

## Samenvatting

Dit proefschrift beschrijft ontwikkelingsonderzoek dat werd uitgevoerd van juli 2003 tot juli 2007 bij het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen (nu Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen) aan de Universiteit Utrecht. Dit onderzoek richtte zich op een geschikte aanpak van de modernisering van het onderwijs over ecosystemen in de bovenbouw van het VWO. Het doel van het onderzoek was de ontwikkeling van een theoretisch gefundeerd en empirisch getest ontwerp van een onderwijsleerstrategie om die modernisering te bereiken. De centrale onderzoeksvraag luidt als volgt:

*Wat zijn kenmerken van een valide, uitvoerbare en effectieve onderwijsleerstrategie over het gedrag van ecosystemen, met gebruikmaking van modelleren en systeemdenken in authentieke praktijken?*

**Hoofdstuk 1** beschrijft de aanleiding voor dit onderzoek. Een ecosysteem is complex en dynamisch. Kennis van en inzicht in zulke dynamiek en complexiteit is van maatschappelijk belang. Echter, het ontbreken van dergelijke kennis en inzichten in het voortgezet onderwijs geeft leerlingen niet de mogelijkheid om ecologisch geletterd te raken. Zulke geletterdheid is, naar mijn opvatting, belangrijker dan het verwerven van een grote hoeveelheid ecologische kennis.

Door gebruik te maken van activiteiten als systeemdenken en modelleren kunnen complexe en dynamische verschijnselen voor de leerlingen duidelijker worden. Maar leerlingen zullen deze activiteiten wel zelf moeten uitvoeren, waarbij ze het belang daarvan inzien. Daarom wordt een onderwijsleerstrategie ontwikkeld waarin *contexten* in de vorm van ecosysteem-gerelateerde authentieke praktijken zijn ingebed en waarin *concepten* als ecosysteem, dynamiek en complexiteit op functionele wijze worden benaderd. De ontwikkelde strategie levert nadat hij in de klas getest is, een antwoord op de bovengenoemde onderzoeksvraag. Daarbij worden vijf deelvragen rond de validiteit, uitvoerbaarheid en effectiviteit van die strategie beantwoord.

- 1. Welke ecosysteem-gerelateerde authentieke praktijken lijken geschikt om het de leerlingen mogelijk te maken om de rol van systeemdenken en modelleren te gebruiken en waarderen?*
- 2. Wat zijn de mogelijkheden van systeemdenken om complexiteit duidelijk te maken op de verschillende organisatieniveaus zoals organisme, populatie en ecosysteem?*
- 3. Wat zijn de mogelijkheden van computermodelleren om dynamiek duidelijk te maken op de verschillende organisatieniveaus zoals organisme, populatie en ecosysteem?*
- 4. Welke didactische aanpak helpt leerlingen bij het gebruik van systeemdenken en modelleren?*
- 5. Welke didactische aanpak helpt leerlingen om wetenschappelijke ecologische concepten te ontwikkelen, uitgaande van concepten die zijn ingebed in authentieke praktijken?*

**Hoofdstuk 2** gaat vooral in op de deelvragen 4 en 5. Er wordt beschreven hoe leren op school meestal plaatsvindt. Er is in Nederland een ontwikkeling geweest van een connectionistisch-behavioristische aanpak naar een constructivistische. De aandacht verschuift daarbij, waarbij de rol van de leraar verschuift van kennisoverdrager naar begeleider van de kennisopbouw

door de leerling. De cultuurhistorische benadering heeft zowel aandacht voor de rol van de leraar als begeleider als als ‘mediator’ tussen leerling en cultuur. De constructie van kennis door de leerling kan worden beschreven als een ontwikkelingsproces, dat cultuurhistorisch is bepaald. Leren is geen individueel proces, maar vindt plaats in de interactie tussen de leerling, zijn medeleerlingen en de leraar. Ook het gebruik van (leer)middelen is essentieel. Vooral de nadruk op leeractiviteiten van de leerlingen en de prominente rol van de leraar als vertegenwoordiger van de cultuur die de leerlingen uitdaagt, zijn belangrijke punten. Leren vereist in deze benadering een *praktijk* die studenten uitnodigt om deel te nemen aan allerlei verschillende sociale activiteiten. De leerlingen werken samen, praten met elkaar, discussiëren en reflecteren op hun activiteiten. De authenticiteit van een praktijk kan de leerlingen, die interesse hebben in de verschijnselen uit het ‘echte leven’, motieven aanreiken tot leren. Gebruikte *concepten* hebben een specifieke praktijkgebonden betekenis. Dat betekent dat een concept in een andere praktijk (hier aangeduid als een *context*) een andere betekenis kan hebben. Dat betekent dat leerlingen een concept moeten aanpassen, alvorens zij het in een andere praktijk (context) kunnen gebruiken. Dit proces staat bekend als *recontextualiseren*.

