

RADBOD UNIVERSITEIT NIJMEGEN

AFSTUDEERSCRIPTIE

model – leren

Wat docenten denken en studenten doen

Auteur:

ing. Siegert van der Velde

studentnummer:

s0828114

Begeleider:

prof. dr. E. Barendsen

16 maart 2012

afstudeernummer: IK161

Samenvatting

Modelleren is belangrijk voor een informatiekundige. Het is nodig een systeem, een probleem of een voorgestelde oplossing in kaart te kunnen brengen. Leren modelleren is moeilijk, daarom is het interessant om te onderzoeken hoe mensen leren modelleren. Dit onderzoek levert daar een bijdrage aandoor geselecteerde docenten te vragen naar hun vakdidactische kennis (PCK) over modelleren en door studenten tijdens het modelleren te observeren.

De resultaten hiervan worden vergeleken met bestaande inzichten uit de wetenschappelijke literatuur over modelleren. Tevens is er onderzocht in hoeverre de PCK, Pedagogical Content Knowledge, van de docenten te herkennen is in de observaties van de studenten. Bij deze vergelijking is er specifiek gelet op het herkennen van de stappen in het modelleerproces en op het herkennen van de door docenten als moeilijk aangeduide termen.

Deze vergelijkingen tonen aan dat de PCK van de docenten wel terug te vinden is, hoewel de PCK veel abstracter is dan het daadwerkelijke modelleerproces. Het leren van een modelleertaal komt niet nadrukkelijk naar voren in de PCK. Dit terwijl de studenten het leren van een modelleertaal wel moeilijk vinden. Desondanks proberen de studenten deze taal wel te gebruiken wanneer ze onderling over een model praten.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Theoretisch kader	4
2.1	Waarom worden modellen gemaakt	4
2.2	Wat zijn modellen	6
2.2.1	Representatie	7
2.2.2	Vereiste kwaliteiten van een model	7
2.3	Hoe wordt een model gemaakt	8
2.3.1	Kennis en vaardigheden	9
2.4	Gevolgte stappen	10
2.4.1	Aannames maken	12
2.4.2	Verwachte uitkomst	12
2.5	Onderwijs	13
2.5.1	Pedagogical Content Knowledge	13
2.5.2	Hoe onderzoek je PCK	13
3	Methode	16
3.1	Dataverzameling	16
3.1.1	Vaststellen van PCK van docenten	16
3.1.2	Modelleerproces observeren	18
3.2	Analyse	21
3.2.1	Vaststellen PCK	21
3.2.2	Modelleerproces in PCK	21
3.2.3	Modelleerproces in theorie	21
3.2.4	moeilijkheden en PCK	22
4	Resultaten en analyse	24

5	Discussie en conclusie	28
5.1	Vaststellen PCK	28
5.2	Modelleerproces in PCK	29
5.3	Modelleerproces in observaties	30
5.4	Moeilijkheden & PCK	31
5.4.1	Voorspelling	31
5.4.2	Herkenning	33
5.5	Tot slot	34
A	CoRe docenten	37
A.1	Overeenkomsten	38
A.2	Modelleerstappen	41
A.3	Theorie	44
A.4	Voorspelde struikelblokken	47
B	Observaties	50
B.1	Observatie 1	50
B.2	Observatie 2	53
B.3	Observatie 3	57

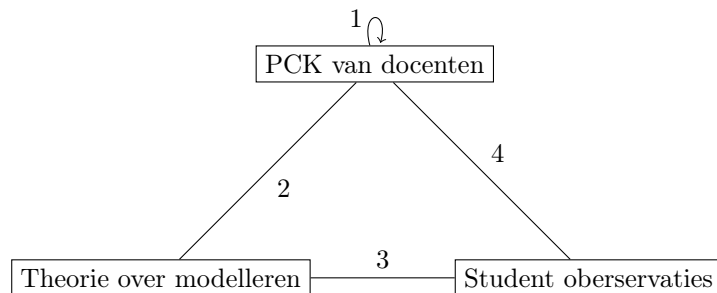
Hoofdstuk 1

Inleiding

Bij het ontwerpen van een ICT systeem is het systematisch in kaart brengen van een probleem en de eigenschappen van de gewenste oplossing van dat probleem een belangrijke stap. In een precieze en systematische weergave kunnen alle niet ter zake doende zaken weggelaten worden. Deze weergaven noemt men een model. Een model wordt meestal opgeschreven in een vaststaand en consistent systeem, een formele taal.

Veel mensen vinden het maken van een model, modelleren, moeilijk. Omdat modelleren een belangrijk onderdeel is van informatica is het interessant om te onderzoeken hoe je het beste modelleren onderwijst. Dit onderzoek levert daar een bijdrage aan door geselecteerde docenten te vragen naar hun vakdidactische kennis (PCK) over modelleren en door studenten tijdens het modelleren te observeren.

De resultaten hiervan worden vergeleken met bestaande inzichten uit de wetenschappelijke literatuur over modelleren. Tevens is er onderzocht in hoeverre de PCK, Pedagogical Content Knowledge, van de docenten te herkennen is in de observaties van de studenten. De relaties zijn als volgt in een model te plaatsen:



Dit levert de volgende onderzoeksvragen op:

1. Hoe verhoudt de PCK van verschillende docenten zich tot elkaar?
2. Kan de theorie over modelleren herkend worden in het modelleerproces van studenten?
3. Kan de theorie over modelleren herkend worden in de PCK van docenten?
4. Kunnen de moeilijkheden die de docent volgens de PCK verwacht herkend worden in het modelleerproces van de studenten?

Hoofdstuk 2

Theoretisch kader

2.1 Waarom worden modellen gemaakt

Er zijn veel verschillende redenen waarom mensen modellen maken. De meeste mensen zijn bekend met een model in de zin van een schaalmodel: iets dat in het echt veel te groot of te klein is om goed te bestuderen dat nagemaakt is op een hanteerbare schaal. Zoals bijvoorbeeld een maquette van een gebouw, globe of planetarium, maar ook het Atomium in Brussel is een model. Een speciaal soort model zijn modellen die ver weg in de tijd liggen. Hier is het schaalmodel van een nog te bouwen gebouw een voorbeeld van. De schema's en kaarten die op het weerbericht getoond worden zijn ook het resultaat van zo'n model.

Wanneer men iets modelleert is het van belang de hoofd en bijzaken in een systeem te onderscheiden. Hierdoor leert men het gemodelleerde systeem beter kennen. Als men bijvoorbeeld iets wil zeggen over de indeling van Nederland in provincies zijn de provinciehoofdsteden waarschijnlijk belangrijk. Het feit dat Nederland ook in waterschappen verdeeld is, is dan niet belangrijk. De wens om een systeem leren kennen kan op zich al een reden kan zijn om er een model van te maken.

Alle modellen hebben gemeen dat de gebruiker van de werkelijkheid af kan wijken. Dit maakt het mogelijk om zonder iets op de originele schaal te veranderen toch de effecten van die verandering te bestuderen. 'Als ik deze muur een stukje opschuif, kan de deur dan wel open?'. Maar ook: 'hoe verandert het bestuur van Nederland als we de provincies afschaffen?'. In de meeste gevallen is het echter niet mogelijk om de werkelijkheid te veranderen. Wanneer men het klimaat bestudeert is het niet mogelijk om in het echt de zon wat harder te laten schijnen om te onderzoeken wat er gebeurt.

In de informatica zijn er minimaal twee redenen om modellen te maken. De eerste reden is bewijzen dat een bepaald systeem doet wat de ontwerper zegt dat het doet, zoals een logisch model maken van een kruispunt met verkeerslichten, en het patroon waarmee de verkeerslichten van kleur veranderen. De maker kan dit model gebruiken om te bewijzen dat er geen (of juist wel) een gevaarlijke situatie ontstaat wanneer verkeerslichten tegelijk op groen komen te staan.

Een tweede reden is om te bewijzen dat gegeven een bepaalde set regels en een bepaalde beginsituatie de getrokken conclusie al dan niet juist is. Dat is wat in het voorbeeld in de cursus Beweren & Bewijzen (afgekort tot B&B) gedaan wordt bij de 'Kroonprinsenopdracht'. Hier zijn de regels, de regels zoals genoemd in 'artikel 25 van de opvolgingswet', de beginsituatie en wat

moet worden bewezen van te voren bekend. Vervolgens moet hier een model gemaakt van worden waarmee bepaald kan worden of iemand al dan niet kroonprins is.

voorbeeld: Kroonprinsenopdracht bij Beweren & Bewijzen

De in de opdracht gegeven tekst van artikel 25:

- Het koningschap gaat bij overlijden van de Koning krachtens erfopvolging over op zijn wettige nakomelingen, waarbij het oudste kind voorrang heeft, met plaatsvervulling volgens dezelfde regel.
- Bij gebreke van eigen nakomelingen gaat het koningschap op gelijke wijze over op de wettige nakomelingen eerst van zijn ouder, dan van zijn grootouder, in de lijn van erfopvolging, voor zover de overleden Koning niet verder bestaand dan in de derde graad van bloedverwantschap.

gevraagd:

Geef een definitie van het predicaat $\text{isKroonprins}(x)$; die zo goed mogelijk overeenkomt met artikel 25. De formule $\text{isKroonprins}(x)$ moet (alleen) waar zijn voor de persoon x waarop het koningschap volgens de grondwet zou overgaan als de huidige koning nu zou overlijden.

Probeer daartoe niet al die merkwaardige zinnen uit de wet na te bootsen, maar een predicaat te definiëren dat dezelfde betekenis heeft. Misschien kan het eleganter dan in de grondwet staat.

Een derde reden om een model te maken is dat het maken ervan het ontwerpproces ondersteunt.

- inzichtelijk maken stand van zaken
- andere representatie maakt oplossen soms makkelijker
- ander representatie geeft mogelijkheid tot creativiteit

Ook in het onderwijs wordt steeds meer gebruik gemaakt van modelleren Ormel (2010), Maaß (2006). Dit wordt gedaan omdat de leerlingen door middel van modelleren zowel inzicht in de materie krijgen, zoals ‘waar bevinden de Nederlandse provincies zich ten opzichte van elkaar?’, als zelf leren een proces te begrijpen, bijvoorbeeld wat de verhouding is tussen kracht en beweging Sins et al. (2005)

De onderzoeksvraag wordt dan door de docent voorbereidt. De vraag wordt dan later door middel van een model door de leerlingen beantwoord. In de onderzoeken van Ormel (2010) en van Maaß (2006) wordt het beantwoorden van de vraag door de docent ondersteund. Als de leerlingen vastlopen in het model helpt de docent. In eerste instantie door vragen te stellen. Als dat niet werkt door een stukje model te geven.

Een groot verschil tussen de onderzoeken is de complexiteit van de vraagstelling. In het onderzoek van Ormel is de vraag zo complex, onderzoek naar klimaatverandering, dat niemand de totale vraag overziet. In het onderzoek van Maaß zijn de vragen zo gesteld dat er een, voor docenten, duidelijke beantwoordmethode is.

2.2 Wat zijn modellen

We hebben zojuist uiteengezet dat er een aantal redenen zijn om een model te maken. Om te kunnen onderzoeken hoe modellen gemaakt worden volgt eerst een definitie wat modellen zijn.

Door beschikbare informatie over een bepaald onderwerp op een speciale manier te schrijven ontstaat er een model van dat onderwerp. Zoals we later zullen zien heeft een model veel toepassingen.

Voordat we verder gaan met het leren modelleren moeten we eerst vaststellen wat precies onder een model verstaan wordt. Om te beginnen is er niet slechts één definitie van een model:

- *Een model is een metafoor voor een proces: een manier om iets te beschrijven, zoals een ontwerpproces. Als hypothese over een dynamisch systeem probeert een model de delen van het systeem te beschrijven en te beschrijven hoe deze delen samenwerken Flower & Hayes (Dec., 1984).*
- *Modellen zijn gespecialiseerde representaties die verschillende aspecten van een mechanisme, causaliteit, verbanden bevatten. Ze worden gebruikt om gebeurtenissen te verklaren of te voorspellen Fortus (2009).*

Maar wat maakt dan van een model een wetenschappelijk model? Volgens Van Driel & Verloop (1999) voldoet een wetenschappelijk model aan de volgende criteria:

1. Een model is altijd gerelateerd aan een doel. Dit doel wordt door het model gerepresenteerd. Een doel kan naar een systeem, object, fenomeen of een proces verwijzen.
2. Een model is een onderzoeksgereedschap dat gebruikt wordt om informatie over het doel te verkrijgen die niet direct gemeten kan worden. (bv een atoom of een zwart gat). Een schaalmodel is dus wel een model, maar geen *wetenschappelijk* model.
3. Een model kan geen interactie hebben met het doel dat het representeert.
4. Een model heeft zekere overeenkomsten met het doel. Daardoor is het voor de onderzoeker mogelijk om nieuwe hypotheses af te leiden van het model. Het testen van deze hypotheses verschaft nieuwe informatie over het doel.
5. Een model verschilt in bepaalde opzichten van het doel. Over het algemeen is een model zo simpel mogelijk. Afhankelijk van het type onderzoek kunnen bepaalde aspecten bewust zijn weggelaten.
6. Tijdens het ontwerpen van een model moet er een compromis gevonden worden in het maken van overeenkomsten en verschillen met het doel.

In de context van dit onderzoek is een model een abstracte weergave van een element uit de werkelijkheid, weergegeven in een formele taal. Zo een model kan er uit zien als een aantal logische stellingen, predicaten en aannames. Zoals in figuur 2.1 op blz. 7. Tenzij anders aangegeven wordt met ‘een model’ een wetenschappelijk model bedoeld.

2.2.1 Representatie

De hierboven genoemde predicaatlogica is een manier om een model op te schrijven. Naast predicaatlogica zijn er nog andere manieren, toegespitst op het doel van het model.

Representatie is de manier waarop een model ‘gelezen’ en ‘geschreven’ moet worden. In het hierboven genoemde voorbeeld van een model van een gebouw is dat door een maquette of een tekening. Mijn onderzoek richt zich echter op zogenaamde formele modellen. Dit zijn modellen die gemaakt zijn in een formele taal.

De modellen die in een een formele taal geschreven worden, worden onder andere gebruikt om stellingen te bewijzen. Dit is een in de informatica veel gebruikte toepassing.

In andere specialisaties wordt een andere notatie gebruikt, bijvoorbeeld BPMN, UML en matrices. Zie hieronder:



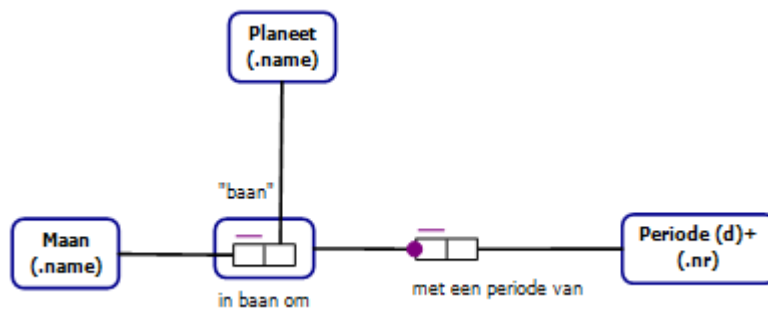
Figuur 2.1: Verschillende modellen

$$HeeftHoofdstad\ x := \exists Hoofdstad\ h : H \wedge \exists Locatie\ l : L \quad (2.1)$$

2.2.2 Vereiste kwaliteiten van een model

De modelleur zal streven naar een model van zo hoog mogelijke kwaliteit. Een model van goede kwaliteit voldoet aan drie criteria: het is syntactisch correct, het is semantisch correct en het is bruikbaar.

Als een model syntactisch correct is wil dat zeggen dat er in het model geen taalfouten gemaakt zijn. Dat betekent dat de modelleertaal correct is toegepast. Bijvoorbeeld het ORM-model van een planeet met manen, zoals te zien in het figuur hieronder, uit Halpin (1993)



Modellen die in een modelleertaal gemaakt zijn die door een computer geïnterpreteerd kan worden, zijn eenvoudig door een computer te controleren: door het model door een computer te later interpreteren. Als daarbij geen fouten optreden is het model syntactisch correct.

Als een model syntactisch correct is betekent dat niet dat er ook ‘iets zinnigs’ in het model wordt beschreven. De Nederlandse zin “Drie procent van alle priemgetallen eet bij het ontbijt het kwadraat van kastanjabomen.” bevat (als het goed is) geen spelfouten en is grammaticaal correct. Toch staat er inhoudelijk onzin.

Dit maakt duidelijk dat behalve dat er geen taalfouten gemaakt mogen worden, het model ook inhoudelijk correct moet zijn. Het model moet semantisch kloppen. Volgens Wilmont et al. (2011) betekent dit dan, dat een model doeltreffend is en dat het model valide is.

Doeltreffend Met het model wordt het beoogde doel gehaald, dit doel wordt in zo min mogelijk tijd of met een zo klein mogelijk model gehaald.

Valide Datgene wat gemodelleerd is, is in het model te herkennen. Alles wat voor het model van belang is, staat er in.

2.3 Hoe wordt een model gemaakt

Nu we weten wat een model is en waaróm modellen gemaakt worden, is het mogelijk te beschrijven hoe ze gemaakt worden.

De meeste onderzoeken richten zich op het modelleren als middel. Het doel is om domeinkennis vast te leggen. In het vak Beweren en Bewijzen (B&B) is de nodige domeinkennis al aanwezig en gaat het juist om het leren maken van het model. Middel en doel zijn hier dus omgedraaid.

Bij het maken van een model zijn er twee dingen die de modelleur moet beheersen: het creëren van de inhoud en het opschrijven van deze inhoud. Modelleren is een cyclisch proces, er wordt een stukje gemodelleerd en dat wordt vervolgens opgeschreven. Waarna het beschreven model wordt geëvalueerd Flower & Hayes (Dec., 1984), Trochim (1989).

