

## Ontwikkeling van het begrip natuurlijke selectie in havo/vwo

C. L. Geraedts en K. Th. Boersma

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen  
Universiteit Utrecht

### Summary

*Teaching the topic of natural selection often fails to give students an adequate conception of the evolutionary process. It has been reported that many students have Lamarckian ideas about the origin of species. Attempts were made to design an effective learning strategy to teach this concept. The core part of this teaching module is formed by a sequence of questions which leads to the 'construction' of the theory of natural selection. Other elements of the module are: clarification of the difference between acquired and genetic traits, and a simulation experiment previously described by Stebbins & Allen (1975). The module was tested in upper secondary schools. During instruction, a high percentage of students developed a neodarwinistic or darwinistic view on the origin of species. Throughout the study, true Lamarckian conceptions were hardly found. It is argued that these conceptions are not incorporated in consistent explanatory frameworks, as has been stated by other authors.*

### 1. Inleiding

Evolutie wordt door biologen gezien als één van de centrale thema's binnen de biologie. De evolutietheorie geeft samenhang en structuur aan het vakgebied (Dobzhansky, 1973). De onopvallende plaats die het thema evolutie inneemt in de examenprogramma's biologie voor havo en vwo staat in schril contrast met de waarde die wetenschappers aan dit onderwerp toekennen. In deze situatie begint echter geleidelijk aan verandering te komen. Na de invoering van de tweede fase zal het onderdeel evolutie voor het eerst daadwerkelijk getoetst worden in het CSE. Ook bij het vak algemene natuurwetenschappen (ANW) wordt aandacht besteed aan evolutie.

Deze ontwikkeling brengt de vraag met zich mee hoe onderwijs over evolutie moet worden vormgegeven. Evolutie wordt door veel leerlingen en docenten lastig gevonden (Kelly & Monger, 1974). Bovendien kunnen bij evolutie kunnen allerlei levensbeschouwelijke problemen een rol spelen (Hendrikse & Boersma, 1999). Onderzoek van Johnstone en Mahmoud (1980) laat echter zien dat met name het onderdeel *the mechanisms of evolution* problemen oplevert. Bij het behandelen van natuurlijke selectie, de wijze van soortvorming, hebben we voornamelijk te maken met problemen van conceptuele en niet zozeer levensbeschouwelijke aard (Bishop & Anderson, 1990; Janssen & Voogt, 1997). Hoewel het selectieprincipe op het eerste gezicht niet erg ingewikkeld lijkt te zijn, blijkt onderwijs hierover vaak niet het gewenste effect te hebben (o.a. Brumby, 1979, 1984; Halldén, 1988). Recent onderzoek naar het functioneren van een door IDO/VU ontwikkeld lespakket over evolutie (Paul, 1997) laat zien dat na afloop van de lessenreeks slechts één op de vier leerlingen denkbeelden hanteert die als darwinistisch kunnen worden aangemerkt (Hendrikse & Boersma, 1999). Het onderzoek waarover hier wordt gerapport-

teerd richt zich specifiek op de hierboven genoemde problematiek ten aanzien van het leren van het begrip natuurlijke selectie.

De afgelopen decennia is veel vakdidactisch onderzoek verricht met betrekking tot evolutie. Een groot deel van het onderzoek heeft betrekking op leerlingdenkbeelden over het ontstaan van soorten (Baumann, Frerichs & Kattmann, 1999; Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1979, 1984; Clough & Wood-Robinson, 1985; Deadman & Kelly, 1978; Demastes, Good & Peebles, 1996; Demastes, Settlage & Good, 1995; Ferrari & Chi, 1998; Greene, 1990; Halldén, 1988; Jiménez-Aleixandre, 1992; Samarapungavan & Wiers, 1997; Zuzovsky, 1994). Ook al verschillen de onderzoekspopulaties sterk van elkaar wat betreft leeftijd, nationaliteit en opleidingsniveau, uit deze publicaties komt een betrekkelijk uniform beeld naar voren van de denkbeelden die leerlingen over soortvorming zouden hanteren.

De belangrijkste van deze denkbeelden zijn: (1) individuele organismen passen zich aan, (2) deze aanpassingen (veranderingen) worden door de omgeving veroorzaakt en (3) vervolgens doorgegeven aan de nakomelingen. Een dergelijke instructietheorie (de omgeving instrueert het organisme) wordt in de literatuur veelal aangeduid als *lamarckistisch* (fig. 1a). Sommige leerlingen hebben wel een bepaald begrip van de genetische basis van eigenschappen, maar hanteren daarnaast onjuiste denkbeelden over mutaties: (4) mutaties (veranderingen in het genoom) worden door de omgeving veroorzaakt en (5) zijn per definitie voordelig. Ook gaan sommige leerlingen er van uit dat mutaties direct tot expressie komen tijdens het leven van een individu (6). In deze redenering valt weer een instructiemechanisme te herkennen (in dit artikel wordt de term *gerichte mutagenese* gebruikt, fig. 1b).

Volgens veel auteurs zijn genoemde denkbeelden wijd verspreid en hebben we te maken met hardnekkige misconcepten die het aanleren van een neodarwinistische visie op soortvorming in de weg staan. In de discussie over leerlingdenkbeelden zijn belangrijke vragen: in welke mate worden deze denkbeelden veroorzaakt door instructie zelf, hoe hardnekkig zijn deze opvattingen en in welke mate zijn ze verankerd in een coherent netwerk van andere concepties. Afhankelijk van het standpunt van de onderzoeker ten aanzien van deze vraagstukken worden leerlingdenkbeelden aangeduid als misconcepten, preconcepten, naïeve concepten of alternatieve concepten.

In het kader van de hierboven geschetste problematiek richt dit onderzoek zich op de volgende probleemstelling: *welke leerstrategie is effectief voor het leren van natuurlijke selectie?* Met leerstrategie bedoelen we een opeenvolging van leeractiviteiten die moet leiden tot de gewenste begripsontwikkeling. In de didactische literatuur wordt een aantal suggesties gedaan om het leren van natuurlijke selectie effectief te laten verlopen. Een aantal van deze aanbevelingen, alsmede een aantal vakinhoudelijke inzichten, hebben als uitgangspunt gediend bij het ontwerpen van een lesscenario over natuurlijke selectie. Bij het beantwoorden van bovenstaande onderzoeksvraag zijn ook empirische gegevens betrokken door het lesscenario te testen in de praktijk.

## 2. Onderzoeksopzet

### Opzet

Na bestudering van de vakdidactische literatuur over de problemen die zich voordoen bij het leren van natuurlijke selectie is een inventarisatie gemaakt van de suggesties die in de literatuur worden gedaan ter verbetering van het

evolutieonderwijs. Op basis van vakinhoudelijke inzichten enerzijds en gebruik makend van de suggesties uit de literatuur anderzijds is een lesscenario met betrekking tot natuurlijke selectie ontwikkeld. Dit lesscenario is vervolgens beproefd op een tweetal scholen. Een eerste versie van het lesmateriaal is getest in drie 4 vwo klassen (lesronde 1). De resultaten van deze eerste lesronde hebben tot een bijstelling van het lesscenario geleid. De tweede versie van het lesmateriaal is getest in vier 4 havo klassen op een andere school (lesronde 2). Niet alleen zijn er na de eerste lesronde in het lesscenario veranderingen aangebracht, ook de onderzoeksopzet is enigszins aangepast. Daarom worden hier alleen de resultaten van de tweede lesronde besproken. De gegeven citaten zijn afkomstig uit beide lesronden.

In totaal hebben 109 leerlingen uit 4 havo aan het onderzoek deelgenomen. Voorafgaand aan de uitvoering van de lessen vond overleg plaats met de betrokken docenten over de lesinhoud en opzet. Enkele dagen voor aanvang van de lessen kregen zij het lesmateriaal inclusief docentenhandleiding toegestuurd. Om het verloop van de lessen zo min mogelijk te beïnvloeden zijn alle lessen door de docenten zelf gegeven. Wel is één van de auteurs (C.G.) bij de lessen aanwezig geweest en heeft hij geassisteerd bij de practicumlessen. De onderzoeksschool heeft geen religieuze grondslag. Het is daarom onwaarschijnlijk dat levensbeschouwelijke problemen een grote belemmering hebben gevormd bij het ontwikkelen van een neodarwinistische visie op evolutie.

Er is geen onderzoek verricht naar de voorkennis van de leerlingen over de genetica. Echter, gezien het feit dat het lesscenario is uitgetest binnen het vak ANW, mogen we veronderstellen dat de leerlingen wat dit betreft een heterogene groep vormen. Er hebben leerlingen uit alle vier de keuzeprofielen van het studiehuis aan het onderzoek deelgenomen.

### *Data*

Om een beeld te krijgen van het functioneren van het lesscenario, zijn op een aantal meetmomenten (T1 t/m T5) onderzoeksgegevens verzameld. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de leeractiviteiten en de onderzoeksactiviteiten die hebben plaatsgevonden. Voorafgaand aan de lessen is een klein aantal leerlingen geïnterviewd (T1). Het doel van deze pretest-interviews was om een zo nauwkeurig mogelijk beeld te krijgen van de denkbeelden van leerlingen over het mechanisme van soortvorming. Wegens tijdgebrek was het niet mogelijk een schriftelijke pretest af te nemen bij alle leerlingen. De eerste drie vragen uit het lesmateriaal kunnen echter tot op zekere hoogte als zodanig worden gebruikt, aangezien er op dit punt in het lesmateriaal nog geen concepten uit de neodarwinistische evolutietheorie zijn geïntroduceerd.

Op verschillende manieren is getracht inzicht te krijgen in het verloop van het leerproces en het functioneren van het lesscenario. Dezelfde leerlingen die hebben deelgenomen aan de pretest-interviews zijn na afloop van de lessen nogmaals geïnterviewd (de posttest-interviews T4). Daarnaast zijn er geluidsoptnamen gemaakt tijdens de lessen zelf (de lesprotocollen T2p en T3p). Hierbij zijn zoveel mogelijk dezelfde leerlingen gevolgd die eerder zijn geïnterviewd. Op deze manier is een betrekkelijk scherp beeld verkregen van het leerproces van een klein aantal leerlingen. Van alle leerlingen zijn voorts de schriftelijke antwoorden op de vragen uit het lesmateriaal verzameld (T2s en T3s). Ook werd na afloop van de lessenreeks een schriftelijke posttest

afgenomen (T5). Door zowel kwalitatieve onderzoeksgegevens (de interviews en de geluidsopnamen van de lessen) als meer kwantitatieve onderzoeksgegevens (de schriftelijke antwoorden uit het lesmateriaal en de posttest) in het onderzoek te betrekken, ontstaat een betrekkelijk volledig beeld van het verloop van de leerprocessen die hebben plaatsgevonden.

