

Geschiedenis van de scheikunde: Machines en Energie

Evaluatieverslag

*The law of conservation of energy tells us we can 't get something for nothing,
but we refuse to believe it.*

-Isaac Asimov

Niek Bijkerk 3018393

Oktober 2010

Begeleiding: **Rupert Genseberger**
Albert Pilot

Inhoudsopgave

Samenvatting		3
Hoofdstuk 1:	Inleiding onderzoek	5
Hoofdstuk 2:	Inleiding theorie en cursus	7
Hoofdstuk 3:	Onderzoeksopzet, Methodes en data-analyse	18
Hoofdstuk 4:	In welke mate heeft er tijdens de cursus begripsvorming plaatsgevonden en zijn vaardigheden verworven?	22
Hoofdstuk 5:	In welke mate waren de studenten gemotiveerd tijdens de cursus?	45
Hoofdstuk 6:	Conclusies	55
Hoofdstuk 7:	Aanbevelingen	62
Hoofdstuk 8:	Discussies en onderzoekssuggesties	67
Nawoord		69
Referentielijst		70
Bijlagen		

Samenvatting

Energie is een begrip dat zowel in het dagelijkse leven als bij natuurwetenschappelijke vakken wordt gebruikt. Het dagelijkse begrip energie heeft echter (een) andere betekenis(sen) dan het wetenschappelijke begrip energie. In het dagelijkse leven wordt het vaak situationeel gebruikt. Wie kent niet uitspraken als: *“Ik heb even geen energie meer.”* En *“Mars geeft je energie!”*? Het probleem hierbij is dat de dagelijkse betekenis de wetenschappelijke betekenis van energie in de weg kan gaan staan. Dit probleem wordt tijdens het volgen van het voortgezet onderwijs niet weggenomen. Er is geconstateerd dat er in het huidige voortgezet onderwijs geen goede basis van het energiebegrip wordt gelegd bij de leerlingen (Doménech e.a., 2007; Zegers e.a., 2003). Dit impliceert dat de aansluiting op het wetenschappelijk onderwijs niet naar wens is.

De cursus Machines en Energie probeert de aansluiting te verbeteren door actief in te spelen op de voorkennis. De cursus kiest voor een vernieuwende aanpak. De eerstejaars scheikunde student wordt aan de hand van een historische context ge(her)introduceerd in het wetenschappelijk begrip energie. Door het volgen van een historische lijn ervaren de studenten welke empirische en theoretische stappen hebben geleid tot de wet dat energie behouden blijft (i.e. Eerste Hoofdwet). De rollen die maatschappelijke en economische vraagstukken destijds gespeeld hebben, zijn hierbij belangrijk. Praktische vragen als: *“Hoe pompen we het water uit de steenkoolmijnen?”* hebben geleid tot ontwikkeling van de stoommachine en de ontwikkeling van theoretisch denken over begrippen als warmte, arbeid en energie.

Het onderzoek heeft twee focuspunten. Het eerste focuspunt is achterhalen of tijdens de cursuonderdelen vaardigheden zijn verworven en begripsvorming heeft plaatsgevonden. Het tweede focuspunt is de motivatie van de studenten tijdens de cursus.

Om deze focuspunten te kunnen onderzoeken, zijn verschillende methodes gebruikt. Allereerst heeft de onderzoeker (met behulp van enkele studentassistenten) de colleges geobserveerd en gedocumenteerd. Er zijn aantekeningen gemaakt over de (non)verbale motivatie van de studenten. Ook is er nagegaan of de studenten de kernbegrippen begrijpen door te analyseren hoe ze tijdens de cursus over de begrippen praten. Naast het verbale werk, is ook het schriftelijke werk van de studenten geanalyseerd. De studenten hebben tijdens de cursus twee schrijfp opdrachten gemaakt. De beoordeling van deze schrijfp opdrachten op gebied van schrijfvaardigheid en begripsvorming kon door de onderzoeker direct gebruikt worden. Verder zijn de studenten aan het einde van de cursus geïnterviewd. Tijdens dit interview zijn de studenten gevraagd hoe gemotiveerd ze waren voor de verschillende onderdelen van de cursus. Ook werd in dit in interview gevraagd hoe hun begrip van energie na de cursus is. Tenslotte is er na de cursus nog een online enquête afgenomen onder de studenten, die de onderzoeker extra informatie over de motivatie kon geven.

De voorkennis van de studenten was niet op het verwachte niveau. De studenten hadden voor aanvang van de cursus Machines en Energie de cursus Fysische Chemie gevolgd, waarin de Eerste en Tweede Hoofdwet uitgebreid behandeld worden. Begripsvorming op het gebied van energie en exergie is daarbij vereist. De interactieve werkwijze in de cursus Machines en Energie zorgde er voor dat de hiaten in de voorkennis zichtbaar werden. Door het stellen van vragen aan de studenten kon de voorkennis geactiveerd en in op niveau geschat worden. Andere scheikundecursussen kunnen

daarom ook baat hebben bij meer interactie tijdens de colleges, vooral om na te gaan of de veronderstelde voorkennis in voldoende mate aanwezig is.

In dit onderzoek is ook duidelijk geworden dat de studenten na het volgen de cursus nog niet alle kernbegrippen goed beheersen. Begripsvorming op het gebied van energie heeft maar deels plaatsgevonden, terwijl dit toch het hoofdbegrip van de cursus was. Begripsvorming op het gebied van exergie heeft nog niet/onvoldoende plaatsgevonden. Exergie bleek een begrip te zijn dat te ingewikkeld is om in korte tijd over te brengen op de studenten.

Verder is er uit dit onderzoek gebleken dat studenten veel moeite hebben met het schrijven van wetenschappelijke teksten. De formulering en argumentatie moet eenduidiger worden. Dit zou bewerkstelligd kunnen worden door studenten plenair te laten oefenen met geschreven stukken van voorgaande jaren. Andere scheikunde cursussen kunnen baat hebben bij het oefenen van wetenschappelijk schrijven. Het is vaardigheid die alleen verworven kan worden door veel oefenen en de studenten vooral ook feedback te geven op hun schrijven.

De studenten waren tijdens de cursus Machines en Energie niet altijd even gemotiveerd. Veel studenten gaven aan dat ze de aanpak van de cursus te schools vonden en de gevoerde discussies te gemaakt. De studenten gaven aan dat ze het niveau van enkele onderdelen van de cursus te laag vonden. Maar tegelijk is duidelijk geworden dat er op deze onderdelen onvoldoende begripsvorming heeft plaatsgevonden. De studenten waren zich dus niet bewust van hun eigen niveau.

Hoofdstuk 1: Inleiding onderzoeksgedeelte

Voor het collegejaar 2008-2009 is de eerstejaars scheikundecursus *Geschiedenis van de Scheikunde* flink op de schop genomen. Er is gekozen om naast *Geschiedenis van de Materie* (Albert Philipse) ook *Geschiedenis van de Energie* te doceren. Het cursusgedeelte *Geschiedenis van de energie* is er niet alleen op gericht de ontwikkeling van wetenschap bij te brengen, maar ook een verdieping van het begrip energie te bieden. Zoals in de theoretische inleiding zal blijken, zijn deze twee doelstellingen onlosmakelijk met elkaar verbonden.

De cursus *Geschiedenis van de Energie: Machines en Energie* wordt geleid door Rupert Genseberger aan de hand van een door hem ontwikkelde historische leerlijn. In deze leerlijn staat de ontwikkeling van het begrip energie centraal. Op basis van de leerlijn heeft hij voor 4VWO'ers de module *Machines en Energie* ontworpen. Deze module is inmiddels door natuurkundeleraars al diverse malen voor 4VWO'ers en 4HAVO'ers gebruikt.

Op basis van de leerlijn is er in voorjaar 2009 een cursus voor eerstejaars scheikunde ontwikkeld. Hierin komen veel elementen van de module voor. De cursus *Machines en Energie* is in studiejaar 2009-2010 voor de tweede maal gegeven. De cursus is nu vrij van de meeste kinderziektes. Dit komt mede doordat de cursus het eerste jaar uitgebreid geëvalueerd is middels dit onderzoek.

Een andere - meer belangrijke - reden om de cursus uitgebreid te evalueren heeft te maken met de kennis over energie onder eerstejaarsstudenten. Uit meerdere, internationale onderzoeken is gebleken dat er veel misconcepties bestaan over het wetenschappelijke begrip energie onder scholieren en studenten (Driver e.a. 1985). In het volgende hoofdstuk wordt hier dieper op ingegaan. De cursus richt zich, zoals eerder vermeld, op het verbeteren van het wetenschappelijk energiebegrip. Het evaluatieonderzoek moet echter uitwijzen of er ook daadwerkelijk een verandering in denken over energie bij de studenten te weeg wordt gebracht.

In het onderzoek is ook aandacht besteed aan de motivatie van de studenten. Zoals in het volgende hoofdstuk in meer detail zal worden uitgelegd, verschilt de aanpak van de cursus nogal van 'conventionele' cursussen. Er is ondermeer plaats voor veel interactie en discussie. De theorie wordt niet kant en klaar gepresenteerd, maar de studenten herontdekken de theorie aan de hand van historische ontwikkelingen, waarbij ze zelf actief de experimenten herbelevan. De vraag hierbij is of de studenten dit ook een fijne manier van leren vinden en of het effectief is voor het beoogde leerresultaat.

Samenvattend heeft het evaluatieonderzoek twee focuspunten:

- Haalbaarheid van de cursusonderdelen op het gebied van begripsvorming en vaardigheden
- De motivatie van de student tijdens de cursus

Het evaluatieonderzoek is uitgevoerd door Niek Bijkerk. De masterstudent *Science Teacher Education, Chemistry* heeft zich voor het onderzoek zowel theoretisch (cursus: Energy Analysis) als praktisch (cursus: Leren, Communiceren en Onderzoeken) verdiept.

Opbouw van dit onderzoeksverslag:

In de **theorie (H2)** wordt allereerst vanuit de literatuur besproken waarom energie een lastig begrip is. Vervolgens wordt uitgelegd welke lijn de cursus volgt om het wetenschappelijk begrip van Energie te verbeteren. De verschillende stappen van de cursuslijn zullen worden toegelicht en worden beargumenteerd vanuit de literatuur.

In het hoofdstuk **Methodes en Data-analyse (H3)** worden voor beide genoemde focuspunten de doelstellingen toegelicht. Vervolgens wordt beschreven hoe het onderzoek operationeel in elkaar steekt. Daarna volgen de gebruikte methodes en data-analyses.

De **resultaten** worden gegeven in **hoofdstuk 4 en 5**. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van focuspunt 1: In welke mate heeft er tijdens de cursus begripsvorming plaatsgevonden en zijn vaardigheden verworven? Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van focuspunt 2: In welke mate waren de studenten gemotiveerd tijdens de cursus? De resultaten zijn zowel kwalitatief, als kwantitatief.

De **conclusies** worden gepresenteerd in **hoofdstuk 6**. Zij worden gegeven in de vorm van tabellen, waarin wordt aangegeven of bepaalde vaardigheden zijn verworven en begripsvorming heeft plaatsgevonden. De conclusies gaan over de begripsvorming van energie en de beleving onder de studenten en dienen als indicatoren voor aanbevelingen.

Na de conclusies volgt een hoofdstuk met **aanbevelingen (H7)**. De aanbevelingen zijn er op gericht om de cursus voor de volgende lichting studenten te verbeteren.

Het hoofdstuk **discussie (H8)** is gericht op verbetering van het onderzoek. Hierin worden dus niet aanbevelingen gedaan voor de cursus, maar voor de evaluatie ervan.

Tenslotte zal in het **nawoord** in het kort en informeel verhaald worden hoe het tweede jaar van de cursus is verlopen. Welke aanbevelingen zijn ter harte genomen? Zijn er tekenen dat de cursus verbeterd is?

Hoofdstuk 2: Theorie

Energie is een lastig onderwerp. Het natuurwetenschappelijke onderwijs worstelt er al jaren mee. Wat maakt dit onderwerp zo moeilijk? In deze inleiding zal besproken worden waar de pijnpunten van het onderwerp energie liggen in het huidige onderwijs. De cursus Machines en Energie kiest een vernieuwende aanpak. In de globale opbouw en werkwijze van de cursus zal besproken worden hoe de cursus een groot aantal problemen rond educatie over energie tracht op te lossen. Ten slotte zullen de bijeenkomsten van de cursus in meer detail worden besproken. Hierbij zal aangegeven worden hoe de verschillende elementen bijdragen aan een beter energiebegrip.

Problemen rond educatie over energie & pijnpunten in huidig onderwijs

Energie is een begrip dat in het voortgezet onderwijs bij alle natuurwetenschappelijke vakken voorkomt. Een VWO'er komt het begrip van de eerste tot de zesde nagenoeg dagelijks tegen. Je zou dan ook verwachten dat de gemiddelde eerstejaars scheikundestudent aardig vertrouwd is geraakt met het begrip. Na zes jaar voortgezet onderwijs heeft de eerstejaars scheikundestudent echter nog steeds tegenstrijdige beelden over het begrip energie. Dat er begripsproblemen zijn rond energie, is al enkele decennia geleden aangetoond. In de jaren tachtig en negentig is er veel onderzoek gedaan naar de begripsproblemen (Driver et al., 1985; Lijnse, 1990; van der Valk, 1992).

Een belangrijk probleem van educatie over energie is de grote tegenstelling tussen het dagelijkse begrip (leefwereldbetekenis) van energie en de wetenschappelijke betekenis van energie. Uitspraken als *“Ik heb er geen energie meer voor.”*, *“Nederland zit in een energiecrisis”*, en *“Noteer hier uw energieverbruik.”* geven aan dat energie iets is wat nuttig gebruikt kan worden, maar ook kan opraken. Het heeft verschillende betekenissen, die veranderen met de situatie waarin het gebruikt wordt, i.e. het wordt situationeel gebruikt.

De wetenschappelijke betekenis van energie is echter anders. In de wetenschap is energie ‘een niets dat behouden blijft’. Energie kan niet waargenomen worden, je kunt het alleen berekenen. Het wetenschappelijke begrip energie is, in tegenstelling tot de leefwereldbetekenis, erg abstract. Je kunt je er niets bij voorstellen omdat het mathematisch gedefinieerd is en niet substantieel is te ervaren (Warren, 1982).

Er zijn de afgelopen decennia vele pogingen gedaan de begripsproblemen op te lossen. Er is nieuw onderwijs ontwikkeld. Zo komt in het huidige voortgezet onderwijs de concept-context benadering meer aan bod. De gedachte hier achter is dat leerlingen makkelijker kunnen leren wanneer concepten in een context wordt gepresenteerd die voor hen voorstelbaar is (Driesen, 2003). Toch lijken de problemen ook met de concept-context benadering nog niet opgelost (Doménech et al., 2007).

Energie in de schoolboeken

Uit een analyse van de Nederlandse schoolboeken (scheikunde, natuurkunde en biologie) blijkt dat ook in Nederland het dagelijkse en het wetenschappelijke begrip van energie veelvuldig door elkaar gebruikt worden (Zegers e.a., 2003) Verder is uit de analyse gebleken dat de vakken niet goed op elkaar aansluiten. In biologieboeken wordt scheikundige voorkennis verondersteld die nog niet aanwezig is. In scheikundeboeken wordt weer van natuurkundige voorkennis uitgegaan die

ontbreekt. In natuurkundeboeken ten slotte - waar de eigenlijke basis voor het natuurwetenschappelijke energiebegrip gelegd zou moeten worden – wordt het energiebegrip nergens grondig afgeleid. In de onderbouw wordt geen goede basis van natuurwetenschappelijk energiebegrip gelegd en in de bovenbouw wordt verder gegaan op een basis, die dus niet aanwezig is.

Achtergrond nieuwe aanpak

Eerder is er al geconstateerd dat er in het huidige voortgezet onderwijs geen goede basis van het energiebegrip wordt gelegd bij de leerlingen (Doménech e.a., 2007; Zegers, 2003). Dit heeft als gevolg dat eerstejaars Bèta studenten nog steeds onvoldoende begrip hebben van het natuurwetenschappelijke begrip energie. Dit geldt dus ook voor de eerstejaars scheikundestudenten.

De problemen rond energiebegrip vereisen een nieuwe, meer doordachte aanpak. De cursus *Machines en Energie* hoopt de problemen rond energie op te lossen. Deze cultuurhistorische cursus heeft - zoals eerder al vermeld - als doel de leerlingen vertrouwd te maken met het wetenschappelijke energiebegrip en de “Wet van behoud van energie”. Daarnaast heeft de cursus als doel de leerlingen te laten zien welke maatschappelijke, technologische en wetenschappelijke ontwikkelingen vooraf zijn gegaan aan de “Wet van behoud van energie”.

Sociaal constructivisme: ontwikkelingsonderwijs

De cursus is over de hele linie cultuurhistorisch opgebouwd. De cultuurhistorische school – ook wel ontwikkelingsonderwijs genoemd – is een stroming binnen het sociaal constructivisme. Het sociaal constructivisme gaat er vanuit dat de student het beste leert door interactie en discussie. Er is in de colleges dan ook plaats voor veel interactie tussen zowel de docent en de student als de studenten onderling. Een ander belangrijk kenmerk van het sociaal constructivisme is dat kennis eigen gemaakt moet worden om te kunnen beklijven. Door het begrip energie in een duidelijk historische en maatschappelijke context te plaatsen, wordt dit mogelijk gemaakt voor de student. Tot slot gaat het sociaal constructivisme er vanuit dat studenten vooral veel van elkaar leren. Naast de discussies leren de studenten ook tijdens de schrijfp opdrachten veel van elkaar (Driver et al,1994).

De cultuurhistorische school of het ontwikkelingsonderwijs is sociaal constructief. Er is meer oog voor de context van het leren en het verpersoonlijken van de kennis. Er wordt geprobeerd de ontwikkeling van de studenten te stimuleren. Niet door ze zo snel mogelijk door een ontwikkelingsfase heen te jagen, maar door de tijd te nemen voor elke stap en de stappen steeds te evalueren (van Oers, 1997).

Het is volgens Doménech geen goed idee om theorie in zijn uitgekristalliseerde vorm te presenteren. Het is belangrijk dat de verschillende stappen van de ontwikkeling worden getoond. Wanneer je studenten de ontwikkelingen rond kennis over energie laat ervaren, kunnen ze ervaren dat dit een open proces is. In het begin is er nog maar een vaag idee wat energie is. Daarbij kunnen de studenten zo de link tussen de wetenschappelijke en de technische ontwikkelingen beter zien (Doménech e.a. , 2007). In het geval van de wetenschappelijke begripvorming van energie ging deze gepaard met de ontwikkeling van de stoommachine, maar dat kom je als student niet te weten tijdens een college

fysische chemie. Energie wordt 'deus ex machina' gepresenteerd. In deze cursus worden juist de gedachtes en ontwikkelingen getoond die hebben geleid tot het begrip energie.

