie zullen verspreiden en de minder aangepaste eigenschappen zullen verdwijnen.

Leerlingen kunnen nu de verklaring middels de selectietheorie vergelijken met de toevals- en bovennatuurlijke verklaring van Paley. Het belangrijkste verschil met de bovennatuurlijke verklaring is dat in de selectietheorie alleen een beroep wordt gedaan op natuurlijke processen. U kunt bovendien aangeven dat er in de bovennatuurlijke verklaring vanuit wordt gegaan dat je een heel intelligent ontwerper nodig hebt om een complex ontwerp te maken, terwijl er in de selectietheorie vanuit wordt gegaan dat door domme (en blinde) krachten uiteindelijk een complex ontwerp kan ontstaan. Ontwerpen kunnen dus worden gemaakt zonder ontwerper. U kunt vervolgens de leerlingen vragen waarin de toevals-verklaring zich onderscheidt van de selectie-verklaring. In de selectietheorie speelt toeval toch ook een rol? Leerlingen zullen waarschijnlijk weten dat variaties in eigenschappen inderdaad door toeval ontstaan. Leerlingen moeten nu onderkennen dat Paley er vanuit ging dat een goed ontwerp in één keer ontstaat (éénfasisch toeval). Darwin was met Paley eens dat het wel erg onwaarschijnlijk is dat op deze manier goede ontwerpen (zoals een horloge maar ook de veel complexere ontwerpen in de natuur) kunnen ontstaan. Darwin liet echter zien dat toeval wel een rol kan spelen als een eigenschap geleidelijk ontstaat (evolueert) en tussenstadia behouden kunnen blijven (door reproductie). In dit geval kun je namelijk het toeval 'uitsmeren'. Hij liet voor verschillende eigenschappen zien dat er een reeks denkbaar is van tussenstadia waarbij het verschil tussen het ene en het andere stadium zo klein is dat het wel door toevallige gebeurtenissen kan zijn ontstaan (Dawkins, 1987).

Leerlingen hebben nu (opnieuw) natuurlijke selectie leren kennen als een in-principe-verklaring voor functionele eigenschappen van organismen. U kunt nu een stap verder gaan en leerlingen vertellen dat de selectietheorie ook de enige plausibele (wetenschappelijke) verklaring is voor complexe functionele eigenschappen in de natuur. Sommige leerlingen zullen zich hierover verbazen en aangeven dat ze toch ook andere evolutionaire mechanismen hebben geleerd. Essentieel verschil is echter dat mechanismen als genetic drift en isolatie, louter toevalsprocessen zijn in de zin dat de functionaliteit van een eigenschap geen rol speelt bij het behoud of verdwijnen van de eigenschap. Deze en andere mechanismen kunnen wel een bijdrage leveren aan evolutie maar kunnen zonder natuurlijke selectie nooit alleen de evolutie van complexe functionele eigenschappen van organismen verklaren (Dawkins, 1987).

Voorbeelden van adaptieve verklaringen

U kunt nu aangeven dat evolutiebiologen geen genoegen nemen met deze in-principe-verklaring. Zij willen graag weten welke rol natuurlijke selectie heeft gespeeld bij de evolutie van specifieke eigenschappen. Zij gaan dan ook na waarvoor een bepaalde eigenschap is geselecteerd. Het antwoord op deze vraag wordt een adaptieve verklaring genoemd. Vervolgens kan u enkele voorbeelden van adaptieve verklaringen geven. Deze voorbeelden moeten zo worden gekozen dat leerlingen enerzijds een globaal beeld krijgen van het toepassingsbereik van de adaptief denken en anderzijds geïnteresseerd raken in dit type verklaringen omdat ze tot verrassende inzichten leiden. De drie voorbeelden die ik in de inleiding aanhaalde kunnen voor dit doel worden gebruikt. Hieronder staan nog enkele andere wetenschappelijk onderbouwde voorbeelden. U kunt eventueel leerlingen eerst een antwoord laten bedenken op de vragen alvorens zelf het antwoord te geven.

- Waarom maken bijen achtvormige dansjes in de korf? Hiermee communiceren ze met andere bijen de afstand en richting van de voedselbron.
- Waarom worden alle baby's geboren met een wipneus? Omdat ze dan door hun neus kunnen blijven ademhalen als ze borstvoeding krijgen
- Waarom vinden mannen vrouwen met een heup-taille ratio van 0.70 het meest aantrekkelijk? De selectietheorie voorspelt dat mannen het best een vrouw kunnen uitkiezen die vruchtbaar is en nog nooit zwanger is geweest. De heup-taille ratio tussen de

0.67 en 0.75 blijkt hiervoor een goede indicator te zijn (deze maat is onafhankelijk van het gewicht van de vrouw) (onderzoek van Singh in Pinker, 1997).

- Waarom zijn zwangere vrouwen in het begin van de zwangerschap vaak misselijk? Ons voedsel bevat veel gifstoffen. Dit zijn vaak stoffen die onze voedselplanten zelf maken om zich te beschermen tegen vraat door planteneters. Normaal gesproken bevat ons voedsel deze stoffen in zo'n kleine dosis dat wij er geen last van hebben. Echter, in het begin van de zwangerschap kan deze lage dosis al schadelijk zijn voor het ontwikkelende embryo. Het lichaam reageert hierop door de misselijkheidsdrempel te verlagen. Hierdoor wordt giftig voedsel verwijderd voordat het in bloed wordt opgenomen en wordt de behoefte aan vergelijkbare voedsel in de toekomst verlaagd (onderzoek van Profet in Pinker (1997)).

U kunt naar aanleiding van deze voorbeelden het potentiële toepassingsbereik van adaptief denken en het doel van de lessenserie aangeven. Leerlingen leren zelf hoe je adaptieve verklaringen kunt opstellen voor diverse eigenschappen. Ze leren met andere woorden adaptief denken. Adaptief denken wordt niet alleen toegepast voor eigenschappen van planten en dieren, maar ook voor menselijke eigenschappen. Bovendien beperken we ons niet tot de traditionele biologische eigenschappen maar wordt ook ingegaan op psychologische eigenschappen mensen, waaronder allerlei verschillen tussen mannen en vrouwen.

Expliciteren van vraagtype en aard van de adaptieve verklaring

Nu selectie als verklaring voor functionele eigenschappen is behandeld en enkele voorbeelden van adaptieve verklaringen de revue zijn gepasseerd kan nader worden geëxpliciteerd welk type vragen er nu precies worden beantwoord en wat de aard is van adaptieve verklaringen als antwoord op deze vragen. In het voorafgaande zijn twee vragen door elkaar gebruikt: Waarvoor is eigenschap x van organisme y geselecteerd? Waarom heeft organisme y eigenschap x? Beide vragen zijn eigenlijk dezelfde vragen. Leerlingen kan gevraagd worden waarom. Omdat we er vanuit gaan dat selectie de enige verklaring is voor het bestaan van complexe functionele eigenschappen is de vraag waarom eigenschap x bestaat dezelfde als de vraag waarvoor eigenschap x is geselecteerd (Ridley, 2004).