Tabel 1. Overzicht van de onderzoeksactiviteiten die tijdens het onderzoek zijn uitgevoerd, en de aantallen leerlingen waarvan gegevens zijn verzameld.

meet-mom.	leeractiviteit		onderzoeksactiviteit	aant. lin
T1	-		Pretest-interviews, individueel afgenomen.	7
T2	Les 1	Leerlingen maken in tweetallen hoofdstuk 1 en 2 van het lesmateriaal.	Geluidsopnamen tijdens het maken van hoofdstuk 1 en 2. (T2p)	13
			Schriftelijke antwoorden bij hoofdstuk 1 en 2. (T2s)	95
T3	Les 2	Leerlingen voeren in groepjes de simulatie uit en maken de bijbehorende vragen.	Geluidsopnamen van ieder groepje. (T3p)	7
			Schriftelijke antwoorden bij hoofdstuk 3. (T3s)	92
	Les 3	De simulatie en de bijbehorende vragen, worden klassikaal nabesproken.	Geluidsopname van de klassikale nabespreking.	27
T4	-		Posttest-interviews, individueel afgenomen.	6
T5	-		Schriftelijke posttest (antwoorden op de test).	98

### *Het analyse-instrument*

Om de gegevens die tijdens het onderzoek zijn verzameld te analyseren is een gedetailleerd categorieënsysteem ontworpen, gebaseerd op de neodarwinistische evolutietheorie enerzijds en op de meest voorkomende (alternatieve) denkbeelden die in de literatuur worden genoemd anderzijds. Dit analyse-instrument is gebruikt bij het categoriseren van alle leerlinguitspraken die tijdens het onderzoek zijn verzameld. Steeds is per leerling (=L) en per meetmoment gecategoriseerd. De geluidsopnamen van de lessen en de interviews zijn daartoe eerst volledig uitgeschreven. Een eerdere versie van het analyse-instrument is door beide auteurs onafhankelijk van elkaar getest op een deel van de data. Vervolgens zijn de twee analyses vergeleken, en is over de verschillen onderlinge overeenstemming bereikt. Dit heeft geleid tot een verscherping van het analyse-instrument. De rest van de data is door één van de auteurs (C.G.) geanalyseerd.

Neodarwinistische denkbeelden zijn ingedeeld in de volgende categorieën: *de strijd om het bestaan, variatie, mutatie, recombinitie, selectie, aangepast zijn en verandering (evolutie)*. Om een scherper beeld te krijgen van de opvat-

tingen van leerlingen is iedere hoofdcategorie verder onderverdeeld in een aantal subcategorieën, die bestaan uit nauwkeurig omschreven uitspraken (zie bijlage voor een overzicht van de belangrijkste categorieën). In de hoofdcategorie *mutatie* worden bijvoorbeeld de volgende subcategorieën onderscheiden: *mutaties zijn een bron van nieuwe variatie*, *mutaties zorgen niet per definitie voor een betere aanpassing* en *mutaties ontstaan bij toeval*. Uitspraken waarin een bepaald concept wordt tegengesproken of ontkend worden ingedeeld in weer andere subcategorieën, bijvoorbeeld: *mutaties zorgen per definitie voor een betere aanpassing* en *mutaties ontstaan uit noodzaak*. Per meetmoment kan een leerling slechts eenmaal in een bepaalde categorie scoren.

Bij de analyse van lamarckistische denkbeelden is uitgegaan van de omschrijving van lamarckistisch denken die door Hendrikse en Boersma (1999) wordt gehanteerd. Deze omschrijving bestaat uit twee elementen: (1) organismen veranderen (passen zich aan) onder invloed van abiotische of biotische milieufactoren en (2) deze veranderingen worden doorgegeven aan de nakomelingen. Om een goed beeld te kunnen vormen van de redenering die een leerling volgt is het belangrijk om vast te stellen op welk moment een verandering of aanpassing zich volgens een leerling precies manifesteert. Uitspraken die betrekking hebben op individuele organismen, op de directe nakomelingen van deze individuen of op de situatie na een groot aantal generaties worden daarom in aparte categorieën ingedeeld. De uitspraak dat organismen na een aantal generaties beter aan hun omgeving zijn aangepast (L-A3), is in principe niet inconsistent met de neodarwinistische evolutietheorie. Hetzelfde geldt voor de uitspraak dat individuele organismen zich aan hun omgeving aanpassen (L-A1): organismen ondergaan tijdens hun leven talloze fenotypische aanpassingen. Strikt genomen is er alleen sprake van een instructietheorie wanneer de eigenschappen die het individu tijdens het leven verwerft ook worden doorgegeven aan de nakomelingen (L-B2). Ook al is er bij alle interviews naar gestreefd om een zo nauwkeurig mogelijk beeld te krijgen van de denkbeelden van een leerling, het lukte lang niet altijd om leerlingen tot voldoende scherpte te dwingen. Bij de uitspraak *'de vos past zich in de loop der tijd aan de kou aan'* is het onduidelijk of het gaat om veranderingen die optreden tijdens het leven van het individu, of dat bedoeld wordt dat na een (groot) aantal generaties de vossen beter aangepast zijn. In zo'n geval wordt een uitspraak ingedeeld in een algemene categorie (zie bijlage). Wederom werden ook uitspraken gecategoriseerd waarin een bepaalde opvatting wordt tegengesproken.

### *Redeneerpatronen*

Met het hierboven beschreven analyse-instrument is een vrij gedetailleerd beeld verkregen van de denkbeelden van leerlingen. Echter, het grote aantal categorieën maakt onderlinge vergelijking moeilijk. Een meer globale en makkelijker hanteerbare weergave van de onderzoeksgegevens ontstaat wanneer we leerlingdenkbeelden op grond van de scores in de (sub)categorieën kunnen typeren als darwinistisch of juist lamarckistisch. Er zijn vijf redeneerpatronen onderscheiden: *neodarwinistisch*, *darwinistisch*, *lamarckistisch*, *inconsistent* en *onbekend*. Bij ieder redeneerpatroon hoort een bepaalde categorie of een combinatie van categorieën die exclusief zijn voor dat redeneerpatroon. Daarnaast zijn er categorieën die juist in strijd zijn met een bepaald redeneer-

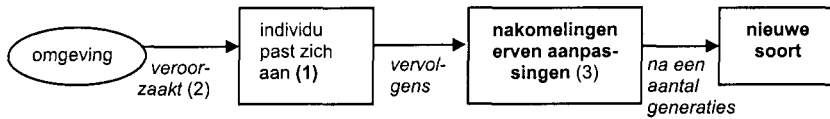
patroon. Onjuiste denkbeelden over het begrip *variatie* (bijv. *de individuen van een populatie zijn identiek*) maken een indeling bij het neodarwinistisch of darwinistisch redeneerpatroon bijvoorbeeld onmogelijk. De vijf redeneerpatronen en de bijbehorende voorwaardelijke en uitsluitende categorieën zijn weer gegeven in tabel 2.

Tabel 2. Beslisregels bij het indelen van de leerlingdenkbeelden in de vijf redeneerpatronen. Bij ieder redeneerpatroon horen zowel voorwaardelijke (noodzakelijke) als uitsluitende categorieën.

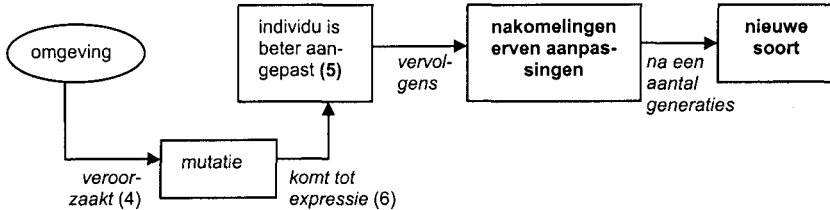
redeneerpatroon	wel (voorwaardelijk)	niet (uitsluitend)
neodarwinistisch	<b>selectie</b> ( <i>er is een verschil in overlevingskans en/of er is een verschil in voortplantings-succes</i> ) <b>en</b> <b>mutatie</b> ( <i>mutaties zijn een bron van variatie en/of mutaties zijn niet per definitie voordelig en/of mutaties ontstaan bij toeval</i> )	<b>lamarckisme</b> ( <i>zie onder</i> ) <b>en/of</b> <b>onjuiste denkbeelden over variatie, mutatie, selectie, recombinitie, de strijd om het bestaan of verandering</b>
darwinistisch	<b>selectie</b> ( <i>zie boven</i> )	idem
lamarckistisch	<b>lamarckisme</b> ( <i>individuele organismen passen zich aan en aanpassingen worden doorgegeven aan de nakomelingen</i> )	<b>selectie en/of mutatie</b>
inconsistent	<b>alle combinaties van voorwaardelijke en elkaar uitsluitende categorieën</b>	
onbekend	<b>niet: selectie of lamarckisme</b>	

### 3. De ontwikkeling van het lesscenario

In de onderstaande paragrafen worden de keuzes die een rol hebben gespeeld bij de totstandkoming van het lesscenario verantwoord. Bij het ontwerpen van het lesscenario spelen niet alleen inhoudelijke maar ook praktische argumenten een rol. Ten eerste moeten de leerlingen het lesmateriaal redelijk zelfstandig kunnen doorwerken (gezien de grote zelfwerkzaamheid van leerlingen die in het studiehuis wordt nagestreefd). Een tweede eis komt voort uit het feit dat de lessen binnen het vak ANW zijn uitgevoerd, waardoor de biologische voorkennis van sommige leerlingen gering is: een gedegen kennis van de moleculaire en Mendelse genetica mag dus niet bij alle leerlingen worden verondersteld.

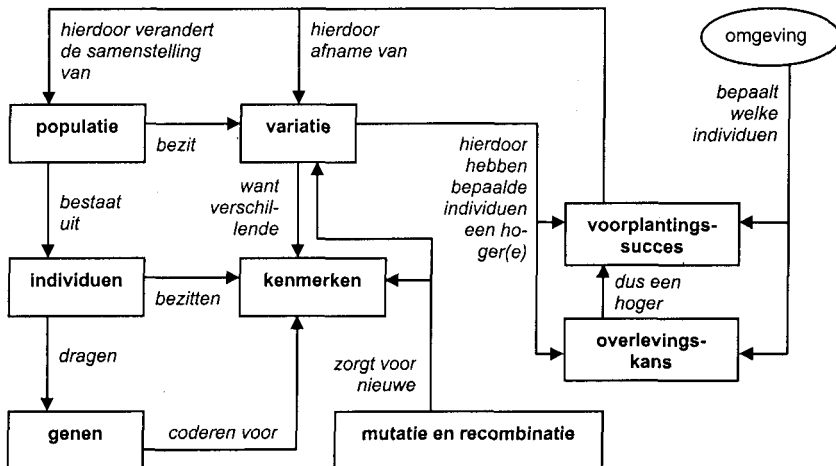


a. Lamarckistisch instructiemechanisme



b. Instructiemechanisme volgens gerichte mutagenese

Figuur 1. Verklaringen voor het ontstaan van soorten volgens een instructiemechanisme, weergegeven in conceptmaps. De cijfers corresponderen met de cijfers in de tekst.



Figuur 2. Een neodarwinistische verklaring voor evolutie, weergegeven in een conceptmap. In een populatie is variatie. Op grond van deze variatie hebben bepaalde individuen een hogere kans om te overleven en een hoger voortplantingssucces in die specifieke omgeving. Als deze variatie erfelijk is, zijn er in de volgende generatie meer individuen met die kenmerken die zorgen voor een hoog voortplantingssucces. De populatie verandert van samenstelling, er vindt evolutie plaats.

### *Lamarckisme versus neodarwinisme*

Verklaringen voor het ontstaan van soorten kunnen worden weergegeven in een conceptmap. De twee conceptmaps in figuur 1 tonen de belangrijkste denkbepelden van leerlingen die in de literatuur worden genoemd. In beide gevallen is er sprake van evolutie volgens een instructiemechanisme: de omgeving is direct of via mutagenese verantwoordelijk voor veranderingen in individuele organismen. Als we hier een neodarwinistische verklaring voor evolutie tegenoverstellen (fig. 2) en de conceptmaps met elkaar vergelijken, dan vallen enkele essentiële verschillen op:

- *Bij de neodarwinistische evolutietheorie is een groter aantal concepten betrokken.* Bijvoorbeeld de begrippen populatie, variatie, overlevingskans en voortplantingssucces.