Waar het volgens Warren (1982) ook vaak mis gaat met lesgeven over het begrip energie is de introductie van het begrip. Het wordt op zo'n manier geïntroduceerd dat de leerlingen het idee krijgen dat het een vorm heeft, dat het tastbaar is. Dit komt goed overeen met hun dagelijkse begrip van energie, maar zal later in de weg staan als ze het wetenschappelijke begrip gaan leren (Warren 1982). Eenmaal gevormde misconcepties zijn op een later moment moeilijk te veranderen (Clement, 1982). Doménech stelt dat het daarom belangrijk is om te benadrukken dat energie moet worden geïntroduceerd als *"an abstract idea invented by scientist to help in quantitative investigation of phenomena. It is defined as capacity for doing work"* (Doménech e.a. , 2007). De studenten zullen aan het eind van de tweede bijeenkomst inzien dat warmte en arbeid samen behouden zijn. De overkoepelende term energie is hier voor gekozen. Dit zal de studenten doen beseffen dat energie iets abstracts is.

Scaffolding

De studenten kunnen de ontwikkelingen door maken doordat er tijdens de cursus 'scaffolding' plaats vindt. 'Scaffolding' is kenmerkend voor het ontwikkelingsonderwijs. Het begrip 'scaffold' betekent steiger en verwijst naar een leerroute met kleine stapjes waarlangs de studenten met elkaar en met de docent stap voor stap naar het doel kunnen opklimmen. Belangrijk in dit ontwerp is dat de leertaak in klein stapjes wordt geanalyseerd zodat de groep studenten systematisch en stapsgewijs de gewenste leerresultaten behalen. De 'scaffold' is in deze cursus de ontwikkeling van de stoommachine en de watermolen. Waarbij de treden worden gevormd door meer inzicht in bijvoorbeeld: soortelijke warmte, latente warmte en 'behoud van warmte'. Hier zal verderop in de beschrijving van de cursus in meer detail op worden ingegaan.

Concept-context: een historische lijn

Wetenschap is een sociaal product. Het wordt gevormd door de vraag naar oplossing van vaak praktische problemen. Door in de cursus voor een historische lijn als context te kiezen, worden deze problemen goed belicht. Zo was bijvoorbeeld de ontwikkeling van de stoommachine gedreven door de economische vraag naar een effectievere manier om water uit de steenkoolmijnen pompen. Er wordt gedacht dat studenten de behandelde begrippen/concepten makkelijker kunnen onthouden en begrijpen als het in een voor hun begrijpelijke context wordt geplaatst (Driesen, 2003). De concept-context benadering van de cursus is in lijn met de visie van 'het Nieuwe Scheikunde', wat naar verwachting vanaf 2012 het nieuwe examenprogramma zal vormen voor het voortgezet onderwijs (Stuurgroep Nieuwe Scheikunde, 2010).

Globale ontwikkeling van energiebegrip binnen cursus

De cursus werkt toe naar de "Wet van behoud van energie" en verduidelijking van het energiebegrip. Dit wordt gedaan door te laten zien hoe het energiebegrip tot stand is gekomen. Uit de lange historie zijn de belangrijkste uitvindingen en ontwikkelingen genomen, die onmisbaar zijn gebleken voor de totstandkoming van het natuurwetenschappelijk begrip energie. In het kort komt het volgende in de cursus aan bod:

- De ontwikkelingen rond de stoommachine bevorderden de studie van warmte. Naast de technische ontwikkelingen door Savery, Newcomen en Watt was er ook een belangrijke theoretische stap gezet door Boerhaave, die veronderstelde dat eenmaal geproduceerde warmte niet meer verdwijnt, maar traceerbaar is: **'behoud van warmte'**
- Galilei had al eerder aangetoond dat bij een slinger de hoogte van een voorwerp omgezet kan worden in snelheid en vice versa. Dit wordt in de volgende eeuwen verder uitgewerkt en algemener geformuleerd als **'behoud van vis viva'**.
- Erg belangrijk zijn de proeven van Rumsford en Joule. Rumsford probeerde als eerste te kwantificeren in welke verhouding *vis viva* door middel van wrijving in warmte werd omgezet. Joule was degene die het ook daadwerkelijk lukte om met zijn beroemde proef een verhoudingsgetal te achterhalen tussen beide grootheden: het **mechanisch warmte-equivalent**.
- Nu bekend was dat er een verhoudingsgetal tussen *vis viva* en warmte was en bekend was dat ze samen behouden blijven, kon er een universele behoudswet worden geformuleerd. Dat wat samen behouden bleef, kreeg een nieuwe naam: **energie**.
- Doordat men zowel warmte en *vis viva* als de verhouding tussen beiden kon kwantificeren, werd het mogelijk om het **rendement** van verschillende apparaten zoals de watermolen of stoommachine met elkaar te vergelijken.
- *Vis viva* kan volledig omgezet worden in warmte. Andersom is dit echter niet mogelijk. Daarom wordt *vis viva* ook wel hoogwaardige energie genoemd en warmte laagwaardige energie. De Carnotcyclus maakt duidelijk hoeveel arbeid er uit warmte gehaald kan worden. Het gedeelte van de energie dat arbeid kan verrichten wordt ook wel **exergie** genoemd. De tweede hoofdwet wordt hier op een begrijpelijk (macro)niveau uitgelegd.

Inhoud cursus

In dit deel wordt de globale opzet en werkwijze van de cursus beschreven. Vervolgens wordt de inhoud van de cursus per bijeenkomst besproken. Hierbij wordt vooral aangegeven in welk opzicht de colleges bijdragen aan de ontwikkeling van het begrip energie.

Globale opzet cursus

De cursus bestaat uit vijf bijeenkomsten van 1x 4uur en 4x 2 uur. In de eerste helft van de cursus wordt de kennis over energie aan de hand van historische ontwikkelingen uitgediept en verbreed. In de tweede helft van de cursus wordt de kennis van de studenten over energie getoetst aan de hand van twee schrijfopdrachten (worden later nader toegelicht).

Tijdens de eerste bijeenkomst van 4 uur wordt er middels een interactief hoorcollege over de ontwikkeling van de stoommachine en warmtepractica gewerkt naar 'warmtebehoud'. Deze bijeenkomst wordt in een practicumruimte gehouden vanwege de (demo)practica.

Tijdens de tweede bijeenkomst van 2 uur wordt er in een interactief hoorcollege over de ontwikkeling van de watermolen gewerkt naar 'behoud van *vis viva*'. Vervolgens wordt er in dit college aan de hand van het experiment van Joule gewerkt naar het behoud van warmte en *vis viva* samen. Het nieuwe concept energie wordt geïntroduceerd. Dit college wordt – evenals de vervolgbijeenkomsten - gehouden in een reguliere collegieruimte.

De derde bijeenkomst (2 uur) begint met een schrijfofdracht waarbij de studenten een recensie schrijven over de introductie van het begrip energie in een van hun studieboeken: *Physical Chemistry, Ball*. Ze worden door deze opdracht gevraagd kritischer naar het begrip energie te kijken. Het tweede deel van deze bijeenkomst is een interactief hoorcollege. Dit college gaat over ontwikkelingen in het rendement van warmtemachines. Dit wordt aan de hand van de Carnotcyclus toegelicht. Het college stimuleert de studenten te denken in termen van hoogwaardige (arbeid) en laagwaardige energie (warmte).

De vierde en vijfde bijeenkomst (2x 2 uur) kunnen de studenten geheel besteden aan een tweede schrijfofdracht. Ze worden gevraagd een vervolghoofdstuk te schrijven op de gebruikte module Machines en Energie. Met deze schrijfofdracht kunnen de studenten laten zien dat ze meer kennis hebben verkregen van het natuurwetenschappelijk begrip energie en dat ze deze kennis kunnen toepassen op nieuwe technologieën.

Globale werkwijze cursus

Reflecteren en formuleren

De studenten krijgen aan het begin van de cursus een schriftje. Het is de bedoeling dat ze de vragen, die tijdens het college worden gesteld, beantwoorden in het schriftje. De vragen kunnen begripsvragen, rekenvragen, maar ook reflectievragen zijn. De vragen zijn bedoeld om de studenten te stimuleren een actieve houding aan te nemen. Door tijdens het college vragen te beantwoorden, worden ze gestimuleerd na te denken over de besproken begrippen en historische problemen. Zo kunnen ze eerst zelf een oplossing bedenken voordat dé oplossing aangereikt wordt (als er al sprake is van dé oplossing). De schriftjes dienen ook ter training van het wetenschappelijk formuleren met betrekking tot de kernbegrippen (energie, warmte, arbeid, exergie, etc.).

Discours: leren in gesprek

Tijdens de meeste colleges van de eerstejaars scheikunde student wordt er 'frontaal' les gegeven. Er is weinig ruimte voor interactie tussen de leerling en de docent. Er is wel ruimte voor vraag-antwoord gesprekken, maar amper ruimte voor discussies. Van Eerde stelt in haar onderzoek naar de samenhang tussen interactief wiskunde- en taalonderwijs vast dat interactie tijdens de les essentieel is voor de ontwikkeling van mondelinge vaardigheden. De docent heeft een belangrijke rol in het herformuleren van onheldere formuleringen van een leerling en het expliciet onder de aandacht brengen van juiste woordkeuze en zinsopbouw (van Eerde, 2006).

Hoewel het onderzoek dat van Eerde heeft gedaan zich vooral richtte op de taalverwerving bij taalzwakke, allochtone leerlingen, zijn enkele elementen ook zeer bruikbaar voor het doceren van het begrip energie aan eerstejaars scheikundestudenten. Ook al zou je deze studenten niet zo gauw als taalzwak zal bestempelen, is het wel zaak dat ze leren zich wetenschappelijk(er) uit te drukken. Interactieve lessen waarin de docent de slordige/onjuiste formuleringen van een student op een juiste manier verbetert zijn daarom ook een belangrijk onderdeel van de cursus.

Eerste college: werken naar 'warmtebehoud'

Doel eerste college:

Het eerste college werkt toe naar een beter begrip van warmte en warmtebehoud. Dit ter voorbereiding van de (her)introductie van het overkoepelende, wetenschappelijke begrip energie wat in het tweede college gebeurt.

Het eerste college bestaat uit drie delen:

1. Introductie
2. Ontwikkeling van de stoommachine
3. Warmte, temperatuur en behoud van warmte

Introductie

Doelen:

- Besef creëren dat energie een dagelijkse en een wetenschappelijke betekenis heeft
- Besef creëren dat gebruik van woord energie in dat stadium verwarring op kan leveren

Tijdens de introductie wordt afgesproken voorlopig het woord energie niet te gebruiken. De studenten moeten zich kunnen verplaatsen in een tijd dat er nog geen wetenschappelijk begrip van energie was. Daarbij zou het gebruik van het woord energie in dit stadium alleen maar verwarring opleveren, omdat het verward zou kunnen worden met het dagelijks leven begrip energie, wat een andere betekenis heeft (Doménech, 2007).

Ontwikkeling stoommachine

Doelen:

- Besef creëren dat ontwikkeling gedreven wordt door praktische problemen
- Inzicht krijgen in werking stoommachines
- Effect van verbeteringen stoommachines kunnen benoemen

Het tweede deel van dit college beschrijft de ontwikkelingen rond de stoommachine. De startsituatie is het 18^e-eeuwse Engeland. Hierbij wordt vooral benadrukt dat de ontwikkelingen zijn gedreven door economische en maatschappelijke problemen. Het is belangrijk dat de studenten gaan beseffen dat wetenschap een sociaal product is. Wetenschap wordt gevormd door de vraag naar oplossing van vaak praktische problemen. In dit geval gaat het om de noodzaak van het watervrij maken van kolenmijnen.

De klassieke waterpomp kon dit probleem niet oplossen. Een demonstratiemodel van een handpomp laat de studenten zelf ervaren hoe een klassieke waterpomp werkt. Ze zullen hierbij merken dat het pompen flink wat kracht kost. Het is erg belangrijk dat de student de werking van de klassieke waterpomp begrijpen. De natuurkundige principes die gelden voor deze pomp, komen later weer terug bij de stoompomp en -machine.

De volgende pomp die wordt geïntroduceerd is de stoompomp van Savery (1702). Ook van deze pomp is er een demonstratiemodel aanwezig. De studenten mogen zelf de hendels van de pomp bedienen. Dit dwingt hun dieper na te denken over de werking van de pomp en de natuurkundige principes waarop dit gebaseerd is. De pomp is een goed voorbeeld van de omzetting van warmte in arbeid.

Vervolgens krijgen de studenten een prent te zien van de stoommachine van Newcomen (1710). Deze wordt naast een prent van de stoompomp van Savery gezet. Dit levert een leuk zoek-verschillen-spel op. Ze mogen zelf aangeven wat de verschillen zijn en waarom ze denken dat die verschillen nuttig zijn. Belangrijk hierbij is vooral dat de studenten het besef krijgen van het effect van de verschillen. Door de veranderingen was de stoommachine meer geautomatiseerd dan de pomp en was hij ook bruikbaar voor andere toepassingen dan water oppompen.

Het tweede deel van deze bijeenkomst wordt afgesloten aan de hand van de ontwikkeling aan de stoommachine door Watt. Watt zag dat de stoommachine van Newcomen extreem veel stoom produceerde. Prenten van de stoommachine van Watt en Newcomen worden naast elkaar getoond. De studenten kunnen wederom aangeven wat de veranderingen zijn en waarom die belangrijk zijn. Het besef van warmte(verlies) is hierbij heel belangrijk. De extra condensor van Watt's stoommachine zorgde er voor dat de stoomcilinder heet kon blijven en er minder kolen verstoekt hoefde te worden. Een ontwikkeling die er voor zorgde dat de stoommachine ook buiten de kolenmijnen gebruikt kon worden.

Warmte, temperatuur en behoud van warmte

Doelen:

- Besef creëren dat warmtebehoud wordt aangenomen
- Eenheid van warmte definiëren
- Kunnen rekenen aan warmte
- Ontwikkelen van praktische vaardigheden

In het derde deel gaat de cursus verder in op de kennis over warmte. In het tweede deel wordt al getoond dat meer kennis over warmte heeft geleid tot technologische verbeteringen aan de stoommachine. Maar wat is warmte nu eigenlijk? Dat is de vraag waar de studenten zich dit deel bezig mee gaan houden.

Wanneer we in het dagelijkse leven spreken over warmte, lopen de termen warmte en temperatuur nogal door elkaar. Wanneer we bijvoorbeeld vragen hoe warm het is, willen we eigenlijk niet de warmte, maar de temperatuur weten. Er wordt daarom afgesproken met de studenten dat temperatuur alleen operationeel gebruikt wordt: temperatuur is datgene wat de thermometer aanwijst.

De Nederlander Herman Boerhaave was een van de grondleggers van de warmteleer. Aan de hand van zijn bevindingen wordt 'warmtebehoud' gepresenteerd. Boerhaave veronderstelde dat eenmaal ontstane warmte niet meer verdween.

Vanuit de hypothese dat de warmte behouden blijft, kan er een eenheid voor de warmte gekozen worden. Er wordt aan de studenten gevraagd waarom de veronderstelling dat warmte behouden blijft noodzakelijk is om een eenheid te kunnen kiezen. Het is belangrijk dat de studenten beseffen dat zonder deze veronderstelling het kiezen van een eenheid onmogelijk is.

De studenten mogen zelf een eenheid bedenken. Ze gaan hierdoor bedenken op welke grootheden deze eenheid is gebaseerd. De eenheid die vervolgens wordt gegeven is de calorie. Het is de hoeveelheid warmte die nodig is om 1 gram water 1 °C op te warmen. Door deze 'ouderwetse' eenheid te gebruiken, zullen de studenten gemakkelijker beseffen waar deze op gebaseerd is. Het gebruik van de calorie zal de warmte experimenten, die de studenten hierna gaan uitvoeren, vergemakkelijken.

Tijdens het eerste warmte-experiment zullen de studenten ongelijke volumina warm en koud water mengen. Hierbij moeten ze voorspellen en meten wat de eindtemperatuur wordt. De studenten gaan hierbij uit van warmtebehoud. Wanneer de theoretische temperatuur dicht bij de gemeten temperatuur ligt, is warmtebehoud aannemelijk gemaakt (maar niet bewezen!). De studenten worden door dit experiment ook getraind om nauwkeurig te werken.

De brug naar het tweede warmte-experiment wordt gemaakt met Black. Deze hoogleraar natuurkunde uit Glasgow deed zelf veel warmte-experimenten. Zo kwam hij erachter dat een kilo goud van 100°C een kilo water van een bepaalde temperatuur minder in temperatuur doet stijgen dan een kilo water van 100°C dat doet. Dat dit verklaard kan worden door de soortelijke warmte is iedereen nu duidelijk. De studenten moeten echter beseffen dat het in die tijd tot serieuze twijfels over 'warmtebehoud' leidde. Ook de gevolgen van de ontdekking van soortelijke warmte zijn belangrijk. Watt gebruikte de gegevens over soortelijke warmte om de cilinder van de stoommachine van verschillende materialen te maken.

Tijdens het tweede warmte-experiment zullen de studenten zelf de soortelijke warmte van enkele metalen gaan bepalen met behulp van koud en warm water. Het is belangrijk dat de studenten beseffen dat ze ook bij dit experiment warmtebehoud niet bewijzen, maar juist veronderstellen.

Black bepaalde van veel stoffen de soortelijke warmte. Het 'behoud van warmte' werd nog een keer beproefd door Black en Watt. Ze constateerden dat het warmte kostte om water van 100°C tot stoom te brengen. Er was in dit geval geen temperatuurstijging. Het zelfde geldt voor het smelten van ijs van 0°C. Dat dit te verklaren is door latente warmte zullen veel studenten wel weten, maar weten ze ook hoe ze dit aannemelijk kunnen maken? Ze mogen als huiswerk een experiment bedenken om het vrijkomen van latente warmte aan te tonen. Dit kan gedaan worden door een bakje water te laten bevriezen in een vloeistof van kouder dan 0°C. Bij de faseovergang zal meetbare warmte vrijkomen.