U kunt nu met leerlingen het type antwoord op deze vraag expliciteren. Leerlingen zullen wel in de voorbeelden hebben ontdekt dat er in een adaptieve verklaring altijd een verwijzing zit naar de functie van de betreffende eigenschap (de bijendans dient voor communicatie; de zwangerschapsmisselijkheid dient voor bescherming). Belangrijk is dat leerlingen zich realiseren dat het bij een adaptieve verklaring gaat om de functie van een eigenschap in eerdere generaties en niet in de huidige generatie (Ridley, 2004). Leerlingen kan worden gevraagd waarom dit het geval is, aan de hand van een concreet voorbeeld. Bijvoorbeeld selectie van heldere ooglens. De eigenschap 'heldere lens' in AA is niet aanwezig omdat AA hiermee beter kan zien. Het is aanwezig in AA omdat de ouder(s) van AA, A, hiermee beter konden zien dan de andere overige varianten in de populatie en zich daardoor beter konden voortplanten. In veel gevallen is de functie van eigenschap in het huidige organisme gelijk aan de functie van de eigenschap in de (voor-)ouders⁴. In dat geval kunnen we dus afleiden waarvoor iets is geselecteerd, door na te gaan welke functie de eigenschap in het huidige organisme vervult.

⁴ De functie waarvoor de huidige eigenschap is geselecteerd kan echter verschillen van de functie waarvoor de eigenschap oorspronkelijk is geselecteerd (Ridley, 2004). Elke complexe eigenschap is immers in een geleidelijk proces tot stand gekomen. Het is dan ook voorstelbaar dat de eigenschap in het begin van zijn evolutionaire ontwikkeling een andere functie vervulde dan die het nu vervult. Indien gewenst kan dit onderscheid leerlingen duidelijk worden gemaakt aan de hand van de vleugels van de pinguïn. Bij verre voorouders van de pinguïn (die zelf nog geen pinguïn waren) waren vleugels nog te klein om mee te vliegen, ze diende toen voor thermoregulatie, in een later stadium zijn ze er mee gaan vliegen, vervolgens zijn er pinguïns ontstaan die de vleugels gebruiken om er mee te zwemmen.

Leerlingen bedenken adaptieve verklaring voor een eigenschap

Nu leerlingen weten wat voor soort vraag bij adaptief denken wordt gesteld en wat voor soort antwoord wordt verwacht kunnen ze voor een eigenschap proberen zelf een adaptieve verklaring op te stellen. U kan leerlingen vragen een adaptieve verklaring te bedenken voor de fotofoor van de ponyvis. Daarbij kan de volgende uitleg over de ponyvis en zijn omgeving worden aangeboden. De ponyvis is een klein visje dat leeft in open water, op een diepte waar het vrij schemerig is. De ponyvis beschikt over een lichtproducerend orgaan, de fotofoor. Dit orgaan bevindt zich in het lichaam en het schijnt omlaag door de ingewanden heen. Dit resulteert in een zwak verlichte buik. Als het donker is gaat het lichtje uit (Hasting in Janssen, 2006).

Ik kies hier voor deze eigenschap omdat ik verwacht dat leerlingen hiervoor wel een adaptieve verklaring willen maar niet kunnen bedenken (voor verwachte verklaringen van leerlingen en de feitelijke verklaring verwijs ik naar 5) Hierdoor raken leerlingen waarschijnlijk inhoudelijk gemotiveerd meer te weten te komen over de strategie voor het opstellen van een adaptieve verklaring die hierna aan bod komt.

4. Ontdekkingsfase

Als evolutiebiologen nagaan waarvoor een eigenschap is geselecteerd gaan ze deze eigenschap herontwerpen. Een vergelijkbare strategie passen leerlingen ook al intuïtief toe, weliswaar nog niet voor het opstellen van adaptieve verklaringen, maar om na te gaan waarvoor een onbekend voorwerp is gemaakt. U kunt leerlingen dan ook vertellen dat zij al over relevante voorkennis beschikken voor onderzoek naar waarvoor een eigenschap is geselecteerd en dat deze voorkennis eerst wordt geactiveerd.

Onderzoeken waarvoor een bepaald voorwerp is gemaakt

Het is belangrijk een voorwerp te kiezen waarvan leerlingen de functie nog niet kennen, maar die ze wel kunnen ontdekken door herontwerpen. Twee mogelijke voorwerpen zijn bijvoorbeeld de olijfontpitter en de rekenliniaal (Janssen, 1999). Ik werk een mogelijke gedachtegang van een leerling uit voor de rekenliniaal. U kunt leerlingen ook vragen hun gedachtegang op papier te zetten zodat de gebruikte strategie na afloop kan worden geëxpliciteerd.

De leerling bekijkt eerst het voorwerp zorgvuldig. Hij ziet een recht voorwerp en komt vervolgens op het idee dat je hiermee een lijn zou kunnen trekken op een stuk papier. Daarvoor is het mooi recht, maar dit kan niet de belangrijkste functie zijn omdat dan een dergelijke maatverdeling niet nodig zou zijn. Zou het dan dienen voor het opmeten van dingen? Dit lijkt voor de hand te liggen maar hiervoor zou men met een veel eenvoudigere maatverdeling in centimeters en millimeters kunnen volstaan, bovendien is hiervoor een glijder in het midden van de liniaal niet nodig. Die glijder kan verschuiven ten opzichte van de maatverdeling aan de buitenkanten. Opvallend is verder dat de schaal van de maatverdeling telkens wisselt. Hierdoor worden verbindingen gelegd tussen het ene getal en het andere. Zou je het ding misschien kunnen gebruiken om te rekenen? Hiervoor lijkt het ding geschikt, al is het nog niet duidelijk hoe dit precies in zijn werk gaat.

U kunt nu eventueel nader toelichten hoe je met de rekenliniaal kan rekenen. Vervolgens kan samen met de leerlingen worden nagegaan welke strategie ze hebben gehanteerd bij het beantwoorden van de vraag waarvoor dit ding is gemaakt. Globaal gesproken zal de volgende strategie zijn gehanteerd. Leerlingen verzamelen eerst enige informatie over het voorwerp. Leerlingen bedenken dan een mogelijke functie (bijvoorbeeld lijnen trekken) en bedenken vervolgens hoe zij die functie zouden vervullen (rechte lat). Dit zelf bedachte voorwerp wordt nu vergeleken met het feitelijke voorwerp. Als beide overeenkomen dan ga je er vanuit dat de bedachte functie klopt, als ze niet

overeenkomen wordt er een andere functie bedacht en herhaalt de procedure zich totdat overeenstemming is bereikt. Leerlingen bepalen dus waarvoor een voorwerp is gemaakt door het opnieuw te ontwerpen.