Om effectief te zijn voor het leren is het belangrijk dat leerlingen bereid en in staat zijn tot deelname in een serie leeractiviteiten. Daarvoor is het gebruik van authentieke praktijken niet voldoende. De *probleemstellende benadering* is een didactische strategie die mikt op het actief betrekken van de leerlingen bij het leerproces. Leerlingen weten in een dergelijke benadering wat ze doen, waarom ze dat doen en hoe ze verder moeten gaan.

In de ontwikkeling van een onderwijsleerstrategie wordt de concept-context-benadering, waarbij de context cultuurhistorisch als een authentieke praktijk is omschreven, verbonden met een probleemstellende benadering. De activiteiten die de leerlingen uitvoeren zijn verbonden door een serie vragen die worden beantwoord als de activiteiten worden uitgevoerd. Aan het einde dragen alle antwoorden bij aan het oplossen van het centrale probleem in de lessenserie.

**Hoofdstuk 3** gaat ook vooral in op de deelvragen 4 en 5. Het beschrijft de onderzoeks aanpak. Het gaat hier om ontwikkelingsonderzoek. In ontwikkelingsonderzoek worden theoretische, creatieve en praktische oplossingen voor onderwijsleerproblemen ontwikkeld in nauw overleg met ervaren leraren en uitgetest in de klas. Daardoor kan een domeinspecifieke onderwijsleertheorie worden ontwikkeld, die bruikbaar is voor gebruik in de klas. In ontwikkelingsonderzoek zijn twee fasen te onderscheiden: de verkennende fase en de cyclische onderzoeksfase.

In de *verkennde* fase worden criteria voor een vermoedelijk effectieve onderwijsleerstrategie vastgesteld. Dat gebeurt na het vaststellen van de belangrijkste kenmerken van het moderne concept ‘ecosysteem’ en de daarmee verbonden subconcepten ‘dynamiek’ en ‘complexiteit’ (zie verder hoofdstuk 4). Vervolgens worden de mogelijke leerproblemen die zich bij introductie van die concepten kunnen voordoen (zie verder hoofdstuk 5) geanalyseerd. Daarna wordt (in hoofdstuk 6) de gewenste structuur vastgesteld van de onderwijsleerstrategie, die mede bepaald wordt door de gekozen onderwijsleerfilosofie (zie hoofdstuk 2).

Na de verkennende fase volgt de *cyclische onderzoeksfase*. Eerst wordt de onderwijsleerstrategie omgezet in een contextspecifiek scenario (zie verder hoofdstuk 6). Daarna wordt in drie onderzoeksrondes dit scenario uitgetest (zie verder hoofdstuk 7). Na iedere ronde wordt het scenario met behulp van verschillende verzamelde datasets geanalyseerd. Evaluatie van en reflectie op het uitgevoerde scenario geven aanwijzingen voor verbetering (zie verder hoofdstuk 8). Ontwikkeling en onderzoek in de klas wisselen elkaar af

en leiden uiteindelijk tot een theoretisch gefundeerd en empirisch geteste onderwijsleerstrategie (zie verder hoofdstuk 9).

**Hoofdstuk 4** gaat vooral in op de deelvragen 2 en 3. De wetenschappelijke inzichten rond het concept ecosysteem komen aan de orde. Er hebben zich verschillende visies op het concept ontwikkeld, afhankelijk van het *perspectief* van mensen. Vier visies met hun specifieke kenmerken worden beschreven: de holistische, cybernetische, dynamische en chaotische visie. De dynamische en chaotische visie zijn momenteel dominant in de wetenschap. Daarbij is er sprake van voortdurende dynamiek, evenwicht is slechts een tijdelijk verschijnsel. Voorspellingen hebben slechts een beperkte waarde.

Binnen de wetenschappelijke wereld is geen consensus is over bepaalde subconcepten zoals (tijdelijk) evenwicht, complexiteit en stabiliteit en de relatie daartussen.