Tweede college: werken naar 'behoud van energie'

Doel tweede college:

Het tweede college werkt aan de hand van de ontwikkelingen rond de watermolen naar het begrip *vis viva* en het behoud ervan. Aan de hand van de proef van Joule wordt het mechanisch warmte-equivalent toegelicht en wordt het overkoepelende begrip energie geïntroduceerd. Belangrijk hierbij is het besef dat warmte en *vis viva* apart niet behouden zijn, maar samen wel behouden zijn.

Het tweede college bestaat uit drie delen:

1. Watermolens en het begrip *vis viva* (arbeid)
2. Verbeteringen aan de watermolen waarbij 'behoud van *vis viva*' en 'efficiency' een grote rol spelen.
3. Behoud van *vis viva* en warmte samen en het nieuwe concept 'energie'.

Watermolens en het begrip *vis viva* (arbeid)

Doelen:

- Verbeteren van begrip over arbeid aan de hand van ontwikkelingen watermolen

In het eerste deel wordt de grote rol die de watermolen in de Europese geschiedenis heeft gespeeld besproken. Er worden verschillende modellen met elkaar vergeleken. De horizontale, verticale, onderslag en bovenslag komen aan bod. De grote vraag hierbij is vooral: Welke type molen werkt het beste en hoe vergelijk je de verschillende watermolens met elkaar? Er werd een maat bedacht om de geleverde arbeid uit te drukken. Zo kon de arbeid van een watermolen die een waterpomp aandreef uitgedrukt worden in het gewicht van het water \times de afgelegde afstand. Later werd dit principe algemener geformuleerd als 'Arbeid = verrichte kracht \times afgelegde afstand vanwege de kracht'. Vooral de laatste formule zal bekend zijn bij de studenten. Belangrijk hierbij is het besef waar de formule op gebaseerd is en waarom de formule belangrijk is voor de ontwikkeling van de watermolen. Het kunnen vergelijken van de output van de verschillende watermolens geeft handvatten voor het verbeteren ervan.

Verbeteringen aan de watermolen

Doelen:

- Introduceren begrip *vis viva* aan de hand van ontwikkeling watermolen

In het tweede deel wordt bediscussieerd hoe de watermolen verbeterd kan worden. Belangrijk hierbij is de drijfveer voor de zoektocht naar verbeteringen: Door een sterke economische groei was het noodzakelijk om de watermolens zo efficiënt mogelijk te gebruiken. Alleen zo kon met het beschikbare water de capaciteit van bijvoorbeeld textiel fabrieken vergroot worden. Een probleem was echter dat men slechts de geleverde arbeid kon meten. Om te weten wat maximaal haalbaar is qua rendement, moet je ook de input weten. Hoe kun je dat berekenen? De studenten moeten hier zelf over nadenken en discussiëren. Galilei had al eerder geconstateerd dat hoogte volledig in snelheid omgezet kan worden en vice versa als we de wrijving verwaarlozen. Later is er verder gegaan op dit idee en is aangenomen dat de *vis viva* (letterlijk: levende kracht) van het water dat op een bovenslag watermolen valt theoretisch volledig in arbeid omgezet kan worden. Dit gaf richting aan de technologische ontwikkelingen. Er is bewust voor gekozen om de term *vis viva* te gebruiken in plaats van mechanische energie, omdat in die tijd de term energie nog niet gebruikt werd en het gebruik ervan voor verwarring kan zorgen.

Behoud van *vis viva* en warmte samen en het nieuwe concept 'energie'

Doelen:

- Uitleggen mechanisch warmte-equivalent aan de hand van Joule's proef
- (Her)introduceren van wetenschappelijk begrip energie

In het derde deel wordt er vanuit de twee behoudswetten toegewerkt naar de 'Wet van behoud van energie'. Er wordt eerst bediscussieerd of de twee behoudswetten wel altijd opgaan. Rumsford zag bijvoorbeeld dat bij het boren van kanonslopen ontzette veel warmte vrijkwam. Hij bedacht dat het de *vis viva* was die in warmte omgezet werd. Hij probeerde de hoeveelheid warmte te schatten. De studenten moeten bedenken hoe hij dat gedaan kon hebben. Dit geeft de studenten al een idee hoe je arbeid naar warmte kan omrekenen. Joule's proef laat de studenten zien hoe het lukte om een bekende hoeveelheid arbeid om te zetten in een meetbare hoeveelheid warmte. Met zijn experimenten werd het mechanisch warmte-equivalent bekend. Nu moet het kwartje gaan vallen. Warmte en *vis viva* zijn nu samen behouden, maar omdat ze zo verschillend van elkaar zijn is er gekozen voor een nieuwe term: energie.

Derde college: eerste schrijfpdracht + tweede hoofdwet

Eerste schrijfpdracht

Doelen:

- Kritisch bekijken van tekst op gebied van energie
- Verbeteren schrijfvaardigheid

Tijdens het eerste deel van het derde college kunnen de studenten werken aan een eerste schrijfpdracht. Dit doen ze in groepjes van 3 á 4 personen. De schrijfpdracht houdt in dat de studenten een recensie moeten schrijven over de introductie van het natuurwetenschappelijk begrip energie in het fysische chemie leerboek "*Physical Chemistry*" van David W. Ball (2003). De studenten moeten beargumenteren waarom ze het begrip energie in de eerste drie hoofdstukken al dan niet goed geïntroduceerd en gedefinieerd vinden.

Voorafgaand aan de schrijfpdracht moeten de studenten eerst zelf in hun schriftje opschrijven of ze verwachten dat energie in Physical Chemistry goed wordt gedefinieerd. Dit geeft hen de kans om te bedenken wat ze verwachten van een goede introductie/definitie en of ze verwachten dat een fysische chemieboek ook aan deze verwachtingen voldoet.

Met deze schrijfpdracht moeten de studenten laten zien dat ze voldoende begrip van energie hebben gekregen om het lesboek kritisch te kunnen bekijken. De studenten zullen vooral op argumentatie en formulering worden beoordeeld.

Carnot-cyclus

Doelen:

- Meer inzicht geven in exergie

- Meer inzicht geven in rendement

Tijdens het tweede deel van het derde college wordt de Carnot-cyclus besproken. Met de komst van het mechanisch warmte-equivalent dacht men eenvoudig het rendement van een stoommachine te kunnen berekenen. Het bleek dat slechts een klein deel van de warmte in arbeid omgezet kon worden. Welk rendement was er theoretisch mogelijk? Aan de hand van de Carnotcyclus krijgen de studenten antwoord op deze vraag. Het leert de studenten meer te denken in termen van hoogwaardige energie (arbeid) en laagwaardige energie (warmte). Het gedeelte van de energie dat arbeid kan verrichten wordt ook wel exergie genoemd.

Vierde + vijfde college: tweede schrijfpdracht

Doelen:

- Integreren van geleerde begrippen
- Verbeteren van schrijfvaardigheid

Het vierde en het vijfde college zullen de studenten geheel spenderen aan het schrijven van een tweede, grotere schrijfpdracht. Dit doen ze in groepjes van 3 á 4 personen. De opdracht houdt in dat ze een vervolghoofdstuk moeten schrijven voor de gebruikte module Machines & Energie. Het hoofdstuk heeft als doelgroep 4-6VWO'ers. In dit hoofdstuk moeten ze een nieuwe technologie bespreken aan de hand van de Eerste en Tweede hoofdwet (energie vs. exergie). Warmtepompen, warmtekrachtkoppeling en brandstofcellen zijn technologieën waar ze bijvoorbeeld over kunnen schrijven.

Met deze schrijfpdracht moeten de studenten laten zien dat ze meer kennis hebben verkregen van het natuurwetenschappelijke begrip energie en dat ze deze kennis kunnen toepassen op de nieuwe technologieën. Daarnaast moeten ze kunnen laten zien dat ze onderscheid kunnen maken tussen hoogwaardige en laagwaardige energie. Een vaardigheid die van de studenten verwacht wordt is het wetenschappelijk formuleren in termen van warmte, arbeid, energie, etc. Een andere, meer algemene, vaardigheid die van de studenten verwacht wordt is het kunnen opbouwen van een degelijke tekst.

De docent speelt tijdens deze colleges een begeleidende rol. Hij beantwoordt vragen en kan enige sturing geven, maar de studenten zullen toch vooral zelf bezig moeten zijn. Doordat de studenten veel met elkaar kunnen overleggen en de uiteindelijke inhoud van het hoofdstuk redelijk vrij te bepalen is, is ook deze schrijfpdracht een goed voorbeeld van sociaal constructief leren. Het is de bedoeling dat de studenten tijdens het samenwerken veel van elkaar leren. Er staat niet precies vast wat geleerd moet worden. Buiten de criteria kunnen de studenten zelf besluiten waar ze in hun tekst de nadruk op leggen en wat ze dus belangrijk vinden.

Hoofdstuk 3: Onderzoekopzet, Methodes en Data-analyse

In dit hoofdstuk wordt uitgebreid uitgelegd waar het onderzoek op gebaseerd is. Allereerst worden de focuspunten toegelicht. Er wordt per focuspunt beschreven wat de doelstelling is. Daarna wordt beschreven wat de beoogde algemeen bruikbare kennis van dit onderzoek is. Vervolgens wordt er in het operationele stuk beschreven welke databronnen zijn gebruikt. Tenslotte wordt er beschreven welke methodes en data-analyses zijn toegepast.

De focuspunten en bijbehorende doelstellingen en onderzoeksvragen

Het onderzoek heeft twee focuspunten. Het eerste focuspunt is achterhalen of tijdens de cursusonderdelen vaardigheden zijn verworven en begripsvorming heeft plaatsgevonden. Het tweede focuspunt is de motivatie van de studenten tijdens de cursus. Uit de focuspunten volgen de volgende onderzoeksvragen:

1. In welke mate heeft er tijdens de cursus begripsvorming plaatsgevonden en zijn vaardigheden verworven?
2. In welke mate waren de studenten gemotiveerd tijdens de cursus?

Het eerste doel van dit onderzoek is achterhalen of tijdens de cursusonderdelen vaardigheden zijn verworven en begripsvorming heeft plaatsgevonden. Hiertoe wordt voornamelijk gefocust op hoe de studenten zich tijdens de cursus schriftelijk en mondeling uiten met betrekking tot de kernbegrippen. Met de kernbegrippen worden bedoeld: warmte, *vis viva*/ arbeid, energie, exergie, en rendement. Dit wordt zowel kwantitatief als kwalitatief onderzocht.

Het tweede doel van dit onderzoek is achterhalen hoe de motivatie onder de studenten is tijdens de cursus. Naast het achterhalen van een algemene motivatie, wordt er onderzocht de motivatie voor de volgende onderdelen: practica, hoorcolleges, schrijfp opdrachten, begeleiding, lesmateriaal. Het onderzoek richt zich op het verkrijgen van zowel een kwalitatief als een kwantitatief beeld van de motivatie op de voorgenoemde onderdelen.

Gezochte kennis

De resultaten van het onderzoek zullen inzicht geven in het verloop van de cursus. Uit de resultaten zal blijken welke cursusonderdelen naar wens zijn verlopen en welke voor verbetering vatbaar zijn. Deze inzichten zijn bedoeld om de cursus voor de volgende jaren te kunnen verbeteren.

Operationalisering van de onderzoeksvraag

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, is er gebruikt gemaakt van observaties, schriftelijk werk van studenten, interviews met studenten, en een online evaluatie enquête.

Observaties

Om een goed beeld te krijgen hoe de studenten zich mondeling uitdrukken gedurende de cursus, worden de studenten tijdens de hoorcolleges geobserveerd. Dit wordt gedaan door de onderzoeker, de docent en de twee student-assistenten.

Hierbij wordt er voor de eerste onderzoeksvraag vooral gelet op gebruik van de kernbegrippen, voorkomende misconcepties en formulering in het algemeen.

Voor de tweede onderzoeksvraag wordt gelet op zowel verbaal als non-verbaal gedrag van de studenten. Deze observaties zijn bedoeld om zowel een kwalitatief als een kwantitatief beeld te verkrijgen van de motivatie van de studenten tijdens de cursus. De informatie die wordt verkregen uit de observaties is vooral bedoeld om de informatie die wordt verkregen uit de interviews en de online enquête te kunnen verifiëren.

Schriftelijk werk studenten

Om de eerste onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden, moet achterhaald worden hoe de studenten zich schriftelijk uitdrukken over de kernbegrippen. De studenten hebben aan het begin van de cursus een labjournaal uitgereikt gekregen (waar naar gerefereerd zal worden als 'het schriftje'). In dit labjournaal kunnen ze vragen beantwoorden, die tijdens het college gesteld worden. Omdat het labjournaal door alle studenten bijgehouden zal worden, zal de analyse van de schriftjes naar verwachting een kwantitatief beeld van het begrip van de studenten over de kernbegrippen opleveren.

De studenten zullen tijdens deze cursus beoordeeld worden op twee schrijfoopdrachten. In deze schrijfoopdrachten moeten ze laten zien dat ze de besproken kernbegrippen goed beheersen en kunnen toepassen op nieuwe onderwerpen. Analyse van de schrijfoopdrachten zal naar verwachting een degelijk kwalitatief en kwantitatief beeld geven over hoe de studenten zich uitdrukken over de kernbegrippen. Deze informatie zal helpen de eerste onderzoeksvraag te beantwoorden.

Interviews

Voor de beantwoording van de tweede onderzoeksvraag is het belangrijk om zowel een kwalitatief als een kwantitatief beeld van de motivatie van de studenten tijdens de cursus te verkrijgen. Een kwantitatief beeld zal naar verwachting verkregen worden door de online enquête, die in de volgende paragraaf besproken wordt.

Een kwalitatief beeld van de motivatie van de studenten kan naar mijn mening alleen verkregen worden wanneer er voldoende ruimte is voor open antwoorden van de studenten en gericht doorvragen. In het *Basisboek Kwalitatief Onderzoek* (Baarda e.a., 2005) wordt geadviseerd om bij een kwalitatief onderzoek gebruik te maken van open vragen en topiclijsten. Dit zorgt er voor dat de gewenste onderwerpen wel aan bod komen, maar er voldoende ruimte is voor verschillende opinies. Er is daarom gekozen om – zoals Baarda het noemt – een semigestructureerd interview te houden met de studenten. Tijdens dit semigestructureerde interview zal aan de studenten gevraagd worden hoe ze de voorgenoemde onderdelen hebben beleefd.

Tijdens de vierde bijeenkomst worden de studenten geïnterviewd in groepjes van 2-4. Er is voor gekozen om de studenten in groepjes te interviewen, omdat we denken dat ze zich in een groepje meer op hun gemak voelen. Daarbij kunnen ze elkaars antwoorden aanvullen, wat hopelijk zorgt voor meer diverse en volledige antwoorden. De interviews worden geleid door de onderzoeker en de twee studentassistenten. De interviews vinden plaats in het lokaal naast het lokaal waar het college wordt gegeven. Er vinden meerdere interviews tegelijkertijd plaats. De studenten wordt verteld dat de verkregen informatie vertrouwelijk wordt behandeld en geen invloed heeft op hun cijfer.

Online enquête

Om de tweede onderzoeksvraag te beantwoorden is er tevens gekozen voor een online enquête. Deze enquête is een vragenlijst die de studenten aan het einde van elke scheikundecursus krijgen via hun solismail-account. In deze enquête kunnen zij anoniem aangeven hoe zij de cursus beleefd hebben. De enquête bevat naast gesloten vragen ook enkele open vragen, die ruimte bieden voor meer uitgebreide antwoorden en niet eerder aangesneden onderwerpen.

Het gebruiken van de online enquête heeft veel voordelen. De enquête is al beschikbaar en hoeft dus niet speciaal voor dit onderzoek gemaakt te worden. Daarbij is het een enquête die al vaker gebruikt is voor andere scheikundecursussen. Dit maakt de kans op onvolkomenheden klein. Verder gebeurt de verwerking van de enquête volautomatisch en is dus niet arbeidsintensief. Doordat de enquête anoniem ingevuld wordt, kan worden verwacht dat de studenten een eerlijk antwoord geven. Tot slot geeft de enquête veel kwantitatieve informatie over de hoe de studenten de cursus beleven.

Een nadeel van een online enquête is dat de deelname vaak laag is. Een lage deelname aan een enquête vergroot de kans op een eenzijdig beeld van de motivatie van de studenten en kan dus een vertekend beeld van de werkelijkheid opleveren. Met andere woorden: een lage deelname aan de enquête kan de kwantitatieve waarde ervan schaden.

Een ander nadeel van de online enquête is dat deze weinig open vragen bevat en er dus weinig ruimte is voor uitgebreide antwoorden. Daarbij is het interpreteren van de antwoorden op de open vragen soms lastig. Er kan immers niet doorgevraagd worden als het antwoord niet eenduidig is te interpreteren. De verwachting is dat dit probleem wordt ondervangen door het gebruik van aanvullende informatie die wordt verkregen uit de interviews met de studenten.

Methode en data-analyse

In onderstaand deel wordt uitgelegd hoe de resultaten tot stand zijn gekomen. Tijdens verschillende onderdelen zijn de studenten geobserveerd, geïnterviewd en hebben de studenten schriftelijk werk afgeleverd. Hier zijn vervolgens scores aan verbonden. Hoe de scores tot stand zijn gekomen, zal per onderdeel uitgelegd worden. Zo volgen de scores van schrijfpoddrachten uit de beoordeling op de verschillende criteria waaraan de schrijfpoddracht moest voldoen.

Er is voor gekozen om te stellen dat een bepaalde vaardigheid niet is verworven of begripsvorming niet heeft plaatsgevonden bij de studenten wanneer de studenten gemiddeld < 60% van de maximale waardering hebben gehaald. Begrip of vaardigheid is/heeft deels plaatsgevonden/verworven wanneer de studenten gemiddeld 60-80% van de maximale waardering hebben gehaald en volledig plaatsgevonden/verworven wanneer gemiddeld > 80% is gehaald. De norm is gekozen omdat dit intuïtief te gebruiken is. Wanneer je aan een 6 of 60% denkt, denk je al

gauw aan voldoende en zo denk je bij een 8 of 80% al gauw aan goed. Verder weet ik uit ervaring dat de norm voor scheikunde toetsen ook vaak rond de 50-60% ligt voor een voldoende.

Bij de schrijfopdrachten en het andere schriftelijke werk was het mogelijk om al het werk te beoordelen en kwantitatief beeld te schetsen. Voor een deel van het schriftelijk is er echter steekproefsgewijs beoordeeld. De interviews en observaties waren grotendeels alleen kwalitatief te beoordelen. Hier werd ingeschat of de meerderheid van de studenten een bepaald begrip of vaardigheid al dan niet onder de knie hadden.