Overeenkomsten en verschillen tussen onderzoeken waarvoor gemaakt en waarvoor geselecteerd

Werkt deze strategie nu ook om na te gaan waarvoor iets is geselecteerd? Om deze vraag te kunnen beantwoorden zal u met de leerlingen moeten nagaan of de vooronderstellingen die aan het herontwerpen van voorwerpen ten grondslag liggen overeenkomen met vooronderstellingen over eigenschappen die door natuurlijke selectie tot stand zijn gekomen.

Ten eerste ga je er bij herontwerpen van een voorwerp vanuit dat het voorwerp ook een functie heeft. U kunt leerlingen laten nagaan of en waarom dit ook voor eigenschappen die door natuurlijke selectie tot stand zijn gekomen het geval is. In deze fase zullen we er nog vanuit gaan dat natuurlijke selectie er inderdaad tot functionele eigenschappen leidt om redenen die in de herintroductie al zijn genoemd. In een latere fase wordt deze vooronderstelling genuanceerd. U kunt verder vragen naar het type functies waarvoor wordt geselecteerd. Leerlingen zullen dan ontdekken dat alleen eigenschappen kans hebben in de volgende generatie te komen die bijdragen en aan het overleven en uiteindelijk de voortplanting van het organisme⁵.

Ten tweede wordt bij het herontwerpen van voorwerpen er ook (vaak impliciet) vanuit gegaan dat de functie optimaal wordt vervuld. Er wordt bijvoorbeeld vanuit gegaan dat de rekenliniaal niet alleen is om lijnen mee te trekken, omdat dat je daarvoor een veel eenvoudiger ding zou kunnen gebruiken. U kan de betekenis van optimaliteit voor leerlingen specificeren. Optimaliteit is een relatief begrip. Het is de eigenschap uit een set van mogelijk eigenschappen die betreffende functie vervult met zo min mogelijk nadelen (zie Janssen (1999) voor een meer gedetailleerde beschrijving over optimaliteit in context van technologie en evolutiebiologie en de consequenties voor het biologieonderwijs). Als je een lijn wilt trekken is een eenvoudige liniaal optimaler dan een rekenliniaal omdat deze laatste onder meer als nadeel heeft dat het te veel materiaal bevat en daardoor veel duurder is. Bij natuurlijke ontwerpen zijn uiteindelijk alle negatieve effecten voor het voortplantingssucces de nadelen van een eigenschap. De vraag wordt nu aan leerlingen of natuurlijke selectie ook leidt tot optimale eigenschappen. Leerlingen zullen dit beamen. Natuurlijke selectie zorgt er immers voor dat binnen de populatie de eigenschappen met de minste nadelen worden doorgegeven aan de volgende generatie terwijl de eigenschappen met meer nadelen verdwijnen. Natuurlijke selectie is dus een optimalisatieproces (Parker & Maynard Smith, 1990).

Omdat de vooronderstellingen over voorwerpen die zijn gemaakt en eigenschappen die zijn geselecteerd grotendeels vergelijkbaar zijn, kunnen we ook een vergelijkbare strategie gebruiken. Met daarbij de kanttekening dat functies en nadelen alle betrekking hebben op voortplantingssucces. Hieronder is de strategie in 6 stappen uitgeschreven.

1. Verzamel informatie over de eigenschap en de omgeving.
2. Bedenk een mogelijke functie voor de eigenschap.
3. Bedenk enkele alternatieve eigenschappen die deze functie kunnen vervullen.
4. Bedenk nadelen van de eigenschappen.
5. Vergelijk de bedachte eigenschap met minste nadelen met de feitelijke eigenschap.
6. Indien de optimale en feitelijke eigenschap niet overeenkomen ga naar 2 of ga naar 1.

⁵ Maar jezelf voortplanten is niet de enige manier om je genen door te geven aan de volgende generaties. Een organisme kan zijn genen ook doorgeven door verwanten te helpen bij hun overleven en voortplanting. Desgewenst kunnen leerlingen dit ontdekken aan de hand van de vraag: Waarom planten werkstermieren zich niet voort? Voor een uitgebreide en voor leerlingen toegankelijke verklaring verwijs ik naar Williams (1997).

U zult bepaalde stappen uit dit stappenplan nog nader moeten toelichten. De eerste stap dient om een globale indruk te krijgen van de eigenschap en de omgeving waarin het moet functioneren. Vaak weet je echter nog niet precies welke aspecten van eigenschap en omgeving relevant zijn voor het bepalen van de functie. Dit is niet erg omdat gedurende het herontwerpproces je steeds gericht leert observeren, door het formuleren van hypothesen over de functie en de optimale eigenschap voor het vervullen van deze functie. Deze hypothesen richten namelijk de aandacht op relevante aspecten van de eigenschap en de omgeving (zie gedachtegang over de rekenliniaal). Bij dit stappenplan dient u leerlingen er tevens op te wijzen dat het vaak zinvol is om de bedachte eigenschap meteen te vergelijken met de feitelijke eigenschap en dus niet eerst een alternatief te bedenken (zie gedachtegang over rekenliniaal). Tot slot moeten leerlingen er op worden gewezen dat het vergelijken van een bedachte met de feitelijke eigenschap niet altijd eenvoudig is. Sommige aspecten van eigenschappen zijn namelijk niet direct toegankelijk voor observatie. In dit geval op grond van de hypothese voorspellingen moeten worden geformuleerd, die vervolgens in een experiment kunnen worden getoetst. In paragraaf 5 (lichtproducerend orgaan van de ponyvis) en paragraaf 7 (jaloezie bij de mens) geef ik hier voorbeelden van. Natuurlijk is het in een klassituatie niet altijd mogelijk om het experiment daadwerkelijk uit te voeren. Het is wel meestal mogelijk dat leerlingen zelf voorspellingen formuleren en een experiment bedenken waarmee deze voorspellingen kunnen worden getoetst.

5. Toepassingsfase I

De strategie voor het ontwikkelen van adaptieve verklaringen kunnen leerlingen nu gaan toepassen. Hiervoor kan onder meer weer het voorbeeld worden gebruikt dat leerlingen in de oriëntatiefase nog niet konden oplossen: de fotofoor van de ponyvis. Nu zouden leerlingen wel in staat moeten zijn om hiervoor een verklaring op te stellen (eventueel met een enkele hint van u). Ik werk een mogelijk denkproces van een leerling kort uit.