Een voorbeeld: stel dat ik iets wil zeggen over het aandrijfmechanisme van een auto. Dan is het handig om alleen die onderdelen te bekijken die bij het aandrijfmechanisme horen. Maar als ik de onderdelen van de auto onderscheid op materiaal gaat dat waarschijnlijk niet lukken. Onderscheiden op functie is in dit geval veel handiger. Wil ik echter iets zeggen over het onderhoud, dan zou een verdeling gebaseerd op materiaal wel een goed idee kunnen zijn.

Voor dit proces is het nodig dat de modelleur deze twee vaardigheden op een minimumniveau van deze vaardigheden heeft. Terwijl in de cursus Beweren & Bewijzen deze vaardigheden juist aangeleerd worden. Meestal modellen worden dus gemaakt om iets over het model te kunnen zeggen of te leren van het model. In het geval van B & B wordt het model niet gemaakt om iets over het model te kunnen zeggen. De modellen worden gemaakt om het maken van een formeel model te leren.

2.3.1 Kennis en vaardigheden

Om een model te kunnen maken moet je een aantal dingen weten en kunnen. Hier worden vier verschillende categorieën onderscheiden. De eerste drie categorieën zijn alle drie ‘kennis-categorën’. Hier is het belangrijk onderscheid te maken tussen kennis van modelleren, kennis van het gemodelleerde en kennis van het model. De vierde categorie is een vaardigheid, namelijk die van het formaliseren, kennis zo formuleren dat deze opgeschreven kan worden.

Bij het maken van een model is het soms onduidelijk in welke categorie een bepaalde kennisinhoud hoort. Ter verduidelijking een voorbeeld van de verschillende kennisinhouden die met het maken van een landkaart te maken hebben. Naast alle kennis die een cartograaf heeft beschikt hij ook over een vaardigheid. Onder andere het op het juiste moment toepassen van een bepaald stukje kennis.

Kennis die vereist is bij het tekenen van een kaart, over iedere categorie kennis kunnen kenmerkende vragen gesteld worden:

Domeinkennis Van welk gebied maak ik een kaart? Hoe ziet dat gebied er uit? zijn er speciale eigenschappen waar rekening mee gehouden moet worden? Deze kennis verandert dus als het gebied, en daarmee dus ook het gemodelleerde, verandert.

Vertaald naar modellen betekent dat, dat je genoeg over je domein moet weten om het te kunnen modelleren. In het voorbeeld van de provincies 2.1b betekent dat onder andere dat je moet weten wat een provincie is.

Modelleerkennis Hoe maak je een kaart: welk gereedschap gebruik je, hoe gebruik je het gereedschap?

Bij het maken van een model is de modelleertaal het belangrijkste gereedschap, die moet je dus kennen.

Modelkennis Wat voor kaart ben ik aan het maken: moet het een wandelkaart of een atlas worden?

Voor modellen geldt dat ook. Ieder model is uniek, maar er zijn vaak wel overeenkomsten met andere modellen. In veel gevallen hebben mensen een soortgelijk model al eens eerder gemaakt

Davidson & Sternberg (2003). Deze kennis van eerdere modellen kan gebruikt worden bij het oplossen van nieuwe modellen. Bijvoorbeeld door een oud model aan te passen of deze als inspiratie te gebruiken.

Een nadeel van het kennen van veel bestaande oplossingen is het feit dat daardoor het creatieve proces te veel negatief beïnvloed kan worden. Dit gebeurt als iemand een bestaande oplossing probeert aan te passen, terwijl er eigenlijk een compleet nieuwe oplossing nodig is. Iemand die de bestaande oplossing niet kent, zal ook niet proberen die bestaande oplossing aan te passen. ‘Een architect die niet van het bestaan van een materiaal weet, zal dit materiaal niet creatief gebruiken’ Mednick (1962).

Andersom is ook het geval, er kunnen ‘oplossingen’ mogelijk zijn die op het eerste gezicht goed lijken, maar waarvan bekend is dat het bij nader inzien vrijwel nooit een goede oplossing is. Iemand met een expertise zal deze ‘oplossingen’ herkennen en eerst naar andere manieren gaan zoeken.

Modelleervaardigheid Deze categorie is het moeilijkst te definiëren. In het voorbeeld van de cartograaf valt hier alles onder wat niet direct kennis is, maar wat er wel voor zorgt dat iemand een goede cartograaf is. Bijvoorbeeld het vinden van duidelijke herkenningspunten in het landschap. Of het zodanig plaatsen van labels, zoals plaatsnamen, dat duidelijk is waar het label bijhoort en het ook nog leesbaar is.

Bij het maken van een model speelt iets soortgelijks, naast kennis van het domein waarin gemodelleerd wordt is ook vaardigheid van het modelleren nodig. Hier speelt ervaring een grote rol.

Het maken van een model bestaat uit een aantal stappen. Op het juiste moment moet de volgende stap gezet worden. Uit Zhang et al. (2006) blijkt dat ervaren modelleers in relatief kleine modellen deze stappen lineair volgen, terwijl beginnende modelleers vaak een stap terug gaan. Bijvoorbeeld van mathematiseren terug naar verkennen.

De verwachting is dat als het model groter wordt ook ervaren modelleers stappen terug zullen zetten. Dit is echter niet waargenomen in Zhang et al. (2006). In Davidson & Sternberg (2003) wordt het cyclisch te werk gaan en het herstructureren van een model als uit te voeren stappen wel genoemd.

Ook in Van Driel & Verloop (1999) wordt genoemd dat een model iteratief ontwikkeld wordt: *Een model is ontwikkeld in een iteratief proces, waarin empirische data van het modelleren kan leiden tot een aanpassing in het model. Terwijl in een volgende stap het model gebruikt wordt om het doel verder te bestuderen.*

2.4 Gevolgde stappen

In een aantal onderzoeken worden verschillende stappen tijdens het oplossen van een probleem onderscheiden. Niet in alle onderzoeken worden alle stappen gebruikt Ormel (2010), Flower & Hayes (Dec., 1984), Davidson & Sternberg (2003)

Ormel heeft in Ormel (2010) het hier volgende overzicht samengesteld. Met name de stappen beschreven in Maaßen Savelsbergh betreffen formele modellen. In de onderstaande tabel staat de vergelijking zoals gemaakt door Ormel.

	Verkenning	specificatie en implementatie	modelonderzoek	evaluatie
Maaßen(2006)	Probleemsituatie vereenvoudigen	‘echt model’ thematiseren	Oplossing zoeken met wiskundig model	Wiskundige oplossing interpreteren en valideren
savelsberg (2008)	Situatie analyseren. Probleem definitie. Vereenvoudigen	Conceptueel model formaliseren. Analyseren	Wiskundig model implementeren. Computermodel doorrekenen	Modeluitkomst interpreteren. (Experimenteel) toetsen

Niet iedereen onderscheidt vier stappen. Zo zijn in ‘The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices’ Sins et al. (2005) vijf stappen genoemd. Deze zijn hierna beschreven.

Analyse *When students are analysing, they decompose the phenomenon they are studying into parts and identify important model elements (i.e., quantities, or relations between quantities) to be implemented in their model. Also, students interpret model output or empirical data that are presented in tables or graphs. Most of the modelling activities associated with this reasoning process are performed during the orientation phase of a modelling task. During Hestenes’ Hestenes (1987) “Description stage”, for example, students decide on the type of model that will be constructed.*

In addition, they identify the variables and relations that have to be implemented in their model. Hogan and Thomas’ (2001) Hogan & Thomas (2001) define “Model interpretation” as a process involving exploring output, which is produced as tables or graphs. This involves students analysing graphs and tables identifying how variables increase or decrease over time. Both definitions were taken in our synthesis as indications of the process of analysing.

Inductive Reasoning *Inductive reasoning occurs when students conjecture hypotheses on how model elements interact and on how the model should behave. This process implies a great deal of elaboration on the relationships between the model structure and the behaviour of the phenomenon being modelled, which makes it a complex process for students to perform (for example, Schecker, 1993 Schecker (1993); Tinker, 1993 Tinker (1993)). Stratford et al. (1998) use the term “Synthesizing”, which involves students making statements about the content,*

Figure 1. Overview of reasoning processes found in studies on computer-based modelling (adapted from Löhner et al., 2005 Löhner et al. (2005)) behaviour, or structure of the model as a whole (e.g., considering how the model should behave, discussing the representation of their model, and discussing new relationships between quantities in the model), which can be categorized as a process of inductive reasoning.

Quantify *When students construct a preliminary model, they can make their ideas about model elements and relations more precise by expressing them into an executable mathematical format. This implies that quantities in the model are specified with a starting-value and relations are worked out in equations. This process of quantifying a model comprises the processes employed during Hestene’ (1987) Hestenes (1987) “Formulation stage” and “Ramification stage” to a great extent. The “formulation stage”, according to Hestenes (1987) Hestenes (1987), involves students using knowledge of physical laws to determine definite equations for the phenomenon that is modelled. During the “Ramification stage” the special mathematical properties and implications of the model are worked out. This stage implies that equations are solved out by experimenting with parameters and formulas.*

Explain *Involves the process in which students clarify to each other why model elements are related; that is, they document the reason(s) why one factor causes changes in another. The phase Schecker (1998) Schecker & Schecker (1998) designates as “Documenting the model” clearly falls under this process.*

Evaluate *Finally, students have to connect between the output from their model and results obtained from experiments in order to evaluate and ultimately test their model. In evaluating their model, students determine whether their model is consistent with their own beliefs, with data obtained from experiments and/or with descriptions of behaviour about the phenomenon being modelled. Model evaluation leads to model revision activities, which involves modifying parts of the model so that it better describes or explains a given situation. The process of “Model revision” in Hogan and Thomas’ (2001) Hogan & Thomas (2001) study involves similar activities. They define “Model revision” as a process in which students assess the degree of fit between model output and expected or empirically confirmed patterns.*

In ‘Psychology of problem solving’ wordt daaraan toegevoegd dat modelleren bij ingewikkelde onderwerpen een cyclisch proces is, waarin in iedere ronde iets toegevoegd wordt aan het model en het model zo nodig geherstructureerd wordt.

Ook uit Van Driel & Verloop (1999) blijkt dat: *Een model is ontwikkeld in een iteratief proces, waarin empirische data van over het doel kunnen leiden tot een aanpassing in het model. Terwijl in een volgende stap het model gebruikt wordt om het doel verder te bestuderen.*

Zelfs als mensen nog helemaal geen modelleerervaring hebben, maken ze een aantal te voorspellen stappen bij het modelleren (Wilmont et al. (2011)). Als mensen meer modelleerervaring krijgen gaan ze meer stappen in het modelleerproces zetten en gaan deze stappen meer in elkaar overlopen. Hsu et al. (2011) Een voorbeeld is het plaatsen van een element uit de werkelijkheid in een abstracte categorie. In Wilmont et al. (2011), waar een bibliotheek gemodelleerd wordt, is te zien dat alleen experts alle uitleenbare objecten (boeken, films ed) in een categorie ‘uitleenbare dingen’ stoppen. Beginners bekijken ieder object apart.

2.4.1 Aannames maken

Een van de belangrijkste eigenschappen van een model is het weglaten van elementen uit de werkelijkheid. Soms levert dat problemen op, omdat niet altijd duidelijk is wat weggelaten kan worden. Uit Sins et al. (2005) is gebleken dat ervaren modelleers eerder een aanname zullen maken of een eigenschap relevant is, en aan de hand van die aanname verder gaan met het modelleerproces. Dit in tegenstelling tot beginnende modelleers, die dan vastlopen.

In Sins et al. (2005) is dit als volgt verwoordt: *in science the ability to make assumptions is important. In science education it is shown that most students do not make assumptions when they encounter a unknown value when solving a problem. While more experienced problem solvers do make assumptions.*

2.4.2 Verwachte uitkomst

Als de modelleur al een beeld heeft van de uitkomst is dit een vorm van (impliciete) domeinkennis. Fouten in het model kunnen ervoor zorgen dat het model ‘vreemde’ uitkomsten veroorzaakt. Als de modelleur een beeld heeft van hoe de uitkomst er ongeveer uit ziet, kan je een (een deel van) de fouten herkennen.

2.5 Onderwijs

Dit onderzoek combineert modelleren en onderwijs met elkaar. Er zijn dus een paar onderwijskundige termen nodig die verband houden met modelleren. Namelijk welke kennis er nodig is om te modelleren. Dit laatste opdat we die later tijdens de observaties kunnen gaan herkennen.

2.5.1 Pedagogical Content Knowledge

Wanneer een docent les geeft gebruikt hij twee soorten kennis: vakinhoudelijke kennis, en kennis over het lesgeven zelf.

Vakinhoudelijke kennis is het meest zichtbaar en er is ook makkelijk een voorstelling van te maken. Niemand zal het vreemd vinden dat een natuurkunde docent kennis over natuurkunde heeft. Over het algemeen zal een docent veel meer vakinhoudelijke kennis bezitten dan dat hij overbrengt op zijn studenten, hoewel dat niet noodzakelijk het geval hoeft te zijn.

De tweede soort kennis die een docent nodig heeft gaat over de manier waarop de docent de materie begrijpelijk maakt voor zijn studenten. Van deze kennis, didactiek, is veel moeilijker een voorstelling te maken.

De overkoepelende naam voor deze twee hierboven genoemde kennis, is is Pedagogical Content Knowledge (PCK) Voor een deel is PCK gebaseerd op vakinhoudelijke kennis, dit komt naar voren als de docent een lesplan maakt. Door zijn vakkennis kan hij onder andere de onderwerpen in de goede volgorde zetten.

Het grootste deel van PCK heeft een veel minder sterke band met vakinhoudelijke kennis. Dit is bijvoorbeeld te zien bij het vinden van geschikte voorbeelden, een geschikte demonstratie of analogie. (Zo is het waarschijnlijk niet effectief om in de brugklas een vergelijking met het halen van een rijbewijs te maken, terwijl een vergelijking met leren fietsen dat waarschijnlijk wel is)

2.5.2 Hoe onderzoek je PCK

Pedagogical Content Knowledge kan worden onderzocht met een methode die Content Representation (CoRe) heet. Deze methode wordt onder andere beschreven in Loughran et al. (2004, 2006) De methode bestaat uit het opdelen van een bepaald onderwerp in een aantal hoofdpunten. Over deze hoofdpunten wordt dan een aantal vragen gesteld.

Big Ideas

De hoofdpunten omvat de kennis die de docent over wil brengen over een bepaald onderwerp. Over het algemeen zijn er tussen de vijf en acht hoofdpunten. Als er te weinig hoofdpunten zijn, kan het zijn dat er te veel onder een hoofdpunt geschaard wordt, als er te veel hoofdpunten zijn kan het zijn dat ze te smal zijn.

Vragen

Voor ieder hoofdpunt wordt een aantal vragen beantwoord. Deze vragen zijn altijd dezelfde. Het kan voorkomen dat een vraag voor meerdere hoofdpunten hetzelfde antwoord heeft. Maar als dat vaak voorkomt is dat een indicatie dat de hoofdpunten elkaar te veel overlappen.

Wat moeten mijn studenten over dit big idea leren?

In een ontwikkeld PCK staat duidelijk wat een bepaalde groep studenten moet leren. Onervaren docenten zijn vaak onzeker over wat studenten kunnen bereiken.

Waarom is het belangrijk dat mijn studenten dit weten?

Bij het bepalen van wat studenten moeten leren gebruiken succesvolle docenten hun kennis over wat relevant is in het dagelijks leven van hun studenten en hoe de vakinhoud verbonden is met andere vakken van de student. Gerelateerd hieraan is "curricular saliency" - hoe belangrijk is een bepaald wetenschappelijk idee of onderwerp in het gehele curriculum (Geddis et al., 1993).

Wat weet u nog meer over dit big idea (maar hoeven de studenten nog niet te weten)?

Als docenten selecteren wat te doceren maken ze vaak moeilijke beslissingen over welke onderwerpen niet behandeld worden (Hollon et al., 1991). Zoals eerder genoemd, kost het begrijpen van een onderwerp tijd, waardoor er een limiet zit op de onderwerpen die behandeld kunnen worden.

Wat zijn moeilijkheden/grenzen aan het doceren van dit big idea?

Shulman (1986) beschouwde het inzicht dat docenten hebben in mogelijke moeilijkheden die studenten kunnen hebben bij het begrijpen van een onderwerp als een belangrijk aspect van PCK.

Welke kennis en ideeën hebben je studenten over dit big idea?

Dit gedeelte van CoRe maakt expliciet welke invloed de ervaring van een docent heeft op het beslissingsproces. Wanneer docenten hun lessen plannen gebruiken ze hun kennis over veel voorkomende ideeën van studenten. (Het belang hiervan wordt belicht in de eerder genoemde "alternative conceptions" literatuur). En ook de gebruikelijke reactie (inclusief het interesseniveau) van studenten op specifieke docer- en leersituaties.

Wat is nog meer belangrijk bij het doceren van dit big idea?

Contextuele kennis van studenten en algemene pedagogische kennis die invloed heeft op de doceraanpak worden in dit deel van CoRe genoemd.

Leermethoden (bijzondere redenen om deze bij dit big idea te gebruiken)

De term "procedures" wordt gebruikt in de zin van het PEEL project (Baird & Northfield, 1992): het erkent dat vanuit een constructivistisch perspectief, het leerproces geleidelijk verloopt en dat de student er actief bij betrokken is. Doceerprocedures zijn geen garantie voor leren: hun doel, vanuit een constructivistisch perspectief, is het denken van een student zo te beïnvloeden dat het tot een beter begrip van het idee leidt. (Leach & Scott, 1999)

Welke manieren zijn er om moeilijkheden of verwarring van studenten vast te stellen.

Docenten moeten constant de vooruitgang van hun studenten in de gaten houden, zodat ze de effectiviteit van hun doceeractiviteit vast kunnen stellen en hun plan voor de komende lessen kunnen bepalen. Samenvattende beschouwingen zijn meestal expliciet, vormende beschouwingen van docenten zijn meestal niet herkend en impliciet, en waarschijnlijk meer specifiek voor het gedoeerde onderwerp.