- *Bij de neodarwinistische evolutietheorie zijn meerdere biologische organisatie-niveaus betrokken.* We onderscheiden het populatieniveau, het organismaal niveau en het (sub)cellulair niveau. Bij de instructietheoretische verklaring is alleen sprake van het organismaal niveau (*lamarckisme*) of van het organismaal en het subcellulair niveau (*gerichte mutagenese*).

- *Volgens de neodarwinistische evolutietheorie voltrekt verandering (evolutie) zich op het populatieniveau.* Door een verschil in voortplantingssucces (organismaal niveau) verandert de populatie van samenstelling (populatieniveau). Volgens een instructiemechanisme is verandering juist merkbaar op het organismaal niveau: individuele organismen passen zich aan.

- *De rol van de omgeving in beide redeneringen is verschillend.* Volgens de instructietheorie speelt het milieu een actieve rol. Een verandering in het milieu heeft een verandering in het organisme tot gevolg, het organisme vormt zich naar de omgeving. Volgens de neodarwinistische verklaring bestaat de rol van de omgeving niet uit instructie maar uit selectie. Welke individuen een selectievoordeel hebben is afhankelijk van milieufactoren.

- *Het instructiemechanisme is puur deterministisch, de neodarwinistische evolutietheorie is meer probabilistisch.* Bepaalde individuen hebben een hogere kans om te overleven en nakomelingen te produceren. Het toeval speelt een rol bij de mutagenese: er treden toevallige, willekeurige veranderingen op in het genetisch materiaal.

Het lijkt erop dat de begripsproblemen van leerlingen in sterke mate samenhangen met de hierboven genoemde ontologische verschillen tussen de lamarckistische en de neodarwinistische verklaring voor soortvorming (vgl. Ferrari & Chi, 1998). In het evolutieonderwijs is het dus van belang om leerlingen op deze verschillen opmerkzaam te maken. Vooral de gelaagdheid in organisatie-niveaus en het gegeven dat evolutie zich voltrekt op het niveau van de populatie zijn belangrijke eigenschappen van de neodarwinistische evolutietheorie (Hendrikse & Boersma, 1999). In het lesmateriaal is daarom steeds de nadruk gelegd op het populatieniveau. Het concept populatie als zodanig wordt in vergelijking met de gangbare lesboeken ook redelijk uitvoerig behandeld.

### *Het anticiperen op veelvoorkomende leerlingdenkbeelden*

Veel auteurs pleiten er voor om in de klas expliciet aandacht te besteden aan de denkbeelden die leerlingen over evolutie hanteren. Kargbo, Hobbs & Erickson (1980) gaan hierin minder ver, maar stellen wel voor om het verschil tussen erfelijke en niet-erfelijke eigenschappen duidelijk te maken. 'Unless



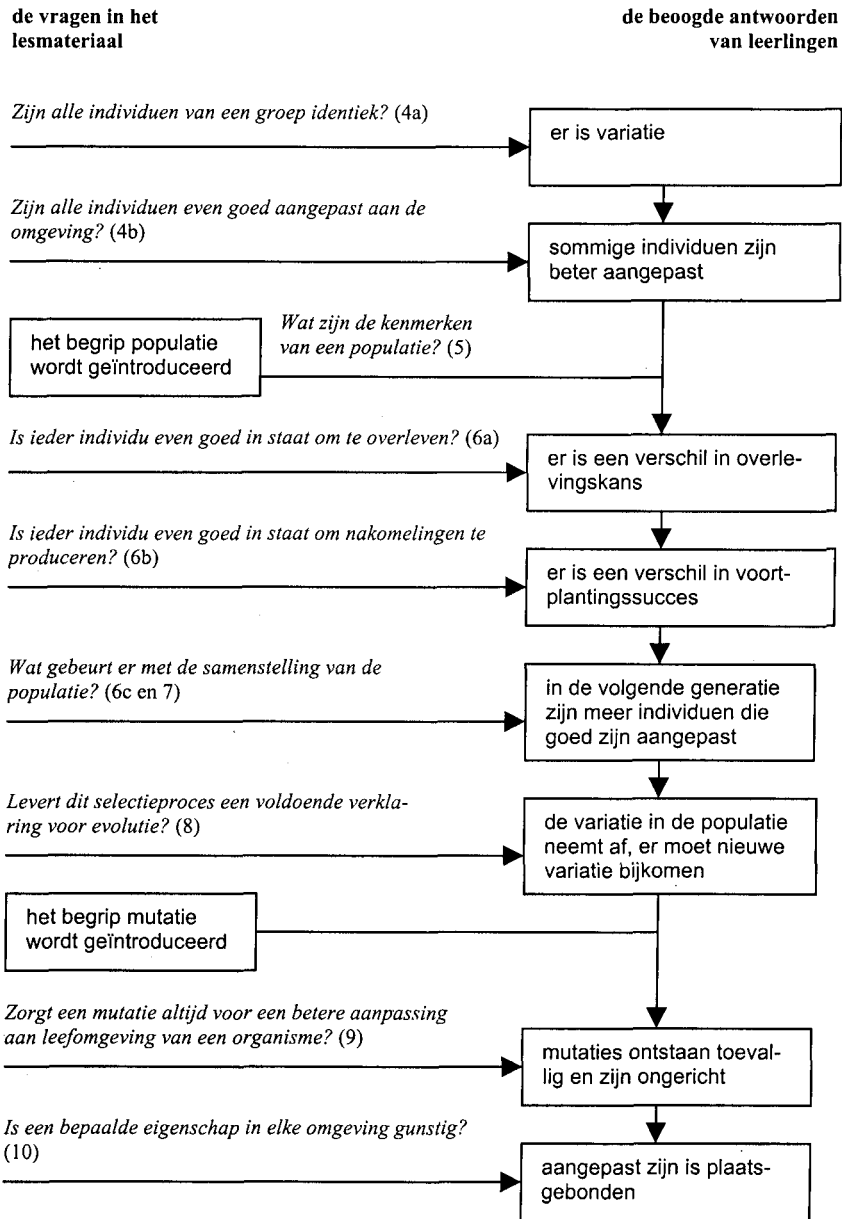
*these ideas [about the nature of inheritance] are made explicit and carefully considered they may continue to function in a tacit manner even though they are receiving instruction to the contrary'* (Kargbo, Hobbs & Erickson, 1980, p. 145).

De vraag of eigenschappen die tijdens het leven zijn verworven aan de nakomelingen worden doorgegeven staat centraal in het eerste deel van het lesscenario (hoofdstuk 1). Na een eerste oriënterende vraag over het onderwerp soortvorming wordt de genetische basis van eigenschappen besproken. In deze tekst wordt met name de relatie tussen genen en (fenotypische) eigenschappen uitgewerkt. Vervolgens worden negen kenmerken genoemd waarvan leerlingen moeten aangeven of ze wel of niet aan de nakomelingen worden doorgegeven (vraag 2). Bij vraag 3 ten slotte worden twee voorbeelden gepresenteerd waaruit blijkt dat ook wanneer organismen een aantal generaties achtereen dezelfde fenotypische veranderingen ondergaan, deze eigenschappen niet aan de nakomelingen worden doorgegeven. Het eerste voorbeeld is dat van de inwoners van Australië die nog steeds blank zijn ondanks het feit dat hun huid slecht aan de felle zon is aangepast. Het tweede voorbeeld is het onderzoek waarbij een aantal generaties lang van een populatie muizen de staart werd geamputeerd (Jiménez Aleixandre, 1992). De leerlingen wordt gevraagd of deze observaties een instructietheorie bevestigen of juist weerleggen. Door het beantwoorden van deze vragen wordt het duidelijk dat een instructietheorie in conflict is met de principes van de erfelijkheidsleer.

#### *Logica van Darwin's selectietheorie*

In de meeste leerboeken wordt de evolutietheorie in enkele alinea's tekst uitgewerkt, waarna ter controle enkele vragen worden gesteld. Hier is gekozen voor een andere aanpak. Gough (1978) wijst op het logische, bijna wetmatige karakter van Darwin's oorspronkelijke selectietheorie. Hij stelt daarom dat de theorie uitermate geschikt is om leerlingen duidelijk te maken wat 'logisch redeneren' inhoudt. *'It is thus suggested that biology teachers might profitably use Darwin's explanation not merely for its evolutionary significance, but also for the thoroughness of its logic'* (Gough, 1978, p. 4).

We kunnen de redenering natuurlijk ook omdraaien en de deductieve (als... dan...) structuur van de selectietheorie benutten om leerlingen zelf de theorie te laten 'construeren'. Uitgaande van Darwin's axioma's (bijvoorbeeld *'er is variatie'*) zijn leerlingen misschien goed in staat om daar de juiste gevolgtrekkingen uit af te leiden (*'sommige individuen hebben een hogere overlevingskans'*). Door het aanbieden van de juiste vragen op het juiste moment kunnen leerlingen min of meer zelfstandig de neodarwinistische evolutietheorie opbouwen. Op deze manier worden leerlingen gedwongen om zelf over elke stap in de redenering na te denken. Mogelijk ontwikkelen zij daarmee ook een grondiger begrip van de theorie. Er is dus gezocht naar een logische opeenvolging van vragen die samen een leidraad vormen bij het opbouwen van de neodarwinistische evolutietheorie. Hierbij zou iedere vraag min of meer logisch uit de vorige moeten volgen. Deze aanpak is vergelijkbaar met de probleemstellende benadering van Klaassen (Klaassen, 1995; Vollebregt, 1998). De opeenvolging van vragen, zoals die in de tweede versie van het lesscenario (lesronde 2) is gebruikt, is weergegeven in figuur 3.



Figuur 3. Schematisch overzicht van de opeenvolging van vragen die moet leiden tot de ontwikkeling van de neodarwinistische evolutietheorie, en de beoogde antwoorden op deze vragen. De cijfers achter iedere vraag verwijzen naar de vragen uit het lesmateriaal. In het schema staat ook weergegeven op welk moment de begrippen populatie en mutatie worden geïntroduceerd.

In de eerste vraag wordt het begrip variatie aan de orde gesteld (vraag 4a). Het beoogde antwoord hier is dat individuen niet identiek zijn. Omdat de individuen van een groep organismen van elkaar verschillen, zijn niet alle individuen even goed aan hun leefomgeving aangepast (vraag 4b). Op dit punt is het nodig om een scherpere definitie van 'een groep individuen' te geven. De term populatie wordt geïntroduceerd en de kenmerken van een populatie worden behandeld (vraag 5). Voortbouwend op vraag 4b kan nu de vraag worden gesteld of ieder individu van een populatie zich even goed weet te handhaven in de leefomgeving (vraag 6a). Hieruit valt dan een verschil in voortplantingssucces af te leiden (vraag 6b). Op grond van het voorgaande wordt de leerlingen vervolgens gevraagd een voorspelling te doen over de samenstelling van de populatie na een aantal generaties (vraag 6c en 7). Een belangrijke voorwaarde voor verandering van de samenstelling is wel dat de variatie in de populatie (tenminste voor een deel) erfelijk is. Deze aanname wordt van tevoren geëxpliciteerd. Het is van belang dat leerlingen hier inzien dat door selectie de variatie in de populatie afneemt: er zal dus nieuwe variatie bij moeten komen om het evolutieproces verder te laten verlopen (vraag 8). Naar aanleiding hiervan wordt het ontstaan van mutaties besproken. Er wordt ook iets verteld over de genetische basis van mutaties: het zijn toevallige veranderingen in het DNA. Dan wordt de vraag gesteld of mutaties per definitie voordelig zijn (vraag 9). Tot slot komt de plaatsgebondenheid van fitness (de mate van aangepast zijn) aan de orde (vraag 10).