De fotofoor zou kunnen dienen om de vis bij te lichten in het schemerige water, zodat hij zijn weg beter kan vinden. Om deze functie goed te kunnen vervullen zou het lichtje aan de voorkant van de vis moeten zitten. Dit blijkt niet het geval te zijn. Wellicht zorgt de fotofoor er dan voor dat de ponyvissen elkaar makkelijker kunnen zien in het schemerdonker. Een verlichte buik is hiervoor misschien geschikt. Maar dan moet het licht wel vrij fel zijn omdat anders andere ponyvissen elkaar niet kunnen zien. Bovendien verwacht je dan ook dat het licht in het donker aangaat. Een dergelijke constructie heeft als nadeel dat ook roofvissen de ponyvis makkelijk opmerken. In werkelijkheid blijkt de fotofoor ook niet aan deze eisen te voldoen, ze zendt slechts een zwak licht uit en is 's nachts uit. Zou het licht dan misschien juist beschermen tegen roofvissen? Roofvissen kunnen de ponyvis normaal gesproken niet goed zien omdat het vrij donker water is. Maar roofvissen kunnen de ponyvis in principe makkelijk opmerken als ze onder de ponyvis doorzwemmen. Bij het minste licht van boven zien ze namelijk de schaduw (het silhouet) van de ponyvis tegen dit licht bewegen. Behalve als dit silhouet wordt uitgewist door een verlichte buik! Voor deze functie zit de fotofoor op de juiste plaats en is het haar schijnsel niet te zwak. Om na te gaan of de fotofoor inderdaad een silhouet van de vis zou kunnen uitvlakken zou je de ponyvis in een aquarium kunnen plaatsen in een donkere kamer. Zijn licht zou dan uit moeten zijn. Als je nu een zwak lichtje boven het aquarium ontsteekt zou de vis ook zijn 'lampje' moeten aandoen en zou het silhouet onder hem volledig moeten worden uitgewist.

Een tweede eigenschap waarop leerlingen de strategie kunnen oefenen is de staart van de mannelijke pauw. Deze eigenschap heb ik uitgekozen omdat leerlingen zich vaak nog onvoldoende realiseren dat eigenschappen uiteindelijk geselecteerd zijn op voortplantingssucces. Ze zullen vaak in eerste instantie aan overleven denken. Voor overleven zou de pauw beter af zijn met een veel

kleinere staart, zijn reproductief succes wordt echter verhoogd door een enorme staart omdat de vrouwtjes mannetje hierop selecteren.

6. Reflectiefase

Leerlingen hebben nu een strategie geleerd voor het opstellen van adaptieve verklaringen die gebaseerd is op twee vooronderstellingen over de rol van natuurlijke selectie bij de evolutie van eigenschappen. Dit zijn vereenvoudigde aannames die in de meeste gevallen goed zullen werken. Echter voor bepaalde type eigenschappen blijken deze aannames niet te kloppen. De strategie werkt hiervoor niet en zal dus moeten worden aangepast op grond van bijgestelde aannames. Aan de hand van enkele voorbeelden ontdekken leerlingen waarom en voor welk type eigenschappen ze de strategie en de aannames zullen moeten bijstellen.

Product of bijproduct van selectie?

Niet alle eigenschappen zijn het product van natuurlijke selectie. U kan leerlingen dit laten ontdekken door hen één of enkele van onderstaande vragen te laten beantwoorden.

- Waarom hebben we een kin?
- Waarom zijn onze botten wit?
- Waarom zijn onze bloedcellen rood?
- Waarom maakt ons hart geluid?

Voor bovengenoemde eigenschappen kunnen leerlingen waarschijnlijk niet vaststellen waarvoor ze zijn geselecteerd. Dit is ook niet vreemd omdat deze eigenschappen ook niet direct een product zijn van natuurlijke selectie. Het zijn allemaal voorbeelden van bijproducten (of bijeffecten) van eigenschappen waarvoor wel is geselecteerd (Dennett, 1995; Pinker, 1997). Onze kin bijvoorbeeld ontstond als bijproduct van selectiekrachten die inwerkten op kaakspieren en gebitselementen. Botten bestaan uit calciumzouten die het bot toevallig wit kleuren. Calcium is geselecteerd de kleur niet.

U kunt vervolgens de consequenties voor de strategie aangeven. Bijproducten ontstaan door toevalsprocessen. U kan leerlingen vragen wat voor soort eigenschappen door toeval kunnen ontstaan (daarbij verwijzend naar de herintroductie van de selectietheorie). Leerlingen moeten zich dan realiseren dat door toeval alleen heel eenvoudige eigenschappen kunnen ontstaan, zoals de rode kleur van bloedcellen. Het is echter uiterst onwaarschijnlijk dat complexere eigenschappen, zoals de bloedcel zelf, alleen door toeval tot stand zijn gekomen, hier moet selectie een rol hebben gespeeld. Voor de strategie betekent dit dus dat als het een zeer eenvoudige eigenschap betreft dat het zinvol is om eerst na te gaan of het bijproduct zou kunnen zijn, als het een complexe eigenschap betreft dan kan met de gebruikelijke strategie een adaptieve verklaring worden opgesteld.

Evolutionair begrensde of onbegrensde optimaliteit?

Tot nu toe zijn leerlingen er vanuit gegaan dat selectie leidt tot optimale eigenschappen. Optimaal was gedefinieerd als de eigenschap uit set van alternatieven met de minste nadelen. Omdat men niet weet welke variaties er daadwerkelijk in een populatie zijn voorgekomen moet een inschatting worden gemaakt wat mogelijk zou zijn geweest. De impliciete aanname die leerlingen hier nu voor hanteren is waarschijnlijk redelijk optimistisch, er wordt vanuit gegaan dat, binnen grenzen van het biologisch mogelijke, de meeste denkbare alternatieven ook kunnen zijn ontstaan. Deze vooronderstelling is veelal adequaat, maar er zijn eigenschappen waarvan de set van mogelijke alternatieven sterk begrensd wordt door hun evolutionaire historie (Ridley, 2004; Williams, 1997). Door leerlingen adaptieve verklaringen te laten opstellen voor één of enkele van onderstaande eigenschappen ontdekken ze dit.

Waarom moeten baby's door zo'n kleine opening geboren worden?

Waarom gaat de zaadleider bij mannen met een lange lus over de urineleider heen?

Leerlingen zullen ontdekken dat deze eigenschappen niet optimaal zijn, in hun betekenis van het woord. Ze kunnen met andere woorden zelf wel een betere oplossing bedenken. De functionele absurditeit van het urogenitaalstelsel kan aan de hand van het tuinman-probleem worden geïllustreerd (Williams, 1997). De tuinman kan niet bij de struiken omdat de tuinslang achter een boom langs loopt. Dit probleem lijkt eenvoudig oplosbaar, de tuinman hoeft alleen maar om de boom heen terug te lopen om de rest van de tuin te kunnen sproeien. Een veel minder zinvolle oplossing is een verlengstuk aan de slang te koppelen, toch is dat precies wat er in de evolutie van het mannelijk urogenitaalstelsel is gebeurd.

