

Samenvatting

Dit proefschrift beschrijft een onderzoek dat plaatsvond van 1998 tot 2002 bij het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen aan de Universiteit Utrecht. Het onderzoek richtte zich op de aanpak van problemen bij het leren en onderwijzen van genetica in de bovenbouw van het havo en vwo. Het doel van het onderzoek was de ontwikkeling van een theoretisch gefundeerde en empirisch geteste onderwijsleerstrategie om deze problemen te kunnen hanteren. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

Wat is een adequate onderwijsleerstrategie voor genetica in de bovenbouw van het voortgezet biologieonderwijs om leerlingen een betekenisvol en samenhangend begrip van erfelijkheidsverschijnselen te doen verwerven.

In **hoofdstuk 2** wordt een overzicht gegeven van de opzet van het onderzoek. Gekozen is voor ontwikkelingsonderzoek, waarin twee fasen werden onderscheiden: de verkennende fase en de cyclische onderzoeksfase.

De *verkennende fase* (hoofdstuk 1 en 3) omvatte een theoretische en praktische oriëntatie en resulteerde in: *a)* een positionering van dit onderzoek in het onderzoeksveld en binnen leertheorieën (hoofdstuk 1) en *b)* de identificatie van de belangrijkste problemen met het leren en onderwijzen van genetica, een diepgaand inzicht in deze problemen en de formulering van ontwerpcriteria waaraan een adequate onderwijsleerstrategie zou moeten voldoen (hoofdstuk 3).

In de *cyclische onderzoeksfase* (hoofdstuk 4), werden drie casestudies in verschillende scholen en klassen (6 vwo, 4 vwo en 4 havo) gepland. Op basis van de resultaten en criteria uit de verkennende fase werd een eerste ontwerp van een onderwijsleerstrategie voor genetica gemaakt en vervolgens uitgewerkt tot het eerste contextspecifieke *scenario*, dat in de klas getoetst werd. Bij het uittesten daarvan in de praktijk werden verschillende datasets verzameld en geanalyseerd om het scenario te kunnen evalueren en te reflecteren op de onderwijsleerstrategie. De resultaten geven aanwijzingen om het ontwerp verder aan te passen. De herziene onderwijsleerstrategie werd omgezet in een tweede en derde scenario, die vervolgens ook in de praktijk werden getoetst. De onderwijsleerstrategie ontwikkelde zich verder tijdens het proces van cyclisch empirisch toetsen van scenario's in opeenvolgende casestudies.

Hoofdstuk 1 schetst het eerste deel van de *verkennende fase*, waarin de ontwikkelingen in het onderwijs en onderzoek in de biologie worden besproken, evenals de huidige ideeën over leren en onderwijzen. Op grond daarvan is een domeinspecifieke visie op het leren en onderwijzen geformuleerd.

De recente ontwikkelingen en inzichten in de *wetenschap* laten een toenemende aandacht voor genetica zien, wat het belang van het bevorderen van 'genetic literacy' benadrukt. De ontwikkelingen in het biologieonderwijs en onderzoek onderstrepen het belang van het verkrijgen van een samenhangend en geïntegreerd beeld van de biologie. Er vindt een toenemende integratie plaats van onderzoek en kennis op de verschillende biologische organisatieniveaus.

De ontwikkelingen in het *onderwijsveld* richten zich op het verwerven van een 'leren leren' competentie, die essentieel is geworden in onze huidige kennismaatschappij. Deze aanpak lijkt echter nog niet adequaat in de onderwijspraktijk te zijn geïmplementeerd.

In onze visie is het van belang om in het biologieonderwijs de sleutelbegrippen en hun onderlinge relatie te benadrukken. Ze kunnen een structurerende functie voor de meer specifieke kennis in een domein vervullen. Leerlingen worden zo in staat gesteld inzicht in, en een samenhangend beeld van, de biologie te verkrijgen. Voor het ontwikkelen van een adequate onderwijsleerstrategie voor genetica houdt dit in dat de sleutelbegrippen en hoofdlijnen in de erfelijkheid benadrukt moeten worden en dat leerlingen actief betrokken moeten worden bij hun leerproces. De probleemstellende aanpak kan een vruchtbare methode zijn om leerlingen te motiveren en actief te betrekken bij het inhoudelijk leerproces. Dit idee is gebruikt bij het ontwerpen van de onderwijsleerstrategie voor genetica.

Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens het grootste deel van de *verkennde fase*. De belangrijkste problemen met het leren en onderwijzen van de genetica werden middels bestudering van de internationale vakdidactische literatuur over genetica en focusgroep interviews met Nederlandse biologiedocenten geïdentificeerd. Dit resulteerde in tien domeinspecifieke problemen waaruit twee sleutelproblemen werden geselecteerd om het vervolgonderzoek op te richten: *de abstracte en complexe aard van genetica*. Om meer diepgaande kennis over deze twee sleutelproblemen te verkrijgen, werd een verkennende casestudy geïnitieerd, waarin een reguliere lessenserie genetica in een 5 havo klas werd geobserveerd (12 lessen). De biologiedocent werd geïnterviewd om de opzet van zijn geneticalessen te verhelderen. Leerlingen hielden tijdens de geneticalessen logboeken bij en zij werden geïnterviewd om meer inzicht in hun redeneerwijzen te verkrijgen. Ook werden enkele eerste ideeën voor leeractiviteiten uitgetoetst. Daarnaast werden de hoofdstukken over erfelijkheid, voortplanting en meiose van biologieschoolboeken geanalyseerd om vast te stellen wat schoolboeken bijdragen aan de abstracte en complexe aard van de genetica.

Uit deze verkennende fase bleek dat een scheiding in tijd en plaats van de onderwerpen erfelijkheid, voortplanting en meiose verantwoordelijk lijkt te zijn voor de *abstracte aard* van geneticaonderwijs. Het traditionele geneticaonderwijs richt zich voornamelijk op het oplossen van kruisingsvraagstukken. Leerlingen blijken problemen te ondervinden met het vertalen van teksten naar schema's en symbolen, en vice versa bij het lezen en interpreteren van schema's en symbolen. Daarbij moeten leerlingen wiskundige berekeningen met deze symbolen uitvoeren om deze vraagstukken op te lossen en ze moeten kansen relateren aan biologische verschijnselen. Het kruisingsschema wordt veelal routinematig gebruikt zonder dit te koppelen aan biologische verschijnselen en processen, zoals de meiose.

De *complexe aard* van de genetica verwijst er naar dat erfelijkheidsverschijnselen zich op verschillende biologische organisatieniveaus manifesteren, en dat elk organisatieniveau een eigen terminologie kent. Voor een betekenisvol begrip is het kunnen *heen-en-weer denken* tussen het moleculaire, cellulaire, organismale en populatieniveau vereist, alsook het verbinden van de verschillende structuren en processen op deze niveaus. Biologen, onder wie biologiedocenten, gebruiken deze 'denkvaardigheid' automatisch. Leerlingen die genetica proberen te begrijpen, komen in de problemen, omdat biologiedocenten en schoolboekauteurs vaak impliciet van het ene naar het ander niveau springen.

Op grond van de uitkomsten van de verschillende onderzoeksactiviteiten in deze

verkennde fase, konden vier ontwerpcriteria voor een onderwijsleerstrategie voor genetica worden gedefinieerd:

1. Het geneticaonderwijs moet beginnen op het organismale niveau waarmee leerlingen bekend zijn en dan geleidelijk afdalen naar het cellulaire niveau.
2. De relatie tussen meiose en erfelijkheid moet expliciet behandeld worden.
3. De twee belangrijke cellijnen, te weten de somatische lijn (mitose) en de kiemlijn (meiose) moeten in de context van de levenscyclus onderscheiden worden.
4. Leerlingen moeten de relaties tussen de biologische organisatieniveaus zelf ontdekken, daarbij begeleid door een zorgvuldig doordachte structuur van de leeractiviteiten (en/of door de docent) volgens de probleemstellende aanpak.

In de *cyclische onderzoeksfase*, beschreven in **hoofdstuk 4**, zijn de vier ontwerpcriteria en ideeën omgezet in een eerste onderwijsleerstrategie, bestaande uit een sequentie van vragen en een sequentie van daarmee samenhangende leeractiviteiten.