Tabel 2.1 is een gedeeltelijk ingevulde CoRe, dit voorbeeld is het eerste hoofdpunt uit een CoRe voor een brugklas scheikunde. Het volledige voorbeeld is te vinden in Loughran et al. (2006).

brugklas	Hoofdpunt A: Materie bestaat uit kleine stukjes, die deeltjes heten.
Wat moeten mijn leerlingen over dit idee leren?	Als we materie opsplitsen in het kleinst mogelijke stukje, krijgen we een deeltje.
Waarom is het belangrijk dat mijn leerlingen dit weten?	Omdat het ze helpt het gedrag van alledaagse dingen, bijvoorbeeld diffusie, te begrijpen.
Wat weet je nog meer over dit onderwerp (maar hoeven de leerlingen nog niet te weten?)	Op dit moment wordt deeltje als een algemene term gebruikt, zonder onderscheid tussen moleculen en atomen te maken. subatomaire structuur, chemische reacties, ...
Wat zijn moeilijkheden/grenzen aan het doceren van dit idee?	Deeltjes zijn te klein om te zien. Stoffen lijken te verdwijnen wanneer ze opgelost worden. Wat houdt de deeltjes bij elkaar? ...
Welke kennis en ideeën hebben je leerlingen over dit idee?	Veel leerlingen gebruiken een continu model, (ondanks eerdere educatie
Welke factoren hebben het doceren van dit idee nog meer beïnvloed?	...
Leermethoden (and particular reasons for using these to engage with this idea)	testen van het begrip van een student: bv. leerlingen tekenen een fles gevuld met lucht, daarna de zelfde fles met een gedeelte van de lucht verwijderd. Hierdoor gaan ze nadenken, en wordt het individuele begrip duidelijk. analogie gebruik een analogie om een parallel te trekken: Een pot met zand lijkt van een afstand één ding, maar van dichtbij kan je de zandkorrels zien. Dit is analoog aan de deeltjes in een ander object.
Zijn er manieren om moeilijkheden of verwarring van leerlingen vast te stellen.	Vragen als: “waarom kan je van een afstandje ruiken dat iemand uien kookt?”. Laat ze een ‘magische bril’ (een bril die het mogelijk maakt om deeltjes te zien), en ze te vragen wat ze zien. Of, teken wat je ziet en dan de verschillen tussen de tekeningen bespreken.

Tabel 2.1: Een gedeeltelijk ingevulde PCK

Hoofdstuk 3

Methode

Om de deelvragen te beantwoorden zijn twee dataverzamelingen nodig: een verzameling van de PCK van docenten en een verzameling observaties van studenten. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe deze verzamelingen tot stand zijn gekomen, vervolgens hoe de analyse van deze data is gedaan.

3.1 Dataverzameling

3.1.1 Vaststellen van PCK van docenten

Om de deelvragen: “Hoe verhoudt de PCK van verschillende docenten zich tot elkaar?” en “Kan de theorie over modelleren herkend worden in de PCK van docenten?” vast te beantwoorden is van een aantal docenten de PCK vastgesteld. De PCK is ook gebruikt om de deelvraag “Kunnen de moeilijkheden die de docent volgens de PCK verwacht herkend worden het modelleerproces van de studenten?” te beantwoorden.

Deze docenten zijn gevonden door in de studiegidsen van de RU in de vakbeschrijving te zoeken naar de steekwoorden ‘models’, ‘modelling’, ‘modellen’ en ‘modelleren’. Van de gevonden cursussen zijn er zes docenten benaderd voor een interview, waarvan zijn er zes ook daadwerkelijk geïnterviewd. Verder zijn er twee docenten benaderd en geïnterviewd op aanraden van een eerder geïnterviewde docent. Het interview van drie docenten heeft geen bruikbare gegevens opgeleverd. Docenten van de volgende vakken zijn benaderd:

- Beweren en Bewijzen
- anatomie
- Environmental & Ecological modelling
- advanced modelling in observational research
- Computer Simulation Models and Organizational Decision Making
- Advanced International Economics
- Effectenrecht

Uiteindelijk zijn twee docenten van Beweren & Bewijzen, een docent anatomie en een docent ‘advanced modelling in observational research’ een PCK gemaakt.

De docenten is uitgelegd dat het een onderzoek is naar het leren modelleren in het algemeen, en niet naar het modelleren in hun specifieke vakgebied. Daarom is de docenten gevraagd bij het beantwoorden van de vragen hun kennis over het doceren van modelleren te gebruiken, en daarbij specifieke vakinhoudelijke kennis buiten beschouwing te laten. Verder is aan de docenten uitgelegd dat ze benaderd zijn vanwege hun specifieke expertise en kennis als modelleerdocent, en dat de vragen niet goed of fout beantwoord kunnen worden. Het is mogelijk dat er op een bepaalde vraag geen antwoord is. Daarom is de mogelijkheid gegeven een bepaalde vraag niet te beantwoorden.

Om te zorgen dat de antwoorden die de docenten geven vergelijkbaar zijn, zijn aan alle docenten, onafhankelijk van het gegeven vak, dezelfde vragen gesteld. Dit betekende dat de gekozen big idea’s zo generiek moesten zijn dat ze op alle vakgebieden toegepast konden worden.

Als uitgangspunt wordt het vak “Beweren en Bewijzen” (B & B) gebruikt. Dit is een eerstejaars vak waarin geleerd wordt een artefact op te delen in onderdelen en deze onderdelen op een zodanige manier te beschrijven dat je kan bewijzen dat een artefact doet wat het moet doen.

Een artefact kan in dit geval alles zijn: een stuk programmacode, een kruispunt met verkeerslichten, broodbakmachine. Zo lang er maar een gedefinieerde uitvoer is. In deze gevallen zou dat zijn: een correct antwoord, geen conflicterende lichten die op groen staan (bijvoorbeeld alle ‘rechtdoor’ lichten) en een brood.

Deze artefacten worden beschreven met behulp van predicaatlogica en wel op zo’n manier dat er daarna met natuurlijke deductie een bewijs van kan worden opgesteld. Het grootste struikelblok, is op zo’n manier opdelen van een artefact dat het later in een bewijs gebruikt kan worden. Een voorbeeld van zo’n struikelblok is, wanneer je wilt bewijzen dat als de trappers van een fiets draaien, het achterwiel ook draait, is het niet handig is een fiets op te delen in onderdelen van metaal en niet-metaal.

Het tweede struikelblok is het precies opschrijven. Dus niet te veel, maar vooral ook niet te weinig. In het voorbeeld van de fiets is het waarschijnlijk zinvol om op te schrijven dat er een tandwiel aan het achterwiel zit. Maar het is niet zinvol op te schrijven dat het wiel van aluminium gemaakt is.

De andere twee hoofdpunten zijn het leren van predicaatlogica en het bewijzen met natuurlijke deductie. Dit levert geen grote problemen op, behalve dat natuurlijke deductie veel geoefend moet worden. Omdat ze heel nauw verbonden zijn met artefacten en onderdelen noem ik ze wel mee.

In de vakomschrijving worden deze vier doelen artefacten, formalisering, taal en zekerheid genoemd. Deze termen heb ik overgenomen en als Big Idea gebruikt:

- artefacten
- formalisering
- taal
- zekerheid

3.1.2 Observeren van studenten tijdens het modelleren

De deelvragen “Kan de theorie over modelleren herkend worden in het modelleerproces van studenten?” en “Kunnen de moeilijkheden die de docent volgens de PCK verwacht herkend worden in het modelleerproces van de studenten?” zijn beantwoord door het observeren van deelnemers terwijl ze aan het modelleren zijn.

De volgende onderdelen zijn beschreven: welke deelnemers, welke instructie krijgen de deelnemers, welke rol speelt de observator, en welke opdracht de moeten deelnemers uitvoeren. Als laatste is beschreven hoe de data verwerkt zijn.

Om mee te kunnen doen aan dit experiment moet de deelnemer zowel enige ervaring met modelleren hebben als nog duidelijk een beginner zijn. Beweren & Bewijzen is een eerstejaars cursus waar modelleren een van de kernpunten is. Studenten die halverwege de cursus zijn hebben genoeg modelleerervaring om een model te kunnen maken. Ze zijn ook nog duidelijk beginnende modelleers die nog aan het leren zijn. Daarmee voldoet deze groep aan de voorwaarde.

Tijdens colleges van dit vak is de studenten gevraagd mee te doen aan het onderzoek. Deelname was op vrijwillige basis. Uiteindelijk heeft een klein aantal zich opgegeven.

Voordat de deelnemers begonnen met de opdracht werd ze een korte instructie gegeven. In deze instructie werd ze gevraagd om hardop na te denken en alles uit te spreken, ook als ze zelf het idee hebben dat het niet relevant is voor de opdracht.

De deelnemers hebben de mogelijkheid om dingen op te schrijven, op kladpapier of als eindantwoord. Hun wordt gevraagd hier op dezelfde manier mee om te gaan als ze zouden doen wanneer ze niet geobserveerd worden.

Kenmerkend voor de methode waarop de cursus Beweren & Bewijzen gegeven wordt is de zogenaamde ‘werkplaats-wiki’. Deze is tijdens de observatie beschikbaar voor de deelnemers om naar eigen inzicht te gebruiken.

De observatie wordt niet gebruikt voor enige beoordeling. Hun eigen docenten krijgen de observaties niet te zien.

De deelnemers moeten alles zeggen wat ze denken. Dit is moeilijk, dus het kan voorkomen dat de deelnemers stoppen met hardop denken. Als dat gebeurt moet de observator ingrijpen en ze er aan herinneren hardop te denken. Hiervoor kunnen vragen gebruikt worden als

- ‘Wat denk je nu?’
- ‘Wat zeg je?’
- ‘Wat schrijf je nu op?’
- ‘Waarom denk je dat?’

Er kan een opmerking gemaakt worden die de deelnemer er aan herinnert hardop te denken.

Zeer waarschijnlijk lopen de deelnemers gedeeltelijk of geheel vast in de opdracht. Als de deelnemer het idee heeft dat hij niet verder komt met de opdracht, en hij heeft de wiki nog niet gebruikt, kan hij eraan herinnerd worden dat de wiki beschikbaar is. Komt de deelnemer met behulp van de wiki nog niet verder dan is de opdracht zo ver als mogelijk voltooid en is het modelleerproces afgelopen. In dat geval kan de deelnemer gevraagd worden uit te leggen wat hij probeerde te doen en waar hij op vastliep.

Het kan ook gebeuren dat de deelnemers een fout in het model of een foute aanname maken. Dit is niet erg, zolang maar duidelijk is vastgelegd welke fout of aanname ze maken.

Alle deelnemers krijgen dezelfde opdracht, hierdoor zijn de observaties makkelijker te vergelijken.

Alle deelnemers volgen hetzelfde vak. Voor dit vak moet iedere week een opdracht gemaakt worden. Tijdens een bepaalde periode in de cursus zijn dat modelleeropdrachten. Door de deelnemers uit te nodigen deze opdracht te maken terwijl ze geobserveerd worden, kost het de deelnemers geen extra tijd, voeren ze allemaal dezelfde opdracht uit en is er een goede opdracht beschikbaar.

De laatste modelleeropdracht van Beweren & Beijzen is het modelleren van een stuk wetstekst over de troonsopvolging, de zgn. “Kroonprinsenopdracht”. Om deze opdracht te kunnen maken moeten de deelnemers alle stappen van het modelleerproces doorlopen:

Analyse De opdracht is ingewikkeld, dus zal er geanalyseerd moeten worden.

Inductive reasoning De vraag is te ingewikkeld om in een keer op te lossen, dus zal de vraag onderverdeeld moeten worden in kleinere stukjes.

Quantify Deze stukjes zullen vervolgens zo gemaakt moeten worden dat ze samengevoegd kunnen worden tot een groter geheel.

Evaluate al deze stukjes en het groter geheel moeten getest moeten worden op correctheid.

Explain Deelnemers die in groepsverband werken, moeten ze aan elkaar uitleggen hoe hun (deel)oplossing is gemaakt.

Doordat alle stappen van het modelleerproces nodig zijn om de opdracht te kunnen maken werd het mogelijk deze stappen te observeren.

De opdracht is moeilijk. Ervaring van eerdere jaren leert dat een groot deel van de studenten de opdracht niet helemaal kan maken. Ook tijdens de observatie zijn niet alle deelnemers erin geslaagd de opdracht helemaal te maken. Dit zou kunnen zijn omdat de laatste stap(pen) uit het modelleerproces niet gezet konden worden. In de gevallen dat de deelnemer vastliep is gevraagd uit te leggen waar hij vastliep. En wat een mogelijke oplossingsrichting zou kunnen zijn.

Hieronder de opdracht die de deelnemers hebben uitgevoerd:

De in de opdracht gegeven tekst van artikel 25:

- Het koningschap gaat bij overlijden van de Koning krachtens erfopvolging over op zijn wettige nakomelingen, waarbij het oudste kind voorrang heeft, met plaatsvervulling volgens dezelfde regel.
- Bij gebreke van eigen nakomelingen gaat het koningschap op gelijke wijze over op de wettige nakomelingen eerst van zijn ouder, dan van zijn grootouder, in de lijn van erfopvolging, voor zover de overleden Koning niet verder bestaand dan in de derde graad van bloedverwantschap.

Gevraagd:

Geef een definitie van het predicaat $\text{isKroonprins}(x)$; die zo goed mogelijk overeenkomt met artikel 25. De formule $\text{isKroonprins}(x)$ moet (alleen) waar zijn voor de

persoon x waarop het koningschap volgens de grondwet zou overgaan als de huidige koning nu zou overlijden.

Probeer daartoe niet al die merkwaardige zinnen uit de wet na te bootsen maar een predicaat te definiëren dat dezelfde betekenis heeft. Misschien kan het eleganter dan in de grondwet staat.

Tijdens de observaties zijn er filmopnames gemaakt. Voordat het proces geanalyseerd kan worden moet alles wat de deelnemer heeft gezegd opgeschreven worden. In het ideale geval wordt alles letterlijk opgeschreven. Als dat niet mogelijk is, bijvoorbeeld omdat n een groepje studenten geobserveerd is, wordt zo goed mogelijk weergegeven wat er gedaan is.

3.2 Analyse

3.2.1 Vergelijken van de PCK van de docenten

Na de interviews waren er een vier ingevulde CoRe's. Een van de docenten heeft de vragen heel beknopt beantwoord. De antwoorden die de docenten gegeven hebben zijn onderling op vier verschillende manieren vergeleken:

Binnen vraag en big idea Hebben de docenten op dezelfde vraag/big idea combinatie een vergelijkbaar antwoord gegeven

Andere vraag, zelfde big idea Heeft een docent een antwoord gegeven dat overeenkomt met een antwoord van een andere docent op een andere vraag, maar wel binnen hetzelfde big idea. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen bij de vragen 'Wat zijn moeilijkheden of grenzen aan het doceren van dit idee?' en 'Welke factoren hebben het doceren van dit idee nog meer beïnvloed?'

Zelfde vraag, ander big idea Het antwoord dat de ene docent geeft bij een big idea komt overeen met het antwoord van een andere docent bij dezelfde vraag, maar een ander big idea

Andere vraag, ander big idea De antwoorden van de docenten komen overeen, maar ze zijn gegeven bij een andere vraag en een ander big idea.

De antwoorden en de manier van antwoorden lopen erg uiteen. Zo heeft één docent op alle vragen een antwoord gegeven van slechts een of twee woorden, terwijl de andere docenten veel langere antwoorden gegeven hebben. Dit betekent dat alle antwoorden geïnterpreteerd moesten worden voordat ze konden worden vergeleken. Dit is een subjectief proces, en is daarom door meerdere mensen gedaan.

3.2.2 Herkennen van het modellerproces in PCK

Het zoeken naar modellerstappen in een CoRe is net als bij deelvraag 1 en 2 erg subjectief. Dit zou dus ook door meerdere mensen gedaan moeten worden. Dit bleek praktisch helaas niet mogelijk.

Om deze methode desondanks zo objectief mogelijk te maken, is gebruik gemaakt van het feit dat de docenten de meeste vragen beantwoord hebben met een volledige zin. Dit heeft het mogelijk gemaakt om de zinnen te analyseren. Wanneer een docent in zijn antwoord op een modellerstap doelt, komt de inhoud van de zin min of meer overeen met die modellerstap.

Bijvoorbeeld op de vraag: "Wat moeten mijn studenten over het idee 'formalisering' leren?" is het antwoord van docent B: "Dat studenten tot op zekere hoogte zelf kunnen nagaan of een bepaald model overeenkomt met de werkelijkheid." Hier komt het begrip 'kunnen nagaan' min of meer overeen met de modellerstap 'evaluatie'.

3.2.3 Herkennen van het modellerproces in theorie

Deze deelvraag is te beantwoorden door te zoeken naar hete modellerstappen zoals ze beschreven zijn in de theorie:

- Analyse
- Inductie
- Kwantificeren
- Uitleggen
- Evalueren

Voor een uitgebreide omschrijving van de modelleerstappen, zie hoofdstuk 2.4

In de uitgeschreven observatie wordt bij iedere zin aangegeven of deze ‘past’ bij een van de modelleerstappen. Op deze manier wordt iedere zin ‘getagd’. Doordat er meestal geen volledige zinnen ‘gedacht’ worden, noch op een ‘formele manier’ gedacht wordt, is het niet mogelijk om dit op een structurele manier te doen (via keywords, zinsopbouw, ...).

Daarom zijn de stappen door meerdere personen getagd. Aangezien deze personen goed Engels spreken heb ik de beschrijving van de stappen niet vertaald. Hiermee wordt ook het risico op onduidelijkheden door vertaling voorkomen.

Als meerdere personen de observaties getagd hebben kunnen de antwoorden met elkaar worden vergeleken.

3.2.4 moeilijkheden en PCK

Core In de CoRe’s is gezocht naar de moeilijkheden die de docenten kennen. Eén van de vragen die de docenten gesteld is, is: ‘Wat zijn moeilijkheden/grenzen aan het doceren van dit big idea?’ De antwoorden op deze vraag hebben waarschijnlijk betrekking op de moeilijkheden die studenten tegen kunnen komen. Verder is in de antwoorden gezocht naar ‘negatieve woorden’ als ‘niet’, ‘geen’, ‘zonder’ en ‘moeilijk’.