De vraag wordt nu waarom deze betere oplossingen dan niet zijn geselecteerd. Waarschijnlijk komen leerlingen hier niet helemaal zelf uit. Hiervoor zal u iets over evolutie moeten vertellen waarbij de tuinman-analogie goed kan worden gebruikt. De tuinman kan als hij merkt dat hij een verkeerde keuze heeft gemaakt deze ongedaan maken. Hij had zelfs kunnen voorzien dat hij verkeerd uit zou komen en al eerder passende maatregelen kunnen nemen. Evolutie heeft echter beide mogelijkheden niet. Het moet voortbouwen op een eenmaal ingeslagen weg en moet het doen met wat al aanwezig is (kan in die zin niet terug). Bovendien heeft het geen vooruitziende blik, toekomstige gevolgen van veranderingen nu spelen geen enkele rol.

Soms kunnen in principe betere oplossingen dus niet ontstaan of worden geselecteerd door de evolutionaire geschiedenis van een eigenschap. Dit worden evolutionaire beperkingen genoemd (Williams, 1997). De evolutie van het geboortekanaal bij vrouwen en het urogenitaalstelsel van mannen kan nu kort worden uiteengezet. Er kunnen nu nog andere voorbeelden worden gegeven van schijnbare sub-optimale of zelfs disfunctionele eigenschappen van mensen. Je kunt dan denken aan eigenschappen als: Waarom kunnen we ons makkelijk verslikken? (gaan elk jaar toch weer mensen dood aan); Waarom hebben onze ogen een blinde vlek? Waarom hebben we maar twee ogen, drie (bijvoorbeeld één in ons achterhoofd) zou toch beter zijn? ⁶

Nu leerlingen inzien dat door de evolutionaire geschiedenis de set van mogelijke eigenschappen wordt begrensd, kan worden nagegaan wat dit betekent voor de strategie. In eerste instantie blijft het zinvol om uit te gaan van de optimaliteitsaannname die leerlingen al hanteerde, alles wat biologisch denkbaar is ook ontstaan en daaruit wordt de optimale eigenschap geselecteerd. Wanneer echter blijkt dat na eventueel herhaalde bijstelling van de functie de optimale eigenschap niet overeenkomt met de feitelijke eigenschap wordt het zinvol er vanuit te gaan dat optimaliteit begrensd wordt door evolutionaire beperkingen (Dennett, 1995). Deze beperkingen kunnen niet middels adaptief denken zelf worden opgespoord, hiervoor zijn andere strategieën nodig waarover leerlingen veelal niet kunnen beschikken (Ridley, 2004). In dit geval zullen ze dus de evolutionaire geschiedenis van eigenschap moeten opzoeken.

In deze reflectiefase zijn de vooronderstellingen van adaptief denken genuanceerd en zijn de consequenties voor de strategie beschreven. Nu wordt het mogelijk, en zijn leerlingen waarschijnlijk ook nieuwsgierig, om na te gaan hoe je deze strategie kan toepassen voor het opstellen van adaptieve verklaringen voor psychologische eigenschappen.

7. Toepassingsfase II

Darwin voorspelde al in z'n *Origin of Species* dat de psychologie radicaal zou veranderen wanneer zijn evolutietheorie zou worden toegepast op de menselijke geest. Deze revolutie heeft nog

⁶ Voor een aardig overzicht van deze 'ontwerpfouten' en de daarbij behorende evolutionaire geschiedenis verwijs ik naar Williams (1997) en Vroon (1997) (rijk geïllustreerd). In Janssen (2006) wordt nader ingegaan op evolutionaire (en andere) beperkingen en hoe hiermee om te gaan in het biologieonderwijs.

een tijdje op zich laten wachten maar met de komst van de evolutionaire psychologie in het begin van de jaren negentig lijkt ze toch echt door te zetten (Pinker, 1997)⁷. Hier wordt adaptief denken toegepast op psychologische eigenschappen. Het toepassen van adaptief denken op de menselijk geest veronderstelt een opvatting van de menselijke geest die sterk afwijkt van de gangbare opvattingen van leerlingen hierover. Leerlingen leren dan ook niet alleen hoe en wanneer ze de geleerde strategie kunnen toepassen voor het opstellen van verklaringen over psychologische eigenschappen. Ze leren tevens de veronderstellingen over de menselijke geest kennen die aan de evolutionaire psychologie ten grondslag liggen.

Toepassen van adaptief denken op de eigenschap jaloezie.

U kunt dit nieuwe toepassingsgebied van adaptief denken op de hierboven beschreven wijze inleiden. Vervolgens kunnen leerlingen zelf gaan proberen adaptieve verklaring voor een psychologische eigenschap op te stellen. Een psychologische eigenschap die zich hier goed voor leent is jaloezie omdat het herkenbaar en interessant is voor leerlingen. U kunt leerlingen vragen hiervoor een adaptieve verklaring op te stellen. Leerlingen zullen in eerste instantie waarschijnlijk met veel verschillende verklaringen komen omdat ze onder meer uit gaan van verschillende vormen van jaloezie. De één denkt bijvoorbeeld aan jaloers zijn op de gymmen van de ander, de ander aan jaloers zijn op je vriendin die met een andere jongen flirt.

Op grond van deze ervaring kunnen leerlingen, al een eerste belangrijke regel formuleren voor het opstellen van adaptieve verklaring over psychologische eigenschappen. Het is heel belangrijk precies te specificeren over welke verschijnselen je het hebt. Immers, niet alle verschijnselen die onder het begrip jaloezie kunnen vallen zijn van dezelfde orde. Niet alleen kunnen hier andere adaptieve verklaringen aan ten grondslag liggen, het is ook mogelijk dat voor een bepaalde categorie van verschijnselen juist geen adaptieve verklaring kan worden gegeven omdat selectie geen rol heeft gespeeld bij het tot stand komen van deze verschijnselen⁸

U kunt nu aan de hand van de voorbeelden die leerlingen hebben gegeven het brede domein van jaloezie inperken tot seksuele jaloezie en leerlingen hiervoor opnieuw een adaptieve verklaring laten bedenken. Ik verwacht dat leerlingen in eerste instantie deze vraag vrij globaal en ongeveer als volgt zullen beantwoorden. Jaloezie is een alarmsignaal dat er voor zorgt dat je meer je best gaat doen voor de ander en/of de ander voor jou, waardoor uiteindelijk je reproductief succes wordt verhoogd. Dit algemene beeld kan nu nader worden genuanceerd. Redenerend vanuit de selectietheorie lopen mannen en vrouwen namelijk verschillende risico's wanneer hun partner met de ander omgaat. Met enige hulp van u kunnen leerlingen deze risico's zelf ontdekken. Mannen zijn nooit helemaal zeker van hun biologische vaderschap en lopen dus het risico dat hun partner zwanger wordt van de ander. Een vrouw kan haar voortplantingssucces verhogen wanneer ze een betrouwbare partner kiest die haar helpt bij de opvoeding (in de ruime zin van het woord), zij loopt dus het risico dat haar partner er vandoor gaat met de ander en haar dus niet meer meehelpt met de opvoeding (Buss, 2000).