Deze sequentie van vragen leidt, gesteld dat iedere vraag juist wordt beantwoord, tot de ontwikkeling van de neodarwinistische evolutietheorie. Iedere vraag bouwt min of meer voort op het voorgaande. Het grootste deel van de begripsontwikkeling geschiedt aan de hand van deze vragen. Alleen de begrippen populatie en mutatie worden in een stuk tekst geïntroduceerd en uitgewerkt. Op een aantal punten in het lesmateriaal zijn wel korte tekstgedeelten opgenomen waarin enige achtergrondinformatie wordt gegeven. Deze tekstgedeelten fungeren tevens als vangnet voor leerlingen die eerder de draad zijn kwijtgeraakt door een beknopte samenvatting te geven van datgene wat in de voorgaande vragen aan bod is gekomen. De vragen in figuur 3 zijn in algemene termen opgesteld. In het eigenlijke lesmateriaal daarentegen is een aantal voorbeelden gekozen om de vragen in een concrete context te plaatsen. Bij vraag 4 is gekozen voor de evolutie van de giraffe (*Giraffa camelopardalis*) uit okapi-achtige voorouders. In vraag 6 tot en met 10 staat de poolvos (*Alopex lagopus*) centraal.

Het begrip *de strijd om het bestaan* komt in het lesscenario niet expliciet aan de orde. De voornaamste reden hiervoor is de beperkte tijd die voor de lessen beschikbaar is. De *struggle for life* is weliswaar één van Darwin's oorspronkelijke premissen, echter, het idee dat in de natuur niet alle individuen van een groep zullen overleven is naar onze mening triviaal. Prioriteit is dus gegeven aan de meer essentiële concepten van de neodarwinistische evolutietheorie.

#### *Het simuleren van natuurlijke selectie*

Naast een aantal leertheoretische suggesties ter verbetering van het evolutieonderwijs, treffen we in de vakdidactische literatuur ook meer concrete, domeinspecifieke voorstellen aan (o.a. Angseesing, 1978; Dawes, 1977; Duveen & Solomon, 1994; Keown, 1988). Het merendeel van de voorgestelde leerac-

tiviteiten is echter erg tijdrovend of vereist een gedegen kennis van de genetica. Bovendien zijn de meeste voorstellen niet specifiek gericht op de belangrijkste eigenschappen van de neodarwinistische evolutietheorie (bijvoorbeeld de gelaagdheid in organisatieniveaus).

Het simulatiemodel dat door Stebbins en Allen (1975) wordt beschreven vormt hierop een uitzondering. Bij deze simulatie wordt gebruik gemaakt van het principe van kleurselectieve predatie: bepaalde kleuren prooidieren vallen meer op dan andere en worden daarom eerder gevangen door predatoren. De door de auteurs aanbevolen materialen maken de simulatie uitermate geschikt voor gebruik in de klas. Een grote hoeveelheid verschillend gekleurde fiches stellen de prooidieren voor, een bonte lap stof doet dienst als leefomgeving en de leerlingen zelf zijn de predatoren. De leerlingen groeperen zich rondom de lap stof waarover een populatie fiches wordt verspreid. Binnen een bepaalde tijd nemen de leerlingen elk een vooraf bepaalde hoeveelheid fiches weg (selectie). De overgebleven prooidieren krijgen vervolgens een aantal identiek gekleurde nakomelingen, zodat de populatie weer zijn oorspronkelijke grootte heeft (voortplanting). Weer wordt een gedeelte van de fiches weggepakt. Als deze cyclus van selecteren en voortplanten een aantal generaties wordt herhaald, dan blijven alleen die kleuren over die slecht zichtbaar zijn op die specifieke stof: de populatie heeft zich aangepast.

Er is voor gekozen om het simulatiespel van Stebbins en Allen (1975), in enigszins gewijzigde vorm, in het lesscenario op te nemen. De belangrijkste argumenten hiervoor zijn de volgende:

- *De belangrijkste concepten uit de neodarwinistische evolutietheorie zijn in het simulatiemodel uitgewerkt.* Er is variatie. Er is een verschil in overlevingskans en voortplantingssucces. Daardoor verandert de populatie van samenstelling. Door de simulatie enigszins aan te passen kunnen ook mutaties in de simulatie betrokken worden.
- *Het is duidelijk zichtbaar dat de populatie verandert, terwijl de individuen hetzelfde blijven en (in principe) identieke nakomelingen krijgen.*
- *Leerlingen zijn actief bij het evolutieproces betrokken.* Zij representeren het milieu dat een selectiedruk uitoefent op de populatie.
- *De probabilistische aard van natuurlijke selectie wordt geïllustreerd.* Er is een verschil in overlevingskans: ook de beter aangepaste organismen worden gepakt, maar gemiddeld genomen minder.

#### *Het lesscenario*

De uiteindelijke planning van leeractiviteiten zoals die in lesronde 2 is gebruikt is de volgende. Iedere leerling krijgt een aantal lesbladen met daarop de vragen, de bijbehorende tekst en een beschrijving van het simulatiespel. De eerste les wordt begonnen met een klassikale discussie over de vraag hoe soorten ontstaan. Vervolgens maken de leerlingen de vragen over erfelijkheid en de neodarwinistische evolutietheorie (fig. 3). De tweede les wordt besteed aan het uitvoeren van de simulatie. De leerlingen werken steeds zoveel mogelijk zelfstandig. De vragen over de simulatie worden klassikaal nabesproken in de derde les. Bij deze nabespreking wordt expliciet de koppeling gemaakt tussen de simulatie en de neodarwinistische evolutietheorie.

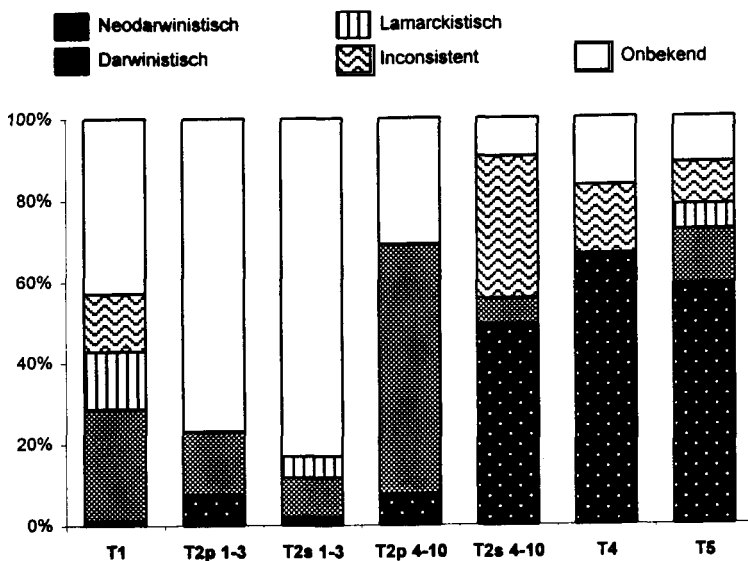
De antwoorden op de vragen uit hoofdstuk 1 en 2 van het lesmateriaal zijn meestal niet letterlijk in de tekst te vinden. Er wordt gevraagd naar begrippen die nog niet eerder aan de orde zijn gekomen. Het is dus waarschijnlijk dat de

associaties en overwegingen die bij leerlingen opkomen onderling van elkaar zullen verschillen. Het voeren van een inhoudelijk gesprek over de stof met medeleerlingen kan in een dergelijke situatie het leerproces sterk bevorderen. De leerlingen worden zo gedwongen hun eigen opvattingen te verbaliseren, en ondersteunen elkaar door het geven van uitleg en kritiek (van Boxtel, 1997). Daarom is ervoor gekozen om de leerlingen niet individueel maar in tweetallen te laten werken.

#### 4. Het lesscenario in de praktijk

##### *De resultaten van de denkbeeldenanalyse*

In totaal werden 1963 uitspraken van leerlingen gecategoriseerd. Op grond van deze scores kunnen de denkbeelden van leerlingen worden ingedeeld in vijf redeneerpatronen. De aantallen leerlingen per meetmoment in deze vijf redeneerpatronen zijn weergegeven in figuur 4.



Figuur 4. Indeling van de leerlingen in 5 redeneerpatronen (neodarwinistisch, darwinistisch, lamarckistisch, inconsistent en onbekend). Meetmoment T2 is onderverdeeld in vraag 1-3 (over erfelijkheid) en 4-10 (over de neodarwinistische evolutietheorie). Meetmoment T3 is niet opgenomen wegens het geringe aantal uitspraken.

Bij de pretest-interviews (T1) hanteren twee leerlingen een darwinistische verklaring voor het ontstaan van soorten. Slechts één leerling hanteert consistent lamarckistische denkbeelden. Een andere leerling hanteert in eerste instantie lamarckistische denkbeelden, maar ontkent het overerven van verworven eigenschappen bij een volgend vraagstuk. De overige drie leerlingen hanteren voor aanvang van de lessen weinig omliggende ideeën over soortvorming en zijn ingedeeld in de categorie onbekend.

Het eerste hoofdstuk van het lesmateriaal (T2p/s vraag 1-3) omvat een eerste oriënterende vraag over het ontstaan van de lange nek van de giraffe

en een tweetal vragen over erfelijkheid. Op dit moment zijn nog geen begrippen uit de neodarwinistische evolutietheorie aan de orde gekomen. De meeste leerlingen (83%) worden hier ingedeeld in de categorie onbekend. Dit hoge percentage komt gedeeltelijk voort uit het feit dat de vragen in dit hoofdstuk niet expliciet uitnodigen tot het doen van uitspraken over soortvorming. De overige leerlingen hanteren veelal darwinistische of neodarwinistische denkbeelden (9%, respectievelijk 2%). Lamarckistische denkbeelden worden maar weinig aangetroffen (5%).

De percentages darwinistische en neodarwinistische denkbeelden nemen sterk toe in het tweede deel van de eerste les (T2p/s vraag 4-10). Dat is niet verwonderlijk aangezien de vragen die hier worden gesteld expliciet darwinistische en neodarwinistische uitspraken uitlokken. Het percentage leerlingen met een neodarwinistisch redeneerpatroon gebaseerd op de geluidsopnamen (8%, T2p) ligt aanmerkelijk lager dan het percentage leerlingen met een neodarwinistisch redeneerpatroon gebaseerd op de schriftelijke antwoorden (49%, T2s). Dit verschil komt voort uit het feit dat de meeste leerlingen niet alle vragen binnen het lesuur afkregen: de laatste vragen, waaronder die over mutaties, zijn dus buiten de les gemaakt. Het hoge percentage leerlingen met een inconsistent redeneerpatroon (35%) wordt voornamelijk veroorzaakt door vraag 8 (zie hieronder). Leerlingen met een consistent lamarckistisch redeneerpatroon worden op dit meetmoment niet aangetroffen. Parallel aan de stijging in het aantal uitspraken over selectie en mutatie, is er ook een toename van het aantal uitspraken dat betrekking heeft op de begrippen variatie en verandering. Echter, na afloop van de lessen (bij de schriftelijke posttest) liggen deze percentages weer lager: 55% van de leerlingen doet een uitspraak over verandering in de samenstelling van de populatie en 28% doet een uitspraak over het begrip variatie.