Observaties

De hoorcolleges worden met een voicerecorder opgenomen. De opnamen worden dezelfde of de volgende dag getranscribeerd [bijlage 1]. Alleen de fragmenten waar er een docent-student of student-student interactie plaatsvindt worden volledig getranscribeerd. Deze gesprekken zullen naar verwachting een kwalitatief beeld van het begrip van de studenten geven. Deze kwalitatieve informatie kan, waar mogelijk, worden vergeleken met de kwantitatieve informatie die het schriftelijke werk zal opleveren.

Het non-verbale gedrag van de studenten is moeilijker vast te leggen. Door de onderzoeker en de student-assistenten zijn tijdens de colleges aantekeningen gemaakt over de motivatie van de studenten. Hierbij is voornamelijk gelet op de actieve dan wel passieve houding van de studenten en welke positieve of negatieve emotie de studenten tijdens de verschillende onderdelen uitten. Er werd hierbij niet alleen een kwalitatief beeld geschetst, maar werd ook geschat wat emotie/beleving was van de meerderheid van de groep. Er werd voor elk begrip, vaardigheid of motivatie ingeschat hoe de meerderheid van de groep studenten deze beheerste/beleefde. Daarnaast is er na elk college een informele nabespreking geweest tussen de begeleiders waarin de motivatie van de studenten ook aan bod kwam.

Interviews

Zoals eerder vermeld worden de studenten in groepjes van 2-4 geïnterviewd door de onderzoeker of de student-assistenten. De interviewers gebruiken een topic-/vragenlijst [Bijlage 4.1]. Het interview wordt op voicerecorder opgenomen. De gesprekken worden dezelfde of de volgende dag getranscribeerd. De gegeven antwoorden worden zoveel mogelijk gerubriceerd om naast een kwalitatief beeld van de motivatie ook een kwantitatief beeld te krijgen. Ook hier wordt voor elk begrip, vaardigheid of motivatie ingeschat hoe de meerderheid van de groep studenten deze beheerste/beleefde.

Schriftelijk werk

De door de studenten genoteerde antwoorden zullen worden gerubriceerd en gekwantificeerd. Niet alle antwoorden zullen worden gekwantificeerd. Dit is gezien het aantal schriftjes (ca. 60) en het aantal beantwoorde vragen een onmogelijke taak. Alleen de antwoorden op enkele belangrijke vragen zijn volledig gekwantificeerd. De antwoorden op de overige vragen zijn voornamelijk steekproefsgewijs nagekeken. Hiertoe is er blind een selectie van 20 schriftjes gemaakt. Antwoorden op overige vragen zullen ook ter illustratie gebruikt worden.

Voor beide schrijfpoddrachten zijn beoordelingscriteria opgesteld [bijlage 2&3]. Er moet vermeld worden dat de beoordelingscriteria bij de eerste schrijfpoddracht niet van te voren bekend waren bij de studenten. Wel hebben de studenten een duidelijke instructie gekregen. De beoordelingscriteria van de tweede schrijfpoddracht waren wel bekend bij de studenten. De behaalde scores op de verschillende criteria worden geanalyseerd. Naast het berekenen van de standaarddeviatie en het gemiddelde wordt een kwantitatieve spreiding van de scores gegeven. Deze spreiding is onderverdeeld in drie categorieën: <60%, 60-80%, >80%. De resultaten van de criteria zullen worden toegelicht met behulp van voorbeelden en citaten.

Online-enquête

De verwerking van de online-enquête gebeurt grotendeels automatisch. Van de gesloten vragen wordt automatisch het volgende berekend: het gemiddelde, de standaarddeviatie, aantal deelnemers, de spreiding. De schaal van de gesloten vragen is van 1 tot 5. Voor het onderzoeken van de motivatie op de verschillende onderdelen worden voornamelijk het gemiddelde en de spreiding gebruikt. We stellen voor de verwachtingen de norm: ≥ 3 = volledig vervuld, 2.5-3 = deels vervuld, <2.5 = niet vervuld.

De open vragen worden zoveel mogelijk gerubriceerd om een kwantitatief beeld van de motivatie op de verschillende onderdelen te verkrijgen. De antwoorden op de open vragen zullen, waar mogelijk, worden vergeleken met de kwantitatieve resultaten van de interviews.

Hoofdstuk 4:

Resultaten focuspunt 1: In welke mate heeft er tijdens de cursus begripsvorming plaatsgevonden en zijn vaardigheden verworven?

In dit hoofdstuk zal beschreven worden in hoeverre de studenten meer kennis krijgen over de kernbegrippen tijdens de cursus. Ook wordt er beschreven welke vaardigheden de studenten verkrijgen. Aan de begripsvorming en vaardigheden zijn onderdelen gekoppeld. De resultaten van de onderdelen zijn per college uitgewerkt.

Het hoofdstuk begint met een korte herhaling van de gebruikte methodes (4.1). Vervolgens worden de globale verwachtingen (4.2) beschreven. De resultaten worden tenslotte per college beschreven.

4.1 Methodes:

Voor de beantwoording van dit focuspunt is er gebruik gemaakt van de volgende methodes:

- observatie lessen
- analyse schriftjes
- analyse schrijfp opdrachten

Een uitgebreide beschrijving van de methodes en data-analyse is te lezen in het hoofdstuk *Methodes en data-analyse*.

Verwijzingen: De gebruikte citaten hebben als referentie: ^{1,2}, en ³. Hierbij verwijst ¹ naar het schriftje. ² en ³ verwijzen naar uitspraken tijdens de colleges van respectievelijk de y en x stroom.

4.2 Globale verwachtingen:

De verwachting is dat de studenten een beter begrip over warmte, arbeid, energie en exergie zullen ontwikkelen. Deze verwachting is vooral gebaseerd op de ervaring dat deze historische aanpak van lesgeven al eerder effectief heeft gewerkt op middelbare scholen. Doordat de studenten veelvuldig worden gestimuleerd om zich schriftelijk en mondeling uit te drukken over warmte en arbeid wordt ook op dit gebied vooruitgang verwacht. Er valt echter ook te verwachten dat er misconcepties over de voorgenoemde kernbegrippen heersen onder de studenten. Deze misconcepties kunnen erg hardnekkig zijn en dus ook na afloop van de cursus nog aanwezig zullen zijn.

4.3 Eerste college

Stand van zaken met betrekking tot...

...begripsvorming

- Definitie van eenheid van warmte kennen
- Definitie van temperatuur kennen op macroniveau
- Adequaat begrip van arbeid
- Adequaat begrip warmte behoud
- Adequaat begrip soortelijke warmte
- Adequaat begrip latente warmte

...vaardigheden

- Onderscheid tussen dagelijks én wetenschappelijk begrip van energie
- Het woord energie in uitleg vermijden
- Een warmtebehoud experiment op kunnen zetten
- Berekenen van soortelijke warmte
- Experimentele aanpak wetenschappelijk noteren
- Bondige reflectie kunnen schrijven

Resultaten per onderdeel

Onderscheid tussen dagelijks én wetenschappelijk begrip van energie

Aan het begin van het college werd de studenten gevraagd om zinnen op te schrijven met het woord energie erin.

Typerende zin van dagelijks gebruik van energie: *"Ik heb er geen energie meer voor."*¹
*"studeren kost energie."*²

Typerende zin van wetenschappelijk gebruik van energie: *"Energie gaat nooit verloren."*¹
*"Er komt energie vrij bij die reactie."*¹

De zinnen gaven de bevestiging dat de studenten het begrip energie in een zowel wetenschappelijke als een dagelijkse context gebruiken. Hierbij werd geobserveerd dat de studenten lacherig deden over het dagelijks begrip van energie.

*"Tijdens het sporten verdwijnt energie, maar dat klopt natuurlijk niet helemaal."*²

Hiermee bevestigden ze de verwachting dat studenten denken dat er maar één juist gebruik van energie: het wetenschappelijke. Of er echt één juist gebruik van energie is kan bediscussieerd worden, maar belangrijker is dat - uit bovenstaand citaat - blijkt dat de studenten onderscheid maken tussen het wetenschappelijk en het dagelijks begrip van energie.

Hiermee is deze vaardigheid **volledig** verworven.

Het woord energie vermijden in uitleg

Aan het begin van het college is afgesproken om het woord energie voorlopig niet meer te gebruiken. De studenten moeten zich immers verplaatsen in een tijd dat het wetenschappelijk begrip energie nog niet bestond. Het gebruik van het woord energie zou dus verwarring kunnen

veroorzaken. Na de afspraak het woord energie niet meer te gebruiken, werd het slechts één maal door een student in een uitleg gebruikt:

“Koper heeft minder energie ehm warmte nodig om op te warmen.”²

Deze student wist zichzelf nog te corrigeren. Aangezien er verder geen energie in de uitleg gebruikt is, is deze vaardigheid **volledig** verworven.

Adequaat begrip van werking pomp

Tijdens het college hebben de studenten antwoorden gegeven op vragen, die betrekking hadden tot het begrip arbeid. Hierbij is gekeken of de antwoorden een adequaat begrip van arbeid weergaven.

Typerende zin van adequaat begrip van werking pomp: *“Dan wordt de luchtdruk van de onderkant te laag om de kolom omhoog te houden.”²*

Typerende zinnen van inadequaat begrip van arbeid: *“Door het gewicht van het emmertje dat zwaarder is dan de druk in de cilinder, hierdoor wordt stoom eruit geperst.”¹*
“Hoe kun je anders olie van heel diep pompen?”³

In de eerste inadequate zin worden appels met peren (gewicht met druk) vergeleken. In de tweede inadequate zin impliceert de student dat er geen beperking is aan de diepte tot waar je kunt pompen, omdat dit in tegenspraak is met zijn/haar idee dat je olie uit grote dieptes kunt pompen volgens hetzelfde principe.

Dat er meer arbeid nodig is naar mate je dieper pompt hadden de studenten wel in de gaten. Dat er echter beperkingen zijn aan de diepte tot waar je kunt pompen was echter niet voor elke student vanzelfsprekend. In beide studentengroepen was er slechts één student die meteen de maximale diepte en de reden hiervoor kon noemen. Daarom heeft het adequate begrip van de werking van de pomp tijdens dit onderdeel **niet** plaatsgevonden.

Definitie van eenheid van warmte kennen

Warmte en warmtebehoud waren de belangrijkste begrippen van het eerste college. Wisten de studenten echter wel wat warmte is? De studenten begrepen waarom warmtebehoud nodig is voor het definiëren van een eenheid ervoor:

“Je kunt niet één eenheid definiëren wanneer er steeds bij komt of af gaat.”²

Toen de studenten echter werd gevraagd hoe ze de eenheid van warmte zouden definiëren waren dit typerende antwoorden:

“Ik heb buiten het gas en de vloeistof ook de tijd meegerekend.”³

Hiermee geeft de student aan dat je voor het definiëren van de eenheid van warmte niet alleen de hoeveelheid gas en vloeistof je hebt verwarmd, maar ook de verwarmingstijd moeten worden meegenomen.

“Je definieert een eenheid, maar de eenheid is toch gedefinieerd met hoeveel gas je gebruikt hebt?”³

De studenten gebruiken meer grootheden dan nodig is om de eenheid van warmte definiëren. Slechts enkelen wisten het wel goed uit te leggen:

“Het maakt niet uit of je gas of kool gebruikt. Je gebruikt 1 warmte als je 1 liter 1 graad laat stijgen.”²

Hieruit kan geconcludeerd worden dat er voor dit onderdeel begripsvorming **niet** heeft plaatsgevonden.

Definitie van temperatuur kennen op macroniveau

Rupert Genseberger vroeg de studenten wat temperatuur eigenlijk is. Dit is een typerend antwoord:

“ehm als de deeltjes sneller gaan bewegen.”²

“maat voor hoe snel de moleculen bewegen.”³

De studenten denken vooral in termen van deeltjes. Op microniveau dus. Dit is wat ze bij fysische chemie van het begin af aan geleerd wordt. Begripsvorming van temperatuur op macroniveau heeft tijdens dit onderdeel dus **niet** plaatsgevonden.

Een warmtebehoud experiment kunnen opzetten

Veel studenten kozen een geheel andere aanpak dan was getoond tijdens de demonstratie. Het hete water werd bij het koude water gegooid in plaats van andersom, er werd lang gewacht met het meten van de temperatuur, etc.

Ook bij het tweede experiment was de aanpak van de studenten erg divers. Sommigen volgden de manier van de demonstratie: Ze warmden het metaal met water op en deden het vervolgens in koud water. Anderen dachten dat het nauwkeuriger was om metaal van kamertemperatuur in heet water te doen. Weer anderen kozen ijs om het metaal te koelen. Welke aanpak de studenten ook hanteerden ze kwamen uiteindelijk allemaal binnen de gewenste tijd op het juiste resultaat.

Uit de observaties van de warmte experimenten kan geconcludeerd worden dat de studenten een warmte-experiment op kunnen zetten. Deze vaardigheid is dus **volledig** verworven.

Berekenen van soortelijke warmte

Tijdens het experimentele werk van de studenten, werd geobserveerd dat een deel van de studenten moeite had met het opstellen van een formule om de soortelijke warmte te berekenen. Dit kwam

later ook terug in de nabespreking. Enkele groepjes zaten een factor 5 of zelfs 10 naast de theoretische soortelijke warmte. Deze fout was te groot om door experimentele fouten verklaard te worden. Studenten zijn erg goed in het gebruiken van formules, maar het zelf opstellen van formules is voor velen een grote opgave.

Omdat enkele groepjes de soortelijke warmte niet hebben kunnen berekenen, is deze vaardigheid **deels** verworven

Adequaat begrip van latente warmte

Tijdens het college werd het volgende aan de studenten gevraagd. Waarom stijgt smeltend ijswater niet in temperatuur? De volgende verklaringen waren typerend.

Meer energie nodig:

S: *"Bij de faseovergang is er meer ENERGIE nodig eh warmte."*²

R: *"Waar is die dan gebleven?"*²

S: *"Die is gebruikt om het ijs in water te veranderen."*²

Bovenstaande verklaring is de juiste verklaring.

Afname van massa:

*"De massa van het ijs neemt af."*²

Bovenstaande verklaring geeft duidelijk aan dat de voorkennis niet optimaal is.

Andere soortelijke warmte:

S1: *"Ijs heeft een andere soortelijke warmte dan water."*²

S1: *"Of de soortelijke warmte moet oneindig hoog zijn."*²

Dat ijs een andere soortelijke warmte heeft dan water heeft de student juist opgemerkt, maar dat is niet de verklaring voor het 'verdwijnen' van warmte. Bovenstaande verklaringen houden geen rekening met de faseovergang zelf.

Aangezien 2/5 deel van de verklaringen niet juist was, kan worden geconcludeerd dat het begripsvorming over latente warmte **deels** plaatsgevonden heeft.

Experimentele aanpak wetenschappelijk kunnen noteren

De studenten werd gevraagd een experimentele aanpak op te schrijven om de latente warmte te meten bij smeltend ijs.

Een typerende aanpak was:

*"Meet hoeveel warmte een bepaalde hoeveelheid ijs nodig heeft, totdat een temperatuurstijging zichtbaar is. En dit is dan de hoeveelheid [latente warmte]"*¹

Een andere aanpak liet zien dat er nog steeds onduidelijkheid was over de eenheid van warmte:

“Neem een bepaalde hoeveelheid ijs (die massa moet bekend zijn). En kijk hoeveel warmte (weeg de verbruikte brandstof) er nodig is om het te laten smelten. Zo kan je berekenen hoeveel warmte er per gram nodig is.”¹

In bovenstaande aanpak wordt de hoeveelheid warmte aan de hand van de hoeveelheid brandstof gedefinieerd, terwijl eerder in het college al is besproken dat niet juist is.

Twee maal was een aanpak meer gedetailleerd. Een voorbeeld:

“Bepaal de massa van een hoeveelheid ijs en breng het ijs over in een bekeerglas. Zet dit bekeerglas direct in een groter bekeerglas gevuld met een even grote hoeveelheid water. Dit grote bekeerglas is natuurlijk goed geïsoleerd. Van zowel het water als het ijs wordt de temperatuur gemeten. Zodra het ijs is gesmolten wordt de temperatuur van het warme water afgelezen. De smeltwarmte is dan te berekenen.”¹

Op twee studenten na, hadden de studenten een erg globale, vage aanpak opgeschreven. Deze vaardigheid is dus **niet** verworven.

Adequaat begrip van warmtebehoud

De studenten hebben in dit college laten zien dat ze goed een warmte-experiment uit kunnen voeren en dat het rekenen met soortelijke warmte voldoende is. Het begrip over de eenheid van warmte en latente warmte is echter onvoldoende. Daarom kan gesteld worden dat begripsvorming voor dit onderdeel **deels** heeft plaatsgevonden.

Bondige reflectie kunnen schrijven

Er is geteld hoeveel studenten een reflectie hebben geschreven. De reflectievraag was hierbij: “heb ik een verandering in denken over warmte meegemaakt?” De reflecties zijn vervolgens inhoudelijk bestudeerd.

De helft van de studenten heeft daadwerkelijk een reflectie geschreven. De meeste uitwerkingen bestonden uit een of twee zinnen. De helft gaf aan geen (bewuste) verandering in denken over warmte te hebben doorgemaakt. De andere helft, die wel een verandering in denken had doorgemaakt, gaf aan vooral meer begrip over de context te hebben verkregen.

Typerende antwoorden:

“Ik kijk nu anders tegen het begrip warmte aan. Het is voor ons logisch dat het er is, maar nu hebben we kunnen zien hoe warmte precies ontstaan is en welke experimenten er voor gebruikt zijn om het aan te tonen. Dat is leuk om te weten.”¹

“Ontwikkeling stoommachine gebeurt in mijnen, i.p.v. de meer voor de hand liggende optie: ontwikkeling in fabrieken.”¹

De reflecties waren vermoedelijk vrij kort vanwege de aversie tegen het schriftje onder de studenten. Daarbij was er ook geen beoordeling of feedback aan de reflectie verbonden.

Aangezien de helft van de studenten een reflectie geschreven heeft en de meeste reflectie matig uitgewerkt waren, is deze vaardigheid **niet** verworven.