Nu leerlingen met deze risico's bekend zijn kunnen ze preciezer gaan voorspellen waarover mannen en vrouwen jaloers zullen zijn. Te verwachten valt dat mannen jaloers zullen worden als hun partner op seksueel vlak ontrouw is. Vrouwen daarentegen zouden vooral jaloers moeten zijn als hun partner op emotioneel ontrouw is. Deze hypothesen zijn door evolutionair psychologen ook empirisch onderzocht middels vragenlijsten en voorlopig bevestigend beantwoord (Buss, 2000). Daarbij werden niet alleen antwoorden op vragen gescoord maar werden ook fysiologische reacties gemeten (o.a. de hartslag) tijdens het invullen van de vragen. Leerlingen kunnen ook zelf hun voorspellingen op kleine

⁷ In de jaren zeventig werd hier al een eerste serieuze aanzet voor gegeven door E.O. Wilson onder de naam sociobiologie. Deze stroming is echter door de evolutionaire psychologie bekritiseerd om redenen die in de tekst nog zullen worden uiteengezet.

⁸ Voorzanger (1987) illustreert de kwalijke gevolgen van onheldere definities en betekenisverschuivingen bij het opstellen van adaptieve verklaringen aan de hand van vele toegankelijke voorbeelden (o.a. agressie, incest en altruïsme).

schaal toetsen door een aantal vragen te formuleren waarmee ze hun voorspelling kunnen toetsen en deze vragen voorleggen aan een aantal mannen en vrouwen (klasgenoten en eventueel anderen).

Criteria ontdekken waaraan psychologische eigenschappen moeten voldoen.

Deze eerste verkenning van adaptief denken over psychologische eigenschappen roept bij (sommige) leerlingen waarschijnlijk de vraag op of alle psychologische eigenschappen wel adaptief kunnen worden verklaard. Kunnen eigenschappen als tv-kijken, liefde voor muziek, geduld etc. allemaal door natuurlijke selectie worden verklaard? Leerlingen kunnen een eerste antwoord op deze vraag krijgen door na te gaan aan welke criteria eigenschappen moeten voldoen die het product zijn van natuurlijke selectie. Drie criteria kunnen in eerste instantie waarschijnlijk door hen zelf worden opgesteld, op grond van de voorafgaande activiteiten. Van psychologische eigenschappen die het product zijn van natuurlijke selectie verwacht je dat ze (Pinker, 1997):

1. Een bijdrage leveren aan het overleven en reproductief succes van het organisme.
2. Genetisch bepaald zijn.
3. Bij de meeste mensen voorkomen

Het tweede en derde criterium behoeven nog enige toelichting. Genetisch bepaald heeft in evolutionaire psychologie een andere betekenis dan leerlingen hier veelal aan toekennen. Genetisch bepaald betekent niet, zoals leerlingen vaak denken, dat er één of meerdere genen coderen voor de betreffende eigenschap. Dit beeld is om verschillende redenen onjuist. Ten eerste coderen genen niet voor een eigenschap, maar voor eiwitten die een rol spelen bij het tot stand komen van een eigenschap. Ten tweede komen vrijwel alle eigenschappen tot stand in interactie tussen genen en omgeving⁹. In die zin bestaan er dus geen eigenschappen die alleen genetisch bepaald zijn, alle eigenschappen zijn zowel genetisch als omgevingsbepaald. Als evolutionaire psychologen spreken over genetisch bepaald dan bedoelen ze dat genetische verschillen de belangrijkste oorzaak zijn voor eigenschapsverschillen. Zo is de oogkleur van een individu het product van heel veel genen en heel veel omgevingsfactoren maar het verschil in oogkleur tussen twee mensen of tussen een mens en andere diersoort is het gevolg van een genetisch verschil.

Ook het derde criterium zal nader moeten worden toegelicht. Een succesvolle eigenschap zal, indien erfelijk, zich verspreiden over de hele populatie en uiteindelijk over de hele soort. Zoals wij allemaal een maag hebben zo hebben we bijvoorbeeld ook allemaal een mechanisme waarmee we leden van de menselijke soort kunnen herkennen. Dit sluit uiteraard kleine variaties in deze eigenschappen niet uit. Net zoals er geen maag hetzelfde is, zo zijn er ook variaties in psychologische eigenschappen die het product zijn van selectie. Een bepaalde categorie eigenschappen vormt een uitzondering op het criterium van universaliteit: seksegebonden eigenschappen. Leerlingen kunnen waarschijnlijk zelf bedenken dat seksuele selectie er toe leidt dat mannen en vrouwen juist op bepaalde eigenschappen sterk verschillen. Dit geldt dus niet alleen voor lichamelijke eigenschappen (geslachtskenmerken) maar ook voor sommige psychologische eigenschappen (bv. verschillen in waarop ze jaloers worden, waar ze seksueel door worden aangetrokken etc.)

Onderscheid tussen gedrag en psychologische mechanismen voor gedrag

U kan leerlingen vervolgens uitnodigen deze criteria toe te passen op een bijzondere menselijke eigenschap: gebruik van taal. Ik heb dit voorbeeld gekozen omdat aan de hand van dit voorbeeld het idee kan worden geïntroduceerd dat er een verschil is tussen een psychologisch mechanisme dat gedrag mogelijk maakt en concreet gedrag. Hiermee kunnen de criteria worden aangescherpt en kan een belangrijke vooronderstelling van de evolutionaire psychologie over de menselijke geest worden geïntroduceerd.

Leerlingen zullen waarschijnlijk unaniem van mening zijn dat het gebruik van taal voldoet aan criterium 1 en 3. Maar veel leerlingen zullen waarschijnlijk twijfelen of taal wel een genetisch bepaald is. Veel leerlingen zullen er vanuit gaan dat je een taal leert spreken, dat zit niet in de genen. U kan

⁹ In Janssen (2006) worden deze misvattingen van leerlingen uitgewerkt en wordt aangegeven hoe u hiermee om kunt gaan in de klas.

leerlingen deze opvatting nader laten nuanceren door te vragen een argument te bedenken dat pleit voor en tegen deze opvatting. Dat taal is aangeleerd blijkt bijvoorbeeld uit het feit dat leerlingen die opgroeien in Amerika een ander taal spreken dan leerlingen die opgroeien in Nederland. Dat taal daarentegen ook een genetische component bezit blijkt onder meer uit het eenvoudige feit dat je een hamster nooit kunt leren praten, ook al zou deze beschikken over een adequaat strottehoofd en bijbehorende stembanden.