In de tweede en derde les (T3p/s) worden weinig expliciete uitspraken gedaan over het ontstaan van soorten. De meeste uitspraken hebben betrekking op het simulatiespel. Hierdoor is het moeilijk om vast te stellen in hoeverre het uitvoeren van de simulatie het inzicht in de neodarwinistische evolutietheorie vergroot. Bij de posttest-interviews zeggen de meeste leerlingen wel dat ze de simulatie niet alleen erg leuk maar ook leerzaam vonden. Het verloop van de simulatie wordt in dit artikel verder niet besproken.

De vraag die in de posttest-interviews (T4) is gesteld is heel algemeen: kun je in je eigen woorden uitleggen hoe soorten veranderen? Deze vraag lukt dus niet per definitie neodarwinistische uitspraken uit. Echter, vier van de zes leerlingen die na afloop van de lessen zijn geïnterviewd geven een neodarwinistische verklaring voor soortvorming. Deze leerlingen hanteren dus in ieder geval de begrippen selectie en mutatie. Één leerling hanteert naast het begrip selectie ook onjuiste denkbeelden over mutaties en is ingedeeld in de categorie inconsistent. De resultaten van de schriftelijke posttest (T5) zijn vrijwel gelijk aan die van de posttest-interviews. Door het grotere aantal leerlingen is natuurlijk een iets gedifferentieerder beeld ontstaan. Achttenvijftig leerlingen (59%) hanteren hier een neodarwinistisch redeneerpatroon. Nog eens dertien leerlingen (13%) hanteren geen denkbeelden over mutaties maar wel over selectie. Slechts zes leerlingen (6%) hanteren consistent lamarckistische denkbeelden. Elf leerlingen (11%) zijn ingedeeld in de categorie onbekend. De overige tien leerlingen (10%) hebben een inconsistent redeneerpatroon. Zij hanteren veelal zowel darwinistische als lamarckistische denkbeelden.

### *De vragen*

De belangrijkste vragen uit het lesscenario worden hier nader besproken.

*Vraag 2.* Bij deze vraag worden negen eigenschappen genoemd waarvan leerlingen moeten aangeven of ze worden doorgegeven aan de nakomelingen of niet. Vijf van deze eigenschappen zijn veranderingen die tijdens het leven van een individu optreden. Er zijn maar weinig leerlingen die één of meerdere van deze eigenschappen ten onrechte als erfelijk aanmerken (minder dan 15%). Alleen het klein blijven van een rozenstruik door een gebrek aan zonlicht wordt door een kwart van de leerlingen als erfelijk beschouwd.

*Vraag 3.* Hier worden twee waarnemingen beschreven waaruit blijkt dat verworven eigenschappen ook na een aantal generaties niet aan de nakomelingen worden doorgegeven. De leerlingen wordt gevraagd te beargumenteren of deze waarnemingen een instructietheorie bevestigen of juist weerleggen. De blanke huidskleur van de inwoners van Australië wordt door 21% van de leerlingen ten onrechte als een bevestiging aangemerkt en de muizen die ondanks de amputaties met een staart geboren blijven worden, wordt door 2% als een bevestiging gezien. De overige leerlingen zien in dat de instructietheorie wordt weerlegd:

*De inwoners [van Australië] zijn na generaties nog blank. Die zouden bruin moeten zijn omdat ze steeds bruiner worden omdat hun ouders door de zon bruin werden. Een verandering tijdens je leven zorgt er kennelijk niet voor dat je kinderen dat erven. (L130, T2s)*

*De muizen hebben hun staart nodig om te overleven. In het DNA ligt vast dat muizen een staart krijgen bij de geboorte. Met het amputeren van de staart verander je het DNA niet. (L138, T2s)*

*Vraag 4a.* De vraag wordt gesteld of alle individuen in een groep (giraffen) identiek zijn. Het antwoord ligt hier kennelijk voor de hand: praktisch alle leerlingen antwoorden hier dat individuen van elkaar verschillen.

*L109 Nee, tuurlijk niet. Ze zijn natuurlijk niet identiek, want de ene nek kan langer zijn dan de andere. Of eh...*

*L114 (schrijft) Ze zijn niet identiek. Net als mensen. Net als een groep mensen. (T2p)*

*Vraag 4b.* Vervolgens wordt de vraag gesteld of iedere giraffe even goed is aangepast aan het leven in een gebied met voornamelijk hoge begroeiing. De antwoorden bij deze opgave zijn minder eenduidig. Slechts 46% van de leerlingen legt hier een verband tussen aangepast zijn en variatie:

*De giraffen zouden toen [...] verschillende lengtes hebben gehad. De giraffen die het best waren aangepast aan de natuur (met de langste nekken) overleefden het. (L154, T2s)*

*Vraag 6a en 6b.* Het begrip selectie komt bij deze vraag expliciet aan de orde. Een populatie vossen wordt geconfronteerd met een kouder wordende omgeving. In de populatie leven vossen met verschillende vachtdiktes. De vachtdikte is erfelijk. Zal elke variant zich met evenveel succes weten te handhaven? Verreweg de meeste leerlingen (84%) antwoorden dat de vossen met een dikkere vacht een hogere overlevingskans hebben. In tegenstelling tot bij vraag 4b hebben leerlingen hier kennelijk weinig moeite om het verband te zien tussen variatie en aangepast zijn. Misschien zien zij pas hier in dat er ook

variatie bestaat in eigenschappen die gerelateerd zijn aan overleving. Zal iedere variant evenveel nakomelingen krijgen? Ook deze vraag wordt door de meeste leerlingen (71%) juist beantwoord:

*Nee [niet iedere variant zal evenveel nakomelingen voortbrengen], omdat de vossen met een dunner vacht het zelf moeilijker hebben en dan verwerpen ze hun jongen of krijgen minder jongen. (L087, T2s)*

Uit de geluidsopnamen blijkt dat er over het algemeen weinig tijd wordt besteed aan deze vragen. Het kost de leerlingen kennelijk weinig moeite om het selectiemechanisme te begrijpen. Bij iedere deelvraag worden echter uitspraken gedaan die doen denken aan de lamarckistische verklaring voor evolutie. In de meeste gevallen gaat het echter niet om een expliciet lamarckistisch redeneerpatroon.

**Vraag 7.** Wat zal er gebeuren met de verdeling van de varianten na een aantal generaties? Het juiste antwoord (de samenstelling van de populatie verandert) treffen we aan bij 24% van de leerlingen:

*Na een lange tijd zullen er alleen nog maar vossen zijn met een dikkere vacht. (L127, T2s)*

Veertien procent van de leerlingen geeft aan dat het aantal varianten in de populatie door selectie afneemt. Daarnaast worden er veel uitspraken over selectie gedaan (33 uitspraken in totaal). Een betrekkelijk groot deel van de leerlingen echter geeft een onduidelijk antwoord op deze vraag. Misschien is de vraagstelling niet helemaal helder. De alternatieve verklaring, namelijk dat deze leerlingen moeite hebben met het begrip verandering, is onwaarschijnlijk gezien het betrekkelijk hoge percentage denkbeelden over dit begrip bij de schriftelijke posttest (55% van de leerlingen).

**Vraag 8.** Levert natuurlijke selectie een voldoende verklaring voor het ontstaan van de (5 cm) dikke vacht van de poolvos? Op grond van wat tot op dit moment in het lesmateriaal aan de orde is gekomen zou een leerling deze vraag ontkennend moeten beantwoorden, aangezien in de oorspronkelijke populatie geen vossen voorkomen met vacht dikker dan 2 cm:

*L024 Maar die vacht zal dus nooit dikker worden dan 2 centimeter. Gewoon omdat... er zijn geen vossen met een vacht dikker dan 2 centimeter. Dus dan zal die van de nakomelingen ook nooit meer dan 2 centimeter worden. [...] Ik wou zeggen, die vacht die wordt toch niet dikker? Als je alleen maar vossen hebt met een 2 centimeter dikke vacht, dan krijgen die kinderen ook een 2 centimeter dikke vacht.*

*L004 Dan krijgen ze niet 4 centimeter.*

*L024 Nee, dat wou ik nou net duidelijk maken. (T2p)*

Echter, slechts 27% van de leerlingen geeft hier aan dat natuurlijke selectie alleen een onvoldoende verklaring levert voor het ontstaan van een vacht van 5 cm. Een betrekkelijk groot deel van de leerlingen (46%) antwoordt hier dat het ontstaan van de dikke vacht van de poolvos wél door selectie kan worden verklaard. Er lijken verschillende redeneringen aan deze opvatting ten grondslag te liggen. Drie leerlingen geven een lamarckistische verklaring voor het steeds dikker worden van de vacht. We mogen echter niet aannemen dat alle leerlingen uitgaan van een instructietheorie. Vierentwintig leerlingen doen weliswaar de uitspraak dat organismen zich aanpassen aan hun omgeving, maar hierbij blijft het onduidelijk om welke generatie het precies gaat:



*Ja, want hij heeft die vacht nodig tegen de kou en zo heeft de poolvos zich ontwikkeld. (L111, T2s)*

Bij andere leerlingen treffen we het idee aan dat er steeds nieuwe variatie bijkomt:

*Ja, er zullen vast een paar vossen zijn met een dikkere vacht dan 2 cm en deze planten zich voort en dan krijg je een populatie met vossen met dikke vachten. (L118, T2s)*

Het is mogelijk dat sommige leerlingen impliciet uitgaan van het ontstaan van nieuwe variatie.

#### *Leerprocessen van individuele leerlingen*

Om een diepgaander beeld te krijgen van het leerproces is een klein aantal leerlingen voor en na de lessenreeks geïnterviewd. Ook tijdens de lessen zijn van deze leerlingen geluidsopnamen gemaakt. Daardoor is het mogelijk om het leertraject van deze leerlingen te volgen. De onderstaande leerlingen vormen geen representatieve doorsnede van de onderzoekspopulatie maar zijn geselecteerd om een zo gedifferentieerd mogelijk beeld te geven van de wijze waarop het leerproces is verlopen.