Uit criterium 1 vloeide voort dat de biologische organisatieniveaus stap voor stap behandeld moeten worden, te beginnen met het organismale niveau waarmee leerlingen al bekend zijn, waarna geleidelijk ingezoomd wordt op het cellulaire en moleculaire niveau. Wanneer leerlingen een niveau afdalen, moeten zij ook de noodzaak van het afdalen inzien; het moet betekenisvol voor hen zijn. Dit kon bereikt worden door leerlingen een (genetisch) probleem op het organismeniveau voor te leggen, dat zij alleen kunnen oplossen door gebruik te maken van geneticabegrippen op het cellulaire niveau (criterium 4). Wat betreft de biologisch-inhoudelijke structuur van de onderwijsleerstrategie voor genetica waren criteria 2 en 3 essentieel. Het expliciet onderscheiden van de somatische cellijn en de kiemcellijn in een levenscyclus hielp de leerlingen te begrijpen dat groei & ontwikkeling en geslachtelijke voortplanting, gekoppeld zijn aan verschillende celdelingprocessen (mitose en meiose), die genetische continuïteit (cf. ongeslachtelijke voortplanting) en diversiteit mogelijk maken. Leeractiviteiten moeten dus starten op het organismeniveau en er moet expliciet een relatie worden gelegd met de voortplantingsprocessen. De sleutelbegrippen betreffende voortplanting en erfelijkheid zouden verkend moeten worden in opeenvolgende leeractiviteiten. Daarnaast is het proces van meiose een cruciale schakel. 'Homologe chromosomen' is een moeilijk begrip voor leerlingen en dat gaf aanleiding tot de ontwikkeling van een chromosomenpracticum.

De **eerste onderwijsleerstrategie** voor genetica (tabel 4.3) werd uitgewerkt in een contextspecifiek scenario met bijbehorende lesmateriaal voor twee 6 vwo klassen. Het scenario werd vervolgens in de onderwijspraktijk getest om na te gaan of het feitelijke onderwijsleerproces in de klas en de leerresultaten overeenkwamen met de vooraf geformuleerde verwachtingen en om te reflecteren op de adequaatheid van de onderliggende onderwijsleerstrategie. Het algemene doel van deze eerste onderzoeksronde was het opsporen van ontwerpfouten en in het verlengde daarvan het opnieuw doordenken van de aard en volgorde van de leeractiviteiten. Op basis van de testresultaten werd het scenario op vier punten aangepast.

De belangrijkste aanpassing kwam voort uit het feit dat leerlingen moeilijkheden ondervonden met het *opstijgen* in de biologische organisatieniveaus. Leerlingen waren

in staat naar de lagere biologische organisatieniveaus af te dalen en de biologische processen en verschijnselen op de verschillende niveaus aan elkaar te relateren, maar ze bleken niet in staat om vanaf de lagere niveaus op te stijgen. Dit was het moment waarop het idee van de jojo-strategie werd geboren. De essentie van de tweede versie van de onderwijsleerstrategie voor genetica werd dus geduid met '*jojo-leren*' (analoog met het speelgoed jojo). Leerlingen worden uitgenodigd om heen-en-weer ('omhoog en omlaag') te denken tussen de biologische organisatieniveaus en om de erfelijkheidsbegrippen op deze niveaus met elkaar in verband te brengen. Het beoogde leerresultaat werd gekarakteriseerd als een competentie:

Leerlingen zijn in staat om de biologische organisatieniveaus te onderscheiden, de relaties tussen deze niveaus te zien en geslachtelijke voortplanting en erfelijkheid binnen een levenscyclus aan elkaar te relateren door heen-en-weer te denken tussen de biologische organisatieniveaus.

De **tweede versie** van de **onderwijsleerstrategie** (tabel 4.5) werd uitgewerkt tot een tweede en derde scenario en in de praktijk getest in twee casestudies (twee 4 vwo klassen en een 4 havo klas). De leerdoelen leverden de evaluatiecriteria. Deze doelen verwijzen respectievelijk naar de *biologische organisatieniveaus* en naar de *sleutelbegrippen*.