Deze argumentatie roept waarschijnlijk bij leerlingen de vraag op wat van de taal nu genetisch is bepaald (zoals bedoeld door evolutionair psychologen) wat is aangeleerd? U kunt nu een onderscheid maken tussen ons taalmechanisme en concreet taalgedrag. Concreet taalgedrag is grotendeels aangeleerd en niet genetisch bepaald. Leerlingen zullen waarschijnlijk ook wel begrijpen waarom dit niet goed zou zijn. Dit zou namelijk bijvoorbeeld betekenen dat we met een bepaalde woordenschat worden geboren die niet meer verder kan worden uitgebreid. Hierdoor zouden we erg beperkt zijn. Ons taalmechanisme daarentegen is niet aangeleerd maar genetisch bepaald (Pinker, 1995). Dit mechanisme bestaat uit algemene regels voor het produceren van taal. De linguïst Noam Chomsky heeft deze zeer algemene regels in kaart gebracht, de zgn. universele grammatica. Zonder dit mechanisme zouden we geen taal kunnen leren. U kunt het verschil tussen het taalmechanisme en concreet taalgedrag verhelderen met een computer-analogie. Psychologische mechanismen kun je vergelijken met computerprogramma's zoals bijvoorbeeld Word. Zoals Word bestaat uit een set van instructies waarmee het mogelijk wordt veel verschillende teksten te produceren, zo bevatten psychologische mechanismen de instructies waarmee het mogelijk wordt een grote variëteit aan gedrag te leren/produceren.

De eerder genoemde criteria kunnen nu worden genuanceerd. Het zijn psychologische mechanismen die universeel en genetisch bepaald zijn. Het zijn dan ook deze mechanismen die een adaptieve verklaring behoeven. Concreet gedrag wordt veelal bepaald door doelen, opvattingen van mensen en de omstandigheden waarin ze zich bevinden. Deze factoren zijn vaak erg individueel en cultuur gebonden, waardoor mensen vaak sterk verschillen in hun concrete gedrag. Het is dus niet zinvol en bovendien onjuist, zoals aanvankelijk de sociobiologen in de jaren zeventig deden, om voor elke vorm van concreet gedrag een adaptieve verklaring te gaan zoeken (Pinker, 1997).

Hiermee wordt ook impliciet een visie op de menselijke geest voorgesteld die afwijkt van wat leerlingen veelal denken. Deze visie kan nu voor leerlingen worden geëxpliciteerd. Leerlingen zullen er, evenals veel sociale wetenschappers, veelal vanuit gaan dat onze geest bij onze geboorte grotendeels leeg is en dat deze door ervaring en door leren langzaam gevuld wordt. Dit in tegenstelling tot de meeste dieren waarvan veelal wordt aangenomen dat deze met enkele instincten of reflexen worden geboren en weinig meer kunnen bijleren. Binnen de evolutionaire psychologie daarentegen wordt er juist vanuit gegaan dat wij met een groot aantal verschillende psychologische mechanismen worden geboren en het zijn juist deze mechanismen die het leren mogelijk maken (Pinker, 1997).

Geselecteerd voor het computertijdperk of het stententijdperk?

De criteria voor het toepassen van adaptief denken kunnen nu nog verder worden aangescherpt. Leerlingen zullen er wellicht nog stilzwijgend vanuit gaan, evenals sociobiologen in de jaren zeventig, dat onze psychologische eigenschappen zijn aangepast voor overleven en reproductie in de huidige tijd (Pinker, 1997). Dit is niet het geval. Onze psychologische mechanismen zijn niet aangepast aan het computertijdperk maar aan het leven in het stententijdperk. U kunt leerlingen dit laten ontdekken door hen een verklaring te laten geven voor de volgende verschijnselen: Hoe verklaar je dat mensen veelal van vet eten houden terwijl dit toch ongezond voor hen is (zie introductie voor verklaring); Waarom zijn heel jonge kinderen in het algemeen wel bang voor slangen en niet voor stopcontacten?

U kunt naar aanleiding van deze vragen iets vertellen over de evolutie van de mens. Evolutiebiologen laten het geslacht *Homo* waartoe wij behoren veelal beginnen met de *Homo habilis* die waarschijnlijk 2 miljoen jaar geleden is ontstaan. De moderne mens, *Homo sapiens sapiens*,

verscheen naar verwachting zo'n 200.000 jaar geleden op het toneel. 99% (!) van hun tijd hebben vertegenwoordigers van ons geslacht waarschijnlijk als jager-verzamelaars geleefd (Pinker, 1997). Onze psychologische mechanismen zijn dan ook geselecteerd voor overleven en voortplanting in een jagers-verzamelaars cultuur. Mensen zijn echter in staat geweest hun leefomgeving in een relatief zeer korte tijd door technologische ontwikkelingen radicaal te veranderen (de industriële revolutie is nog maar 200 jaar geleden begonnen). Aangezien natuurlijke selectie een heel traag proces is ons brein niet in alle opzichten voorbereid op het leven in een industriële samenleving.

Dit gegeven biedt weer een extra criterium waaraan een psychologische eigenschap moet voldoen wil deze in aanmerking komen voor een adaptieve verklaring. Het is alleen zinvol selectieve verklaringen op te stellen voor psychologische mechanismen die een bijdrage leverden aan overleven en reproductief succes in een jager-verzamelaars cultuur. Leerlingen kan worden gevraagd welke psychologische eigenschappen uit het volgende rijtje waarschijnlijk *niet* direct het product zijn van natuurlijke selectie. Ze worden zo gestimuleerd de geleerde criteria toe te passen: (1) herkennen van soortgenoten; (2) jaloezie; (3) schrijven; (4) schaken; (5) piano spelen; (6) bang zijn voor slangen; (7) herkennen van de status van iemand in een groep; (8) rechtvaardigheidsgevoel; (9) lachen; (10) afkeer van uitwerpselen.

Leerlingen hebben nu geleerd dat niet iedere psychologische eigenschap in aanmerking komt voor een adaptieve verklaring. Ze kennen enige criteria waaraan de eigenschap moet voldoen en hebben een strategie geleerd waarmee ze een adaptieve verklaring kunnen opstellen. De criteria en strategie zorgen er voor dat leerlingen beter onzinnige en zinnige adaptieve verklaringen over psychologische eigenschappen kunnen onderscheiden. De verworven kennis zal echter ook weer nieuwe vragen oproepen over de wetenschappelijke en morele status van adaptieve verklaringen. Een paar voor de hand liggende kritische vragen worden hier tot slot aan de orde gesteld.