Observaties Er zijn verscheidene manieren gebruikt om moeilijkheden tijdens het modelleren te vinden. De eerste twee zijn op aangeven van de modellerende student. Als hij zelf aangeeft dat iets moeilijk is, of als de student vastloopt en stopt met modelleren is datgene waarmee hij op dat moment bezig is te moeilijk.

Ook als de student met een bepaalde stap lang bezig is, is die stap kennelijk moeilijk. Hierbij is aangenomen dat ‘lang’ langer dan vijf minuten is.

De laatste methode die in alle gevallen is het zoeken naar fouten in het modelleerproces. Wanneer een student, bijvoorbeeld, een foute aanname maakt was daar iets onduidelijk.

Wanneer de studenten samenwerken is er ook naar de interactie tussen de studenten gekeken. In Beacco et al. (2010) worden zeven soorten interactie tussen studenten benoemd die tijdens het maken van een opdracht plaats kan vinden.

- Socio-cultural talk
- Procedural talk
- Instrumental talk
- Disputational talk

- Cumulative talk
- Pedagogical talk
- Explanatory talk

Dit onderscheid kan gebruikt worden om het modelleerproces van een aantal samenwerkende studenten te organiseren. Van deze zeven soorten kunnen er drie op moeilijkheden duiden:

Procedural talk *learners talk about how to carry out the assignment set for their work. Sometimes there is some learning that might lead to procedural knowledge: how to do things, especially when they argue for possible actions, proposing solutions. They learn about setting up experiments, carrying out inquiries.*

Disputational talk *learners disagree, draw their own conclusions, make their own individual decisions. There is little or no co-operation. Tensions or even conflicts between learners appear to be counter-productive for their learning.*

Pedagogical talk *learners take over the role of the teacher, explaining the topic, the content and the task to each other. The “learner teacher” as well as the learners may learn from this talk. The learner teacher because he/she has to explain, to demonstrate, in short he/she is productively dealing with the content of the lessons: verbalisation can lead to elaboration of cognitive processes, to reflection, awareness, expansion of knowledge. The other learners may learn because of the individually directed explanation.*

Hoofdstuk 4

Resultaten en analyse

De Content Representations van de docenten bestaat uit in totaal 179 antwoorden. De antwoorden van één docent zijn erg kort. Dit maakt de analyse van deze antwoorden lastig. De antwoorden van de andere drie docenten een zijn uitgebreider. Dit is te uitgebreid om hier te plaatsen. De volledige CoRe's zijn te vinden in appendix A. In deze appendix zijn vier secties te vinden: overeenkomende antwoorden van de docenten, door de docenten genoemde modelleer-stappen, herkenningpunten uit de theorie en door de docenten voorspelde struikelblokken.

In totaal is er ruim drie uur (3:10) geobserveerd. Hoewel een groot deel van deze tijd stilte is zijn de volledig uitgeschreven weergave van de observaties te lang om hier te plaatsen. Deze is te vinden in appendix B. Om een indicatie te geven van de gedachten van de studenten, staan bij de relevante deelvragen een aantal typerende uitspraken.

Deelvraag 1 In de eerste sectie is in de antwoorden gezocht naar overeenkomsten. De docenten hoeven niet letterlijk hetzelfde te zeggen om een antwoord overeen te laten komen. Zo antwoord docent 1 de vraag: *“Waarom is het belangrijk dat mijn studenten iets over het big idea ‘taal’ weten’?”* met *“dialogoog tussen professionals”*, en docent 4 met *“Je moet je model kunnen opschrijven.”*.

Deelvraag 2 In sectie twee zijn de antwoorden gemarkeerd die betrekking hebben op stappen uit het modelleerproces. De volgende modelleersteps zijn gevonden in de CoRe's van de docenten:

Analyse

- wat zijn opties om behandelingen van patiënten te vergelijken
- Studenten moeten leren parseren. Wat staat waar in de tekst en wat betekent die plaats dan voor de functie van dat stuk tekst?
- Alleen door formules goed te kunnen parseren, kun je checken of wat je hebt opgeschreven zinnig is of niet. In eerste instantie natuurlijk op het niveau van syntax, maar in tweede instantie ook op het niveau van betekenis. Iets kan syntactisch juist zijn, maar toch iets heel anders betekenen dan bedoeld werd.

- studenten zijn gewend aan een door de leraar gestructureerde wereld, waar alles één eenvoudig antwoord heeft. Ze zijn niet gewend aan het vinden van de goede vraag.
- vergroting inzicht

Inductie

- Modulair denken komt continu terug in de Informaticastudie. Zowel bij programma's in het kader van hergebruik van de code, als bij het formeel beschrijven van semantiek van programmeertalen.
- Studenten hebben vooral moeite met het lokaliteitsprincipe. De specificaties van de onderdelen mogen alleen maar betrekking hebben op de fenomenen die horen bij deze onderdelen.
- Het Chinese dozen principe: heel concreet met echte dozen in het college aangeven hoe de specificatie van de grootste doos wordt waargemaakt door de specificaties van de kleinere dozen die er in zitten. Het wordt visueel zo simpel gemaakt dat eigenlijk iedereen het achterliggende idee kan snappen.
- Sommige studenten schrikken al van het feit dat het om een formeel systeem gaat. Daarnaast is het zo dat er zogenaamde makkelijke en moeilijke regels zijn. Bij de moeilijke regels moet er creatief een geschikte formule worden gekozen. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de methode met semantische tableaux, waar alles al vastligt en men alleen maar goed hoeft te kunnen boekhouden.

Kwantificeren

- Specificaties van ogenschijnlijk eenvoudige dingen, blijken al snel te ingewikkeld om in een keer te overzien. Belangrijk is dan ook het idee dat het niet nodig is om in een keer alle eigenschappen op te schrijven, maar dat dat beter gedaan kan worden in kleine stukken.

Evaluatie

- Dat studenten tot op zekere hoogte zelf kunnen nagaan of een bepaald model overeenkomt met de werkelijkheid.
- Bij elke specificatie die op het bord is gekomen, eigenlijk meteen een stap terug doen om te kijken of het allemaal wel in orde is. Verder is voor veel modellen het idee van een tijdslijn belangrijk: geef aan op welke momenten er iets gebeurt en welke consequenties dat dan heeft voor de andere momenten.

stap	aantal
analyse	5
inductie	4
kwantificeren	1
evaluatie	2

Tabel 4.1: Modelleerstappen in CoRe

onderwerp	aantal	locatie
aannames maken	1 x	2.4.1
belang van domeinkennis	1 x	2.3.1
opdelen in stukjes	2 x	2.4
representatie	2 x	2.2.1
oefening	3 x	2.3.1
visualisatie	3 x	2.4.2

Tabel 4.2: PCK in theorie

In sectie drie is aangegeven welke uitspraken direct aan de theorie te relateren zijn. In tabel 4.2 is een samenvatting te vinden.

Deelvraag 3

Analyse

- “dus de eerste zin zegt: als de koning overlijdt wordt het oudste wettige kind van de koning, koning. Dit kind moet nog leven.”
- “ja: ik ben aan het bedenken dat je eerst moet kijken naar z’n kinderen en hoe je dat dan moet opschrijven dan moet je daarna kijken naar z’n ouders en dan naar z’n grootouders”

Inductie

- “ooooh wacht... in de definitie zit natuurlijk al zo’n ‘p’ ”.
- “ik denk dat hulpdefinities handig kunnen zijn”

Kwantificeren

- “hoe je erbij komt als het niet het oudste kind is, moet je verder kijken. Maar ik kan niet bedenken hoe je dat opschrijft.”
- “maar je kunt zeg maar... hulpdefinities mee maken. Hij is kroonprins als ie het oudste kind is.”

Evalueren

- “nou ik ben wat vergeten... te controleren of het kind het oudste kind is en het kind waar ik mee vergelijk niet nog jongere leeft”
- “conclusie, haakjes staan niet goed, kwantoren ook niet.”

In totaal zijn er in 12 antwoorden een link met de theorie gevonden. Samen met de 9 gevonden modelleersteps zijn er in totaal 21 antwoorden gelinkt aan de theorie. Dit is 12 procent van de in totaal 179 antwoorden.

Behalve docent A noemen ze allemaal expliciet dat oefening belangrijk is. Dit is de enige link met de theorie die door alle drie de docenten gemaakt wordt.

Deelvraag 4 In de vierde en laatste sectie is aangegeven waar de docenten struikelblokken voor de studenten verwachten. Een overzicht hiervan is hieronder gegeven.

- Vaststellen opdracht
- afbakening model
- afbakening onderdelen
- afronding model
- domeinkennis

Niet alle voorspelde struikelblokken zijn ook daadwerkelijk waargenomen. De waargenomen struikelblokken zijn:

- vaststellen opdracht
- verwoording
- domeinkennis

	Analyse	quantify	induction	evaluate	explain
Observatie 1	X	X	X		
Observatie 2	X	X	X	X	
Observatie 3	X	X	X	X	X

Tabel 4.3: Waargenomen stappen per observatie

Hoofdstuk 5

Discussie en conclusie

In dit laatste hoofdstuk zijn de resultaten van alle deelenalyses besproken. Iedere deelenalyse begint met een discussie en is afgesloten met de conclusie. Daarna zijn deze gecombineerd om de onderzoeksvraag “Hoe kan het modelleeronderwijs het beste worden gegeven?” een stukje verder te beantwoorden.

5.1 Vergelijken van de PCK van de docenten

Uiteindelijk is de core van twee ‘medische’ docenten en twee docenten informatica gebruikt. Geheel volgens de verwachting vertonen de core’s van de twee medische docenten onderling en de twee informaticadocenten onderling zeer grote overeenkomsten.

In ongeveer de helft van de vragen komen antwoorden van een medische docent en een informaticadocent overeen. In sommige gevallen geven de docenten antwoorden die direct overeenkomen. Er is ook een aantal antwoorden die als antwoord niet letterlijk overeenkomen maar de achterliggende oorzaak wel. Zo noemen de medische docenten als reden waarom het maken van een model belangrijk is ‘om patiënten te kunnen behandelen, terwijl de informaticadocenten een van de centrale activiteiten van informatica benoemt. Deze antwoorden zijn duidelijk niet hetzelfde, maar het is wel zo dat ‘het behandelen van patiënten’ een van de centrale activiteiten van geneeskundigen is. Door het antwoord te interpreteren komen de antwoorden opeens wel overeen.

Het is opvallend dat er in het big idea ‘taal’ veel minder overeenkomsten zijn dan in de drie andere big ideas. In het big idea ‘taal’ zijn er slechts drie, terwijl er in de andere big ideas minimaal zes zijn. Dit is waarschijnlijk te verklaren doordat de ‘medische’ modellen in een taal geschreven zijn die veel simpeler is dan de taal die in de informatica gebruikt wordt. Bovendien worden in de vakken die de twee medische docenten geven totaal andere modellen gebruikt.

5.2 Herkennen van het modelleerproces in PCK

Uit tabel 4.1 volgt dat alle stappen uit het modelleerproces zijn teruggevonden in de gecombineerde CoRe van de docenten. De antwoorden van /'e/' en docent (docent A) zijn te kort (slechts 1 of 2 woorden) om er een modelleerstep in te kunnen herkennen. Bij de drie andere docenten is tenminste één stap herkend, dit is de stap 'analyse', deze stap is in alle CoRe's teruggevonden. Opvallend is dat de stappen inductie, kwantificeren en uitleg/evaluatie maar bij één docent herkend zijn, ondanks dat er in de gecombineerde CoRe's drie keer een inductiestap staat.

De meest voor de hand liggende verklaring is, dat voor de docenten de modelleersteps kennelijk niet belangrijk zijn. Het is ook mogelijk dat de modelleersteps voor de docenten wel belangrijk zijn, maar dat deze om een andere reden niet in de CoRe gevonden zijn:

Generieke hoofdpunten De vier gebruikte hoofdpunten zijn erg generiek. Hierdoor worden de antwoorden ook minder specifiek, waardoor een specifiek punt als een modelleerstep weggelaten kan worden.

De opdracht aan de docenten De docenten is gevraagd naar hoe ze modelleeronderwijs geven, niet naar hoe volgens hen het modelleerproces zelf in zijn werk gaat. De modelleersteps verwijzen naar het proces, en niet naar het onderwijs.

Vier hoofdpunten is erg weinig Voor het maken van een CoRe wordt aangeraden, zie:2.5.2 om zes tot acht hoofdpunten te gebruiken.

De docenten zijn zich niet bewust van de modelleersteps Doordat de docenten zelf zo vertrouwd zijn met het modelleerproces maken ze deze steps zelf automatisch. Hierdoor stonden ze er bij het beantwoorden van de vragen niet bij stil, dat studenten de steps niet automatisch zetten en het dus belangrijk is dat de studenten deze steps leren zetten.

De eerste twee punten zouden opgelost kunnen worden door een vervolgonderzoek te doen, waarbij de hoofdpunten specifieker op het modelleerproces gericht zijn. Daardoor kunnen de docenten een groot deel van het modelleeronderwijs buiten beschouwing laten, en zich in hun antwoord focussen op het leren van het modelleerproces.

Door de vraag aan de docenten zich op het modelleerproces te richten wordt het voor de docent duidelijk wat de focus van het antwoord moet zijn. Als de hoofdpunten daar niet op aangepast zijn, is het moeilijker om de vragen te beantwoorden. Wat de kans op niet beantwoorde vragen groter maakt. Dit zou betekenen dat als de vraag aangepast wordt, de hoofdpunten ook aangepast moeten worden.

In een ideale situatie zijn er meer hoofdpunten, waardoor er een aantal generieke en een aantal specifieke hoofdpunten kunnen zijn. In dat geval kan er ook een aantal hoofdpunten naar het modelleerproces wijzen, waardoor zowel het hele vak, als het modelleerproces onderzocht kan worden. Dit kost, voornamelijk de docenten, duidelijk meer tijd. Daarom is er voor gekozen om deze aanpak toch niet te gebruiken. Dit houdt wel de mogelijkheid open om op een latertijdstip deze hoofdpunten alsnog in een CoRe te gebruiken.

Juist doordat de vragen en de hoofdpunten zo generiek zijn, zijn de docenten niet gestuurd naar een bepaald deel van het leren modelleren. Dit betekent dat de docenten de, voor hen, belangrijkste antwoorden hebben gegeven. Dat het modelleerproces hier nauwelijks in voorkomt betekent dus dat dit voor hen niet het belangrijkste onderdeel is van het leren modelleren.

Naast de modellerestappen zijn er ook een aantal andere elementen uit de theorie teruggevonden in de CoRe's van de docenten. Ook deze elementen zijn slechts op een paar plaatsen teruggevonden. Voor een overzicht zie tabel: 4.2

Deze elementen zijn te relateren aan de volgende stukken uit het theoretisch kader:

5.3 Herkennen van het modellerproces in observaties

Zoals in tabel: 4.3 te zien is zijn alle stappen herkend, maar niet alle stappen zijn in alle observaties teruggevonden. Het is logisch dat de stap 'uitleg' niet gezet kan worden wanneer iemand alleen modelleert, er is dan niemand om aan uit te leggen. Dit verklaart waarom de stap 'uitleg' niet is waargenomen bij de observaties van een enkele persoon. Het lijkt mij niet onwaarschijnlijk dat deze stap dan sterk overeen komt met de stap 'evaluatie'. Dit vermoeden heb ik echter niet kunnen controleren. De stap 'uitleg' is wel te zien in de observatie van het groepje. Daar lopen uitleg en evaluatiestappen vaak in elkaar over.

Opvallend is dat de deelnemer waarbij het proces vastliep niet evalueerde, maar toch tot de conclusie kwam vast te lopen. Het kan zijn dat de deelnemer wel evalueerde, maar dit niet uitsprak, al lijkt dit onwaarschijnlijk omdat de deelnemer pas na ruim 18 minuten vast liep terwijl bij andere observaties de eerste evaluatie van het gemaakte model soms al na 10 minuten begon. De kans is groot dat een deelnemer die vastloopt de opdracht moeilijk vindt, waardoor het hele proces langzamer gaat en dus ook de evaluatie van een stap later plaatsvindt. Het aantal observaties is helaas te laag om hier een duidelijke conclusie aan te verbinden. Om hier meer over te kunnen zeggen zouden er meer vastlopende deelnemers geobserveerd moeten worden.

Zoals eerder aangegeven lopen stappen in elkaar over. Dit maakt het lastig om te zien waar in het modellerproces een bepaalde stap gezet is. Het is wel duidelijk dat op een bepaald moment de stap gezet is. Voor het antwoord op de vraag is het niet van belang: de vraag was óf de stap gezet wordt en in welke volgorde de stappen gezet worden, niet exact wanneer een stap gezet wordt.

Een verklaring voor het in elkaar overlopen van stappen kan zijn dat, ondanks dat de deelnemers hun best doen zo veel mogelijk te zeggen, 'kleine' dingen niet gezegd worden. Ook kan het zijn dat de deelnemer een oplossing voor iets bedenkt zonder zelf te precies te weten hoe. In dat geval kan de deelnemer dat dus ook niet zeggen.

Het is wel duidelijk te zien dat alle deelnemers de stappen zetten in de volgorde die voorspeld is in de theorie 2.4. Ook delen alle deelnemers de vraag op in kleinere onderdelen. Dit is een kenmerk van ervaren modellers. De deelnemers waren geen ervaren modellers. Dat ze toch de vraag opdelen is te verklaren doordat dit letterlijk zo in de opdrachtomschrijving staat. Het zorgt ervoor dat de deelnemers op weg geholpen worden.

Het opdelen leidt er toe dat het modellerproces een aantal keren wordt doorlopen, minimaal één keer voor het grote model, en minimaal één keer voor iedere deelvraag. Hoewel op deze manier alle stappen meerdere keren gezet worden, gingen de deelnemers niet cyclisch te werk. In de theorie 2.4 is wel voorspeld dat dat zou gebeuren.