Tabel 4.1: Samenvatting resultaten op gebied van begripsvorming 1^e college

In welke mate heeft begripsvorming plaatsgevonden per procesmoment?		Niet plaatsgevonden	Deels plaatsgevonden	Volledig plaatsgevonden
Procesmoment	begrip			
Eerste college	Het woord energie vermijden in uitleg			X
	Adequaat begrip van werking pomp	x		
	Definitie van eenheid van warmte kennen	x		
	Definitie van temperatuur kennen op macroniveau	x		
	Adequaat begrip van latente warmte		x	
	Adequaat begrip van warmtebehoud		x	

Tabel 4.2: Samenvatting resultaten op gebied van vaardigheden 1^e college

In welke mate zijn vaardigheden verworven per procesmoment?		Niet verworven	Deels verworven	Volledig verworven
Procesmoment	vaardigheid			
Eerste college	Onderscheid tussen dagelijkse én wetenschappelijk begrip van energie			X
	Het woord energie vermijden in uitleg			x
	Een warmte experiment kunnen opzetten			x
	Berekenen van soortelijke warmte		x	
	Experimentele aanpak wetenschappelijk kunnen formuleren	x		
	Bondige reflectie kunnen schrijven	x		

4.4 Tweede college

Stand van zaken met betrekking tot...

...begripsvorming

- Adequaat begrip van arbeid
- Adequaat begrip van efficiëntie
- Restricties van warmtebehoud kennen
- Restricties van behoud van *vis viva* kennen
- Definitie van energie kennen

- onderscheid kunnen maken tussen *vis viva* en warmte

...vaardigheden

- Definitie van energie kunnen formuleren

Resultaten per onderdeel

Adequaat begrip van arbeid

Tijdens het college is geobserveerd hoe de studenten zich mondeling en schriftelijk uitdrukken in termen van arbeid. Toen de studenten werd gevraagd het verschil uit te leggen tussen een onder- en een bovenslag watermolen kwamen er zowel mondeling als schriftelijk misconcepties en slechte formuleringen aan de orde. Zo werd het begrip arbeid door een student in zijn/haar schriftje foutief vergeleken met stroomsnelheid.

“Doordat de onderslag molen alleen van de stroom gebruik maakt en beneden aangekomen kan minder arbeid leveren dan op zijn oorspronkelijke plek. Snelheid water kan niet helemaal omgezet worden in Arbeid.”¹

Nog een typerende misconceptie:

“Vermogen laag, kan niet efficiënt genoeg gebruikt worden.”¹

Hierbij realiseert de student zich niet dat een lage efficiëntie niet persé gerelateerd is aan een laag vermogen.

Wat opviel was dat de studenten die het begrip arbeid letterlijk in hun uitleg gebruikten wel het goede antwoord hadden op de vraag: wat betekent een efficiëntie van 4/27?:

“Kost 27 arbeid om watermolen te laten werken, maar wordt maar 4 arbeid benut.”¹

Meer dan de helft wist wel goed in hun schrift te formuleren hoe je de *vis viva* op een watermolen kunt berekenen. Een typerend voorbeeld:

“De vis viva van het rad meet je door het gewicht maal de afstand te doen.”¹

Meer dan de helft van de studenten lijkt op dit moment een goed begrip van arbeid te hebben. Er zijn echter ook enkele slechte formuleringen en misconcepties gesignaleerd. Daarom heeft begripsvorming op dit gebied **deels** plaatsgevonden.

Adequaat begrip van efficiëntie

Tijdens het college is geobserveerd hoe de studenten zich uitdrukken met betrekking tot efficiëntie. Ook zijn de formuleringen in hun schriftjes geanalyseerd.

Een veel voorkomende fout is dat verschillende grootheden met elkaar vergeleken worden. Hieronder staat een typerend voorbeeld. Een student geeft een verklaring waarom de onderslagwatermolen minder efficiënt is dan de bovenslagwatermolen:

“..omdat de zwaartekracht geen arbeid verricht.”¹

Ook legde een student een relatie tussen vermogen en efficiëntie:

“Vermogen laag, kan niet efficiënt genoeg gebruikt worden.”¹

Dit zijn voorbeelden dat de studenten onvoldoende begrip hebben van efficiëntie. Er zijn echter ook genoeg studenten die zich wel correct konden uitdrukken in termen van efficiëntie. Een typerend voorbeeld:

[vraag: wat betekent een efficiëntie van 4/27]

“het kost 27 arbeid om watermolen te laten werken. 4 daarvan wordt nuttig gebruikt.”¹

Begrip van efficiëntie heeft deels plaatsgevonden.

Restricties van warmtebehoud en behoud van vis viva kennen

Tijdens het college werd aan de studenten gevraagd of ze de restricties van warmtebehoud kennen. Een student zei:

“Bij het boren van een loop. Dan ontstaat er warmte.”³

In de andere groep werd er zonder aarzeling soortgelijke antwoorden gegeven. De antwoorden hadden allemaal de strekking van een reactie waarin warmte ontstond. In beide stromen werd echter latente of smeltwarmte ten onrechte als een restrictie van warmtebehoud genoemd. Het moge duidelijk zijn dat op dat moment nog niet iedereen een helder beeld had van de restricties van warmtebehoud.

Begripsvorming op dit gebied heeft daarom **deels** plaatsgevonden.

Onderscheid kunnen maken tussen vis viva en warmte

Ligt het voor de hand om warmte ook vis viva te noemen? Deze vraag leverde in de schriftjes van de studenten veel interessante antwoorden op. 11 van de 26 hebben in hun schriftje aangegeven dat ze het niet voor de hand liggend vinden. In de tabel hieronder zijn de verschillende argumenten hiervoor te lezen.

Tabel 4.3: Onderscheid tussen *vis viva* en warmte. Studenten hebben in hun schriftje aangeven of ze al dan niet vinden of *vis viva* en warmte hetzelfde zijn.

Voor de handliggend?	Argumentatie	Aantal	Voorbeeldcitaat
Nee	Verschillende grootheden	2	<i>“vis viva kan wel arbeid verrichten maar warmte niet. Verschillende grootheden.”¹</i>
	Kan niet bewezen worden	2	<i>“Er is nog geen bewijs. Samen zijn ze wel behouden.”¹</i>
	Andere historische oorsprong	2	<i>“Je kan zeggen dat warmte vis viva is, maar strikt genomen niet als je vis viva als levenskracht blijft zien.”¹</i>
	Niet uitwisselbare vormen van hetzelfde begrip	5	<i>“Nee, het zijn 2 verschillende uitingen van hetzelfde begrip, maar ze zijn zo verschillend dat je de namen niet mag uitwisselen.”¹</i>
Ja	Samen behouden	8	<i>“Ja, samen is de behoudswet dan compleet. Warmte kan niet omgezet worden in vis viva, maar andersom wel.”¹</i>
	Aan de hand van voorbeeld: stoommachine	2	<i>“Ja, dat is mogelijk want warmte kun je weer omzetten in vis viva. Dat gebeurt is met een stoommachine.”¹</i>
	Subvormen	3	<i>“Ja, het is dezelfde soort als vis viva, want het kan in elkaar worden omgezet. Het zijn een soort subvormen van elkaar.”¹</i>
	Vallen beiden onder overkoepelende term	2	<i>“ik vind het wel logisch maar ik zou persoonlijk een overkoepelende term gebruiken. Ik zal het woord maar niet zeggen.”²</i>

Een meerderheid van de studenten geeft aan dat het wel voor de hand liggend is om warmte ook *vis viva* te noemen. Vanuit de Eerste Hoofdwet geredeneerd is dat ook juist. Dat vanuit de Tweede Hoofdwet niet juist is, is voor dit onderdeel niet belangrijk. We redeneren immers vanuit het perspectief van onze voorouders die noch van de Eerste noch van de Tweede Hoofdwet wisten.

Belangrijker **dan** of de studenten echt gelijk hebben, is vooral de kwaliteit van de redenering. De argumenten voor en tegen zijn voornamelijk van goede kwaliteit. Deze vaardigheid is **volledig** verworven.

Definitie van energie kunnen formuleren

15 studenten hebben aan het einde van het college een definitie van energie in hun schriftje genoteerd. Hun antwoorden zijn in categorieën op te delen. Deze categorieën zijn te vinden in tabel 4.4.

Tabel 4.4: Antwoorden op “Wat is definitie van energie?”

Categorie	Aantal	Voorbeeld citaat
Iets wat behouden blijft	5	<i>“Is iets wat behouden blijft, rekenkundig.”¹</i>
Vermogen om arbeid te leveren	3	<i>“Energie is datgene dat het mogelijk maakt arbeid te verrichten.”¹</i>
Een verzamelnaam/ som van vis viva en warmte	3	<i>“energie is de verzamelnaam van ‘vis viva’ en warmte, omdat ze allebei wel in elkaar omgezet kunnen worden maar toch niet hetzelfde blijken te zijn.”¹</i>
Waarde/ maat	2	<i>“Energie is de waarde die gegevens aan het ‘iets’ wat arbeid verricht en warmte veroorzaakt.”¹</i>
Gebaseerd op definities	1	<i>“nu wel, het is eigenlijk puur gebaseerd op aannames en de definities daarvan. Zo is nu duidelijke waar de joule vandaan komt.”¹</i>
Rekenkundig getal	1	<i>het is een rekenkundig getal om warmte en arbeid mee uit te kunnen rekenen.”¹</i>

In tabel 4.4 is te lezen dat de studenten verschillende aspecten noemen van energie. De formuleringen zijn vaak correct, maar dekken slechts een deel van de lading. Begripsvorming op dit gebied heeft tijdens het tweede college daarom **deels** plaatsgevonden.

Tabel 4.5: Samenvatting resultaten op gebied van begripsvorming 2^e college

In welke mate heeft begripsvorming plaatsgevonden per procesmoment?		Niet plaatsgevonden	Deels plaatsgevonden	Volledig plaatsgevonden
Procesmoment	begrip			
Tweede college	Adequaat begrip van arbeid		x	
	Adequaat begrip van efficiëntie		x	
	Restricties van warmtebehoud kennen		x	
	Restricties van behoud van vis viva kennen		x	

	Onderscheid kunnen maken tussen <i>vis viva</i> en warmte			x
--	---	--	--	---

Tabel 4.6: Samenvatting resultaten op gebied van vaardigheden 2^e college

In welke mate zijn vaardigheden verworven per procesmoment?		Niet verworven	Deels verworven	Volledig verworven
Procesmoment	vaardigheid			
Tweede college	Definitie van energie kunnen formuleren		x	

4.5 Derde college

Stand van zaken met betrekking tot...

...begripsvorming

- Adequaat begrip van energie
- Adequaat begrip van efficiëntie

resultaten per onderdeel

Adequaat begrip van energie

Of de studenten een adequaat begrip van energie hebben, is afgeleid van de manier waarop ze over energie praten tijdens het college. Zo zijn er vragen gesteld over het verband tussen energie en de Eerste Hoofdwet. Dit was een typerend gesprek:

R: *“Wat heeft dit [NB: Eerste Hoofdwet] te maken met de eerste hoofdwet van de thermodynamica?”³*

S: *“...[stilte]”³*

R: *“Wat is de eerste hoofdwet van de thermodynamica?”³*

S: *“Energie in een gesloten systeem blijft behouden?”³*

R: *“Dus wat heeft het te maken met elkaar?”³*

S: *“Het is de eerste hoofdwet.”³*

De studenten is ook gevraagd wat er eerder was: de term energie of de behoudswet hiervan. Dit was een typisch antwoord:

“Eerst behoud van warmte. Toen behoud van vis viva. Vervolgens werden beiden aan elkaar gelinkt en toen was dat samen energie genoemd.”²

De studenten laten hiermee zien hoe de ontwikkeling van de begripsvorming is verlopen en dat ze op dit moment meer inzicht in het begrip energie hebben. Begripsvorming op dit onderdeel heeft daarmee **volledig** plaatsgevonden.

Adequaat begrip van efficiëntie

Tijdens het college zijn vragen gesteld met betrekking tot efficiëntie. Dit is typerend voorbeeld van een vraag-antwoord gesprek.

R: *“Wat moest Watt doen om de stoommachine te verbeteren?”³*

S: *“groter verschil tussen de temperaturen in de cilinders.”³*

R: *“warmste of koudste temperatuur veranderen?”³*

S: *“hoogste.”³*

Uit de observaties is gebleken dat de studenten tijdens dit college meer begrip hebben over efficiëntie. Ze begrijpen efficiëntie niet alleen aan de hand van energie, maar ook aan de hand van arbeid. Begripsvorming heeft daarom **volledig** plaatsgevonden

Tabel 4.7: Samenvatting resultaten op gebied van begripsvorming 3^e college

In welke mate heeft begripsvorming plaatsgevonden per procesmoment?		Niet plaatsgevonden	Deels plaatsgevonden	Volledig plaatsgevonden
Procesmoment	begrip			
Derde college	Adequaaf begrip van energie			x
	Adequaaf begrip van efficiëntie			x

4.6 eerste schrijfpdracht: recensie over lesboek

Stand van zaken met betrekking tot...

...begripsvorming

- adequaat begrip van energie

...vaardigheden

- een tekstboek kritisch lezen
- degelijke lay-out
- degelijke inleiding

- degelijke argumentatie
- heldere conclusie
- adequate schrijfstijl
- adequate link naar colleges
- adequaat citaatgebruik
- schrijven van inhoudelijke recensie over lesboek

Tabel 4.8: statistieken beoordeling eerste schrijfpdracht. In deze tabel is te zien hoe de 20 groepjes van studenten op de verschillende criteria hebben gescoord. Ook is te zien dat niet alle criteria even zwaar mee wegen. De argumentatie (H1 en H2) en de conclusie zijn de belangrijkste onderdelen en wegen dus het zwaarst mee. Zij zijn goed voor de helft van de te halen punten. De argumentatie van het tweede hoofdstuk weegt het zwaarst mee, omdat er in het tweede hoofdstuk meer te bespreken en te bekritisieren was op het gebied van energie-introductie.

Criteria (max score)	Score			Gemiddelde	Standaarddeviatie
	Onvoldoende < 60%	Voldoende 60-80%	Goed > 80%		
Lay-out (duidelijke titel, uitvullen tekst, namen, etc) (5)	1	0	19	4,4	0,8
Opbouw (10)	3	0	17	8,9	2,1
Inleiding (10)	6	0	14	7,5	3,4
H1 (argumentatie) (15)	5	9	6	9,6	4,8
H2 (argumentatie) (20)	10	9	1	12,4	3,2
Conclusie (15)	5	10	5	9,6	3,5
Schrijfstijl (10)	3	2	15	8	1,7
Gebruik van citaten (10)	7	0	13	6,8	3,7
Link naar colleges (5)	9	6	5	2,2	2,1
Totaal (100)	2	16	2	69,3	9,3

Resultaten per onderdeel

Degelijke lay-out

Het lag in de lijn der verwachtingen dat de studenten al vertrouwd waren met de lay-out van een wetenschappelijk artikel. Toch waren er veel studenten die bijvoorbeeld hun naam er met pen of potlood op het laatste moment even bijgeschreven hadden. Ook het uitvullen van de tekst was bij velen niet gedaan.

Er is vrij coulant nagekeken op het gebied van lay-out. Dit verklaart waarom er toch gemiddeld een 4,4 op 5 gehaald is, zoals is te zien in tabel 1. De minpunten zijn voornamelijk gegeven voor het ontbreken of onjuist voorzien van naam en studentnummer.

Vaardigheid voor dit onderdeel is **volledig** verworven

Degelijke opbouw

Voor dit onderdeel werd er vooral gekeken naar algemene opbouw. Heeft de tekst een inleiding, kern en slot? Is de tekst opgebouwd uit duidelijk te onderscheiden alinea's? Met een gemiddelde van 8,9 op 10 is er op dit onderdeel goed gescoord. Drie groepjes hebben de helft van de punten gehaald, omdat de inleiding en/of conclusie volledig ontbrak.

Vaardigheid voor dit onderdeel is **volledig** verworven

Degelijke inleiding

De inleiding diende een duidelijke introductie te zijn van de tekst en de opdracht. De meeste studenten hadden dit goed gedaan (gemiddeld 7,5 op 10), maar er waren twee teksten waarbij een inleiding volledig ontbrak en vier teksten die een matige introductie hadden. Hierdoor hebben 6 groepjes een onvoldoende voor dit onderdeel gehaald.

Vaardigheid voor dit onderdeel is **volledig** verworven.

Degelijke argumentatie+adequaat begrip van energie

Voor dit onderdeel werd er voornamelijk beoordeeld op de kwaliteit van argumentatie bij hoofdstuk 1 en 2. De studenten hebben gemiddeld 9,6 op 15 gescoord voor het eerste hoofdstuk. Vijf groepjes hebben een onvoldoende gehaald, 9 groepjes hadden dit onderdeel voldoende tot ruim voldoende gemaakt. Minpunten zijn vooral gegeven omdat het eerste hoofdstuk niet of te summier behandeld werd. Ook zijn er minpunten gegeven voor slechte argumentatie. Een typerend voorbeeld:

“Vis viva en warmte zijn niet in elkaar omkeerbaar, want door vermindering van vis viva ontstaat er warmte.”⁴

In bovenstaand citaat spreekt de student zichzelf tegen.

Een andere student stelt *“Het feit dat Ball energie niet echt definieert is misschien wat nalatig.”⁴* Buiten de slechte formulering van deze zin, wordt er door deze student ‘niet echt’ (lees: echt niet) beargumenteerd waarom Ball energie niet definieert.

De studenten hebben voor het tweede hoofdstuk gemiddeld 12,4 op 20 gescoord. Een schrikbarend aantal heeft onvoldoende gescoord voor dit onderdeel: 10 van de 20.

Het viel op dat veel teksten misconcepties bevatten over het begrip warmte, arbeid of energie. Slechts 8 teksten bevatten geen misconcepties over de hiervoor genoemde kernbegrippen.

Een typerende misconceptie:

“Tevens manifesteert energie zich op verschillende manieren.”⁴

In het voorgaande college is benadrukt dat energie moet worden gezien als een abstract begrip wat niet waarneembaar is. Het kan zich dus niet ‘manifesteren’.

Een andere misconceptie:

“Er wordt uitgelegd dat temperatuur een maatstaf is voor hoeveelheid kinetische energie deeltjes er in een systeem zitten.”⁴

In bovenstaand citaat wordt gesuggereerd dat energie een vorm heeft: ‘deeltjes’.

Er waren ook studenten die het geleerde duidelijk lieten terugkomen in hun recensie. Een typerend voorbeeld:

“Er wordt echter niet verteld dat energie niet meetbaar en tastbaar is.”⁴

De schrijver geeft hiermee terecht mee aan dat hij/zij dit essentieel vindt voor de definitie van energie.

Vaardigheid voor argumenteren is gebaseerd op de scores van H1 en H2 **deels** verworven.