*Leerling L035 (v).* Bij de eerste vraag van het pretest-interview (T1) heeft deze leerling aanvankelijk geen idee hoe de dikke vacht van de poolvos is ontstaan. Even later hanteert zij een min of meer lamarckistische verklaring, maar raakt vervolgens in verwarring als de erfelijke basis van vachtdikte ter sprake komt:

*Int Je kunt je dan wel voorstellen dat de kinderen van zo'n vos dan ineens wel een dikkere vacht hebben?*

*L035 Ja. Maar dat gaat natuurlijk heel langzaam. Het gaat niet in één keer veel dikker of zo.*

*Int Hoe gaat het dan wel?*

*L035 Nou, steeds een klein beetje dikker.*

*Int Dus de kinderen van die vos hebben een net iets dikkere vacht...*

*L035 ... dan hun ouders.*

*Int En hoe wordt zo'n eigenschap dan doorgegeven aan de nakomelingen?*

*L035 (denkt na) Ja, het zou via de genen moeten zijn. Maar ja, als in die genen staat dat je een bepaalde dikke vacht hebt hoe kan het dan dat zo'n vos daarna wel een dikkere vacht krijgt? Dan moet er toch iets in die genen veranderen. Denk ik.(T1)*

Bij de tweede vraag voorspelt zij dat de nakomelingen van een blanke meisje en haar partner die in Afrika leven ook na een groot aantal generaties met een blanke huid geboren blijven worden. Dan ziet zij in dat hier een conflict ontstaat met haar antwoord op de vraag over de poolvos:

*Int Als die kinderen opgroeien dan wordt hun huid wel bruin maar het wordt niet doorgegeven aan de kinderen zeg maar?*

*L035 Nee, volgens mij niet. Maar ja, hoe doen we dat dan met die poolvos? Die kreeg wel een steeds dikkere vacht, dus... (T1)*

De eerste vragen uit het lesscenario over de overerving van verworven eigenschappen worden correct beantwoord. Tot op dit moment hanteert deze leerling dus inconsistente opvattingen over evolutie en erfelijkheid. Bij het beantwoorden van vraag 3 (over erfelijkheid) brengt zij plotseling het begrip selectie ter sprake:

*L035 Ik weet al hoe het komt. [...] Kijk, stel dat je twee vossen hebt. De een heeft gewoon... een iets dikkere vacht dan de andere. Gewoon toevallig. En die zoekt nog een vos met een iets dikkere vacht. En dan krijg je twee vossen*

*met een iets dikkere vacht. ... En die krijgen dan weer kindertjes, met twee... met een iets dikkere vacht.*

L024 *Ja, maar de andere vossen hebben dan ook gewoon een normale vacht. Die krijg...*

L039 *Ja, maar die zijn wel... die hebben minder overlevingskans, omdat die het kouder hebben.*

L035 *Ja, die hebben minder overlevingskans. (T2p)*

Met betrekking tot het begrip variatie merkt de leerling het volgende op:

L035 *Er is variatie aanwezig. Want er zitten toch verschillende genen in de groep. [...] Ja, maar die genen, die gaan zich natuurlijk uitselcteren, hè. [...] Het is gewoon zo in de natuur dat de sterkste die blijven over. (T2p)*

De overige opdrachten in het lesmateriaal worden wederom correct beantwoord. De leerling ziet in dat door selectie de variatie in de populatie afneemt, en dat er ook nieuwe variatie moet ontstaan om het evolutieproces verder te laten verlopen. De tekst en de vraag over mutaties leveren evenmin problemen op. Tijdens het posttest-interview (T4) wordt de vraag gesteld of haar idee over soortvorming is veranderd ten opzichte van vóór de lessen:

L035 *Ja, ik heb toen geloof ik gezegd dat de genen veranderen. [...] Maar ja, dat is ook wel een beetje zo. Maar op een andere manier dan ik dacht.*

Int *En hoe is die manier dan anders? Wat is er dan veranderd, zeg maar?*

L035 *Nou, dat het eh... niet echt vanzelf verandert, maar door mutaties en door eh... selectiviteit. (T4)*

Op de vraag hoe de stekels van de kworg<sup>1</sup> in de loop van de evolutie steeds langer werden (T5) geeft de leerling een antwoord dat overeenkomt met de neodarwinistische visie:

*In de beginnende populatie zijn er een aantal kworgs die meer voortplantingssucces hebben omdat zij stekels hebben. Door middel van mutaties zijn deze stekels ontstaan. Zij hebben meer kans op overleving. Doordat zij meer voortplantingssucces hebben verdwijnt de variatie en ontstaan er steeds meer genetische varianten op deze kworgs met stekels. (L035, T5)*

Samenvattend. Voor aanvang van de lessenreeks hanteert deze leerling met enige aarzeling lamarckistische ideeën over evolutie. Zij ziet echter zelf in dat deze ideeën inconsistent zijn met haar opvattingen over erfelijkheid. Als zij tijdens de lessenreeks in aanraking komt met natuurlijke selectie accepteert ze dit zonder problemen als verklaring voor soortvorming. Tijdens het leertraject komt de leerling herhaaldelijk terug op de vraag óf en op welke manier genen kunnen veranderen. Na afloop van de lessenserie hanteert ze een neodarwinistische opvatting over het ontstaan van soorten.

*Leerling L158 (m).* Bij de vraag van het pretest-interview (T1) over de huidskleur van het blanke meisje dat naar Afrika verhuist, geeft deze leerling aan dat de nakomelingen gewoon met een blanke huid worden geboren. Hij trekt uit zichzelf de genetische basis van huidskleur in zijn redenering:

L158 *Ja, doordat de vader heeft zeg maar, genen of chromosomen die een blanke huid bevatten in het DNA. En ook de moeder. Dus hun DNA komt eh... ja, die zeg maar, geen cellen maken met een bruine huid. Dus... (T1)*

Op grond van dezelfde argumentatie beredeneert hij vervolgens dat ook na een groot aantal generaties de huid van de pasgeborenen blank zal zijn. Bij de tweede vraag hanteert de leerling, naast het idee dat individuele vossen zich aanpassen, ook darwinistische opvattingen over soortvorming:

L158 *Eh... ik denk op een gegeven moment dan eh... door de kou dan past ie zeg maar de dikte van de vacht aan. [...]. Op een gegeven moment krijg je dan nakomelingen, en dan... dus, een nest van 10 jongen of zo, ik noem maar*

wat, zijn er altijd zwakkere die dat niet overleven, die kou. En gewoon, zeg maar, de sterke die overleven het wel. En doordat die zeg maar, de eigenschap hebben dat ze sterker, of beter tegen de kou hebben, komen zeg maar... ja, in de komende generaties, komen er steeds sterkere die zich steeds beter aanpassen aan de kou. Denk ik. (T1)

Even later doet de leerling de volgende uitspraak, waarin lamarckistische denkbeelden zijn te herkennen:

*Int* Dus waarom wordt die vacht in de loop der tijd dikker?

*L158* Eh... ja, die passen zich gewoon aan. Maar ik weet... Dat is gewoon, ja, een natuurlijk proces dat het eh... gewoon als het weer kouder wordt, dat je gewoon een dikkere wintervacht krijgt, zo'n beest. En als die generaties daarna, dat ze zeg maar, gewoon gewend zijn in zo'n klimaat te leven dan krijgen die... ja, dan hebben ze dus altijd denk ik een dikke vacht. (T1)

Bij het maken van de vragen uit het lesscenario (T2) lijkt de leerling weinig moeite te hebben met de vragen over natuurlijke selectie: zijn antwoorden zijn over het algemeen correct en helder geformuleerd. Tijdens het posttest-interview (T4) en bij de schriftelijke posttest (T5) geeft hij een neodarwinistische verklaring voor soortvorming en betreft daar ook het populatieniveau bij:

*L158* Binnen een populatie is sowieso variatie altijd. Binnen die variatie kunnen mutanten ontstaan. Eh... en in de omstandigheden waarin zo'n populatie leeft, past de populatie zich dus na bepaalde aantal generaties aan. Dus als er bijvoorbeeld, nou als voorbeeld met die giraffen dan, als er veel hoge bomen staan, dan overleven dus alleen de giraffen met de langere nek overleven dus. Alleen die kunnen zich dus voeden. Nou, en de rest zal dan sterven. En die giraffen met die langere nekken hou je op een gegeven moment over en die planten zich steeds dan voort. En dan na een aantal generaties hou je dan giraffen over, denk ik, die nu rondloopt. Ja, het kan iets complexer maar...

*Int* Ja. En hoe wordt die nek dan toch steeds langer?

*L158* Door eh... ik denk voortplanting van eh... ja, mutanten misschien. ... Ja, ik denk mutanten of, en/of ja, gewoon giraffen met langere nekken zeg maar, die hebben variaties tussen de huidige populatie dus. (T4)

Samenvattend. Deze leerling geeft voor aanvang van de lessenreeks al aarzelend een darwinistische verklaring voor het ontstaan van de vacht van de poolvos. Daarnaast doet de leerling tijdens het pretest-interview en aan het begin van de eerste les uitspraken waar (vaag) naturalistische of lamarckistische opvattingen over soortvorming in doorschemeren. Dat is na afloop van de lessen niet meer het geval. De vragen in het lesmateriaal leveren weinig problemen op. De leerling hanteert na afloop van de lessenreeks een neodarwinistische visie op soortvorming.

*Leerling L109 (v).* Bij de eerste vraag van het pretest-interview (T1) hanteert de leerling een lamarckistisch redeneerpatroon:

*Int* Hoe zou nou de kleur van de huid van hun [de blanke ouders in Afrika] kinderen zijn bij hun geboorte? [...]

*L109* O. Die huidskleur zal, denk ik, wel donkerder zijn dan de ouders. Ja, hij zal wel wat donkerder zijn. [...]

*Int* Oké. Die kinderen die trouwen met blanke partners weer en krijgen zelf ook weer nakomelingen, en die nakomelingen planten zich weer onderling voort. [...] Wat zal dan de kleur van de huid van hun kinderen bij de geboorte zijn na een groot aantal generaties?

*L109* Ik denk zwart. [...] Ja, lichtbruin of zwart. Omdat eh... mensen die daar net zijn komen wonen. Dus dat meisje dat daar is getrouwd en zo, dat is van haar eigen al... is ze al iets bruiner, meer pigment. En die heeft dan kinderen gekregen dat dat pigment dat wordt steeds meer. Waardoor dus iemand steeds

*bruiner wordt. Dus uiteindelijk zou dat kind dan... lichtbruin of zwart zijn, denk ik. (T1)*

Hier is dus sprake van de overerving van verworven eigenschappen. Bij de tweede vraag, over de vacht van de poolvos, geeft zij echter niet zonder meer een lamarckistische verklaring. In eerste instantie stelt zij dat de vacht van een vos zich binnen één generatie aanpast aan de koudere omgeving. Even later introduceert de leerling een andere mogelijke verklaring voor het ontstaan van de poolvos:

*L109 Misschien een combinatie van twee, of zo. [...] Dat je eh... eentje van een pool... vos neemt, één gewoon van een normaal klimaat zoals hier. Daar samen mee... ja, hoe noem je dat, ja, fokken doe je denk ik niet met zulke beesten, maar... . Zou je daar dus een kind, ja, een kindje uit laten komen, en dat het dan meer bestendig voor is voor zo'n kou, dan meteen iemand meteen vanaf hier daar neer zetten. (T1)*

Het is niet precies duidelijk welk mechanisme haar hier voor ogen staat. Het lijkt alsof ze doelt op een kruising tussen twee verschillende soorten. De eerste vragen over erfelijkheid vindt de leerling erg moeilijk. Twee van de vijf verworven eigenschappen (vraag 2) worden volgens haar doorgegeven aan de volgende generatie. De vragen over variatie en selectie worden correct beantwoord, maar bij vraag 8 geeft zij het volgende antwoord:

*Ja, het is er kouder waaraan de huid [de vacht van de poolvos] zich aanpast. (L109, T2s)*

Zij betreft dus wederom het 'zich aanpassen' van het individu in haar verklaring voor soortvorming. Wellicht koppelt zij hier even later de term mutatie aan. In elk geval neigt zij naar de opvatting dat de omgeving invloed uitoefent op het ontstaan van mutaties:

*Ja [een mutatie kan ook resulteren in een dunnere vacht]. Het ligt er net aan in welke omgeving je zit en welke gen je muteert. (L109, T2s)*

Bij de schriftelijke posttest (T5) geeft de leerling een naturalistische verklaring voor het ontstaan van de stekels van de kworgs. De begrippen variatie, selectie en mutatie worden niet genoemd:

*De populatie kworgs waren glad voordat de vissen kwamen. Toen de vissen in het gebied van de kworgs kwamen leven kregen steeds meer kworgs stekels op hun huid voor bescherming tegen de aanvallen van de vissen. Enige generaties later waren er alleen maar stekels. Die verandering heeft plaatsgevonden omdat het leefgebied van de kworgs is veranderd (bedreigd), omdat er vissen in hun gebied zijn komen leven. De vissen zijn voor hun een bedreiging. In de loop der tijd zijn de stekels ontstaan om hun zelf te beschermen tegen de vissen. (L109, T5)*

Samenvattend. Deze leerling ziet evolutie als een proces waarbij individuen zich aanpassen aan hun omgeving. Het lesscenario slaagt er niet in haar er van te overtuigen dat tijdens het leven verworven eigenschappen niet erfelijk zijn en dientengevolge geen rol spelen in het evolutieproces. Toch ondervindt ook deze leerling weinig moeite bij het maken van de vragen over variatie en selectie. De moeilijkheden lijken zich pas voor te doen als het begrip mutatie wordt geïntroduceerd. Wellicht ziet de leerling niet dat een instructiemechanisme en het selectiemechanisme met elkaar in tegenspraak zijn. Bij de schriftelijke posttest betreft zij geen van beiden in haar antwoord. Kennelijk verkeert de leerling op dit moment in onzekerheid over welke verklaring voor soortvorming zij moet hanteren.