Om vat te krijgen op complexe verschijnselen is systeemdenken geschikt. Daarbij is er expliciete aandacht voor de organisatieniveaus en voor de manier waarop de onderdelen (populaties, allerlei abiotische factoren) elkaar wederzijds beïnvloeden op een niet-lineaire multicausale manier, waardoor dynamische patronen ontstaan. In deze studie beperk ik me (beargumenteerd) tot drie organisatieniveaus: organisme, populatie en ecosysteem. Verschillende modellen die binnen het systeemdenken worden gebruikt, zoals 'black box' en 'glass box' modellen, wiskundige modellen en computermodellen komen aan de orde. Modelleren heeft zich vanuit een wiskundige formulering van ecologische relaties ontwikkeld tot een belangrijke computergestuurde activiteit bij de studie van ecosystemen. Daardoor kunnen complexe verschijnselen worden gesimuleerd en doorgerekend, wat voorspellingen over (mogelijke) ontwikkelingen mogelijk maakt.

Ook in **hoofdstuk 5** komen vooral de deelvragen 2 en 3 aan bod. De huidige stand van zaken in het voortgezet onderwijs staat centraal. Het ecologie- onderwijs gaat veelal uit van statische modellen (bij voorbeeld voedselketens of -webben) die de leerling geen mogelijkheid bieden inzicht te krijgen in dynamische ontwikkelingen. Het vermoeden dat in het Nederlandse onderwijs vooral de holistische en cybernetische visie aandacht krijgen werd getoetst. Daartoe werden de VWO-examensyllabus, drie verschillende leerboeken en een aantal lessen over ecologie geanalyseerd. Ook werden de visies van docenten vergeleken met die van ecologen die als onderzoeker werkzaam zijn. In de examensyllabus, in de leerboeken en in de lessen zijn nauwelijks sporen van de moderne ecologische theorievorming te vinden. Tussen docenten en wetenschappelijke ecologen bestaan flinke verschillen in de visie op het concept ecosysteem. Leraren neigen meer naar verouderde visies en zijn veel minder consistent in hun visie dan ecologen. De keuzes van leraren en ecologen over belangrijke concepten die moeten worden onderwezen komen slechts gedeeltelijk overeen.

**Hoofdstuk 6** gaat vooral in op de deelvragen 1, 4 en 5. De onderwijsleerstrategie wordt ontwikkeld na de exploratieve fase, die na hoofdstuk 5 is afgesloten. Allereerst worden de leerdoelen die afgeleid zijn uit de analyse van het moderne concept 'ecosysteem' vastgesteld. Daarna worden acht ontwerpcriteria voor de onderwijsleerstrategie geformuleerd. Vervolgens wordt een selectie van geschikte authentieke praktijken gemaakt. De drie geselecteerde praktijken worden behandeld: ecologen die werken aan optimalisatie van mosselkweek in de Oosterschelde, duinbeheerders die werken aan het beheer van de konijnenpopulatie in het Noordhollands duinreservaat en wetenschappers die samen beslissen over hoe te handelen in een situatie van overbevolking bij olifanten in Zuidelijk Afrika.

De voorlopige structuur voor de onderwijsleerstrategie wordt geschetst. Uit deze structuur wordt een scenario afgeleid dat na omzetting in lesmateriaal (werkboek en computermodellen) zal worden getest in de eerste onderzoeksrunde.

**Hoofdstuk 7** toont de opzet van de cyclische fase van het onderzoek. Na de gegevens over de deelnemende scholen in de drie onderzoeksrondes wordt behandeld op welke wijze data zijn verzameld en hoe de keuze van te analyseren data werd gerelateerd aan de vijf deelvragen van de algemene onderzoeksvraag. Tenslotte wordt uitvoerig ingegaan op de wijze van analyse van de verschillende data.

In **hoofdstuk 8** volgt de rapportage van de cyclische onderzoeksfase. Allereerst wordt uitvoerig verslag gedaan van een vergelijking van het laatst ontwikkelde scenario en het eigenlijke verloop van een lessenserie in de derde onderzoeksrunde. Doordat daarbij de onderzoeker een dubbelrol heeft (zowel onderzoeker als leraar) wordt een mede- onderzoeker ingeschakeld, zodat de betrouwbaarheid van de analyses kan worden gewaarborgd. Per les passeren de verschillende activiteiten, met een vergelijking van het bedoelde en het eigenlijke verloop, de revue. Steeds wordt verslag gedaan van afwijkingen van het scenario en de mogelijke oorzaak van die afwijkingen.

Vervolgens wordt voor elk van de vijf deelvragen, met behulp van uit de acht ontwerpcriteria afgeleide voorwaarden, beschreven of de ontwikkelde onderwijsleerstrategie succesvol is en zo nee, welke pogingen zijn gedaan in de onderzoeksrondes om verbeteringen aan te brengen.