5.4 Moeilijkheden & PCK

De docenten hebben in de CoRe aangegeven welke moeilijkheden ze kennen die studenten tijdens het modelleren tegen kunnen komen. Om deze moeilijkheden in de observaties te vinden maken we eerst een inventarisatie van wat er in de PCK voorspeld is. Vervolgens proberen we deze moeilijkheden één voor één proberen terug te vinden in de observaties. Daarna is nog gezocht naar moeilijkheden waar de studenten tegen aan liepen die niet voorspeld zijn door de docenten.

5.4.1 Voorspelling

De volgende moeilijkheden zijn door de docenten voorspeld. Geheel volgens de verwachting zijn deze voorspellingen op te delen in twee delen: kennis en vaardigheden, zie: 2.3.1. Een aantal heeft betrekking op modelleervaardigheden, een aantal op de kennis die nodig is om te kunnen modelleren.

Vaardigheden

Vaststellen opdracht Studenten vinden het moeilijk om te bepalen wat de opdracht precies is. Docent C verwoordt dat als volgt: “studenten zijn gewend aan een door de leraar gestructureerde wereld, waar alles één eenvoudig antwoord heeft. Ze zijn niet gewend aan het vinden van de goede vraag.”

Afbakening model Wat hoort wel en wat hoort niet in het model? Stel dat er een model gemaakt wordt van de provincies in Nederland. Dan moeten alle Nederlandse provincies in het model, de Belgische provincies moeten niet in het model. Docent D: “studenten vinden het moeilijk om alternatieven te vergelijken. Vaak worden er dingen vergeleken die geen alternatief zijn”.

Afbakening onderdelen Waar leg je de grens tussen onderdelen in het model? Docent B: “Studenten hebben vooral moeite met het lokaliteitsprincipe. De specificaties van de onderdelen mogen alleen maar betrekking hebben op de fenomenen die horen bij deze onderdelen.”

Afronding model Hoe weet iemand dat het model klaar is? Om vast te kunnen stellen dat alle elementen uit de werkelijkheid die gemodelleerd moeten worden ook gemodelleerd zijn, en alle andere elementen niet gemodelleerd zijn, moet de connectie met de werkelijkheid behouden blijven. Docent B: “sommige mensen zien een formalisme als een spel met regels, maar niet de connectie met de realiteit. Ze verdwalen. ”

Ervaring Docent B: “De enige manier om dit echt goed onder de knie te krijgen is door het veel te doen.”

Kennis

Volgens de docenten is de domeinkennis, danwel het gebrek eraan, vaak een probleem tijdens het modelleren, zowel tijdens de colleges als bij de opdrachten. Voor een klein model kan al veel, soms specialistische, domeinkennis nodig zijn. Deze kennis is niet altijd aanwezig.

Domeinkennis De domeinkennis is niet altijd voldoende om tot een goed model te komen. Docent B: “Soms vergt het veel domeinkennis om in een specifiek geval tot een goed model te komen.”

Interpretatie Wat betekent het model? Docent D: “studenten hebben moeite met onderscheid maken tussen frequente kans (dobbelsteen, hoe groot is de kans op X) en subjectief (hoe zeker ben je ervan dat X). Conditionele kansen. ”

5.4.2 Herkenning

In de observaties zijn een aantal moeilijkheden herkend. Niet al deze moeilijkheden zijn door de docenten voorspeld. Ook hier zijn de moeilijkheden op te delen in kennis en vaardigheden.

Vaardigheden

Door de docenten is voorspeld dat het vaststellen van de opdracht moeilijk kan zijn. Tijdens de observatie is dat ook waargenomen.

Vaststellen opdracht Eén observatie was van een groepje modellerende studenten. Hier ontstond in de eerste vijf minuten een korte discussie over de omschrijving van de opdracht. Waarna iedereen ervan overtuigd was dat er niet altijd een troonopvolger is. (In overeenstemming met art. 30)

Door de docenten is niet voorspeld dat de verwoording lastig kan zijn, dit is wel waargenomen bij de studenten.

Verwoording Het opschrijven van het model was in alle drie de geobserveerde gevallen lastig. Dit blijkt uit het feit dat één student het proces prima uit kon leggen, maar het niet voor elkaar kreeg om dit op te schrijven, waardoor er ook geen eindresultaat was. Tijdens de andere twee observaties is het wel gelukt het model op te schrijven, maar dit kostte met name de alleen werkende studenten erg veel tijd (tussen de 5 en 10 minuten per hulpstelling).

Er zijn ook een aantal moeilijkheden door de docenten voorspeld die niet zijn waargenomen.

- Afbakening model
- Afbakening onderdelen
- Afronding model

Kennis

De geobserveerde studenten liepen niet, door gebrek aan kennis, tegen grote problemen aan. Bij een observatie was er onduidelijkheid over de betekenis van ‘met plaatsvervangings’ zie ook: 2.1. Dit is opgelost doordat een eigen definitie is gebruikt, waarmee het model is afgemaakt.

Het ligt in de verwachting dat de moeilijkheden die door de docenten voorspeld worden minder voorkomen dan de moeilijkheden die niet voorspeld zijn. De docent zal in zijn colleges waarschijnlijk extra aandacht besteden aan datgene waarvan hij verwacht dat de studenten moeilijk vinden.

5.5 Tot slot

In de deelvragen is een beeld ontstaan over hoe studenten modelleren en wat de PCK van de docenten is. Er zijn een aantal overeenkomsten tussen de PCK van de docenten en het werk van de studenten. Echter zijn ook grote verschillen.

De antwoorden die de docenten geven zijn vaak algemeen en abstract. Dit doet vermoeden dat de PCK van de docenten over modelleren ook abstract is, terwijl de studenten tijdens het modelleren heel praktisch en met één onderwerp tegelijk bezig zijn.

Ondanks dit grote verschil komt een aantal elementen uit de PCK wel terug in het werk van de studenten. Zo benoemt een van de docenten ‘dialogoog tussen wetenschappers’ als een doel, terwijl bij het Big Idea ‘taal’ het leren van een modelleertaal nergens genoemd wordt. De studenten gebruiken tijdens het modelleren daadwerkelijk de modelleertaal om ideeën te delen. Dit gebeurt ondanks het feit dat de studenten het gebruik van die taal moeilijk vinden.

Voor de stappen die in het modelleerproces gezet worden, geldt dit ook. De stappen zijn te herkennen in de PCK van de docenten, zij het abstract. Sommige stappen komen zowel abstract als praktisch duidelijk naar voren. Dit is te zien aan de analyse-stap. Een van de antwoorden in de CoRe is ‘het bepalen van de eigenlijke opdracht’. Dit is abstract, terwijl het ‘analyseren van een tekst’ al een stuk concreter is.

In een vervolgonderzoek kan het verschil tussen het abstracte van de PCK en de praktische moeilijkheden verder onderzocht kunnen worden. Zoals ook in sectie 5.3 al genoemd is kan het een goed idee zijn in een vervolgonderzoek de docenten meer te sturen bij het vaststellen van hun PCK. Dit zou onder andere kunnen door een meer gestructureerd interview, maar ook door de big idea’s af te stemmen op een specifiek onderdeel van het modelleren.

Bibliografie

- Beacco, J., Coste, D., van de Ven, P. & Vollmer, H. (2010), 'Language and school subjects, linguistic dimensions of knowledge building in school curricula', *Council of Europe ?*, 13–14.
- Davidson, J. & Sternberg, R. (2003), *The psychology of problem solving*, Cambridge University Press, chapter 4. Creativity a source of difficulty.
- Flower, L. & Hayes, J. R. (Dec., 1984), 'A cognitive process theory of writing', *College Composition and Communication* **32**(4), 365–387.
- Fortus, D. (2009), 'The importance of learning to make assumptions', *Science Education* **93**(1), 86–108.
- Halpin, T. (1993), What is an elementary fact?, in 'Proc. First NIAM-ISDM Conf', Utrecht.
- Hestenes, D. (1987), 'Toward a modeling theory of physics instruction', *American journal of physics* **55**(5), 440–454.
- Hogan, K. & Thomas, D. (2001), 'Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology', *Journal of Science Education and Technology* **10**, 319–345. 10.1023/A:1012243102249.
URL: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1012243102249>
- Hsu, Y.-S., Lin, L.-F., Wu, H.-K., Lee, D.-Y. & Hwang, F.-K. (2011), 'A novice-expert study of modeling skills and knowledge structures about air quality', *Journal of Science Education and Technology* ., 1–19. 10.1007/s10956-011-9349-5.
URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10956-011-9349-5>
- Löhner, S., van Joolingen, W., Savelsbergh, E. & van Hout-Wolters, B. (2005), 'Students' reasoning during modeling in an inquiry learning environment', *Computers in Human Behavior* **21**(3), 441–461.
- Loughran, J., Berry, A. & Mulhall, P. (2006), *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*, Sense Publishers.
- Loughran, J., Mulhall, P. & Berry, A. (2004), 'In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice', *Journal of Research in Science Teaching* **41**(4), 370–391.
- Maaß, K. (2006), 'What are modelling competencies?', *ZDM* **38**(2), 113–142.
- Mednick, S. A. (1962), 'The associative basis of the creative process', *psychological review* **69**(3), 220–232.

- Ormel, B. J. B. (2010), Het natuurwetenschappelijk modelleren van dynamische systemen., PhD thesis, Universiteit Utrecht.
- Schecker, H. (1993), 'Learning physics by making models', *Physics Education* **28**(2), 102.
URL: <http://stacks.iop.org/0031-9120/28/i=2/a=007>
- Schecker, H. & Schecker, H. (1998), *Physik-Modellieren: Grafikorientierte Modellbildungssysteme im Physikunterricht*, E. Klett.
- Sins, P., Savelsbergh, E. & van Joolingen, W. (2005), 'The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling', *International Journal of Science Education* **27**(14), 1695–1721.
- Stratford, S., Krajcik, J. & Soloway, E. (1998), 'Secondary students' dynamic modeling processes: Analyzing, reasoning about, synthesizing, and testing models of stream ecosystems', *Journal of Science Education and Technology* **7**(3), 215–234.
- Tinker, R. (1993), 'Modelling and theory building: Technology in support of student theorizing', *Advanced educational technologies for mathematics and science* (107), 91.
- Trochim, W. (1989), 'Concept mapping: Soft science or hard art?', *Evaluation and Program Planning* **12**(1), 87–110.
- Van Driel, J. & Verloop, N. (1999), 'Teachers' knowledge of models and modelling in science', *International Journal of Science Education* **21**(11), 1141–1153.
- Wilmont, I., Brinkkemper, S., Van de Weerd, I. & Hoppenbrouwers, S. (2011), 'Exploring intuitive modelling behaviour', *EMMSAD* ., .
- Zhang, B., Liu, X. & Krajcik, J. (2006), 'Expert models and modeling processes associated with a computer-modeling tool', *Science Education* **90**(4), 579–604.

Bijlage A

CoRe docenten

A.1 Overeenkomsten

geel:analyse, groen: inductie, blauw: evaluatie, rood kwantificeren				
vraag	artefact	formalisering	taal	zekerheid
1	<p>menselijk lichaam</p> <p>Het is de bedoeling dat studenten leren aanvoelen wat een logische onderverdeling is van een artefact. Niet te veel onderdelen, maar ook niet te weinig.</p> <p>door verdeel en heers greep krijgen op correctheidsvraagstuk.</p> <p>behandelproces</p>	<p>bouwplan en structuur van onderdelen</p> <p>Dat studenten tot op zekere hoogte zelf kunnen nagaan of een bepaald model overeenkomt met de werkelijkheid.</p> <p>bewust worden dat een wiskundig model iets anders is dan de realiteit. Hangt systematisch samen. De vier werelden kansen</p>	<p>nomenclatuur</p> <p>Studenten moeten leren parseren. Wat staat waar in de tekst en wat betekent die plaats dan voor de functie van dat stuk tekst?</p> <p>markof model</p>	<p>medisch handelen</p> <p>Hoe studenten op een formele manier een bewijs kunnen maken.</p> <p>empirische studie</p>
2	<p>patient</p> <p>Modulair denken komt continu terug in de Informaticastudie. Zowel bij programma's in het kader van hergebruik van de code, als bij het formeel beschrijven van semantiek van programmeertalen.</p> <p>het is de drijfveer van informatica.</p> <p>wat zijn opties om behandelingen van patiënten te vergelijken</p>	<p>statusvoering</p> <p>Binnen Informatica wordt er vrij veel gemiddeld. Echter, als niet duidelijk is dat het model goed aansluit bij de werkelijkheid heeft het niet zoveel zin om zo'n model verder te onderzoeken. De resultaten zeggen uiteindelijk dan toch te weinig over de werkelijkheid.</p> <p>Wordt meestal niet expliciet gemaakt. Omdat modelleren in veel wetenschap centraal is maar niet expliciet behandeld om te realiseren dat de uitkomst van een behandeling als kans uitgedrukt kan worden</p>	<p>dialogoog tussen professionals</p> <p>Alleen door formules goed te kunnen parseren, kun je checken of wat je hebt opgeschreven zinnig is of niet. In eerste instantie natuurlijk op het niveau van syntax, maar in tweede instantie ook op het niveau van betekenis. Iets kan syntactisch juist zijn, maar toch heel iets anders betekenen dan bedoeld werd.</p> <p>prop.logica kan gezien worden als basis van alle formalismen. Elk formalisme kan je zien als toepassing van prp.log</p> <p>je moet je model kunnen opschrijven</p>	<p>kwaliteit medisch handelen</p> <p>Studenten moeten leren bewijzen. De technieken die bij dit formele bewijssysteem horen, zijn eigenlijk hetzelfde als de methodes die bij bewijzen in natuurlijke taal horen. Dus als dit systeem goed begrepen is, zouden redeneringen in natuurlijke taal ook beter moeten gaan.</p> <p>de centrale techniek van rationaliteit/exect wetnschap</p> <p>je moet kunnen vaststellen of je model klopt</p>
3	<p>menselijke biologie</p> <p>alles aanstippen. Er zijn veel manieren iets te doen met correctheid. Het gaat er niet om 1 manier perfect te beheersen, maar om het principe.</p> <p>het vak is een versimpelde weergave. Er kunnen meer opties zijn. Hoe vergelijk je voorkomen vs genezen?</p>	<p>wetenschappelijk onderzoek</p> <p>wordt klassiek gezien niet behandeld</p> <p>bootstrap en resampling -> van een deterministisch model naar een probabalistisch model</p>	<p>methoden</p> <p>Dat er meer methoden zijn om een taal te beschrijven naast contextvrije grammatica's: niet-contextvrije grammatica's, rechtslineaire grammatica's, reguliere expressies, etc.</p> <p>uitbereiding met modules, objectorientatie, ed. PVS wordt in de praktijk gebruikt.</p> <p>microsimilaties: andere benadering</p>	<p>omgaan met onzekerheid</p> <p>De bewijsassistent kent enkele 'nukken' die op papier niet voorkomen. Er wordt daar bijvoorbeeld echt gecheckt of variabelen wel van het goede type zijn. En of een verzameling misschien leeg is. Verder ken ik een aantal extra commando's in Coq die niet zo zeer met het bewijssysteem te maken hebben, maar puur met de manier waarop Coq ermee omgaat.</p> <p>bewijsstrategien als scripts. Bewijspatronen kunnen toepassen</p> <p>het feitelijk uitvoeren van een studie. (is geen tijd voor)</p>
4	<p>evolutie</p> <p>Studenten hebben vooral moeite met het lokaliteitsprincipe. De specificaties van de onderdelen, mogen alleen maar betrekking hebben op de fenomenen die horen bij deze onderdelen.</p> <p>in de inf. Wordt geen onderscheid gemaakt tussen beschrijving en realiteit. Realisatie heeft een andere betekenis gekregen.</p>	<p>academische vorming</p> <p>Soms vergt het veel domeinkennis om in een specifiek geval tot een goed model te komen.</p> <p>sommige studenten, met name HBO, willen geen moeilijke grensvragen. Ze verwachten vragen zo dat er geen formalisatieprobleem is. Dat modelleren een probleem is wordt wegge-moffeld. Anders is het storend</p>	<p>dialogoog tussen wetenschappers</p> <p>De labels in de syntaxboom zijn vaak relatief breed, waardoor het visueel lastig is om zo'n syntaxboom op een mooie manier te presenteren. Bijkomend probleem is dat men tevoren nog niet direct weet welke vertakkingen er allemaal zullen zijn.</p> <p>Dezelfde taal wordt in verschillende bronnen verschillend genoteerd. Verschillende notaties leren is vervelend</p>	<p>vergroting inzicht</p> <p>Sommige studenten schrikken al van het feit dat het om een formeel systeem gaat. Daarnaast is het zo dat er zogenaamde makkelijke en moeilijke regels zijn. Bij de moeilijke regels moet er creatief een geschikte formule worden gekozen. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de methode met semantische tableaus, waar alles al vastligt en men alleen maar goed hoeft te kunnen boekhouden.</p> <p>sommige mensen zien een formalisme als een spel met regels, maar niet de connectie met de realiteit. Ze verdwalen. (de wolkjes)</p>

studenten vinden het moeilijk om alternativen te vergelijken. Vaak worden er dingen vergeleken die geen alternatief zijn

studenten hebben moeite met onderscheid maken tussen frequente kans (dobbelsteen, hoe groot is de kans op X) en subjectief (hoe zeker ben je ervan dat X). Conditionele kansen.