Wetenschappelijke houdbaarheid van een adaptieve verklaring

Leerlingen hebben nu geleerd dat het in de evolutionaire psychologie gaat om psychologische mechanismen die in jager-verzamelaarscultuur zijn geselecteerd. Dit roept wellicht de vraag op naar hoe zeker een adaptieve verklaring over een psychologische eigenschap eigenlijk is. U kunt leerlingen vragen welke benodigde informatie moeilijk te verkrijgen is. Enerzijds zal het duidelijk zijn dat we nog weinig weten over de psychologische mechanismen zelf. In dit geval is het ook moeilijker na te gaan waarvoor ze zijn geselecteerd. Immers, zoals ze eerder hebben ervaren stel je vast waarvoor iets geselecteerd op grond van kennis van de structuur van de eigenschap. Anderzijds wordt vooral informatie gemist over de omgeving (incl. samenlevingsvorm) waarin onze voorouders leefden in de tijd dat de eigenschap is geselecteerd.

U kunt hierbij aangeven dat over onze toenmalige leefomgeving veel wordt gespeculeerd (zie Voorzanger (1987) voor een toegankelijke presentatie van enkele belangrijke theorieën). Sommige theorieën beweren bijvoorbeeld dat onze voorouders monogaam waren, in andere wordt er vanuit gegaan dat ze polygaam waren. Dit verschil maakt veel uit wanneer we bijvoorbeeld een adaptieve verklaring willen opstellen voor jaloezie. Leerlingen kunnen dit zelf nagaan. Er zijn ook respectabele theorieën die er zelfs vanuit gaan dat we lange tijd niet op de savanne hebben geleefd maar water- of tenminste kustbewoners waren. Het spreekt voor zich dat in een dergelijke omgeving veel eigenschappen weer een heel andere selectieve betekenis krijgen. Dit gebrek aan informatie, dat inherent is aan alle historische verklaringen, zorgt er voor dat adaptieve verklaringen van psychologische eigenschappen altijd een voorlopig karakter hebben en dit ook veelal zullen houden (Looren de Jong & Van der Steen, 1998).

Verklaring ook rechtvaardiging?

Sommige leerlingen zullen ook morele bezwaren formuleren tegen de evolutionaire psychologie. Deze morele bezwaren zijn ook in het debat over evolutionaire psychologie vaak geuit (Rose & Rose, 2000). Aan de hand van het volgende voorbeeld kan u deze problematiek introduceren. Laten we even aannemen dat overspel bij mannen en zorg voor kinderen door vrouwen

adaptief zouden kunnen worden verklaard. Betekent dit nu dat mannen vreemd mogen gaan en vrouwen beter thuis kunnen blijven bij de kinderen? U kan leerlingen vragen hierover hun mening te geven en deze te beargumenteren. De meeste leerlingen zullen het hier waarschijnlijk niet mee eens zijn. Twee type argumenten zullen waarschijnlijk worden gegeven. Ik zal hier beide type argumenten in hun algemene vorm weergeven.

Het eerste, logische, argument is dat uit iets wat van nature zo is nog niet volgt dat het ook zo behoort te zijn (Dennett, 1995). Dus als mannen vreemd gaan en dat hun reproductief succes verhoogt betekent dat nog niet automatisch dat ze dit ook behoren te doen, of dat het goed is dit te doen. Anders gezegd uit feiten volgen niet automatisch waarden en normen. Dit logische argument veronderstelt nog een tweede, biopsychologisch, argument (Pinker, 1997). Genen bepalen weliswaar in belangrijke mate de psychologische mechanismen. Maar psychologische mechanismen maken alleen maar gedrag mogelijk, ze bepalen het niet volledig (zie: gedrag of psychologische mechanisme). Er zijn vele andere factoren waaronder de keuzevrijheid van de persoon zelf die bepaalt welk gedrag iemand vertoont. Een man kan zelf kiezen of hij vreemd wil gaan. Hij heeft dus ook een eigen verantwoordelijkheid in dit verband. Mensen zijn geen slaaf van hun genen.

Met deze bespreking van kritische kanttekeningen hebben leerlingen een nog beter inzicht verworven in de mogelijkheden en beperkingen van adaptief denken. Dat wil niet zeggen dat ze nu definitieve antwoorden hebben gekregen. Daarvoor is de problematiek te complex. De kans is groot dat deze activiteiten weer leiden tot nieuwe en meer genuanceerde vragen. Als dit gebeurt is deze onderwijsaanpak in zijn opzet geslaagd, dan hebben leerlingen namelijk ideeën verworven die hen stimuleren verder te leren.

Literatuur

- Dawkins, R. (1987). *The blind watchmaker*. NY: Norton.
- Dennett, D. (1995). *Darwin's dangerous idea*. New York: Simon & Schuster.
- Buss, D. (2000). *Gevaarlijke passies*. Amsterdam: Spectrum.
- Janssen, F & Voogt, P. (1997). *Evoluтиetheorie in het voortgezet onderwijs*. In Hoekstra, W. & Beer W. *Evoluтиetheorie. Verslag symposium evolutietheorie*. (p. 48-57). Amsterdam: Biologische Raad/NIBI.
- Janssen, F. (1999). *Ontwerpend leren in het biologieonderwijs. Uitgewerkt en beproefd voor immunologie in het voortgezet onderwijs*. Academisch proefschrift. Utrecht: CD-β Press.
- Janssen, F. (2006). *Gebiologeerd. Geïnspireerd blijven leren en onderwijzen over de natuur*. Utrecht/Zutphen (verschijnt in december 2006).
- Klaassen, C. (1995). *A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity*. Utrecht: CD-β Press.
- Maynard Smith, J. & E. Szathmary (1999). *The origins of life*. Oxford: University Press.
- Nesse, R. & Williams, G. (1995). *Why we get sick*. NY: Times Books.
- Parker, G.A. & J. Maynard Smith (1990). *Optimality theory in evolutionary biology*. *Nature*, 348, 27-33.
- Pinker, S (1997). *How the mind works*. NY: Penquin Putnams Inc.
- Rose, H. & S. Rose (2000). *Alas, poor Darwin. Arguments against evolutionairy psychology*. New York: Harmony Books.
- Ridley (2004). *Evolution*. London. Blackwell Science.
- Tallon, I., Briga, M., Moens, G., Monbaliu & Woensel, C. Van (red.) (2005). *Evolutie vandaag. Hoe de dingen ontstaan en waarom ze veranderen*. Brussel: VuBpress.
- Voorzanger, B. (1987). *Woorden, waarden en de evolutie van gedrag*. Amsterdam: VU uitgeverij.
- Vroon, P. (1997). *Prutswerk*. Amsterdam: Ambo.
- Williams, G. (1997). *De natuur als ontwerper*. Amsterdam.: Contact.

http://cogweb.ucla.edu/ep/EP-primer_contents.html (goede introductie in de evolutionaire psychologie)

<http://www.stephenjagould.org/books/html>. (hier kun je gratis een aantal goede boeken over evolutie down loaden)