*Deelvraag 1: Welke ecosysteem- gerelateerde authentieke praktijken lijken geschikt om het de leerlingen mogelijk te maken om de rol van systeemdenken en modelleren te gebruiken en waarderen?*

Bij de eerste deelvraag is de conclusie dat de gekozen authentieke praktijken duidelijk en relevant zijn voor de meeste leerlingen en hen genoeg mogelijkheden geven voor actieve deelname, wat een voorwaarde is om serieus bezig te zijn met systeemdenken en modelleren. De volgorde waarin de drie praktijken werden aangeboden was niet de volgorde die de leerlingen zouden kiezen, maar na een discussie accepteerden zij dat zonder verdere bezwaren.

*Deelvraag 2: Wat zijn de mogelijkheden van systeemdenken om complexiteit duidelijk te maken op de verschillende organisatieniveaus zoals organisme, populatie en ecosysteem?*

Bij de tweede deelvraag is de conclusie dat er mogelijkheden liggen. Er is echter geen eenduidig antwoord op deze vraag. De meeste onderdelen worden succesvol gebruikt door de leerlingen. Maar het 'organiseren van systeemcomponenten en processen in een relatieschema' is een moeilijk onderdeel binnen het systeemdenken. Dit onderdeel is ook belangrijk bij modelleren. Verder blijkt dat er slechts in het onderdeel 'herkennen van het systeemkarakter en de systeemgrenzen' enige verbetering optreedt in de loop van de drie onderzoeksrondes.

*Deelvraag 3: Wat zijn de mogelijkheden van computerm modelleren om dynamiek duidelijk te maken op de verschillende organisatieniveaus zoals organisme, populatie en ecosysteem?*

Modelleren blijkt mogelijkheden te hebben. Echter, sommige aspecten blijken heel gecompliceerd voor de leerlingen. Ondanks het tamelijk succesvol inzetten van *emergent modelleren* in de tweede onderzoeksrunde blijven vooral het schetsen van een model, dat doelgericht modelleergedrag vereist en het zelf bouwen, dat een overzicht vraagt van de componenten en de relaties daartussen, uitgedrukt in formeel- wiskundige taal, problematisch. De leerlingen zijn zich bewust van de relatie tussen hun model en empirische data, maar zijn vaak zo bezig met hun model dat ze deze relatie soms uit het oog verliezen en hun model niet altijd valideren.

*Deelvraag 4: Welke didactische aanpak helpt leerlingen bij het gebruik van systeemdenken en modelleren?*

Begrip van de problemen die aan de orde komen is zeker ontstaan. Maar de leerlingen houden grote problemen met het doorlopen van de leeractiviteiten, vooral als ze moeten modelleren. De bekwaamheid van de leraar om modelleerproblemen op te sporen en oplossingen te suggereren zijn vereist om de leerlingen betrokken te houden, zodat ze hun activiteiten voortzetten.

Deelvraag 5: *Welke didactische aanpak helpt leerlingen om wetenschappelijke ecologische concepten te ontwikkelen, uitgaande van concepten die zijn ingebed in authentieke praktijken?*

Mijn aanpak slaagde er niet in, een werkelijk begrip te ontwikkelen van complexiteit en dynamiek. Vooral aan de gestelde voorwaarden dat 'leerlingen inzien dat concepten in een andere praktijk een andere betekenis hebben' dat 'leerlingen de concepten in een nieuwe praktijk zonder hulp concepten adequaat kunnen gebruiken' werd niet volledig voldaan.

In deze onderwijsleerstrategie werd een ontwikkeling van organisme naar ecosysteem beschreven. Vanuit het ecosysteem kan een overzicht worden gegeven van alle drie gebruikte organisatieniveaus. Dit biedt de mogelijkheid om te jojoën tussen de organisatieniveaus en daardoor effecten van het ene niveau op het andere te ontdekken. Maar het bouwen van modellen is zo tijdrovend geweest dat dit niet volledig gehaald is. In alle onderzoeksrondes ontstonden tijdproblemen. Alle docenten reageerden hierop door zich te concentreren op de modellen, waarbij ze probeerden alle leerlingen weer 'bij te krijgen'. Dat ging ten koste van de tijd die bestemd was voor reflectie en recontextualisatie. Daardoor ontstonden problemen bij de ontwikkeling van een complex en dynamisch concept van 'ecosysteem'. Het is niet verrassend dat de leerlingen in een posttest, die een idee kan geven van hun visie op ecosystemen (zie ook hoofdstuk 5) niet veel anders (beter) scoorden dan in de pretest.