er zit soms een matrix in. Dat is moeilijk

validatie door computer

5	<p>ruimtelijk inzicht</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>behandelopties hoeven niet altijd onderling vergelijkbaar te zijn. (keelkanker opereren: goede conrole, spraakverlies. Bestralen: andersom). Het kan heel complex zijn.</p>	<p>bouwplan</p> <p>Specificaties van ogenschijnlijk eenvoudige dingen, blijken al snel te ingewikkeld om in een keer te overzien. Belangrijk is dan ook het idee dat het niet nodig is om in een keer alle eigenschappen op te schrijven, maar dat dat beter gedaan kan worden in kleine stukken.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Ze Zijn niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>kansen als schatters gebruiken. Maar dat kan niet op basis van empirische studies. Kans op zeldzame gebeurtenissen wordt verkeerd ingeschat</p>	<p>nomenclatuur (cognitieve overload)</p> <p>Studenten hebben als het goed is al bij een voorgaand vak de basis van grammatica's gezien.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p>	<p>vastleggen in schema's</p> <p>De wetenschap dat studenten ondanks hame-ren op de bewijsstrategie toch graag beginnen met de verkeerde regels (existentiële introductie of disjunctie introductie).</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>stel dat een discrepantie is tussen model en empirie? Wat klopt er dan niet? Meestal wordt aangenomen dat empirie goed is.</p>
6	<p>anatomieboeken en software</p> <p>2 dimentionale uitleg (rationaliteitsvierkant)</p> <p>studenten moeten aan geven wat realistische alternatieven zijn. Wat is nou eigenlijk je vraag?</p>	<p>kennis nemen van beelden</p> <p>Bij deze modellen worden vaak standaardfouten gemaakt. Als docenten hebben we daar een lijst van. In het bijzonder helpt het om bij deze standaardfouten direct een voorbeeld paraat te hebben waardoor het voor de student duidelijk is dat hun fout inderdaad een fout is. Denk hier bijvoorbeeld aan de zogenaamde en-of-fout.</p> <p>onderwijscyclus, met responsiecolleges en taken. Je moet de taak geprobeerd hebben voor res.col.</p> <p>lastig onderscheid maken. Uitslagen van behandeling -> probabalistisch. Grondslagen -> deterministisch. Kansen lijken heel simpel, maar dat hoeft niet.</p>	<p>plaatjes met aanduidingen</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>plaatjes met aanduidingen</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>utiliteit: net zo belangrijk als kans, maar wat stelt het voor?</p>	<p>globaal kennismaken</p> <p>Enkele studenten hebben al leren bewijzen, maar dan met net even andere regels (wel equivalent) en verder ook nog eens in een Fitch notatie die wij normaal gesproken niet echt behandelen.</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>individuele onzekerheid vs collectieve onzekerheid</p>
7	<p>concrete opdrachten</p> <p>Het Chinese dozen principe: heel concreet met echte dozen in het college aangeven hoe de specificatie van de grootste doos wordt waargemaakt door de specificaties van de kleinere dozen die er in zitten. Het wordt visueel zo simpel gemaakt dat eigenlijk iedereen het achterliggende idee kan snappen.</p> <p>responsie colleges.</p>	<p>"gestructureerde practica (stations, kijken in lichamen)"</p> <p>Bij elke specificatie die op het bord is gekomen, eigenlijk meteen een stap terug doen om te kijken of het allemaal wel in orde is. Verder is voor veel modellen het idee van een tijdslijn belangrijk: geef aan op welke momenten er iets gebeurt en welke consequenties dat dan heeft voor de andere momenten.</p> <p>responsie colleges. heel simpel beginnen. Dat voorbereiden</p>	<p>meer zintuigelijke waarneming</p> <p>In verband met het vele schrijfwerk op het bord, maak ik voor deze les meestal een tabel in Excel of zo waarmee de opbouw van de syntaxboom kan worden weergegeven in een paar muisklikken.</p> <p>responsie colleges. laten maken, kijken of het klopt. Ook met intuïtie</p>	<p>vastleggen in schema's</p> <p>De enige manier om dit echt goed onder de knie te krijgen is door het veel te doen. In de colleges dienen dan ook vrij veel voorbeelden behandeld te worden. Bijvoorkeur op een manier waarbij elke student een regel uitkiest, beargumenteert waarom en vervolgens uitvoert. De bewijzen die tijdens de colleges met Coq worden gedaan, hebben voor de studenten het nadeel dat het allemaal heel snel gaat. Iets aanpassen en opnieuw proberen gaat in een moeite door. Er is geen tijd voor studenten om de uitwerkingen allemaal op te schrijven. Vandaar dat alle bewijzen uit de colleges normaal gesproken ook op de server worden opgeslagen zodat studenten op hun gemak nog eens naar die bewijzen kunnen kijken.</p> <p>responsie colleges. oefenen. Validiteit studies beoordelen</p>
8	<p>vragenlijst</p> <p>nadrukkelijk oefenen. Routine opbouwen als ze niet realistische alternatieven gaan vergelijken.</p>	<p>interim assessment</p> <p>alle aannames moeten bekend zijn.</p>	<p>"juiste en onjuiste antwoorden (misconcepties)"</p>	<p>verbeteren score</p> <p>als de studenten gaan interpreteren wat ze aan het doen zijn.</p>

A.2 Modelleerstappen

vraag	artefact	formalisering	taal	zekerheid
1	<p>menselijk lichaam Het is de bedoeling dat studenten leren aanvoelen wat een logische onderverdeling is van een artefact. Niet te veel onderdelen, maar ook niet te weinig. door verdeel en heers greep krijgen op correctheidsvraagstuk.</p> <p>behandelproces</p>	<p>bouwplan en structuur van onderdelen Dat studenten tot op zekere hoogte zelf kunnen nagaan of een bepaald model overeenkomt met de werkelijkheid.</p> <p>bewust worden dat een wiskundig model iets anders is dan de realiteit. Hangt systematisch samen. De vier werelden kansen</p>	<p>taal nomenclatuur Studenten moeten leren parseren. Wat staat waar in de tekst en wat betekent die plaats dan voor de functie van dat stuk tekst?</p> <p>markof model</p>	<p>zekerheid medisch handelen Hoe studenten op een formele manier een bewijs kunnen maken.</p> <p>empirische studie</p>
2	<p>patient Modulair denken komt continu terug in de Informaticastudie. Zowel bij programma's in het kader van hergebruik van de code, als bij het formeel beschrijven van semantiek van programmeertalen.</p> <p>het is de drijfveer van informatica.</p> <p>wat zijn opties om behandelingen van patiënten te vergelijken</p>	<p>statusvoering Binnen Informatica wordt er vrij veel gemodelleerd. Echter, als niet duidelijk is dat het model goed aansluit bij de werkelijkheid heeft het niet zoveel zin om zo'n model verder te onderzoeken. De resultaten zeggen uiteindelijk dan toch te weinig over de werkelijkheid.</p> <p>Wordt meestal niet expliciet gemaakt. Omdat modelleren in veel wetenschap centraal is maar niet expliciet behandeld om te realiseren dat de uitkomst van een handeling als kans uitgedrukt kan worden</p>	<p>dialogo tussen professionals Alleen door formules goed te kunnen parseren, kun je checken of wat je hebt opgeschreven zinnig is of niet. In eerste instantie natuurlijk op het niveau van syntax, maar in tweede instantie ook op het niveau van betekenis. Iets kan syntactisch juist zijn, maar toch heel iets anders betekenen dan bedoeld werd.</p> <p>prop.logica kan gezien worden als basis van alle formalismen. Elk formalisme kan je zien als toepassing van prp.log je moet je model kunnen opschrijven</p>	<p>kwaliteit medisch handelen Studenten moeten leren bewijzen. De technieken die bij dit formele bewijssysteem horen, zijn eigenlijk hetzelfde als de methodes die bij bewijzen in natuurlijke taal horen. Dus als dit systeem goed begrepen is, zouden redeneringen in natuurlijke taal ook beter moeten gaan.</p> <p>de centrale techniek van rationaliteit/exect wetnschap</p> <p>je moet kunnen vaststellen of je model klopt</p>
3	<p>menselijke biologie</p> <p>alles aanstippen. Er zijn veel manieren iets te doen met correctheid. Het gaat er niet om 1 manier perfect te beheersen, maar om het principe. het vak is een versimpelde weergave. Er kunnen meer opties zijn. Hoe vergelijk je voorkomen vs genezen?</p>	<p>wetenschappelijk onderzoek</p> <p>wordt klassiek gezien niet behandeld</p> <p>bootstrap en resampling -> van een deterministisch model naar een probabalistisch model</p>	<p>methoden Dat er meer methoden zijn om een taal te beschrijven naast contextvrije grammatica's: niet-contextvrije grammatica's, rechtslineaire grammatica's, reguliere expressies, etc.</p> <p>uitbereiding met modules, objectorientatie, ed. PVS wordt in de praktijk gebruikt.</p> <p>microsimilaties: andere benadering</p>	<p>omgaan met onzekerheid De bewijsassistent kent enkele 'nukken' die op papier niet voorkomen. Er wordt daar bijvoorbeeld echt gecheckt of variabelen wel van het goede type zijn. En of een verzameling misschien leeg is. Verder ken ik een aantal extra commando's in Coq die niet zo zeer met het bewijssysteem te maken hebben, maar puur met de manier waarop Coq ermee omgaat. bewijsstrategien als scripts. Bewijspatronen kunnen toepassen</p> <p>het feitelijk uitvoeren van een studie. (is geen tijd voor)</p>
4	<p>evolutie Studenten hebben vooral moeite met het lokaliteitsprincipe. De specificaties van de onderdelen, mogen alleen maar betrekking hebben op de fenomenen die horen bij deze onderdelen.</p> <p>in de inf. Wordt geen onderscheid gemaakt tussen beschrijving en realiteit. Realisatie heeft een andere betekenis gekregen.</p> <p>studenten vinden het moeilijk om alternativen te vergelijken. Vaak worden er dingen vergeleken die geen alternatief zijn</p>	<p>academische vorming Soms vergt het veel domeinkennis om in een specifiek geval tot een goed model te komen.</p> <p>sommige studenten, met name HBO, willen geen moeilijke grensvragen. Ze verwachten vragen zo dat er geen formalisatieprobleem is. Dat modelleren een probleem is wordt wegge-moffeld. Anders is eht storend studenten hebben moeite met onderscheid maken tussen frequente kans (dobbelsteen, hoe groot is de kans op X) en subjectief (hoe zeker ben je ervan dat X). Conditionele kansen.</p>	<p>dialogo tussen wetenschappers De labels in de syntaxboom zijn vaak relatief breed, waardoor het visueel lastig is om zo'n syntaxboom op een mooie manier te presenteren. Bijkomend probleem is dat men tevoeren nog niet direct weet welke vertakkingen er allemaal zullen zijn.</p> <p>Dezelfde taal wordt in verschillende bronnen verschillend genoteerd. Verschillende notaties leren is vervelend</p> <p>er zit soms een matrix in. Dat is moeilijk</p>	<p>vergroting inzicht Sommige studenten schrikken al van het feit dat het om een formeel systeem gaat. Daarnaast is het zo dat er zogenaamde makkelijke en moeilijke regels zijn. Bij de moeilijke regels moet er creatief een geschikte formule worden gekozen. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de methode met semantische tableaus, waar alles al vastligt en men alleen maar goed hoeft te kunnen boekhouden. sommige mensen zien een formalisme als een spel met regels, maar niet de connectie met de realiteit. Ze verdwalen. (de wolkjes)</p> <p>validatie door computer</p>

5	<p>ruimtelijk inzicht</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>behandelopties hoeven niet altijd onderling vergelijkbaar te zijn. (keelkanker opereren: goede conrole, spraakverlies. Bestralen: andersom). Het kan heel complex zijn.</p>	<p>bouwplan</p> <p>Specificaties van ogenschijnlijk eenvoudige dingen, blijken al snel te ingewikkeld om in een keer te overzien. Belangrijk is dan ook het idee dat het niet nodig is om in een keer alle eigenschappen op te schrijven, maar dat dat beter gedaan kan worden in kleine stukken.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Ze Zijn niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>kansen als schatters gebruiken. Maar dat kan niet op basis van empirische studies. Kans op zeldzame gebeurtenissen wordt verkeerd ingeschat</p>	<p>nomenclatuur (cognitieve overload)</p> <p>Studenten hebben als het goed is al bij een voorgaand vak de basis van grammatica's gezien.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p>	<p>vastleggen in schema's</p> <p>De wetenschap dat studenten ondanks hame- ren op de bewijsstrategie toch graag beginnen met de verkeerde regels (existentiële introductie of disjunctie introductie).</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>stel dat een discrepantie is tussen model en empirie? Wat klopt er dan niet? Meestal wordt aangenomen dat empirie goed is.</p>
6	<p>anatomieboeken en software</p> <p>2 dimentionale uitleg (rationaliteitsvierkant)</p> <p>studenten moeten aan geven wat realistische alternatieven zijn. Wat is nou eigenlijk je vraag?</p>	<p>kennis nemen van beelden</p> <p>Bij deze modellen worden vaak standaardfouten gemaakt. Als docenten hebben we daar een lijst van. In het bijzonder helpt het om bij deze standaardfouten direct een voorbeeld paraat te hebben waardoor het voor de student duidelijk is dat hun fout inderdaad een fout is. Denk hier bijvoorbeeld aan de zogenaamde en-of-fout.</p> <p>onderwijscyclus, met responsiecolleges en taken. Je moet de taak geprobeerd hebben voor res.col.</p> <p>lastig onderscheid maken. Uitslagen van behandeling -> probabalistisch. Grondslagen -> deterministisch. Kansen lijken heel simpel, maar dat hoeft niet.</p>	<p>plaatjes met aanduidingen</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>utiliteit: net zo belangrijk als kans, maar wat stelt het voor?</p>	<p>globaal kennismaken</p> <p>Enkele studenten hebben al leren bewijzen, maar dan met net even andere regels (wel equivalent) en verder ook nog eens in een Fitch notatie die wij normaal gesproken niet echt behandelen.</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>individuele onzekerheid vs collectieve onzekerheid</p>
7	<p>concrete opdrachten</p> <p>Het Chinese dozen principe: heel concreet met echte dozen in het college aangeven hoe de specificatie van de grootste doos wordt waargemaakt door de specificaties van de kleinere dozen die er in zitten. Het wordt visueel zo simpel gemaakt dat eigenlijk iedereen het achterliggende idee kan snappen.</p> <p>responsie colleges.</p>	<p>"gestructureerde practica (stations, kijken in lichamen)"</p> <p>Bij elke specificatie die op het bord is gekomen, eigenlijk meteen een stap terug doen om te kijken of het allemaal wel in orde is. Verder is voor veel modellen het idee van een tijdslijn belangrijk: geef aan op welke momenten er iets gebeurt en welke consequenties dat dan heeft voor de andere momenten.</p> <p>responsie colleges. heel simpel beginnen. Dat uitbereiden</p>	<p>meer zintuigelijke waarneming</p> <p>In verband met het vele schrijfwerk op het bord, maak ik voor deze les meestal een tabel in Excel of zo waarmee de opbouw van de syntaxboom kan worden weergegeven in een paar muisklikken.</p> <p>responsie colleges. laten maken, kijken of het klopt. Ook met intuïtie</p>	<p>vastleggen in schema's</p> <p>De enige manier om dit echt goed onder de knie te krijgen is door het veel te doen. In de colleges dienen dan ook vrij veel voorbeelden behandeld te worden. Bijvoorkeur op een manier waarbij elke student een regel uitkiest, beargumenteert waarom en vervolgens uitvoert. De bewijzen die tijdens de colleges met Coq worden gedaan, hebben voor de studenten het nadeel dat het allemaal heel snel gaat. Iets aanpassen en opnieuw proberen gaat in een moeite door. Er is geen tijd voor studenten om de uitwerkingen allemaal op te schrijven. Vandaar dat alle bewijzen uit de colleges normaal gesproken ook op de server worden opgeslagen zodat studenten op hun gemak nog eens naar die bewijzen kunnen kijken.</p> <p>responsie colleges. oefenen. Validiteit studies beoordelen</p>
8	<p>vragenlijst</p> <p>nadrukkelijk oefenen. Routine opbouwen als ze niet realistische alternatieven gaan vergelijken.</p>	<p>interim assessment</p> <p>alle aannames moeten bekend zijn.</p>	<p>"juiste en onjuiste antwoorden (misconcepties)"</p>	<p>verbeteren score</p> <p>als de studenten gaan interpreteren wat ze aan het doen zijn.</p>