Bestudering van de hierboven beschreven leertrajecten van individuele leerlingen laat zien dat de meeste leerlingen niet consequent vasthouden aan één verklaring voor soortvorming, maar meerdere tegenstrijdige redeneringen hanteren. Ook lijkt het gevaar te bestaan dat aanvankelijk lamarckistische denkbeelden van leerlingen worden omgevormd tot ideeën over gerichte mutagenese, waarbij mutaties dus worden gezien als door de omgeving geïnduceerde veranderingen in het genetisch materiaal met (per definitie) een positief effect op de fitness (leerling L109). Anderzijds doen sommige leerlingen al uitspraken over selectie voordat dit begrip expliciet in het lesmateriaal aan de orde is gekomen (leerling L035). Het is daarom aannemelijk dat een deel van de leerlingen reeds voor aanvang van de lessen ideeën over selectie hanteert, al worden deze denkbeelden vaak (nog) onzorgvuldig geformuleerd (leerling L158).

## 5. Discussie

### *Doelmatigheid van het ontwikkelde lesscenario*

Het lijkt erop dat het ontwikkelde lesscenario effectief is bij het leren van natuurlijke selectie. Er wordt een zorgvuldig gekozen opeenvolging van vragen aangeboden die moet leiden tot de constructie van de neodarwinistische evolutietheorie. Bij de meeste leerlingen levert dit onderdeel weinig problemen op. Met name de vragen over variatie, selectie en mutatie worden makkelijk gevonden. Onjuiste uitspraken over concepten uit de neodarwinistische evolutietheorie worden ook nauwelijks aangetroffen.

Na afloop van de lessen hanteert een betrekkelijk groot deel van de leerlingen een neodarwinistische (59%) of darwinistische (13%) verklaring voor soortvorming. Hoe verhouden deze percentages zich ten opzichte van de resultaten van andere onderwijsbenaderingen? De afgelopen jaren is een klein aantal publicaties verschenen waarin wordt gerapporteerd over leerprogramma's die door onderzoekers werden uitgewerkt en beproefd (Bishop & Anderson, 1990; Demastes, Settlage & Good, 1995; Greene, 1990; Haldén, 1988; Hendrikse & Boersma, 1999). Een nauwkeurige vergelijking van de resultaten van deze studies is niet mogelijk gezien de verschillende onderzoekspopulaties, het gebruik van andere testvragen en de uiteenlopende manieren om de verkregen gegevens te analyseren. Over het algemeen zijn de analyse-instrumenten die worden gebruikt tamelijk grof: de categorieën zijn veelal breed of onscherp. Zo wordt er vaak geen onderscheid gemaakt tussen darwinistische en neodarwinistische verklaringen. Vaak wordt het analyse-instrument niet eens beschreven.

Er zijn aanwijzingen dat het lesscenario dat in het kader van dit onderzoek werd ontwikkeld in vergelijking met de leerprogramma's van andere auteurs zeker succesvol is. Bijna driekwart van de leerlingen hanteert na afloop van de lessen een selectiemechanisme als verklaring voor het ontstaan van soorten. Bij de leerprogramma's van Haldén (1988), Greene (1990) en Jiménez Aleixandre (1992) ligt dit percentage lager dan 50%. Het percentage lamarckistische denkbeelden daarentegen ligt bij deze studies hoger (gemiddeld 15%) dan bij dit onderzoek (6%).

### *Lamarckistische denkbeelden*

Uitspraken die expliciet duiden op een lamarckistisch redeneerpatroon komen maar weinig voor. Een voorwaarde voor toekenning van het predikaat lamarck-

kistisch zijn expliciete uitspraken over het doorgeven van verworven eigenschappen aan de volgende generatie (L-A2 en L-B2, zie bijlage). Er worden weliswaar veel uitspraken gedaan die aan lamarckistisch denken zijn gerelateerd, maar die zijn te algemeen om ze werkelijk als lamarckistisch te classificeren (L-A): het is onduidelijk of ze betrekking hebben op individuele organismen, op meerdere generaties of op de soort. Andere uitspraken hebben in feite geen betrekking op evolutie (L-A1). De meeste onderzoekers lijken echter weinig kritisch te zijn bij het classificeren van dergelijke uitspraken. De hoge percentages lamarckistische denkbeelden waarover in de vakdidactische literatuur wordt geschreven komen misschien (voor een deel) uit deze onnauwkeurigheid voort (Hendrikse & Boersma, 1999).

Mede op grond van de resultaten van dit onderzoek kunnen we het standpunt verdedigen dat lamarckistische denkbeelden minder veelvuldig voorkomen dan in de literatuur wordt beweerd en dat deze denkbeelden niet zijn vervat in een coherent framework van concepties zoals Greene (1990) en Samarapungavan & Wiers (1997) veronderstellen. Voor dit standpunt kunnen we vier argumenten aanvoeren:

- Bij de posttest-interviews geeft een aantal leerlingen expliciet aan dat ze vóór aanvang van de lessen nog nooit over soortvorming hadden nagedacht. Deze stelling wordt bevestigd door de wijze waarop de antwoorden op de vragen bij de pretest-interviews tot stand lijken te komen. Als het vraagstuk over het ontstaan van de dikke vacht van de poolvos wordt geïntroduceerd vallen de leerlingen niet terug op een kant en klare theorie. In plaats daarvan beginnen ze te associëren en lijken ze te zoeken naar een verklaring op het moment dat de vraag gesteld wordt. Er worden dan veel zinsneden gebruikt als 'misschien', 'ik denk dat' en 'ik weet niet'. Leerlingen houden ook niet per definitie vast aan één redenering, maar stellen vaak meerdere (conflicterende) hypothesen op (zie §4). Een verklaring wordt dus ter plekke geconstrueerd binnen de specifieke context van de vraag. Natuurlijk doen leerlingen hierbij een beroep op hun eigen concepties en redeneringen, maar van tevoren blijkt meestal geen samenhangend redeneerpatroon aanwezig te zijn.
- Een belangrijk kenmerk van misconcepten is dat ze functioneel zijn voor degenen die ze hanteren (Driver, 1988). Met andere woorden, deze denkbeelden zijn handig in het leven van alledag. Echter, het is moeilijk voor te stellen welke functie lamarckistische denkbeelden kunnen hebben binnen een alledaagse context. Het idee dat organismen zich (fenotypisch) aan hun omgeving aan kunnen passen is een bruikbaar concept, maar deze opvatting is als zodanig niet lamarckistisch en in principe niet in strijd met de neodarwinistische evolutietheorie.
- Leerlingen die binnen een evolutionaire context een instructietheorie hanteren, gaan lang niet altijd uit van het overerven van verworven eigenschappen binnen een genetische (niet-evolutionaire) context (Baalmann, Frerichs en Kattmann, 1998). De inconsistentie van deze opvattingen spreekt het bestaan van een coherent conceptueel netwerk tegen (vgl. Driver, 1988).
- Naturalistische en lamarckistische uitspraken zijn sterk gebonden aan de taal. Ook bij leerlingen die in principe een neodarwinistisch redeneerpatroon hanteren treffen we dergelijke uitspraken veelvuldig aan. Het lijkt erop dat deze uitlatingen niet altijd letterlijk moeten worden geïnterpreteerd. Clough en Wood-Robinson (1985, p. 129) stellen: *'It is quite simply very difficult to talk about the [evolutionary] process without the use of such teleological expressi-*

*on (certainly biologists on television programmes use them all the time!). Is it fair to attribute these interpretations to students when [...] many biology educators (who presumably know better) describe evolution in textbooks in stridently teleological and anthropomorphic terms? How can we assume that our students don't also 'know better'?* Voor deze hypothese zijn verschillende aanwijzingen. Ten eerste wordt zelfs met betrekking tot de 'prooidieren' in het simulatiemodel (Stebbins & Allen, 1975) over actieve adaptatie gesproken. Het is erg onwaarschijnlijk dat leerlingen werkelijk bedoelen dat de fiches 'zich aanpassen'. Ten tweede zeggen sommige leerlingen die voor aanvang van de lessenreeks een lamarckistisch redeneerpatroon hanteren, maar na afloop alleen neodarwinistische denkbeelden gebruiken, zelf dat hun ideeën over soortvorming door de lessen niet zijn veranderd. Misschien is de grootste verandering hier wel linguïstisch in plaats van conceptueel: het aanleren van een nieuwe, neodarwinistische taal biedt de mogelijkheid om reeds bestaande concepties in woorden te vatten.

Er zijn dus goede argumenten om de gangbare opvattingen over de hardnekkigheid van lamarckistische denkbeelden ter discussie te stellen. Lamarckistische ideeën zijn waarschijnlijk niet verankerd in een netwerk van samenhangende concepties. We moeten deze denkbeelden eerder beschouwen als mogelijke valkuilen of misinterpretaties bij het leren van de (neodarwinistische) evolutietheorie. Het is dus onnodig, en misschien zelfs onwenselijk, om leerlingen in eerste instantie een expliciet lamarckistisch standpunt in te laten nemen, zoals bij de conceptual-change benadering gebruikelijk is. Een dergelijke herziening (of in ieder geval nuancering) van de status van een aantal leerlingdenkbeelden binnen de natuurkunde is recentelijk bepleit door Klaassen (1995) en Vollebregt (1998).

### *Selectie en mutatie*

Uit de analyse van het lesmateriaal blijkt dat de vragen over de begrippen variatie en selectie de meeste leerlingen weinig problemen opleveren. Het moment dat leerlingen moeten inzien dat er nieuwe variatie bij moet komen om het evolutieproces door te laten gaan (vraag 8) lijkt het belangrijkste knelpunt in de sequentie van vragen te zijn (fig. 3). Bovendien is het percentage leerlingen dat denkbeelden over selectie hanteert op ieder meetmoment hoger dan het percentage leerlingen met denkbeelden over het begrip mutatie (§4). Moeten we hieruit afleiden dat het concept mutatie voor leerlingen moeilijker is te begrijpen dan het concept selectie?

We treffen enkele uitspraken aan over gerichte mutaties en over mutaties die door relevante omgevingsfactoren worden geïnduceerd (elf uitspraken). Deze laatste uitspraken duiden over het algemeen op gerichte mutagenese (fig. 1b). Echter, dergelijke incorrecte denkbeelden bedragen slechts een klein percentage (3%) van het totaal aantal uitspraken over mutaties. Anderzijds zijn er aanwijzingen dat een aantal leerlingen aanvankelijk lamarckistische denkbeelden heeft omgevormd tot ideeën over gerichte mutagenese. Helaas valt dit lang niet altijd eenduidig uit de antwoorden af te leiden (zie ook §4, leerling L109).