In **hoofdstuk 9** wordt eerst de onderzoeksvraag beantwoord. Mijn onderwijsleerstrategie is *valide*, omdat adequate ecosysteem-gerelateerde praktijken worden geïntroduceerd waar complexiteit en dynamiek belangrijke subconcepten zijn. Wat betreft de *haalbaarheid* concludeer ik dat dit geldt voor een aantal kenmerken. Dat zijn de keuze voor realistische, begrijpelijke en relevante praktijken, met een duidelijke rol voor systeemdenken. Daarnaast is het stellen van een probleem dat de leerlingen uitdaagt tot zelfstandig denken en de duidelijke onderwijsleerstrategie succesvol. Maar voor de kenmerken die te maken hebben met het begrijpen van het (open) systeemkarakter van een ecosysteem, met modelleren en met de plausibiliteit van de volgorde van de drie aangeboden praktijken was de strategie niet (geheel) haalbaar.

Veel leerlingen presteerden goed op het onderscheiden van organisatieniveaus, het exploreren van modellen en het ontwikkelen van begrip van complexiteit en dynamiek, hoewel dit laatste erg oppervlakkig blijft. Een aantal van de tien gestelde leerdoelen is gerealiseerd, maar andere niet of slechts gedeeltelijk, waaronder de belangrijkste: de relatie tussen complexiteit, dynamiek, stabiliteit en diversiteit met voorbeelden duidelijk maken.

Terugkijkend op de acht ontwerpcriteria kan ik vaststellen dat ze allemaal aan de orde zijn gekomen en dat er vijf goed hebben gefunctioneerd. Maar de invulling van de criteria 3 ('De praktijk moet gebaseerd zijn op het gebruik van 'ecosysteem' als herkenbaar functioneel concept, opgevat als een open systeem. Daarnaast moeten populatie, organisme, dynamiek en complexiteit herkenbaar zijn als deelconcepten'), 5 ('In de praktijk moeten modelleeractiviteiten een hoofdrol spelen om kwantitatief inzicht te geven in de dynamiek van het systeem in ruimte en tijd') en 6 ('Er moet sprake zijn van een toename in complexiteit in de volgorde van de praktijken. Voor leerlingen moet die volgorde plausibel zijn') was problematisch.

Er is vooruitgang geboekt bij het onderwijs over ecosystemen. Maar er zijn nog belangrijke knelpunten op te lossen. Er zijn nog geen volledig doordachte concepten ontwikkeld voor

dynamiek en complexiteit in een ecosysteem. Voor een deel komt dat doordat er te weinig tijd was (gereserveerd) voor reflectie en recontextualisatie. Daarnaast blijkt het modelleren erg veel tijd te kosten en raken de leerlingen daarbij vaak het contact met de 'echte wereld' kwijt.

Bij het gebruik van authentieke praktijken bleek dat de leerlingen het werken daarmee op prijs stelden, omdat het over echte situaties en echte problemen gaat, iets dat ze in hun schoolboek niet ervaren. Maar het was hen niet altijd precies duidelijk, wat er geleerd moet worden. Deze voornamelijk positieve ervaring met praktijken kan als voorbeeld gebruikt worden in de verdere ontwikkeling van het experiment van de CVBO (de context-concept-benadering) in het voortgezet onderwijs.

De leerlingen begrepen het systeemkarakter van organisme, populatie en ecosysteem en velen van hen zijn in staat om vast te stellen welk niveau centraal staat in de verschillende praktijken en tussen de niveaus te jojoën. Maar ze hadden moeite met de systeemgrenzen, vooral bij de populatie.

Bij het modelleren waren er weinig problemen met exploreren en laten doorrekenen, maar verloren een aantal leerlingen het contact met de werkelijkheid. Als de leerlingen zelf een model moesten bouwen, vonden ze het vaak moeilijk om data uit die werkelijkheid in te voeren in het model en om de verschillende componenten met elkaar te verbinden. Op de eerste plaats ondervonden de leerlingen moeilijkheden met dat verbinden. Maar daarnaast is er de neiging om het contact met de werkelijkheid totaal los te laten. Dat kan een gevolg zijn van het niet goed begrijpen van de abstracte structuur van een model en van problemen met de symbolische taal van het modelleerprogramma of met het in een formule weergeven van het verband tussen twee componenten. Deze problemen zijn niet eenvoudig op te lossen, omdat ook leraren tegen deze problemen oplopen. Voor het moderniseren van het onderwijs over ecosystemen zouden leraren een gedegen training moeten krijgen, die hen inwijdt in zowel de programmataal als in de manier om biologische relaties in formules uit te drukken. Aan het eind wordt ingegaan op mogelijk verder onderzoek op dit gebied en op de persoonlijke ervaringen van de onderzoeker die tevens een ervaren leraar is. Wat hielp die ervaring bij het onderzoek en wat neemt de leraar mee naar de lessen van dit onderzoek?