A.3 Theorie

vraag	artefact	formalisering	taal	zekerheid
1	<p>menselijk lichaam Het is de bedoeling dat studenten leren aanvoelen wat een logische onderverdeling is van een artefact. Niet te veel onderdelen, maar ook niet te weinig. door verdeel en heers greep krijgen op correctheidsvraagstuk.</p> <p>behandelproces</p>	<p>bouwplan en structuur van onderdelen Dat studenten tot op zekere hoogte zelf kunnen nagaan of een bepaald model overeenkomt met de werkelijkheid.</p> <p>bewust worden dat een wiskundig model iets anders is dan de realiteit. Hangt systematisch samen. De vier werelieden kansen</p>	<p>nomenclatuur representatie Studenten moeten leren parseren. Wat staat waar in de tekst en wat betekent die plaats dan voor de functie van dat stuk tekst?</p> <p>markof model representatie</p>	<p>medisch handelen Hoe studenten op een formele manier een bewijs kunnen maken.</p> <p>empirische studie</p>
2	<p>patient Modulair denken komt continu terug in de Informaticastudie. Zowel bij programma's in het kader van hergebruik van de code, als bij het formeel beschrijven van semantiek van programmeertalen.</p> <p>het is de drijfveer van informatica.</p> <p>wat zijn opties om behandelingen van patienten te vergelijken</p>	<p>statusvoering Binnen Informatica wordt er vrij veel gemodelleerd. Echter, als niet duidelijk is dat het model goed aansluit bij de werkelijkheid heeft het niet zoveel zin om zo'n model verder te onderzoeken. De resultaten zeggen uiteindelijk dan toch te weinig over de werkelijkheid.</p> <p>Wordt meestal niet expliciet gemaakt. Omdat modelleren in veel wetenschap centraal is maar niet expliciet behandeld om te realiseren dat de uitkomst van een behandeling als kans uitgedrukt kan worden</p>	<p>dialogo tussen professionals Alleen door formules goed te kunnen parseren, kun je checken of wat je hebt opgeschreven zinnig is of niet. In eerste instantie natuurlijk op het niveau van syntax, maar in tweede instantie ook op het niveau van betekenis. Iets kan syntactisch juist zijn, maar toch heel iets anders betekenen dan bedoeld werd. prop.logica kan gezien worden als basis van alle formalismen. Elk formalisme kan je zien als toepassing van prp.log je moet je model kunnen opschrijven</p>	<p>kwaliteit medisch handelen Studenten moeten leren bewijzen. De technieken die bij dit formele bewijssysteem horen, zijn eigenlijk hetzelfde als de methodes die bij bewijzen in natuurlijke taal horen. Dus als dit systeem goed begrepen is, zouden redeneringen in natuurlijke taal ook beter moeten gaan.</p> <p>de centrale techniek van rationaliteit/execte wetenschap</p> <p>je moet kunnen vaststellen of je model klopt</p>
3	<p>menselijke biologie</p> <p>alles aanstippen. Er zijn veel manieren iets te doen met correctheid. Het gaat er niet om 1 manier perfect te beheersen, maar om het principe. het vak is een versimpelde weergave. Er kunnen meer opties zijn. Hoe vergelijk je voorkomen vs genezen?</p>	<p>wetenschappelijk onderzoek</p> <p>wordt klassiek gezien niet behandeld</p> <p>bootstrap en resampling -> van een deterministisch model naar een probabalistisch model</p>	<p>methoden Dat er meer methoden zijn om een taal te beschrijven naast contextvrije grammatica's: niet-contextvrije grammatica's, rechtslineaire grammatica's, reguliere expressies, etc.</p> <p>uitbereiding met modules, objectorientatie, ed. PVS wordt in de praktijk gebruikt.</p> <p>microsimilaties: andere benadering</p>	<p>omgaan met onzekerheid aannames maken De bewijsassistent kent enkele 'mukken' die op papier niet voorkomen. Er wordt daar bijvoorbeeld echt gecheckt of variabelen wel van het goede type zijn. En of een verzameling misschien leeg is. Verder ken ik een aantal extra commando's in Coq die niet zozeer met het bewijssysteem te maken hebben, maar puur met de manier waarop Coq ermee omgaat. bewijsstrategien als scripts. Bewijspatronen kunnen toepassen</p> <p>het feitelijk uitvoeren van een studie. (is geen tijd voor)</p>
4	<p>evolutie Studenten hebben vooral moeite met het lokaliteitsprincipe. De specificaties van de onderdelen, mogen alleen maar betrekking hebben op de fenomenen die horen bij deze onderdelen.</p> <p>in de inf. Wordt geen onderscheid gemaakt tussen beschrijving en realiteit. Realisatie heeft een andere betekenis gekregen.</p> <p>studenten vinden het moeilijk om alternatieven te vergelijken. Vaak worden er dingen vergeleken die geen alternatief zijn</p>	<p>academische vorming Soms vergt het veel domeinkennis om in een specifiek geval tot een goed model te komen. Belang domeinkennis sommige studenten, met name HBO, willen geen moeilijke grensvragen. Ze verwachten vragen zo dat er geen formalisatieprobleem is. Dat modelleren een probleem is wordt weg-gemoffeld. Anders is eht storend opdelen in kleine stukjes studenten hebben moeite met onderscheid maken tussen frequente kans (dubbelsteen, hoe groot is de kans op X) en subjectief (hoe zeker ben je ervan dat X). Conditionele kansen.</p>	<p>dialogo tussen wetenschappers De labels in de syntaxboom zijn vaak relatief breed, waardoor het visueel lastig is om zo'n syntaxboom op een mooie manier te presenteren. Bijkomend probleem is dat men tevoeren nog niet direct weet welke vertakkingen er allemaal zullen zijn.</p> <p>Dezelfde taal wordt in verschllende bronnen verschillend genoteerd. Verschillende notaties leren is vervelend</p> <p>er zit soms een matrix in. Dat is moeilijk</p>	<p>vergroting inzicht Sommige studenten schrikken al van het feit dat het om een formeel systeem gaat. Daarnaast is het zo dat er zogenaamde makkelijke en moeilijke regels zijn. Bij de moeilijke regels moet er creatief een geschikte formule worden gekozen. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de methode met semantische tableaus, waar alles al vastligt en men alleen maar goed hoeft te kunnen boekhouden. sommige mensen zien een formalisme als een spel met regels, maar niet de connectie met de realiteit. Ze verdwalen. (de wolkjes)</p> <p>validatie door computer</p>

5	<p>ruimtelijk inzicht visualisatie</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag. opdelen in stukjes behandelopties hoeven niet altijd onderling vergelijkbaar te zijn. (keelkanker opereren: goede conrole, spraakverlies. Bestralen: andersom). Het kan heel complex zijn.</p>	<p>bouwplan Specificaties van ogenschijnlijk eenvoudige dingen, blijken al snel te ingewikkeld om in een keer te overzien. Belangrijk is dan ook het idee dat het niet nodig is om in een keer alle eigenschappen op te schrijven, maar dat dat beter gedaan kan worden in kleine stukken.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Ze Zijn niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>kansen als schatters gebruiken. Maar dat kan niet op basis van empirische studies. Kans op zeldzame gebeurtenissen wordt verkeerd ingeschat</p>	<p>nomenclatuur (cognitieve overload) Studenten hebben als het goed is al bij een voorgaand vak de basis van grammatica's gezien.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p>	<p>vastleggen in schema's De wetenschap dat studenten ondanks hame ren op de bewijsstrategie toch graag beginnen met de verkeerde regels (existentiële introductie of disjunctie introductie).</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag. stel dat een discrepantie is tussen model en empirie? Wat klopt er dan niet? Meestal wordt aangenomen dat empirie goed is.</p>
6	<p>anatomieboeken en software</p> <p>2 dimensionale uitleg (rationaliteitsvierkant) visualisatie</p> <p>studenten moeten aan geven wat realistische alternatieven zijn. Wat is nou eigenlijk je vraag?</p>	<p>kennis nemen van beelden Bij deze modellen worden vaak standaardfouten gemaakt. Als docenten hebben we daar een lijst van. In het bijzonder helpt het om bij deze standaardfouten direct een voorbeeld paraat te hebben waardoor het voor de student duidelijk is dat hun fout inderdaad een fout is. Denk hier bijvoorbeeld aan de zogenaamde en-of-fout.</p> <p>onderwijscyclus, met responsiecolleges en taken. Je moet de taak geprobeerd hebben voor res.col. oefenen</p> <p>lastig onderscheid maken. Uitslagen van behandeling -> probabalistisch. Grondslagen -> deterministisch. Kansen lijken heel simpel, maar dat hoeft niet.</p>	<p>plaatjes met aanduidingen</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>utiliteit: net zo belangrijk als kans, maar wat stelt het voor?</p>	<p>globaal kennismaken Enkele studenten hebben al leren bewijzen, maar dan met net even andere regels (wel equivalent) en verder ook nog eens in een Fitch notatie die wij normaal gesproken niet echt behandelen.</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op individuele onzekerheid vs collectieve onzekerheid</p>
7	<p>concrete opdrachten</p> <p>Het Chinese dozen principe: heel concreet met echte dozen in het college aangeven hoe de specificatie van de grootste doos wordt waargemaakt door de specificaties van de kleinere dozen die er in zitten. Het wordt visueel zo simpel gemaakt dat eigenlijk iedereen het achterliggende idee kan snappen. visualisatie</p> <p>responsie colleges.</p>	<p>"gestructureerde practica (stations, kijken in lichamen)"</p> <p>Bij elke specificatie die op het bord is gekomen, eigenlijk meteen een stap terug doen om te kijken of het allemaal wel in orde is. Verder is voor veel modellen het idee van een tijdslijn belangrijk: geef aan op welke momenten er iets gebeurt en welke consequenties dat dan heeft voor de andere momenten.</p> <p>responsie colleges. heel simpel beginnen. Dat voorbereiden</p>	<p>meer zintuigelijke waarneming visualisatie</p> <p>In verband met het vele schrijfwerk op het bord, maak ik voor deze les meestal een tabel in Excel of zo waarmee de opbouw van de syntaxboom kan worden weergegeven in een paar muisklikken.</p> <p>responsie colleges. laten maken, kijken of het klopt. Ook met intuïtie</p>	<p>vastleggen in schema's</p> <p>De enige manier om dit echt goed onder de knie te krijgen is door het veel te doen. In de colleges dienen dan ook vrij veel voorbeelden behandeld te worden. Bijvoorker op een manier waarbij elke student een regel uitkiest, beargumenteert waarom en vervolgens uitvoert. De bewijzen die tijdens de colleges met Coq worden gedaan, hebben voor de studenten het nadeel dat het allemaal heel snel gaat. Iets aanpassen en opnieuw proberen gaat in een moeite door. Er is geen tijd voor studenten om de uitwerkingen allemaal op te schrijven. Vandaar dat alle bewijzen uit de colleges normaal gesproken ook op de server worden opgeslagen zodat studenten op hun gemak nog eens naar die bewijzen kunnen kijken. oefenen</p> <p>responsie colleges. oefenen. Validiteit studies beoordelen oefenen</p>
8	<p>vragenlijst</p> <p>nadrukkelijk oefenen. Routine opbouwen als ze niet realistische alternatieven gaan vergelijken.</p>	<p>interim assessment</p> <p>alle aannames moeten bekend zijn.</p>	<p>"juiste en onjuiste antwoorden (misconcepties)"</p>	<p>verbeteren score</p> <p>als de studenten gaan interpreteren wat ze aan het doen zijn.</p>

A.4 Voorspelde struikelblokken

geel:analyse, groen: inductie, blauw: evaluatie, rood kwantificeren				
vraag	artefact	formalisering	taal	zekerheid
1	<p>menselijk lichaam Het is de bedoeling dat studenten leren aanvoelen wat een logische onderverdeling is van een artefact. Niet te veel onderdelen, maar ook niet te weinig. door verdeel en heers greep krijgen op correctheidsvraagstuk.</p> <p>behandelproces</p>	<p>bouwplan en structuur van onderdelen Dat studenten tot op zekere hoogte zelf kunnen nagaan of een bepaald model overeenkomt met de werkelijkheid.</p> <p>bewust worden dat een wiskundig model iets anders is dan de realiteit. Hangt systematisch samen. De vier werelden kansen</p>	<p>nomenclatuur Studenten moeten leren parseren. Wat staat waar in de tekst en wat betekent die plaats dan voor de functie van dat stuk tekst?</p> <p>markof model</p>	<p>medisch handelen Hoe studenten op een formele manier een bewijs kunnen maken.</p> <p>empirische studie</p>
2	<p>patient Modulair denken komt continu terug in de Informaticastudie. Zowel bij programma's in het kader van hergebruik van de code, als bij het formeel beschrijven van semantiek van programmeertalen.</p> <p>het is de drijfveer van informatica.</p> <p>wat zijn opties om behandelingen van patiënten te vergelijken</p>	<p>statusvoering Binnen Informatica wordt er vrij veel gemodelleerd. Echter, als niet duidelijk is dat het model goed aansluit bij de werkelijkheid heeft het niet zoveel zin om zo'n model verder te onderzoeken. De resultaten zeggen uiteindelijk dan toch te weinig over de werkelijkheid.</p> <p>Wordt meestal niet expliciet gemaakt. Omdat modelleren in veel wetenschap centraal is maar niet expliciet behandeld om te realiseren dat de uitkomst van een behandeling als kans uitgedrukt kan worden</p>	<p>dialogoog tussen professionals Alleen door formules goed te kunnen parseren, kun je checken of wat je hebt opgeschreven zinnig is of niet. In eerste instantie natuurlijk op het niveau van syntax, maar in tweede instantie ook op het niveau van betekenis. Iets kan syntactisch juist zijn, maar toch heel iets anders betekenen dan bedoeld werd. prop.logica kan gezien worden als basis van alle formalismen. Elk formalisme kan je zien als toepassing van prp.log je moet je model kunnen opschrijven</p>	<p>kwaliteit medisch handelen Studenten moeten leren bewijzen. De technieken die bij dit formele bewijssysteem horen, zijn eigenlijk hetzelfde als de methodes die bij bewijzen in natuurlijke taal horen. Dus als dit systeem goed begrepen is, zouden redeneringen in natuurlijke taal ook beter moeten gaan.</p> <p>de centrale techniek van rationaliteit/execute wetenschap</p> <p>je moet kunnen vaststellen of je model klopt</p>
3	<p>menselijke biologie</p> <p>alles aanstippen. Er zijn veel manieren iets te doen met correctheid. Het gaat er niet om 1 manier perfect te beheersen, maar om het principe. het vak is een versimpelde weergave. Er kunnen meer opties zijn. Hoe vergelijk je voorkomen vs genezen?</p>	<p>wetenschappelijk onderzoek</p> <p>wordt klassiek gezien niet behandeld</p> <p>bootstrap en resampling -> van een deterministisch model naar een probabilistisch model</p>	<p>methoden Dat er meer methoden zijn om een taal te beschrijven naast contextvrije grammatica's: niet-contextvrije grammatica's, rechtslineaire grammatica's, reguliere expressies, etc.</p> <p>uitbereiding met modules, objectorientatie, ed. PVS wordt in de praktijk gebruikt.</p> <p>microsimilaties: andere benadering</p>	<p>omgaan met onzekerheid De bewijsassistent kent enkele 'nukken' die op papier niet voorkomen. Er wordt daar bijvoorbeeld echt gecheckt of variabelen wel van het goede type zijn. En of een verzameling misschien leeg is. Verder ken ik een aantal extra commando's in Coq die niet zover met het bewijssysteem te maken hebben, maar puur met de manier waarop Coq ermee omgaat. bewijsstrategieën als scripts. Bewijspatronen kunnen toepassen</p> <p>het feitelijk uitvoeren van een studie. (is geen tijd voor)</p>
4	<p>evolutie Studenten hebben vooral moeite met het lokaliteitsprincipe. De specificaties van de onderdelen, mogen alleen maar betrekking hebben op de fenomenen die horen bij deze onderdelen.</p> <p>in de inf. Wordt geen onderscheid gemaakt tussen beschrijving en realiteit. Realisatie heeft een andere betekenis gekregen.</p>	<p>academische vorming Soms vergt het veel domeinkennis om in een specifiek geval tot een goed model te komen.</p> <p>sommige studenten, met name HBO, willen geen moeilijke grensvragen. Ze verwachten vragen zo dat er geen formalisatieprobleem is. Dat modelleren een probleem is wordt wegge-moffeld. Anders is eht storend</p>	<p>dialogoog tussen wetenschappers De labels in de syntaxboom zijn vaak relatief breed, waardoor het visueel lastig is om zo'n syntaxboom op een mooie manier te presenteren. Bijkomend probleem is dat men tevoren nog niet direct weet welke vertakkingen er allemaal zullen zijn.</p> <p>Dezelfde taal wordt in verschillende bronnen verschillend genoteerd. Verschillende notaties leren is vervelend</p>	<p>vergroting inzicht Sommige studenten schrikken al van het feit dat het om een formeel systeem gaat. Daarnaast is het zo dat er zogenaamde makkelijke en moeilijke regels zijn. Bij de moeilijke regels moet er creatief een geschikte formule worden gekozen. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de methode met semantische tableaux, waar alles al vastligt en men alleen maar goed hoeft te kunnen boekhouden. sommige mensen zien een formalisme als een spel met regels, maar niet de connectie met de realiteit. Ze verdwalen. (de wolkjes)</p>

studenten vinden het moeilijk om alternativen te vergelijken. Vaak worden er dingen vergeleken die geen alternatief zijn

studenten hebben moeite met onderscheid maken tussen frequente kans (dobbelsteen, hoe groot is de kans op X) en subjectief (hoe zeker ben je ervan dat X). Conditionele kansen.

er zit soms een matrix in. Dat is moeilijk

validatie door computer

5	<p>ruimtelijk inzicht</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>behandelopties hoeven niet altijd onderling vergelijkbaar te zijn. (keelkanker opereren: goede conrole, spraakverlies. Bestralen: andersom). Het kan heel complex zijn.</p>	<p>bouwplan</p> <p>Specificaties van ogenschijnlijk eenvoudige dingen, blijken al snel te ingewikkeld om in een keer te overzien. Belangrijk is dan ook het idee dat het niet nodig is om in een keer alle eigenschappen op te schrijven, maar dat dat beter gedaan kan worden in kleine stukken.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Ze Zijn niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>kansen als schatters gebruiken. Maar dat kan niet op basis van empirische studies. Kans op zeldzame gebeurtenissen wordt verkeerd ingeschat</p>	<p>nomenclatuur (cognitieve overload)</p> <p>Studenten hebben als het goed is al bij een voorgaand vak de basis van grammatica's gezien.</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p>	<p>vastleggen in schema's</p> <p>De wetenschap dat studenten ondanks hame- ren op de bewijsstrategie toch graag beginnen met de verkeerde regels (existentiële introductie of disjunctie introductie).</p> <p>studenten zijn gewend een door de leraar gesturctureerde wereld, waar alles 1 eenvoudig antwoord heeft. Niet gewend aan het vinden van de goede vraag.</p> <p>stel dat een discrepantie is tussen model en empirie? Wat klopt er dan niet? Meestal wordt aangenomen dat empirie goed is.</p>
6	<p>anatomieboeken en software</p> <p>2 dimentionale uitleg (rationaliteitsvierkant)</p> <p>studenten moeten aan geven wat realistische alternatieven zijn. Wat is nou eigenlijk je vraag?</p>	<p>kennis nemen van beelden</p> <p>Bij deze modellen worden vaak standaardfouten gemaakt. Als docenten hebben we daar een lijst van. In het bijzonder helpt het om bij deze standaardfouten direct een voorbeeld paraat te hebben waardoor het voor de student duidelijk is dat hun fout inderdaad een fout is. Denk hier bijvoorbeeld aan de zogenaamde en-of-fout.</p> <p>onderwijscyclus, met responsiecolleges en taken. Je moet de taak geprobeerd hebben voor res.col.</p> <p>lastig onderscheid maken. Uitslagen van behandeling -> probabalistisch. Grondslagen -> deterministisch. Kansen lijken heel simpel, maar dat hoeft niet.</p>	<p>plaatjes met aanduidingen</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>utiliteit: net zo belangrijk als kans, maar wat stelt het voor?</p>	<p>globaal kennismaken</p> <p>Enkele studenten hebben al leren bewijzen, maar dan met net even andere regels (wel equivalent) en verder ook nog eens in een Fitch notatie die wij normaal gesproken niet echt behandelen.</p> <p>oefenen met coq. De werkplaatswiki. Hetzelfde leren met ander onderwerp, dus 'afkijken' levert iets op</p> <p>individuele onzekerheid vs collectieve onzekerheid</p>
7	<p>concrete opdrachten</p> <p>Het Chinese dozen principe: heel concreet met echte dozen in het college aangeven hoe de specificatie van de grootste doos wordt waargemaakt door de specificaties van de kleinere dozen die er in zitten. Het wordt visueel zo simpel gemaakt dat eigenlijk iedereen het achterliggende idee kan snappen.</p> <p>responsie colleges.</p>	<p>"gestructureerde practica (stations, kijken in lichamen)"</p> <p>Bij elke specificatie die op het bord is gekomen, eigenlijk meteen een stap terug doen om te kijken of het allemaal wel in orde is. Verder is voor veel modellen het idee van een tijdslijn belangrijk: geef aan op welke momenten er iets gebeurt en welke consequenties dat dan heeft voor de andere momenten.</p> <p>responsie colleges. heel simpel beginnen. Dat voorbereiden</p>	<p>meer zintuigelijke waarneming</p> <p>In verband met het vele schrijfwerk op het bord, maak ik voor deze les meestal een tabel in Excel of zo waarmee de opbouw van de syntaxboom kan worden weergegeven in een paar muisklikken.</p> <p>responsie colleges. laten maken, kijken of het klopt. Ook met intuïtie</p>	<p>vastleggen in schema's</p> <p>De enige manier om dit echt goed onder de knie te krijgen is door het veel te doen. In de colleges dienen dan ook vrij veel voorbeelden behandeld te worden. Bijvoorker op een manier waarbij elke student een regel uitkiest, beargumenteert waarom en vervolgens uitvoert. De bewijzen die tijdens de colleges met Coq worden gedaan, hebben voor de studenten het nadeel dat het allemaal heel snel gaat. Iets aanpassen en opnieuw proberen gaat in een moeite door. Er is geen tijd voor studenten om de uitwerkingen allemaal op te schrijven. Vandaar dat alle bewijzen uit de colleges normaal gesproken ook op de server worden opgeslagen zodat studenten op hun gemak nog eens naar die bewijzen kunnen kijken.</p> <p>responsie colleges. oefenen. Validiteit studies beoordelen</p>
8	<p>vragenlijst</p> <p>nadrukkelijk oefenen. Routine opbouwen als ze niet realistische alternatieven gaan vergelijken.</p>	<p>interim assessment</p> <p>alle aannames moeten bekend zijn.</p>	<p>"juiste en onjuiste antwoorden (misconcepties)"</p>	<p>verbeteren score</p> <p>als de studenten gaan interpreteren wat ze aan het doen zijn.</p>