Ondanks dat er gedurende de hele lessenreeks leerlingen zijn die wel denkbeelden over selectie hanteren maar niet over mutatie, is er nochtans geen duidelijk aanwijsbare oorzaak voor dit verschil. Ook de vraag over de ongerichtheid van mutaties (vraag 9) wordt door de meeste leerlingen correct

beantwoord. Misschien maakt de koppeling aan het subcellulair niveau dat leerlingen bij dit concept meer moeite ondervinden dan bij selectie. Bij de posttest-interviews geven sommige leerlingen in ieder geval aan dat met name het begrip mutatie nieuw voor ze was en als lastig werd ervaren. Daarentegen wordt het begrip selectie door geen van de leerlingen als moeilijk aangemerkt.

### *Organisatieniveaus*

Uit de pretest-interviews blijkt dat leerlingen afhankelijk van de context verschillende denkbeelden over erfelijkheid hanteren. In een evolutionaire context worden soms uitspraken gedaan over het overerven van verworven eigenschappen. Leerlingen passen hun kennis over de genetica kennelijk niet toe bij evolutionaire vraagstukken. Baalman, Frerichs & Kattmann (1998) stellen daarom voor om de onderdelen genetica en evolutie te integreren en in samenhang te onderwijzen. Idealiter ontwikkelen leerlingen dan een coherent begrip van beide onderwerpen. Boersma (2000) wijst erop dat het gehele biologiecurriculum een gebrek aan samenhang vertoont waardoor leerlingen slechts een gefragmenteerde kennis van de biologie verwerven. Hij pleit daarom voor een meer algemene, holistische benadering. Het onderscheid leren maken tussen verschillende biologische organisatieniveaus, en tegelijkertijd de relaties tussen deze organisatieniveaus begrijpen, vormt hierbij een essentieel onderdeel.

Om na te gaan in hoeverre leerlingen het organisatieniveau van de populatie betrekken in hun redenering zijn een aantal categorieën van het analyse-instrument verder onderverdeeld in subcategorieën die verschillen wat betreft de organisatieniveaus die in de uitspraak worden betrokken. Zo is er een onderscheid gemaakt tussen de uitspraken *'door mutaties ontstaat nieuwe variatie in de populatie'*, *'door mutaties ontstaan individuen met nieuwe kenmerken'* en *'door mutaties ontstaan nieuwe genetische varianten'*. Het aantal uitspraken waarin het organismaal niveau wordt betrokken is vele malen groter (717 uitspraken) dan het aantal verwijzingen naar het populatieniveau (57) of het subcellulair niveau (27).

Dit geringe aantal verwijzingen naar andere organisatieniveaus is inderdaad zorgwekkend. De moeite die sommige leerlingen hebben met het begrip mutatie hangt misschien samen met het feit dat leerlingen voornamelijk gericht zijn op het organismaal niveau. De integratie van het onderdeel evolutie met verwante domeinen zoals de genetica en de populatiegenetica kan uitkomst bieden. Overigens moet niet alleen het verband tussen erfelijkheid en evolutionaire processen duidelijker worden uitgewerkt, maar ook de koppeling tussen evolutie en begrippen als populatie en soort verdient de aandacht. Om het idee te versterken dat evolutie een verschijnsel op populatieniveau is, zou ook overwogen kunnen worden het begrip in een ecologische context te introduceren. Na introductie van predator-prooi-relaties en variatie in populaties ligt het dan voor de hand om na te gaan, bijvoorbeeld met behulp van het simulatiespel, wat de invloed van deze relaties op de variatie in de populatie is. Dat impliceert dan wel dat natuurlijke selectie in twee cycli wordt uitgewerkt: als verschijnsel op ecosysteemniveau, waarvoor vervolgens op organismaal en subcellulair niveau een genetische verklaring wordt gezocht. Deze benadering kan probleemstellend (Klaassen, 1995; Vollebregt, 1998) worden uitgewerkt doordat de leerlingen in deze redenering tegen het probleem zullen oplopen



dat de variatie in de populatie afneemt. Er moet dan gezocht worden naar mechanismen voor nieuwe variatie. Dat kan dan leiden tot een zoektocht naar verklaringen voor erfelijke eigenschappen, waarna mutaties kunnen worden uitgevonden. In deze benadering kan, na terugkoppeling naar het ecosysteemniveau, ook het begrip co-evolutie aan de orde komen. Een dergelijke uitwerking van het curriculum vraagt om nader onderzoek. Toch is dit naar onze mening absoluut noodzakelijk om leerlingen een functioneel en coherent begrip van de (evolutie)biologie aan te leren.

### Dankwoord

Wij zijn veel dank verschuldigd aan de docenten en leerlingen van beide onderzoeksscholen. Zij hebben er met veel enthousiasme voor zorggedragen dat alle lessen en onderzoeksactiviteiten optimaal konden verlopen.

### Noot

1. De vraag die bij de schriftelijke posttest is gebruikt kunnen we als volgt samenvatten:  
Een populatie kworgs (een fantasiedier dat in zee voorkomt) wordt plotseling geconfronteerd met nieuwe predatoren (vissen). Onderzoekers stellen vast dat de kworgs, die oorspronkelijk een gladde huid hadden, na een groot aantal generaties een aantal stekels op hun huid dragen waardoor zij beter beschermd zijn tegen de aanvallen van de vissen. Vervolgens wordt de vraag gesteld hoe dit evolutieproces is verlopen, en welke processen daar een rol bij hebben gespeeld.

### Literatuur

- Angseesing, J.P.A. (1978). Problem-solving exercises and evolution teaching. *Journal of Biological Education*, 12 (1), 16-20.
- Baalmann, W., Frerichs, V. & Kattmann, U.(1998). How the gorillas became dark – research in students' conceptions leads to a rearrangement of teaching genetics and evolution. Pp. 171-189 in: O. de Jong, K. Kortland, A.J. Waarlo & J. Buddingh'(eds.). *Bridging the gap between theory and practice: what research says to the science teacher*. Proceedings of the 1998 International Summer Symposium, Utrecht University, The Netherlands, International Council of Associations for Science Education (ICASE).
- Bishop, B.A. & Anderson, C.W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution.- *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 415-427.
- Boersma, K.Th.(2000). Verscheidenheid in eenheid. Pp. 21-29 in: *Leren Motiveren. Verslag van de 14<sup>e</sup> conferentie voor het Biologie Onderwijs*. Utrecht: NIBI.
- Boxtel, C. van (1997). Samenwerkend leren gericht op begripsontwikkeling. *NVOX 10*, 498-500.
- Brumby, M. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*, 13 (2), 119-122.
- Brumby, M. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68 (4), 493-503.
- Clough, E.E. & Wood-Robinson, C.(1985). How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19 (2), 125-129.
- Dawes, J.A. (1977). Kammerer revisited. *Journal of Biological Education*, 11 (1), 21-26.

- Deadman, J.A. & Kelly, P.J. (1978). What do secondary schoolboys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12(1), 7-15.
- Demastes, S.S., Good, R.G. & Peebles, P. (1996). Patterns of conceptual change in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 33 (4), 407-431.
- Demastes, S.S., Settlage, J. & Good, R. (1995). Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (5), 535-550.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35, 125-129.
- Driver, R. (1988). Changing conceptions. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 6 (3), 161-198.
- Duveen, J. & Solomon, J. (1994). The great evolution trial: use of role-play in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (5), 575-582.
- Ferrari, M. & Chi, M.T.H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1231-1256.
- Greene, E.D. (1990). The logic of university students' misunderstanding of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (9), 875-885.
- Gough, N.P. (1978). The necessity of evolution: law and logic in Darwin's explanation. *Journal of Biological Education*, 12 (1), 3-6.
- Halldén, O. (1988). The evolution of the species: pupil perspectives and school perspectives. *International Journal of Science Education*, 10 (5), 541-552.
- Hendrikse, M. & Boersma, K.Th. (1999). Leerlingdenkbeelden over soortsvorming. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 16 (2), 110-129.
- Janssen, F. & Voogt, P. (1997). Evolutietheorie in het voortgezet onderwijs. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 14 (1) 56-71.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (1992). Thinking about theories or thinking with theories?: a classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14 (1), 51-61.
- Johnstone, A.H. & Mahmoud, N.A. (1980). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. *Journal of Biological Education*, 14, 163-166.
- Kargbo, D.B., Hobbs, E.D. & Erickson, G.L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14 (2), 137-146.
- Kelly, P.J. & Monger, G. (1974). An evaluation of the Nuffield O-level Biology course materials and their use. *School Science Review*, 55 (192), 470-482; 55 (193), 705-715.
- Keown, D. (1988). Teaching evolution – improved approaches for unprepared students. *The American Biology Teacher*, 50 (7), 407-410.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity. Utrecht: CD- $\beta$  Press.
- Paul, F. (1997). Evolutie (werkboek, informatieboek en docentenhandleiding). Enschede: Instituut voor leerplanontwikkeling (SLO).
- Samarapungavan, A. & Wiers, R.W. (1997). Children's thoughts on the origin of species: a study of explanatory coherence. *Cognitive Science*, 21 (2), 147-177.
- Stebbins, R.C. & Allen, B. (1975). Simulating evolution. *The American Biology Teacher*, 37, 206-211.

Vollebregt, M.J. (1998). A problem posing approach to teaching an initial particle model. Utrecht: CD-β Press.

Zuzovsky, R. (1994). Conceptualizing a teaching experience on the development of the idea of evolution: an epistemological approach to the education of science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (5), 557-574.

*Bijlage. De hoofdcategorieën van het analyse-instrument. Het volledige analyse-instrument omvat ook ontkennende categorieën (bijvoorbeeld: er is geen variatie, D-B1N). Daarnaast is er een onderscheid gemaakt wat betreft de organisatieniveaus waar naar verwezen wordt (zie §5).*

- L-A** Organismen passen zich aan onder invloed van omgevingsfactoren.
- L-A1** Individuele organismen passen zich tijdens hun leven aan de omgeving aan.
- L-A2** De nakomelingen van een organisme zijn beter aangepast aan de omgeving dan hun ouders.
- L-A3** Na een aantal generaties zijn organismen beter aangepast aan de omgeving dan hun voorouders
- L-B2** Tijdens het leven verworven eigenschappen worden doorgegeven aan de nakomelingen.
- L-B3** Tijdens het leven verworven eigenschappen worden na een aantal generaties erfelijk.
  
- D-A1** Er worden meer nakomelingen geboren dan strikt noodzakelijk voor vervanging van de ouderlijke generatie.
- D-A2** Een populatie is onder normale omstandigheden constant van grootte.
- D-A3** Er is een strijd om het bestaan.
- D-B1** Er is variatie.
- D-B2** Deze variatie is (gedeeltelijk) erfelijk.
- D-B3** De verzameling genen in een populatie noemt men de genenpool.
- D-B4** De variatie in de populatie neemt af door selectie.
- D-C1** Mutaties zijn een bron van nieuwe variatie.
- D-C2** Mutaties zorgen niet per definitie voor een betere aanpassing.
- D-C3** Mutaties ontstaan toevallig.
- D-D1** Recombinatie is een bron van nieuwe variatie.
- D-E2** Er is een verschil in overlevingskans.
- D-E3** Er is een verschil in voortplantingssucces.
- D-F1** Dit deel van de populatie is (deze individuen zijn) beter aangepast...
- D-F2** ... aan de heersende omstandigheden.
- D-G1** Hierdoor verandert de populatie van samenstelling.
- D-G2** Verandering in de samenstelling van de populatie levert op zich geen voldoende verklaring voor de evolutie van soorten.