Uit de tweede onderzoeksrunde kon worden geconcludeerd dat in het algemeen de aard en sequentie van de leeractiviteiten in het tweede en derde scenario als adequaat beschouwd konden worden. De problemen zoals beschreven in de literatuur en aangegeven door de Nederlandse biologiedocenten, waren in aanzienlijke mate opgelost. Met betrekking tot *sleutelbegrippen* kon geconcludeerd worden dat de belangrijke inhoudelijke hoofdlijn van erfelijkheid, de relatie tussen geslachtelijke voortplanting, meiose en erfelijkheid, voor de meeste leerlingen duidelijk was. Daarnaast bleek dat met deze kennisbasis ook allerlei soorten kruisingsvraagstukken opgelost konden worden. Met betrekking tot *biologische organisatieniveaus* kon worden geconcludeerd dat de keuze om te beginnen op het organismale niveau en geleidelijk af te dalen naar het cellulaire en moleculaire niveau, adequaat bleek te zijn. Per biologisch organisatieniveau werden betekenisvolle vragen opgeroepen, die uitnodigden om af te dalen naar een lager organisatieniveau en om deze vragen te koppelen aan de voorafgaande vragen en aan (bijbehorende) erfelijkheidsbegrippen. Door vergelijking van het geobserveerde onderwijsleerproces en de leerresultaten met de vooraf in het scenario geformuleerde verwachtingen, en reflectie op discrepanties, kon worden geconcludeerd dat:

- 1- de sequentie van de onderwijsleerstrategie voor genetica (beginnen op het organismeniveau en geleidelijk afdalen naar het celniveau) adequaat lijkt;
- 2- de stappen in het afdalen geleidelijker, betekenisvoller en explicieter zijn geworden dan in de eerste test. Toch zouden enkele overgangen nog steeds verbeterd kunnen worden, aangezien de reflectieactiviteiten niet geheel werden uitgevoerd zoals bedoeld;
- 3- leerlingen in staat waren de biologische organisatieniveaus op te stijgen, al bleef het opstijgen vanaf het moleculaire niveau naar het cellulaire niveau minder nauwkeurig (de onderwijsleerstrategie richtte zich vooral op het organismale en cellulaire niveau);
- 4- leerlingen in staat waren om de biologische organisatieniveaus te onderscheiden,

en om (impliciet) te jojo-en tussen de niveaus en de erfelijkheidsbegrippen op deze niveaus.

De onderwijsleerstrategie heeft op twee punten verdere verbetering: het beantwoorden van de centrale vraag zou explicieter moeten, en de docent zou in de reflectieactiviteiten meer aan de leerlingen moeten overlaten. De laatste versie van de onderwijsleerstrategie (tabel 4.12) is op deze punten aangepast. Na deze aanpassingen beschouwen we de bijgeschaafde jojo-strategie voor genetica als ‘goed genoeg’.

Tenslotte wordt in **hoofdstuk 5** een formele beschrijving van de didactische structuur van de laatste jojo-onderwijsleerstrategie voor genetica gepresenteerd. Tevens wordt de centrale onderzoeksvraag van dit proefschrift beantwoord.

De essentie van de jojo-strategie is het afdalen en opstijgen van de biologische organisatieniveaus door middel van de genetisch-inhoudelijke structuur en de probleemstellende structuur, die onderling verweven zijn.

De *genetisch-inhoudelijke structuur* in de jojo-strategie (tabel 5.1) bevat de genetische sleutelbegrippen, geordend naar biologisch organisatieniveau. Deze is gepresenteerd als een sequentie van relevante vragen en antwoorden: de conceptuele lijn. De *probleemstellende structuur* draagt zorg voor het opwekken en in stand houden van de leermotivatie. Door het ontlocken van inhoudsgerelateerde betekenisvolle vragen en antwoorden, wordt een leerweg geplaveid. De probleemstellende sequentie die in de opeenvolgende leeractiviteiten in de jojo-strategie kan worden herkend, bestaat uit de volgende stappen:

- i.* De centrale sturende vraag (gesteld aan het begin van de leersequentie) met als doel globale motivatie.
 1. Deelvraag formuleren en lokaal motief om de deelvraag te beantwoorden: stimuleren van behoefte om kennis uit te breiden.
 2. Informatie en/of onderzoek: uitbreiden van de kennis.
 3. Toepassen: de uitgebreide kennis toepassen in een nieuwe situatie.
 4. Reflectie: reflecteren op de uitgebreide kennis.
 - 4a. Beantwoorden van de deelvraag, gesteld aan het begin van de leeractiviteit (terugkoppeling naar stap 1).
 - 4b. Het antwoord op de deelvraag koppelen aan al de voorafgaande stappen (deelvragen) op de hogere biologische organisatieniveaus, om na te gaan in hoeverre de centrale vraag (*i*) nu beantwoord is en om de formulering van de volgende deelvraag te (bege)leiden.
 - 4c. Leerlingen beseffen wat ze nu wel en wat ze nu nog niet begrijpen of weten, wat hen een motief zou moeten verschaffen om een volgende stap in de leersequentie te nemen door het formuleren van een nieuwe deelvraag (stap 1) met de centrale vraag in gedachte. Met deze nieuwe deelvraag begint de volgende cyclus van vier stappen.