Schrijven van heldere conclusie

De tekst diende een heldere conclusie te bevatten. Deze conclusie moest aansluiten op de behandelde argumenten in het kerndeel. De studenten hebben voor dit onderdeel gemiddeld een 9,6 op 15 gescoord. Een kwart heeft een onvoldoende gehaald voor dit onderdeel. Minpunten zijn voornamelijk gegeven omdat de conclusies erg summier waren of niet goed aansloten op het kerndeel. Zoals is te zien in tabel 2 zijn de meeste groepjes tot de conclusie gekomen dat Ball het begrip energie niet (10) of matig (7) definieert.

Vaardigheid voor conclusies schrijven is **deels** verworven.

Adequate schrijfstijl

De studenten werden voor dit onderdeel beoordeeld op grammatica, spelling en zinsstijl. Zoals in tabel 1 is te zien, hebben de studenten gemiddeld 8 op 10 gescoord. Dit lijkt een aardige score, maar slechts de helft van de studenten hebben het volledige punten aantal gekregen. Een kwart van de studenten heeft slechts de helft van de punten behaald en had dus een matige schrijfstijl en spelling.

Vaardigheid voor dit onderdeel is **volledig** verworven.

Adequaat gebruik van citaten

De beoordeling voor dit onderdeel was gebaseerd op het voldoende en juiste gebruik van citaten. De studenten hebben tijdens het college een duidelijke instructie gekregen met voorbeelden van juist citaatgebruik. Er echter waren meerdere studenten die het citaat niet in *Italic* zetten, geen paginanummers bij het citaat zetten of andere vormfouten maakten.

Het gemiddelde van dit onderdeel is 6,8 op 10. Slechts een kwart van de studenten wist de citaten en juist te noteren én op de juiste manier te gebruiken. Vaardigheid voor dit onderdeel is daarom **niet** verworven.

Adequate link naar colleges

Voor dit onderdeel werd er vooral gekeken of er door de studenten een link werd gelegd tussen de stof die in het college besproken was en de introductie van het begrip energie door Ball. Dit criterium is vooraf niet expliciet vermeld aan de studenten.

De studenten hebben gemiddeld 2,2 op 5 gescoord. Op dit onderdeel is gemiddeld het laagst gescoord. Een groot deel van de studenten maakte niet expliciet gebruik van opgedane kennis over energie tijdens de cursus. Vaardigheid voor dit onderdeel is dus **niet** verworven tijdens de eerste schrijfpdracht.

Schrijven van inhoudelijke recensie over lesboek

De studenten hebben gemiddeld een score van 69 op 100 gehaald voor de schrijfpdracht. Deze vaardigheid is daarom **deels** verworven.

Tabel 4.9: Samenvatting resultaten op gebied van begripsvorming 1^e schrijfpdracht

In welke mate heeft de begripsvorming plaatsgevonden per procesmoment?		Niet plaatsgevonden	Deels plaatsgevonden	Volledig plaatsgevonden
Procesmoment	begrip			
Eerste schrijfpdracht	Adequaat begrip van energie		x	

Tabel 4.10: Samenvatting resultaten op gebied van vaardigheden 2^e schrijfpdracht

In welke mate zijn vaardigheden verworven per procesmoment?		Niet verworven	Deels verworven	Volledig verworven
Procesmoment	vaardigheid			
Eerste schrijfpdracht	Degelijke lay-out			x
	Degelijke opbouw			x
	Degelijke inleiding		x	
	Degelijke argumentatie		x	
	Schrijven van heldere conclusie		x	
	Adequaat citaatgebruik			
	Adequate schrijfstijl			x
	Adequaat citaatgebruik	x		
	Adequate link naar colleges	x		
	Schrijven van inhoudelijke recensie over lesboek			x

4.7 tweede schrijfopdracht: schrijven van een vervolghoofdstuk op de module Machines en Energie

Stand van zaken met betrekking tot...

...begripvorming

- adequaat begrip van energie
- adequaat begrip van exergie

...vaardigheden

- adequaat gebruik maken begrippen uit bundel
- adequaat introduceren nieuwe begrippen

- goede aansluiting op bundel maken
- een inhoudelijke opbouw maken die lezer leidt naar begrip onderwerp
- juist gebruik op goede plaats van vereiste begrippen. Juiste tekeningen, formules, citaten
- schrijven van inhoudelijk vervolghoofdstuk op de module

De tweede schrijfopdracht is op meerdere criteria beoordeeld. De criteria en de gehaalde scores zijn te zien in tabel 4.11 hieronder. De resultaten van de stand van zaken per onderdeel zullen aan de hand van de criteria toegelicht worden, vervolgens wordt het resultaat van de schrijfopdracht in zijn geheel toegelicht.

Tabel 4.11: statistieken tweede schrijfopdracht In deze tabel zijn de gehaalde scores op de verschillende criteria te zien die zijn behaald door de 19 groepjes studenten. Voor deze opdracht waren inhoudelijke kennis als het kunnen schrijven van wetenschappelijke tekst even belangrijk. Voor onderdeel A en B zijn daarom beide 5 punten te halen. Ook de onderliggende criteria waren even belangrijk en er zijn dus voor alle criteria 2,5 punt te halen.

Criteria	Score			Gemiddeld(max)	St.dev
	Aantal onvoldoende < 60%	Aantal voldoende 60-80%	Aantal goed > 80%		
A. Aansluiting op bundel					
a. Gebruik gemaakt van begrippen uit bundel, introductie nieuwe begrippen	7	6	6	1,5 (2,5)	0,7
b. Opbouw parallel aan andere hoofdstukken	0	5	14	2,0 (2,5)	0,3
A. Totaal aansluiting	2	11	6	3,5 (5,0)	0,8
B. Inhoudelijke kwaliteit werk					
a. Een inhoudelijke opbouw leidt lezer naar begrip onderwerp	3	7	9	1,7 (2,5)	0,5
b. Juist gebruik op goede plaats van vereiste begrippen. Juiste tekeningen, formules, citaten.	8	4	7	1,5 (2,5)	0,5
B. Totaal inhoud	5	8	6	3,3 (5,0)	0,8
Algeheel totaal	3	13	3	6,8 (10)	1,2

Resultaten per onderdeel

A.a. Gebruik kunnen maken van begrippen uit bundel + Adequaat introduceren van nieuwe begrippen

Er is gemiddeld een 1,5 op 2,5 gescoord. Minpunten zijn voornamelijk gegeven omdat de in de cursus behandelde begrippen bij een derde van de groepjes onvoldoende terug kwamen.

Niet alle studenten introduceren begrippen waar en wanneer dit gewenst is. Zo schrijft een groepje een hoofdstuk over een warmtepomp. Hierbij wordt de term COP (coëfficiënt of performance) aan het begin van het hoofdstuk veelvuldig gebruikt.

“Een elektrische warmtepomp duikt onder het energieverbruik van een gasgestookte HR-ketel (rendement 100 procent), als die een COP heeft van minimaal 2,5. Want 2,5 maal 40 procent (elektriciteitsrendement) is honderd procent.”⁵

Pas vele paragrafen verder wordt de term toegelicht. De term had dus of eerder toegelicht moeten worden of er had vermeld moeten worden dat de term pas later werd toegelicht. Nu is onduidelijk waarom bovenstaande berekening wordt gemaakt.

Deze vaardigheid is dus **deels** verworven.

A.b. Opbouw parallel aan andere hoofdstukken maken

Het tweede subonderdeel - opbouw parallel aan andere hoofdstukken - was een vrij eenvoudige. De studenten hadden een goed beeld van hoe de bundel er uit zag en het was te verwachten dat de aansluiting op de bundel eenvoudig te behalen was. Op dit subonderdeel is er dan ook de hoogste gemiddelde score gehaald: 2,0 op 2,5. Deze vaardigheid is dus **volledig** verworven.

A. totaal. Goede aansluiting op de bundel maken

Voor de totaalaansluiting van de teksten is er gemiddeld een 3,5 op 5 gescoord. Er zijn slechts twee groepjes die voor dit onderdeel een onvoldoende hebben behaald. Deze twee groepjes hebben overigens ook inhoudelijk een onvoldoende gehaald. Deze vaardigheid is **deels** verworven.

B.a. Een inhoudelijke opbouw kunnen maken die lezer leidt naar begrip onderwerp

Met een gemiddelde van 1,5 op 2,5 hebben de studenten op dit onderdeel voldoende gescoord. Minpunten zijn vooral gehaald voor een matige afsluiting van het hoofdstuk. Deze vaardigheid is dus **deels** verworven.

B.b Juist gebruik op goede plaats van begrippen, etc.

Dit onderdeel vormde de kern van de schrijfpodracht. In dit onderdeel is beoordeeld of de studenten de begrippen inhoudelijk begrepen en ze deze ook duidelijk konden uitleggen. Gemiddeld hebben de studenten een 1,5 op 2,5 gehaald, maar met 8 onvoldoendes is dit het laagst beoordeelde onderdeel. Een voorbeeld van verkeerd gebruik van begrippen is:

“De waterdamp condenseert en draagt daarbij veel warmte over (ong. 2258 kJ/kg). Hierdoor is er vervolgens minder verbrandingswarmte van het aardgas nodig om het water weer te verwarmen tot de temperatuur voor gebruik.”

De student spreekt hier over het verhoogde rendement van een HR. Hij heeft gelijk als hij bedoelt dat er minder warmte nodig is doordat de condensatie van waterdamp zorgt voor extra warmteafgifte. Hij spreekt echter over verbrandingswarmte. Verbrandingswarmte wordt uitgedrukt in J mol^{-1} en is voor elke stof een onveranderlijke waarde.

Een ander voorbeeld:

“Volledig thermodynamisch gezien zou het dan ook verkeerd zijn om te zeggen dat we een rendement van meer dan 100% behalen.”⁵

Wanneer je bovenstaand citaat leest is het lastig om te bepalen of de student de Tweede Hoofdwet niet begrijpt of dat hij/zij zich niet goed kan uitdrukken. Wanneer je denkt in subsystemen, is een exergetisch rendement van meer dan 100% mogelijk, maar voor een totaal systeem is dit natuurlijk niet mogelijk. De student geeft overigens ook niet duidelijk aan of het exergetisch of energetisch rendement wordt behandeld in deze paragraaf.

Doordat begrippen veelvuldig op de verkeerde plek en op de verkeerde manier werden gebruikt, is deze vaardigheid **niet** verworven.

Adequaat begrip van energie

Dit onderdeel is een subonderdeel van B.b. Criterium B.b is gemiddeld maar net voldoende gemaakt. De minpunten zijn vooral gegeven omdat het begrip exergie onvoldoende aan bod kwam. Dit zal in de volgende paragraaf besproken worden. Het begrip van energie bleek echter wel voldoende. Begrip van het energetisch rendement was bij bijna alle studenten aanwezig. De uitzondering zal in de volgende paragraaf besproken worden.

Begripvorming heeft **deels** plaatsgevonden.

Adequaat begrip van exergie

Dit onderdeel is ook een subonderdeel van criterium B.b. Exergie kwam in veel teksten onvoldoende aan bod. Hierbij moet aangetekend worden dat het begrip exergie nieuw was voor de studenten en tijdens het 3^e college slechts kort is geïntroduceerd. De studenten hebben moeite met het begrijpen

van exergetische efficiëntie (aan de hand van de tweede hoofdwet). Deze komt in hun werk niet of onjuist aan bod.

Een typerend voorbeeld: Een groepje studenten die hun hoofdstuk over een warmtepomp hebben geschreven reppen in hun hele tekst met geen enkel woord over het begrip exergie of de Tweede Hoofdwet, terwijl dit specifiek in de opdracht stond. Wel wijden deze studenten een paragraaf aan het 'Carnot-rendement'. Als deskundige kan ik dit koppelen aan het exergetisch rendement, maar de doelgroep zal dit verband niet leggen. De vraag is of de studenten zelf wel deze link hebben gelegd en het exergetisch rendement begrijpen.

Een ander voorbeeld uit een hoofdstuk over elektriciteitscentrales:

"Bij de oude manier van elektriciteit opwekken ging dit dus als volgt:

Fossiele brandstof wordt verbrand bij een temperatuur van bijvoorbeeld 1400 K. Als dit gas na het leveren van arbeid een temperatuur van 295 K (kamertemperatuur) heeft dan is het maximale rendement: $1 - (295/1400) = 0.79$. Dit wordt het rendement volgens de eerste hoofdwet genoemd waarbij er gekeken wordt naar de hoeveelheid energie die in theorie geleverd kan worden.

Maar met dat gas wordt water tot stoom verhit. Dus is het maximale rendement:

$1 - (295/373) = 0.21$ Dit wordt het rendement volgens de tweede hoofdwet genoemd waarbij er gekeken wordt naar de hoeveelheid arbeid die op deze manier geleverd kan worden. (...) Er is dus een rendementsverschil van 0.58! Dit noemen we exergie."

In bovenstaand voorbeeld gaan meerdere dingen fout. Ten eerste wordt het maximale exergetisch rendement verward met het 'rendement volgens de eerste hoofdwet'. Vervolgens wordt een tweede rendement gegeven. Dit is ook een theoretisch maximale exergetisch rendement. Het eerder berekende rendement zegt iets over hoeveel warmte je theoretisch bij de verbranding van aardgas in nuttige arbeid kunt omzetten. Het tweede berekende rendement zegt iets over hoeveel nuttige arbeid je uit diezelfde warmte kunt halen als je er eerst water mee gaat verwarmen. Het rendementsverschil tussen het eerste en tweede rendement wordt door schrijver exergie genoemd. Exergie is echter niet het verschil tussen een energetisch rendement en een exergetisch rendement. Het begrip van exergie is duidelijk nog niet adequaat bij deze studenten.

Daarom heeft begripsvorming **niet** plaatsgevonden voor dit onderdeel.

B. totaal. Schrijven van een inhoudelijk goed vervolghoofdstuk op de module

In tabel 4.11 is zien dat de studenten gemiddeld een 6.8 hebben gehaald voor de tweede schrijfofdracht. Op grond van de - in de tabel gegeven - criteria is deze vaardigheid **deels** verworven.

Tabel 4.12: Samenvatting resultaten op gebied van begripsvorming 2^e schrijfofdracht

In welke mate heeft begripsvorming plaatsgevonden per procesmoment?		Niet plaatsgevonden	Deels plaatsgevonden	Volledig plaatsgevonden
procesmoment	begrip			
Tweede schrijfofdracht	Adequaat begrip van energie		x	
	Adequaat begrip van exergie	x		

Tabel 4.13: Samenvatting resultaten op gebied van vaardigheden 2^e schrijfofdracht

In welke mate zijn vaardigheden verworven per procesmoment?		Niet verworven	Deels verworven	Volledig verworven
Procesmoment	vaardigheid			
Tweede schrijfofdracht	Gebruik kunnen maken van begrippen uit bundel		x	
	Adequaat introduceren van nieuwe begrippen		x	
	Opbouw parallel aan andere hoofdstukken maken			x
	Goede aansluiting op de bundel maken		x	
	Een inhoudelijke opbouw kunnen maken die de lezer leidt naar begrip onderwerp		x	
	Juist gebruik op goede plaats van begrippen	x		
	Schrijven van een inhoudelijk goed vervolghoofdstuk op de module			x

Hoofdstuk 5:

Resultaten focuspunt 2: In welke mate waren de studenten gemotiveerd tijdens de cursus?

In dit hoofdstuk wordt er beschreven hoe de studenten de cursus hebben beleefd. Wat vonden ze positief en wat hadden ze liever anders gezien? Allereerst wordt kort herhaald welke **methodes** gebruikt zijn om dit focuspunt te beantwoorden(5.1). Vervolgens worden de resultaten van de beleving van de studenten gegeven. Deze zijn onderverdeeld in drie categorieën: **algemeen beeld** (5.2), **aanpak** (5.3), **begeleiding** (5.4).

5.1 Methodes

Voor de beantwoording van dit focuspunt zijn de volgende methodes gebruikt:

- Observaties lessen
- Interview met studenten
- Online-enquête (5-puntsschaal, ≥ 3 = volledig vervuld, 2.5-3 = deels vervuld, < 2.5 = niet vervuld.)

Een uitvoerige beschrijving van de methodes en de data-analyse is te vinden in het hoofdstuk *methodes en data-analyse*.

Verwijzingen: De citaten uit de interviews hebben referenties als nx1 en nx3. De eerste letter staat voor de interviewer: (Anouk, Mark, Niek), de tweede letter staat voor de studentenstroom (x of y) en het cijfer (1 t/m 5) staat voor het nummer van het geïnterviewde groepje. De citaten zijn ook in de gehele interviews terug te vinden als bijlage 4.

De antwoorden op de open vragen van de online-enquête hebben verwijzingen als #12345. Deze vijf cijfers zijn door het verwerkingsprogramma automatisch gekozen om de antwoorden te anonimiseren. Elk student heeft een uniek nummer gekregen. Hierdoor is het te achterhalen welke antwoorden van dezelfde student komen. Het overzicht van alle antwoorden op de open vragen is terug te vinden in bijlage 5.

5.2 Algemeen beeld

Studenten beleven plezier aan de cursus

De studenten kregen in de internet enquête de volgende stelling voorgelegd:

Ik heb dit type onderwijs met plezier gevolgd.

Deze stelling scoorde gemiddeld een 2.4 (n=30, stddev=1.1). Dit beeld werd bevestigd door de observaties in de les en de antwoorden in de interviews. Deze verwachting is dus **niet** vervuld.

Cursus is interessant

De studenten kregen in de internet enquête de volgende stelling voorgelegd:

Door deze cursus is mijn interesse voor dit onderwerp toegenomen.

Deze stelling scoorde gemiddeld een 2.8 (n=30, stddev=1.0) Dit beeld werd bevestigd door observaties in de les en de antwoorden in de interviews. Deze verwachting is dus **deels** vervuld.

Cursus is uitdagend

De studenten kregen in de internet enquête de volgende stelling voorgelegd:

Ik voelde mij uitgedaagd.

Deze stelling scoorde gemiddeld een 2.3 (n=30, stddev=0.9). Dit beeld werd bevestigd door de observaties in de les en de antwoorden in de interviews. Deze verwachting is dus **niet** vervuld.

5.3 Aanpak

Practica zijn interessant

In de interviews werd de studenten gevraagd of ze de practica leuk vonden. De studenten vonden over het algemeen de practica leuk. De studenten waren vooral erg te spreken over de demopractica. Ze vonden het leuk om eens een echte stoommachine te zien. Het hielp hen om de theorie beter te begrijpen bleek uit het interview:

“Demo was interessant. Was goed om te zien hoe iets werkt en hoe dat bedacht is.”(nx1)

Deze verwachting is dus **volledig** vervuld.