Bijlage B

Observaties

B.1 Observatie 1

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.
o = observator, s = student

1:56		s	"z'n kinderen, dan... oudste kind "
2:40		o	Kan je vertellen wat...
	analyse	s	ja: ik ben aan het bedenken dat je eerst moet kijken naar z'n kinderen en hoe je dat dan moet opschrijven dan moet je daarna kijken naar z'n ouders en dan naar z'n grootouders
2:58	analyse	s	en ik ben dus aan het bedenken hoe je dat moet opschrijven. dan moet je daarna kijken naar de kinderen en dan ook nog kijken wie de oudste is.
3:15	analyse	s	volgens mij hebben we dat laatst met college gedaan.
4:02		o	kan je als je wat schrijft hardop zeggen wat je opschrijft?
3:58		o	???
4:02	inductie	s	ja ik probeer iets met die koning op te schrijven
4:50		o	waar twijfel je over:
4:54		s	nou ja over hoe je dat opschrijft
5:48	inductie	s	wat er nu staat is dat iemand een nakomeling van de koning moet zijn, en dat als er nog een andere nakomeling is dat ie dan ouder is.
7:03	inductie	s	ja, nu heb ik denk ik iets voor het oudste kind. nu moet het nog voor als die niet bestaat.
7:40		o	waar zit je nu mee?
7:45		s	ja nee ja ik kan het gewoon niet opschrijven. ik zit te bedenken hoe je dat fatsoenlijk opschrijft.
7:55		o	wat voor dingen heb je afgewogen?

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
 ??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.
 o = observator, s = student

8:00	inductie	s	nouja ik heb nu soort van iets van dat ie het oudste kind is zeg maar, en dat die moet leven. maar ja verder loopt het een beetje... dood
8:15	inductie	s	ooooh wacht... in de definitie zit natuurlijk al zo'n p
8:30	kwantificeren	s	hij is kroonprins als ie het oudste kind is, als eh <schrijf>
9:30	kwantificeren	s	maar je kunt zeg maar... hulpdefinities mee maken. hij is kroonprins als ie het oudste kind is
10:25		o	wat schrijf je?
11:30		s	ja, ja. ik heb een hulpdefinitie gemaakt voor is-OudsteKind, dat is het wel ongeveer
11:35	inductie	s	ik kan wel zeggen wat het oudste kind is, maar niet wat je moet doen zeggen als dat niet bestaat. of hoe je dat opschrijft
12:10		s	ik vraag me ook af of ik hier uit kom, als ik eerlijk ben.
12:13		o	als je dit voor je zelf zou maken, hoe zou je het dan oplossen?
12:15		s	nou dan zou ik kijken hoe de rest het aanpakt zeg maar. ik snap het idee wel maar...
12:25		o	maar er staan voorbeelden op de wikipagina. <laptop was uitgevallen, zet laptop weer aan>
13:00		s	bladeren door voorbeeldenpagina
15:00		o	zie je er al iets nuttigs tussenstaan?
15:05		s	nee...
15:40		s	ben nu naar de uitwerking van ander mensen aan het kijken, of ik daar wat mee op schiet.
16:43		o	wat heb je tot nu opgeschreven?
16:45	kwantificeren	s	ik heb nu iets van k dat de koning is en x y dat of p y dan voor alle, wat is het hier, als het ook een wettig kind van de koning is is p ouder dan z. dat is voor oudste kind denk.
17:10		o	kan je in gewoon nederlands beschrijven wat je zou willen doen?
17:15	kwantificeren	s	ja, even kijken. hij is kroonprins als hij het oudste kind is of als er geen oudste kind leeft dat het oudste kleinkind is. als dat er ook niet is dan eh, wat is het dan? dan is het zeg maar het oudste kind van z'n ouders. als dat er ook niet is het oudste kind van z'n grootouders.
17:40		s	naja, het oudste kind van zeg maar... de jongere, de volgende
17:47		s	dat is het toch? zoiets?

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
 ??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.
 o = observator, s = student

17:50		s	dat is het idee wat ik wil doen, maar ik kan niet bedenken hoe je dat opschrijft.
18:00		o	loop je dan tegen grammaticadingen aan?
18:05	kwantificeren	s	nouja meer van hoe... hoe je erbij komt als het niet het oudste kind is, moet je verder kijken. maar ik kan niet bedenken hoe je dat opschrijft.
18:25	analyse	s	beetje stom misschien
18:30		o	niets is stom

B.2 Observatie 2

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
 ??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.

o = observator, s = student

0:05:00		o	heb je een idee van de opdracht?
0:05:05	analyse	s	euh ja, je moet dat wetsartikel. euh omzetten in grammatica. ... predicaat isKroonprins.
0:05:35	analyse	s	ik denk dat ik eerst het wetsartikel op moet splitsen in wat kleinere makkelijkere stukken. en dan moet gaan opzetten.
0:08:07	analyse	s	dus de eerste zin zegt: als de koning overlijdt wordt het oudste wettige kind van de koning, koning. dit kind moet nog leven
0:09:41		o	kan je vertellen wat je aan het doen bent?
0:09:42	inductie	s	ik schrijf de eerste zin van het wetsartikel ... op in wat simpelere taal. die ik dan wat makkelijker om kan zetten in propositiologica.
0:09:48	analyse	s	Dat zal ??? moeten zijn dat als de koning overlijdt dan wordt de oudste wettelijke levende nakomeling koning.
0:10:55	analyse	s	als de koning overlijdt is hier even niet belangrijk, het gaat om de kroonprins.
0:11:15	inductie	s	ik ga er even niet van uit dat de koning geen nakomelingen heeft. dat voeg ik later wel toe.
0:11:50		s	even kijken of ik hier wat van kan gebruiken <wiki>
0:14:33		o	zie je iets bruikbaar?
0:14:35		s	nog niet 't is een grote pagina.
0:17:40		s	???? <schrijft iets>
0:17:44		o	waarom vond je er niets nuttigs op staan?
0:17:50		s	niets van oudste kind, of oudste levende kind ????
0:18:02		s	???? knutsel ik zelf inelkaar
0:19:18		o	wat is nu je stap?
0:19:20	inductie	s	ik probeer een predicaat te maken met persoon x invuld en persoon y alleen als x het oudste levende kind is van y komt er waar uit.
0:19:25	kwantificeren	s	Zodat ik eerst de zin x is het oudste levende kind van y, die ik heb omgeschreven naar: x leeft en is het oudste kind van y. die kan ik makkelijker omzetten. dan kan ik zeggen x leeft... en...
0:21:40	inductie	s	<schrijft> x is het oudste kind van y...
0:25:46		s	ingewikkeld...
0:25:58		o	waar ben je naar op zoek?
0:26:00	evaluatie	s	nou ik ben wat vergeten... te controleren of het kind het oudste kind is en het kind waar ik mee vergelijk niet nog jongere leeft
0:26:50		o	wat heb je in het eerste gedeelte gedaan?

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
 ??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.
 o = observator, s = student

0:26:55	evaluatie	s	in het eerste gedeelte heb ik .. ben ik er vanuit gegaan dat de koning wel kinderen heeft. en als ik dan een persoon in dit ?? invul dat er dan uitgaat of die persoon kroonprins is of niet.
0:27:21	analyse	s	moet daar aantoevoegen wat er gebeurt als de koning geen kinderen heeft.
0:27:40	evaluatie	s	heb het gevoel dat ik iets vergeet.
0:29:55	evaluatie	s	oohja! enig kind
0:30:30		o	wat ga je nou oplossen?
0:30:40	analyse	s	extra ??? aan toevoegen, zodat ik wel ??? kan
0:32:10	inductie	s	ja dat is het wel, nu weer terug naar als de koning geen kinderen heeft.
0:33:00		o	wat zijn nu je overwegingen?
0:33:10	inductie	s	ik ben aan het kijken of ik het kan versimpelen
0:36:47		o	kan je vertellen wat je nu doet?
0:37:00	analyse	s	ik zit met de regel, 'voor zover de overleden koning niet verder staat in de derde graad van bloedverwandschap'. ik denk dat ze daarmee bedoelen dat je niet verder dan drie generaties terug moet kijken. ik heb zo mijn twijfels over die ???.
0:37:28		o	waarm twijfel je daaraan?
0:37:37	evaluatie	s	omdat dat zou betekenen dat er een situatie denkbaar is waarin er geen kroonprins is.
0:37:40		o	oke.
0:37:55	inductie	s	maar ik zou niet weten wat het anders zou kunnen zijn.
0:39:50		s	<zegt iets???
0:40:05	inductie	s	oudste kind van de ouder van de koning.
0:43:53		o	wat heb je nu?
0:43:58	inductie	s	x is het oudste kind van de ouder van de koning. verder versimpelen ??? volgens mij ??? x is het oudste kind ergens van y is de ouder van de koning ... oudste kind van de koning...
0:45:45	evaluatie	s	hmmm niet goed
0:45:48		o	want??
0:46:05		s	de ?? is oudste kind is niet toegepast op dat hele stuk
0:48:10		o	hoe heb je het nu opgebouwd?
0:48:30		s	ik heb ????? helemaal uitgeschreven, voor y ??? een x er is een y ??? waarvoor geldt y is koning en isoudstekind, die definitie die ik heb gemaakt, ??? en x is oudste kind van y. is alleen waar als ik het oudste kind van de koning is.
0:49:20	evaluatie	s	en wat als de koning geen kinderen heeft?

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
 ??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.
 o = observator, s = student

0:50:22	inductie	s	??? opschrijf dat x is het oudste kind van, zeg z en z ?? y is (oudste??) kind van z. ?? opschrijven
0:52:46		s	??? goed ???
0:53:50		s	???
0:54:05		s	??? verzinnen voor ???
0:56:25		o	klopt het een beetje met wat je wil?
0:56:30		s	ik geloof van wel. maar ik ??? altijd ???
0:58:20		o	welke stap ben je nu aan het doen?
0:58:20	inductie	s	het gedeelte waarbij uit wordt gegaan van dat de koning wel kinderen heeft. die kan ik dan dadelijk samenvoegen met het predicaat dat de koning geen kinderen heeft, maar de ouders van de koning wel.
1:01:46	evaluatie	s	ja, tot zover klopt het
1:02:04		o	hoe heb je dat gecontroleerd?
1:02:10		s	ik heb twee situaties geprobeerd. eerst dat het oudste kind van de koning is. dat wist ik al, daar is bijgekomen dat voor het geval dat de koning geen kinderen heeft. dat het oudste kind van de ouders koning wordt. een paar randgevallen, bijvoorbeeld persoon x het oudste kind is van de ouders van de koning maar de koning heeft zelf wel kinderen dan komt er geen waar uit.
1:03:14		s	en dat de koning zelf geen kinderen heeft, maar wel een oudere broer, of zus. en dan komt er wel gewoon waar uit. verdere grensgevallen zijn er niet echt.
1:07:15		s	ohw....
1:07:30		o	toch nog iets onverwachts?
1:07:42	inductie	s	iets recursiefs...
1:08:50		s	??? ik schrijf het gewoon uit ???
1:09:22		s	ik heb ideeën in m'n hoofd, maar die moeten nu op papier komen...
1:09:30		o	kan je omschrijven wat je in de hoofd hebt?
1:09:32	evaluatie	s	???? oudste kind van x y ofwel y is het oudste kind ofwel de persoon waar ik het eerder over had heeft geen kinderen en hier heb ik een predicaat waarmee ik de ouder van die persoon vind. en diens oudste kind, oh wacht even. hier maak ik misschien dezelfde fout. ofwel die persoon heeft geen kinderen. en dan heb ik precies hetzelfde, pak de ouder van die en daar het oudste kind van.
1:10:30		s	dan zal je ??? hebben of in ieder geval ??? overlijden ??? maar dat is de kroonprins.

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
 ??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.
 o = observator, s = student

1:13:00	o	is er ??? volgende stap?
1:13:10	s	????? grammatica
1:16:30	s	???
1:16:38	o	wil je nog een blaadje hebben?
1:16:50	s	????
1:20:50	s	???? ook ????
1:22:18	s	ja, dat zou het moeten zijn
1:22:42	o	kan je achteraf beschrijven wat voor aanpak je gevolgd hebt?
1:22:51	s	ik kreeg die tekst van het wetsartikel voor me, en eerst de hele opdracht ??? iets dat helpt. vervolgens de tekst verdeeld in kleinere hapklare zinnen. eerst het begin van ?? die gaat over dat het oudste kind voorrang heeft. ??? het oudste kind van de koning is in feite kroonprins. dan zet je dat om predicaat. vervolgens pak je de andere stukken en kijk je of je dat kan versimpelen. zo ga je elke zin omzetten.
1:23:50	s	en die plak je aanelkaar vast.
1:24:00	o	nou... mooi systematisch opgelost

B.3 Observatie 3

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
 ??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.

0-2:30	analyse	lezen
2:30	analyse	stamboom tekenen
3:00		uitleg stamboom
3:10	analyse	visualisatie'
4:30	analyse	discussie over betekenis regels, grensgevallen zoeken. 'er kan op gegeven moment geen kroonprins meer zijn'
5:40	inductie	na lezen opdracht: 'ik denk dat hulpdefinities handig kunnen zijn'
6:30	inductie	hulpdefinite maken voor oudste kind
10:30	kwantificeren	hulpdefinitie op bord schrijven
11:30	evaluatie	discussie over formaliseren oudste kind. Voor alle x geld?
14:30	evaluatie	evaluatie hulpdefinitie
15:30	evaluatie	conclusie, haakjes staan niet goed, kwantoren ook niet.
17:30		verbeterd. Terug naar opdracht
17:40	analyse	opmerking, je kan ook het domein aanpassen. Bv domein 'mensen uit de kon.fam.'
18:10	analyse	niet nodig, moet sowieso kind van de koning zijn
18:30	analyse	er is nog een hulpdefinitie nodig
20:30	analyse	discussie over wat 'met plaatsvervangings' betekend. <opmerking, 'met plaatsvervangings is fout geïnterpreteerd>
22:20	inductie	terug naar opdracht. Versimpeling: koning heeft 2 kinderen
22:50	inductie	1e versie hulpdefinitie
23:10	analyse	moet er gedefinieerd worden dat er 1 koning is? Hoeft niet, zit in definitie koning
23:10-33:00	analyse	discussie: koning heeft 2 kinderen
33:00-33:50	evaluatie	evaluatie stelling, ahv stamboom
34:40:00	analyse	weer discussie over 'met plaatsvervangings'
36:50:00	inductie	toepassen 'met plaatsvervangings' op Beatrix en kinderen
38:10:00	inductie	specificatie in NL
38:15:00	inductie	hulpdefinitie 'oudste broer van koning'
38:20:00	inductie	opstellen hulpdefinitie
45:20:00	kwantificeren	opstellen/schrijven hulpdefinitie
48:00:00	kwantificeren	hulpdef opschrijven
49:30:00	evaluatie	evaluatie hulpdef
55:00:00	inductie	terug naar opdracht. Uitzoeken wat er nog mist
1:00	inductie	Wat als de koning geen kinderen heeft. Oplossing uitbreiden
1:00:003	kwantificeren	modelleren/puzzelen

geel = analyse, blauw = evaluatie, groen = inductie, rood = kwantificeren
??? geeft aan dat er iets onverstaanbaars gezegd is.

1:05:20		uitleg ahv stamboom
1:06	analyse	uitbereiding: wat als de koning geen kinderen heeft en enig kind is?
1:15:00	kwantificeren	samenvoegen hulpstellingen
1:20:00	evaluatie	evaluatie eindstelling, haakjes goedzetten