De probleemstellende structuur bestaat dus uit een aantal opeenvolgende cycli, elk bestaande uit vier stappen. Elke nieuwe cyclus begint met de formulering van een deelvraag die verkend (onderzocht) en beantwoord wordt middels de volgende leeractiviteiten.

Terwijl deze opeenvolgende probleemstellende cycli in de jojo-onderwijsleerstrategie worden doorlopen, dalen leerlingen geleidelijk af van het organismale naar het

cellulaire en uiteindelijk naar het moleculaire niveau. De terugkoppelingslusen naar de centrale vraag via de voorafgaande deelvragen in de *reflectiefase*, komen overeen met het opstijgen qua biologisch organisatieniveau. De essentie van ‘**jojo-en**’ is het *niet alleen* terugkomen op de deelvraag die op dat moment beantwoord moet worden, maar ook het terugkoppelen naar de *voorgaande deelvraag/-vragen* (op het/de hogere niveau(s)): het opstijgen. In het afdalen van de biologische organisatieniveaus mag geen niveau en ook geen genetisch sleutelbegrip worden overgeslagen (de conceptuele structuur).

Het voorgaande illustreert de analogie met het speelgoed ‘jojo’. In het hanteren van een jojo is het onmogelijk om een deel van de neergaande of opgaande weg over te slaan. Het is ook mogelijk om omhoog te jojo-en en omlaag te jojo-en, maar het starten en ankerpunt blijft altijd gelijk: de hand die de jojo hanteert. In de jojo-onderwijsleerstrategie voor genetica is het begin- en ankerpunt het organismale niveau, vanwaar naar de niveaus kan worden afgedaald en weer opgestegen (neerwaarts jojo-en) maar ook kan worden opgestegen naar het populatie en levensgemeenschapniveau (opwaarts jojo-en) en weer afgedaald naar het organismeniveau. In de jojo-onderwijsleerstrategie is het essentieel om per biologisch organisatieniveau tenminste één complete probleemstellende cyclus te doorlopen.

De jojo-strategie reduceert de complexe aard van de genetica door de biologische organisatieniveaus expliciet te onderscheiden en door het afdalen en opstijgen met het organismale niveau als ankerpunt. Het expliciteren van de niveaus maakt het organisatieniveau-doorsnijdende karakter van de erfelijkheid voor leerlingen zichtbaar, en biedt inzicht in de erfelijkheidsverschijnselen, processen en structuren die zich op de verschillende organisatieniveaus voordoen. De genetische terminologie is afgestemd op het specifieke niveau waar leerlingen op dat moment mee bezig zijn. Dit voorkomt verwarring. De onderwijsleerproblemen, beschreven in de literatuur betreffende cytologische processen, het homologe-chromosoomconcept en chromosoomstructuur, zijn grotendeels verdwenen.

De jojo-strategie benadrukt de sleutelbegrippen in de genetica per organisatieniveau en hun onderlinge samenhang. De relatie tussen voortplanting, meiose en erfelijkheid op het organismale en cellulaire niveau wordt benadrukt. De sleutelbegrippen worden concreet gemaakt.

De probleemstellende structuur van de inhoudelijke deelvragen en reflectieactiviteiten is adequaat in het verschaffen van een motief aan leerlingen om een volgende leeractiviteit aan te pakken, waarin een aansluitend sleutelbegrip op een specifiek organisatieniveau wordt verkend.

Door middel van de jojo-onderwijsleerstrategie is het beoogde leerdoel behaald; leerlingen hebben zich de competentie van het heen-en-weer denken tussen de biologische organisatieniveaus en het relateren van de erfelijkheidsbegrippen op deze niveaus eigen gemaakt.

Aangezien de biologische organisatieniveaus een rol spelen in de meeste biologische onderwerpen, is betoogd dat de jojo-strategie ook toepasbaar kan zijn voor andere onderwerpen die verschillende organisatieniveaus doorsnijden, zoals gedrag, evolutie en ecologie. Gezien de bredere toepasbaarheid van deze didactische aanpak, mogen we concluderen dat de jojo-onderwijsleerstrategie verder onderzoek verdient.