Practica zijn uitdagend

In de interviews werd de studenten gevraagd of ze de practica uitdagend vonden. 11 van de 17 groepjes gaven tijdens het interview aan dat het niveau van de practica erg laag was. De studenten vonden vooral de eerste proef van een middelbare schoolniveau. 3 studenten hadden deze proef zelfs al gedaan op de middelbare school. Een groepje studenten gaf aan dat ze liever één grote proef hadden gedaan dan de twee korte. Deze verwachting is dus **niet** vervuld.

Hoorcolleges zijn interessant

Tijdens het interview werd de studenten gevraagd wat ze van de inhoud van het college vonden. Over de onderwerpen van het college waren de meningen verdeeld, bleek uit het interview. Sommige vonden de geschiedenis interessant, anderen gaven aan liever de kant en klare theorieën te leren. In de open vragen van de internet enquête kwam vier keer naar voren dat de studenten het

leren aan de hand van ontwikkelingen interessant vonden. Deze verwachting is daarom **deels** vervuld.

De colleges zijn uitdagend

Tijdens de interviews is de studenten gevraagd of de informatiedichtheid van de colleges hoog genoeg is. Enkele groepjes gaven aan het niveau en de informatiedichtheid van de colleges vrij laag was. De open vragen van de internet enquête zijn gerubriceerd. Hierin kwamen vergelijkbare termen als schools en laag niveau in 14 van de 30 antwoorden voor. Typerende antwoorden waren:

“Ik heb me flink geërgerd aan (...) de vwo-wijze waarop de stof werd benaderd.” (#45505)

“De benadering naar de studenten was anders dan gewend (bij onderdeel energie!). Deze vond ik erg schools, wat je op een universiteit niet verwacht. Ik denk dat hier verbeterpunten zitten, aangezien je met studenten te maken hebt die zelf voor deze studie gekozen hebben.” (#45310)

Bijna de helft (11/24) van de studenten gaf in de internet enquête aan dat ze de studielast lager vonden dan de bedoelde 21 uur per week. Hieruit kan geconcludeerd worden dat deze verwachting **niet** is vervuld.

“Ik vond de bedoeling van de schrijfpdracht behoorlijk vaag. Er wordt ons een 4vwo boekje opgelegd waarin 4 hoofdstukken omtrent energie en arbeid in staan. Vervolgens krijgen wij een opdracht om een 5e hoofdstuk te schrijven. Moet dit hoofdstuk dan congruent zijn met de rest van de hoofdstukken of moet het academisch niveau zijn van een wetenschappelijk artikel? Ik neem aan dat een deel van deze cursus is om ons te leren schrijven als een wetenschapper, maar dat gebeurt niet goed als het een schrijfpdracht is van het niveau lik-me-vestje.” (#45475)

De studenten vonden de verplichte aanwezigheid bij colleges en de termen ‘huiswerk’ en ‘schriftje’ erg kinderachtig. Ze vonden dat je op de universiteit zelf mag beslissen of je naar een hoorcollege gaat of niet. Dit kwam zowel tijdens een informele bespreking, als de internet-enquête (veertien maal), als in het interview (vijf maal) naar voren.

Schrijfpdrachten zijn interessant

In de internet enquête is specifiek gevraagd of de schrijfpdrachten interessant waren. Ook in de interviews is gevraagd of de studenten de schrijfpdrachten interessant waren en waarom. In de enquête stond de volgende stelling:

De schrijfpdrachten waren interessant

De studenten gaven gemiddeld een 2.3 (n=30, stddev=1.0). De studenten gaven aan ze de schrijfpdracht een goede werkvorm vonden, maar dat ze de eerste schrijfpdracht liever individueel hadden gedaan.

Over de tweede schrijfpdracht konden de studenten minder zeggen tijdens het interview. Ze hadden deze opdracht nog maar net gekregen. Wel waren ze goed te spreken over de onderwerpen. Het merendeel vond de onderwerpen leuk. Er werd door enkele studenten aangegeven dat er één onderwerp uitsprong qua actualiteit en interesse: 'Rijden op elektriciteit of brandstof'. Dit was ook al tijdens het verdelen van de onderwerpen overduidelijk. Elk groepje wilde graag dit onderwerp doen. De studenten gaven aan dat ze liever hadden gezien dat alle onderwerpen zo actueel en gericht op duurzaamheid waren. Enkele studenten hadden liever zelf een onderwerp gekozen voor hun tweede schrijfpdracht.

Tijdens het interview waren de studenten dus meer tevreden over de schrijfpdrachten. Deze verwachting is daarom **deels** vervuld.

Discussies waren verrijkend

In de internet enquête wordt er niet expliciet aandacht besteed aan de discussies. Wel komen ze aan bod in de overige opmerkingen. In de interviews werd er wel naar gevraagd.

Negen groepjes vonden de discussies te geforceerd of vonden het meer een vraag-antwoordgesprek. Een typerend voorbeeld:

"Het was meer vragen stellen dan discussiëren. Beter aan het eind van de colleges een echt goede discussie starten." (nx3)

Dit kwam ook in de internet-enquête drie maal naar voren.

"Doe volgend jaar maar gewoon een hoorcollege. Studenten stellen altijd wel vragen, wat aanleiding geeft tot (niet geplande) discussie (veel leuker & leerzamer dan geplande discussie in groepjes)." (#45377)

De studenten waren tijdens het interview weinig positief over de gevoerde discussies. De studenten gaven echter wel aan dat ze discussiëren een belangrijke academische vaardigheid vinden. Slechts één student zag het nut van het discussiëren niet in.

Deze verwachting is **niet** vervuld.

Het lesmateriaal is geschikt

Zowel in de internet enquête als de interviews wordt de studenten gevraagd een oordeel te geven over het lesmateriaal. In de internet enquête wordt de volgende stelling voorgelegd:

Studiehandleiding, dictaten, etc. waren geschikt.

De studenten gaven voor deze stelling gemiddeld een 2.6 (n=28, stddev=1.1). Een typerende opmerking was:

"Ik heb me flink geërgerd aan (...) de vwo-wijze waarop de stof werd benaderd." (#45505)

Een soortgelijke opmerking is zes maal gemaakt. In de interviews werd hetzelfde aangegeven. De stof werd volgens de studenten op een schoolse wijze behandeld in de bundel.

Deze verwachting is dus **niet** vervuld.

De studenten vinden werken met het schriftje prettig

Tijdens het college zijn de studenten om hun mening over de schriftjes gevraagd. In de internet enquête werd er niet expliciet aandacht besteed aan de schriftjes. Wel kwamen opmerkingen over de schriftjes terug in de overige opmerkingen. Dit waren typerende antwoorden:

“Schriftjes zijn niet besteed aan studenten.” (#45468)

“Het tweede deel van de cursus was erg kinderachtig opgezet. Er moest een schriftje bijgehouden worden en de aanwezigheid was verplicht. Ook vond ik de schrijfopdrachten niet goed genoeg uitgelegd/toegelicht. Dit vind ik niet passen bij het beeld van een universiteit, ik voelde me een middelbare scholier.” (#45334)

Tijdens een bespreking in een college kwam naar voren dat ze het schriftje een kinderachtig concept vonden, dat meer paste bij een middelbare school. Dit werd later bevestigd in de interviews.

Deze verwachting is dus **niet** vervuld.

5.4 Begeleiding

Colleges zijn goed begeleid

Zowel in de internet enquête als in het interview werd aan de studenten gevraagd wat ze van de begeleiding van de colleges vonden. In de internet enquête werden de volgende stellingen voorgelegd:

De docent legde helder uit

De studenten gaven gemiddeld een 3.2 (n=30, stddev=1.0). Bijna een derde van studenten gaf een waardering onder de 3.

De docent controleerde of de stof overkwam.

De studenten gaven gemiddeld een 3.3 (n=29, stddev=1.0).

Enkele studenten gaven in de interviews aan dat er te weinig werd samengevat. De meerderheid gaf echter tijdens de interviews te kennen dat ze de verhaallijn van het college erg duidelijk vonden.

Deze verwachting is dus **deels** vervuld.

Schrijfpodrachten zijn goed begeleid

Zowel in de internet enquête als in het interview werd aan de studenten gevraagd wat ze van de begeleiding van de schrijfpodrachten vonden. Bij de open vragen werd vijf maal aangegeven dat de schrijfpodracht niet duidelijk was uitgelegd. Dit was een typerend antwoord:

"...Ook vond ik de schrijfpodrachten niet goed genoeg uitgelegd/toegelicht." (#45334)

De studenten gaven gemiddeld een 2.5 (n=30, stdev=1.0). De studenten waren matig tevreden over de begeleiding van de schrijfpodrachten.

Ook in het interview kwam meerdere malen naar voren dat er wat aan de begeleiding van de eerste schrijfpodracht schortte. De studenten verweten de docenten dat er niet van te voren duidelijk was waar de eerste schrijfpodracht op beoordeeld zou worden.

Bij de uitreiking van de cijfers van de eerste schrijfpodracht heeft de onderzoeker de studenten mee gedeeld waar de eerste schrijfpodracht op beoordeeld werd. Dit leidde tot ongenoegen bij de studenten. Ze gaven hetzelfde aan wat later ook in het interview naar voren kwam. Ze hadden graag de beoordelingscriteria van de schrijfpodracht eerder willen vernemen.

Deze verwachting dus **niet** vervuld.

De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van warmte

De studenten werden tijdens het interview gevraagd of ze dachten dat ze een verandering in denken hadden doorgemaakt op het gebied van warmte. De helft van de groepjes gaf aan geen verandering in denken te hebben doorgemaakt. De helft die wel aangaf een verandering in denken te hebben doorgemaakt, gaf aan dat dit vooral op gebied van context en historie te hebben ervaren. Deze verwachting is daarom **niet** vervuld.

De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van vis viva/ arbeid

De studenten werden tijdens het interview gevraagd of ze dachten dat ze een verandering in denken hadden doorgemaakt op het gebied van arbeid. Driekwart van de groepjes gaf aan geen verandering in denken te hebben doorgemaakt op het gebied van arbeid. Daarmee is deze verwachting **niet** vervuld.

De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van exergie

De studenten werden tijdens het interview gevraagd of ze dachten dat ze een verandering in denken hadden doorgemaakt op het gebied van exergie. alle studenten gaven aan dat exergie een nieuw begrip voor hen was. Velen voegden hier aan toe dat ze het een lastig begrip vinden en het nog niet

helemaal onder de knie hebben. Dit inzicht geeft al aan dat ze er anders over denken. Daarom is deze verwachting **deels** vervuld.

De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van energie

De studenten werden tijdens het interview gevraagd of ze dachten dat ze een verandering in denken hadden doorgemaakt op het gebied van energie. In tabel 5.1 is aangegeven op welke gebieden de studenten een verandering in denken hebben ervaren.

Tabel 5.1: Reflectie op verandering in denken op gebied van energie

Meer inzicht ...	Aantal...	
... op energie in een bredere context	2	De meerderheid van de studenten denkt na het volgen van deze cursus anders over energie. Ze weten energie nu in een breder en historisch perspectief te plaatsen en zijn er zich vooral van bewust dat energie een lastig begrip is.
.. op energie in een historisch perspectief	4	
...dat energie een lastig begrip is	7	
... dat exergie een nieuw/lastig begrip is	8	De ontwikkeling van de wetenschappelijke theorie van energiebehoud heeft veel studenten aan het denken gezet. Ze hebben meer historisch besef gekregen en beseffen beter wat de impact van de
... op impact van techniek op wetenschap	3	
... op geen enkel gebied	10	

techniek (3x) op de wetenschap is. Tien studenten gaven aan dat ze geen verandering in denken heb doorgemaakt op dit gebied.

Aangezien de meeste studenten aangeven een verandering in denken te hebben ervaren, is deze verwachting **volledig** vervuld.

Tabel 5.2: Samenvatting resultaten op gebied van beleving

Procesmoment	Verwachting	Niet vervuld	Deels vervuld	Volledig vervuld
Algemeen	studenten beleven plezier aan de cursus	x		
	cursus is interessant		x	
	cursus is uitdagend	x		
	Het lesmateriaal is geschikt	x		
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van warmte	x		
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van <i>vis viva</i> / arbeid	x		
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van energie			X
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van exergie		x	
	De studenten vinden werken met het schriftje prettig	x		
Practica	Practica zijn interessant			X
	Practica zijn uitdagend	x		
Colleges	Hoorcolleges zijn interessant		x	
	De colleges zijn uitdagend	x		
	Discussies zijn verrijkend	x		
	College zijn goed begeleid		x	
Schrijfopdrachten	Schrijfopdrachten zijn interessant		x	
	Schrijfopdrachten zijn goed begeleid	x		

Hoofdstuk 6: Conclusies

In dit hoofdstuk worden de conclusies gegeven op het gebied van begripsvorming, vaardigheden en motivatie. Er wordt in tabel 6.1 t/m 6.3 een overzicht gegeven van al dan niet verworven vaardigheden en begripsvorming en al dan niet vervulde verwachtingen. Dit overzicht volgt uit de resultaten van focuspunt 1 en 2. Aan de hand van dit overzicht zullen verbanden worden gelegd en algemenere conclusies worden getrokken. De aanbevelingen die uit de conclusies volgen zijn te vinden in hoofdstuk 7: aanbevelingen.

6.1 Conclusies over begripsvorming

In tabel 6.1 is een overzicht te vinden van volledig plaatsgevonden, deels plaatsgevonden en niet plaatsgevonden onderdelen op het gebied van begrip. Begripsvorming heeft op de meeste onderdelen deels plaatsgevonden.

Tabel 6.1: Begripsvorming. Per procesmoment is aangegeven of de onderdelen met betrekking tot begripsvorming niet, deels of volledig hebben plaatsgevonden.

In welke mate heeft de begripsvorming plaatsgevonden per procesmoment?		Niet plaatsgevonden	Deels plaatsgevonden	Volledig plaatsgevonden
procesmoment	Begrip			
Eerste college	Het woord energie vermijden in uitleg			x
	Adequaat begrip van arbeid	x		
	Definitie van eenheid van warmte kennen	x		
	Definitie van temperatuur kennen op macroniveau	x		
	Adequaat begrip van latente warmte		x	
	Adequaat begrip van warmtebehoud		x	
Tweede college	Adequaat begrip van arbeid		x	
	Adequaat begrip van efficiëntie		x	
	Restricties van warmtebehoud kennen		x	
	Restricties van behoud van <i>vis viva</i> kennen		x	
	Onderscheid kunnen maken tussen <i>vis viva</i> en warmte	x		
Derde college	Adequaat begrip van			x

	energie			
	Adequaat begrip van efficiëntie			x
Eerste schrijfpdracht	Adequaat begrip van energie		x	
Tweede schrijfpdracht	Adequaat begrip van energie		x	
	Adequaat begrip van exergie	x		

Tijdens de colleges heeft begripsvorming op het gebied van warmte niet plaatsgevonden, maar tijdens het tweede college laten de meeste studenten wel zien dat ze het de restricties van warmtebehoud kennen. Het onderscheid tussen warmte en *vis viva* wordt echter niet goed gemaakt. Er is dus weinig stijgende lijn in het warmtebegrip tijdens de colleges waargenomen.

Begripsvorming op gebied van arbeid heeft in het eerste college niet plaatsgevonden, maar tijdens het tweede college hebben de studenten deels een adequaat begrip van arbeid getoond. Dit kan vooral verklaard worden door de uitgebreide uitleg over *vis viva* aan de hand van de ontwikkelingen rond de watermolen.

De bottleneck van de cursus lijkt het begrip exergie te zijn. De studenten hebben in het interview aangegeven dat dit een geheel nieuw begrip voor hen was en dat er weinig tijd aan de uitleg hiervan werd besteed. Begripsvorming op het gebied van exergie heeft aan het aan einde van de cursus dus nog niet plaatsgevonden.

Met het maken van de eerste schrijfpdracht hebben de studenten laten zien dat ze deels begrip hadden van energie. De teksten van veel studenten bevatten echter nog misconcepties over energie. Begripsvorming op het gebied van energie heeft daarom slechts deels plaatsgevonden.

Door middel van de tweede schrijfpdracht hebben de studenten niet laten zien dat hun begrip van energie sterk verbeterd is. Begripsvorming heeft dus maar deels plaatsgevonden. Het begrip van exergie is echter nog steeds niet aanwezig. Dit kan worden verklaard door dat er weinig tijd besteed is aan de uitleg van dit begrip.

6.2 Conclusies over vaardigheden

In tabel 6.2 zijn de onderdelen te zien op het gebied van vaardigheden die volledig, deels of niet verworven zijn. Het merendeel van deze vaardigheden is deels tot volledig verworven.

Tabel 6.2: Vaardigheden. Per procesmoment is aangegeven of de gestelde onderdelen niet, deels of volledig zijn verworven.

In welke mate zijn vaardigheden verworven per procesmoment?		Niet verworven	Deels verworven	Volledig verworven
procesmoment	vaardigheid			
Eerste college	Onderscheid tussen dagelijkse én wetenschappelijk begrip van			x

	energie			
	Het woord energie vermijden in uitleg			x
	Een warmte experiment kunnen opzetten			x
	Berekenen van soortelijke warmte		x	
	Experimentele aanpak wetenschappelijk kunnen formuleren	x		
	Bondige reflectie kunnen schrijven	x		
Tweede college	Definitie van energie kunnen formuleren		x	
Eerste schrijfpdracht	Degelijke lay-out			x
	Degelijke opbouw			x
	Degelijke inleiding		x	
	Degelijke argumentatie		x	
	Schrijven van heldere conclusie		x	
	Adequate schrijfstijl			x
	Adequate link naar colleges	x		
Tweede schrijfpdracht	Schrijven van inhoudelijke recensie over lesboek		x	
	Gebruik kunnen maken van begrippen uit bundel		x	
	Adequaat introduceren van nieuwe begrippen		x	
	Opbouw parallel aan andere hoofdstukken maken			x
	Goede aansluiting op de bundel maken		x	
	Een inhoudelijke opbouw kunnen maken die de lezer leidt naar begrip onderwerp		x	
	Juist gebruik op goede plaats van begrippen	x		
Schrijven van een inhoudelijk goed vervolghoofdstuk op de module		x		

De studenten konden tijdens het eerste college goed uit de voeten met het warmtebehoud experiment, maar wisten hun resultaten niet altijd even netjes te noteren. De schriftelijke reflectie na het eerste college was door lang niet alle studenten ingevuld en erg kort. Dit kan verklaard worden door de aversie van de studenten tegen 'het schriftje'.

Op de link naar het college na zijn alle vaardigheden van de eerste schrijfofdracht deels tot volledig verworven. Hier moet bij aangetekend worden dat juist de kern - het inhoudelijke gedeelte - bij veel studenten nogal te wensen over liet.

De meeste onderdelen van de tweede schrijfofdracht zijn deels gehaald. Vooral de aansluiting op de hoofdstukken van de bundel is volledig gelukt. Ook in dit geval is een van de belangrijkste vaardigheden: "juist gebruik op volledige plaats van vereiste begrippen (...)" niet verworven. Dit betekent dat de studenten de vereiste begrippen nog niet voldoende beheersen of nog niet vaardig genoeg zijn om de begrippen juist te formuleren.

Een veel gezien probleem is het ontbreken van voldoende begrip over exergie. Daarnaast wordt er vaak slordig en onwetenschappelijk geformuleerd. Dit kan worden verklaard door het gegeven dat de studenten nog maar weinig schrijfofdrachten op de universiteit hebben gemaakt. De schrijfvaardigheid is op veel punten nog niet wat het moet zijn. Er kan dus gesteld worden dat er meer aandacht moet worden besteed aan schrijfvaardigheid.

6.3 Conclusies over de mate van motivatie onder de studenten

In tabel 6.3 is een overzicht van goed, deels en niet vervulde verwachtingen op het gebied van motivatie van de studenten getoond. De meeste verwachtingen op het gebied van motivatie van de studenten zijn niet vervuld.

Tabel 6.3: Motivatie van de studenten. Per procesmoment is aangegeven of de verwachtingen met betrekking tot de motivatie van de student niet, deels of volledig zijn vervuld.

Procesmoment	Verwachting	Niet vervuld	Deels vervuld	Volledig vervuld
Algemeen	Studenten beleven plezier aan de cursus	x		
	Cursus is interessant		x	
	Cursus is uitdagend	x		
	Het lesmateriaal is geschikt	x		
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van warmte	x		
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van <i>vis viva</i> / arbeid	x		
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van energie			x
	De studenten ervaren een verandering in denken op gebied van exergie		x	
	De studenten vinden werken met het schriftje prettig	x		
Practica	Practica zijn interessant			x
	Practica zijn uitdagend	x		
Colleges	Hoorcolleges zijn interessant		x	
	De colleges zijn uitdagend	x		
	Discussies zijn verrijkend	x		
	College zijn goed begeleid		x	
Schrijfopdrachten	Schrijfopdrachten zijn interessant		x	
	Schrijfopdrachten zijn goed begeleid	x		

De studenten hadden vooral in het begin veel moeite met de aanpak van de cursus. Ze vonden de discussies te gemaakt, de benadering te schools en het niveau van het lesmateriaal en de informatiedichtheid van de colleges te laag. De practica vonden ze eenvoudig, maar wel interessant.

Toen de stof moeilijker werd, miste een deel van de studenten structuur. Zij hadden meer samenvatting willen krijgen op cruciale momenten. Dit kan mogelijk zijn weerslag hebben gehad op de leerresultaten op het gebied van exergie. Vooral het begrip exergie zat er bij de studenten nog niet goed in. Hiermee komt een contradictie aan het licht. Enerzijds geven de studenten de colleges een lage waardering omdat ze het te schools en te makkelijk vinden. Anderzijds blijkt uit de schrijfopdrachten en de colleges dat de studenten de stof nog helemaal niet zo goed beheersen. Hebben de studenten een vertekend beeld van hun eigen kunnen?

De studenten zijn niet geheel tevreden met de begeleiding van de eerste schrijfofdracht. Ze hadden graag de criteria van de opdracht van tevoren willen vernemen. Ze menen hierdoor ook lager te hebben gescoord voor de schrijfofdracht.

De studenten vonden een schrijfofdracht bijna allemaal een goed alternatief voor een tentamen, maar niet iedereen vond de eerste schrijfofdracht interessant. Een geringe motivatie kan er toe hebben geleid dat de studenten zich minder hebben ingezet voor de eerste schrijfofdracht en lagere scores hebben behaald.

De tweede schrijfofdracht viel beter in de smaak bij de studenten. Ze mochten zelf een onderwerp kiezen en konden grotendeels zelf bepalen hoe ze het vervolghoofdstuk zouden indelen. De meeste studenten vonden de onderwerpen interessant. Een goede motivatie zou een goed leerresultaat tot gevolg moeten hebben. De studenten bleken echter nog te weinig schrijfvaardigheid en kennis over exergie hebben opgedaan om de tweede schrijfofdracht volledig succesvol te schrijven.

De cursus scoort op veel onderdelen onvoldoende. Aangezien deze cursus in 2009 voor het eerst is gegeven is het niet zo raar dat de cursus nog niet naar wens verloopt. De cursus laat echter wel een groei bij de studenten zien op het gebied van vaardigheden en begripsvorming. Zo heeft de begripsvorming op gebied van efficiëntie/rendement tijdens de tweede schrijfofdracht beter dan plaatsgevonden dan tijdens de colleges. Hiermee is de cursus een potentieel alternatief voor educatie over energie.

6.4 Generaliserende conclusies

Een alternatieve aanpak levert weerstand op

De studenten zijn gewend op de universiteit op een bepaalde manier te leren. Tijdens een hoorcollege hoeft er vaak alleen geluisterd te worden en tijdens een werkcollege wordt er gewerkt. Wanneer een cursus – Machines en Energie – dit vast stramien doorbreekt, levert dit in eerste instantie weerstand op. De student begrijpt niet meer wat er van hem/haar verwacht wordt. De studenten zetten bij deze cursus grote vraagtekens bij ‘het schriftje’ en de ‘gedwongen discussies’.

Voor andere cursussen, die een meer alternatieve aanpak hebben, zal dus in het achterhoofd gehouden moeten worden dat er in het begin weerstand bij de studenten kan optreden. Deze weerstand kan volgens mij deels weggenomen worden door duidelijk aan te geven wat er in deze alternatieve aanpak van de student verwacht wordt.

Studenten begrijpen theorie beter door actief bezig te zijn met concrete toepassingen waarop de theorie toepasbaar is

Tijdens deze cursus werd duidelijk dat de studenten meer begrip over de werking van de stoommachine door een demonstratiemodel van een stoommachine te zien werken. Ook kregen de studenten meer begrip over warmtebehoud door zelf warmte-experimenten uit te voeren. Later in de cursus verkregen de studenten meer kennis over energie door zelf eens stuk over toepassingen als een warmtepomp en warmte-krachtkoppeling te schrijven.

Je kunt dus stellen dat het absoluut een meerwaarde heeft om binnen een cursus uitgebreid aandacht te besteden aan toepassingen waarop een theorie toepasbaar is. Het werken met een toepassing of het observeren ervan confronteert de student met eventuele misconcepties en gaten in zijn/haar kennis.

De voorkennis van de studenten is niet altijd op het niveau dat je als cursusleider verwacht

Tijdens de cursus is geconstateerd dat het begrip van bijvoorbeeld warmtebehoud niet altijd op het niveau was dat je zou mogen verwachten na het volgen van een cursus Fysische Chemie. Het is belangrijk dat je als cursusleider de voorkennis van de studenten kan inschatten en op eventuele deficiënties kan inspelen. Dit betekent dat er voldoende ruimte moet zijn voor interactie tussen docent en student tijdens colleges. Het stellen van de juiste vragen aan studenten is een vrij eenvoudige manier om voorkennis op waarde te schatten en/of te activeren.

Meer aandacht besteden aan schrijfvaardigheid tijdens scheikunde cursussen

De schrijfvaardigheid van de studenten bleek tijdens de cursus van een lager niveau dan verwacht. Het is daarom belangrijk dat ook in andere scheikundecursussen voldoende aandacht wordt besteed aan het schrijven van wetenschappelijke, goed beargumenteerde teksten. Het is zaak dat de studenten leren eenduidig te schrijven over moeilijke begrippen. Het schrijven over moeilijke begrippen kan goed geoefend worden door al eerder geschreven stukken te analyseren en te bediscussiëren. Hoe dat verder vormgegeven zou moeten worden, staat beschreven in het hoofdstuk aanbevelingen.

Studenten zijn zich niet bewust van eigen niveau

Tijdens de cursus is gebleken dat de studenten het niveau van de cursus op veel momenten laag vonden. Haaks hierop staat de bevinding er op veel onderdelen geen volledige begripsvorming heeft plaatsgevonden. Hoewel meerdere studenten tijdens de cursus met hun misconcepties worden geconfronteerd, geeft er bijna niemand aan dat ze inhoudelijk iets hebben bijgeleerd tijdens de interviews. De studenten hebben dus geen reëel beeld van hun eigen niveau en kunnen.

Hoofdstuk 7: Aanbevelingen voor cursusverbetering

7.1 Verbeterpunten op gebied van begrip

7.1.1 Hoorcolleges

De belangrijkste verbeterpunten op het gebied van begrip voor de hoorcolleges zijn: informatiedichtheid, structuur, en exergie.

informatiedichtheid

De informatiedichtheid van de colleges was volgens de studenten laag. Vooral de **eerste twee colleges** waarin er wordt gewerkt naar het behoud van energie zouden **compact** kunnen worden verteld. Dit geeft meer ruimte voor de uitvoering van de hieronder te bespreken verbeterpunten.

Structuur

Meerdere studenten hebben aangegeven dat ze tijdens de colleges af en toe de structuur misten. Er werden door de docent vragen gesteld waar niet altijd vanuit de docent een samenvattend antwoord op werd gegeven. Er moet dus meer tijd worden besteed aan het **samenvatten** van de verschillende **onderdelen**.

Exergie

De studenten hebben het begrip exergie nog niet goed door. Het was een nieuw begrip voor hen, waaraan in het college relatief weinig tijd is besteed. Er zijn twee opties:

- 1) Het begrip exergie niet behandelen.** Het is namelijk een begrip wat lastig in een korte tijd over te brengen is.
- 2) Meer tijd besteden aan dit begrip.** De studenten zouden **actief** meer kennis over exergie op kunnen doen door verschillende **opgaven te maken**.

De tweede optie verdient mijn voorkeur. Exergie is een belangrijk begrip binnen de thermodynamica en verbetering van kennis over exergie zet 'behoud van energie' in een ander perspectief. Niet alle energie is immers even hoogwaardig. De studenten kunnen dit gaan inzien door opgaven te maken waarin het verschil tussen exergie en energie naar voren komt. Bijvoorbeeld door het energetisch en exergetisch rendement van een HR-ketel berekenen.

7.1.2 Practica

De practica werden als weinig uitdagend ervaren door de studenten. Het is daarom aan te bevelen een **groter warmte-experiment** op te zetten wat de student **meer prikkelt** om over warmtebehoud en de uitzonderingen erop na te denken.

7.1.3 Eerste schrijfpdracht

Het belangrijkste verbeteringspunt voor de eerste schrijfpdracht op het gebied van begrip is:

Energie

Het begrip van energie was na de eerste schrijfpdracht voldoende. Er wordt echter gestreefd naar een goed. Het zou verbeterd kunnen worden door:

1) De studenten **feedback** te geven op hun schrijfpdracht. Daar het geven van feedback tijd kost, is het dan verstandig om de focus te leggen op de tweede schrijfpdracht en de **eerste schrijfpdracht te laten vervallen**.

2) De studenten elkaars werk te laten nakijken: **peer-reviews**.

Aangezien de eerste optie een berg werk voor de docent oplevert én de studenten de kans ontzegt om hun schrijfvaardigheid gedurende de cursus te verbeteren, verdient de tweede optie mijn voorkeur.

7.1.4 Tweede schrijfpdracht

Het belangrijkste verbeteringspunt voor de tweede schrijfpdracht op het gebied van begrip is:

exergie

exergie

De studenten hebben nog geen goed begrip gekregen van exergie na het maken van de tweede schrijfpdracht. Er zal, zoals eerder aangegeven, meer tijd moeten worden ingeruimd om dit begrip duidelijk te maken. Daarnaast kan het verhelderend zijn om de studenten feedback te geven op hun eerste versie. Dit wordt nader toegelicht in 4.2.3 en 4.2.4.

7.2 Verbeterpunten op gebied van vaardigheden

7.2.1 Hoorcolleges

Het belangrijkste verbeterpunt voor de hoorcolleges op het gebied van vaardigheden is: reflecteren

De reflecties die door de studenten zijn geschreven waren erg kort. Door te **benadrukken** dat een **reflectie** erg belangrijk is en deze het **volgende college** te **bespreken**, zullen de reflecties van de studenten beter worden en zal er meer zicht zijn op het begripsniveau van de studenten.

7.2.2 Practica

Er zijn geen noemenswaardige verbeterpunten op het gebied van vaardigheden bij de practica.

7.2.3 Eerste schrijfpdracht

De belangrijkste verbeterpunten voor de eerste schrijfpdracht op het gebied van vaardigheden zijn: argumentatie, schrijfvaardigheid, en link theorie naar opdracht

Argumentatie + schrijfvaardigheid

Uit de resultaten van de eerste schrijfoopdracht is gebleken dat er nogal wat schort aan de argumentatie en de schrijfvaardigheid van de studenten. Wanneer de studenten meteen na de opdracht enkel het cijfer te horen krijgen, zullen zij niet leren van wat er fout/goed is gegaan. Het is belangrijk dat de studenten **feedback** krijgen **van de docent of medestudenten**, zodat ze vaardiger kunnen worden in het wetenschappelijk schrijven en een betere argumentatie gebruiken. Daarnaast is het aan te raden om een **uitgebreide inleiding** aan de schrijfoopdracht vooraf te laten gaan. Daarin kunnen de **algemene eisen** aan een essay aan bod komen. Hierbij is **argumentatie** een belangrijk onderdeel. Schrijfoopdrachten van voorgaande jaren kunnen ter oefening beoordeeld worden op argumentatie. Alinea's kunnen op het bord geprojecteerd worden om dan plenair te bespreken wat er aan schort.

Link besproken theorie naar opdracht

Bij veel studenten ontbrak er in de teksten een duidelijke link tussen de besproken theorie en de opdracht. Aangezien wij dit wel belangrijk vinden, is het belangrijk dat wordt **benadrukt in de uitleg van de opdracht** dat dit een criterium van de opdracht is.

7.2.4 Tweede schrijfoopdracht

De belangrijkste verbeterpunten voor de tweede schrijfoopdracht op het gebied van vaardigheden zijn:

Argumentatie + schrijfvaardigheid

Voor de tweede schrijfoopdracht geldt hetzelfde als voor de eerste schrijfoopdracht: De argumentatie en de schrijfvaardigheid liet nogal te wensen over. Zoals eerder aangegeven is het verstandig om **meer tijd in te ruimen voor de tweede schrijfoopdracht**.

De extra tijd zal besteed worden aan **peer-feedback**, die de studenten aan elkaar geven. Daarnaast kan de docent **tijdens het college** een (deel van een) tekst behandelen en wat **typerende fouten met de studenten bespreken**.

7.3 Verbeterpunten op gebied van beleving

7.3.1 Hoorcolleges

De belangrijkste verbeterpunten voor de hoorcollege zijn in de beleving van de studenten op het gebied van: interactie, informatiedichtheid en structuur.

Interactie

De studenten hadden vooral in het begin moeite met de manier van lesgeven. Ze hekelden zich aan schoolse termen als: schriftje, huiswerk, etc. Ze willen als universitaire studenten behandeld worden. Om aan deze wens te voldoen is het dus belangrijk om **schoolse termen te vermijden**.

Verder gaven de studenten aan dat ze de discussies/interactie tijdens de colleges nogal geforceerd vonden. De discussies kwamen naar hun mening niet echt van de grond, waren meer vraag-antwoordgesprekken en stoorden de continuïteit van het college. Mogelijke verbeteringen op dit punt zouden zijn: **minder klassikale vragen tijdens hoorcollege** en **enkele langere discussiemomenten aan het eind van een onderdeel**. Het eerstgenoemde zorgt ervoor dat het tempo in het college blijft. Het laatstgenoemde zorgt ervoor dat er toch de gewenste interactie blijft tijdens de cursus en dat de studenten op een sociaal constructivistische manier kunnen blijven leren.

Informatiedichtheid

De studenten vonden de informatiedichtheid van de cursus vrij laag. Er werden veel voorbeelden aangehaald, die in hun beleving herhaling waren. Het **tempo** van het college mag dus wat **hoger**, met wat minder voorbeelden. Bij individuele behoefte aan meer voorbeelden is er altijd nog de handleiding beschikbaar.

Verder was er nog een ander aspect wat er voor zorgde dat de studenten de colleges als erg makkelijk ervoeren. In de handleiding, die studenten kregen, stond geschreven: *“Leg aan een andere leerling die ook in 4VWO zit (...) uit wat ‘energie’ is.”* (p. 67) Als deze cursushandleiding geschreven was voor 4VWO'ers dan kon de stof onmogelijk moeilijk zijn, redeneerden veel studenten.

Voor dit probleem zijn er twee oplossingen: de **handleiding aanpassen** of de handleiding niet meer gebruiken. De handleiding niet meer gebruiken zou uiterst onhandig zijn. De handleiding volgt de verhaallijn van het hoorcollege en geeft de studenten de mogelijkheid om de ontwikkelingen nog eens door te nemen. Het aanpassen van de handleiding vereist daarentegen slechts het vervangen van woorden als: leerling, klas en 4VWO.

Structuur

Hoewel de studenten aangaven dat de informatiedichtheid van de cursus vrij laag was, hadden veel studenten toch behoefte aan structuur. Er werden door de docent veel vragen gesteld tijdens het college waar geen eenduidig antwoord op kwam. Het zal de structuur van de hoorcolleges verbeteren wanneer er **samenvattende momenten** zullen worden ingebouwd. Het is niet erg als de studenten tijdens het college met vragen zitten, maar er moet een moment zijn dat de twijfel wordt weggenomen zodat ze verder kunnen met het leerproces.

7.3.2 Practica

De belangrijkste verbeterpunten voor de practica zijn in de beleving van de studenten op het gebied van: moeilijkheidsgraad en relevantie.

Moeilijkheidsgraad

De studenten gaven aan dat ze de practica erg makkelijk vonden. Ze vonden het van een middelbare schoolniveau. Enkele gaven aan dat ze deze proef zelfs al gedaan hadden op de middelbare school. Een mogelijke verbetering is het vervangen van de twee experimenten voor **één groter experiment**. Het is belangrijk dat dit experiment geen ‘kookboekexperiment’ is, maar de studenten prikkelt om na

te denken over behoud van warmte en de uitzonderingen hierop. De eenvoudigere experimenten kunnen als inleiding door de docent gedemonstreerd worden.

Relevantie

Enkele (5) studenten zagen de toegevoegde waarde en de relevantie van de practica. Het is voor het grotere experiment dus belangrijk dat het in een **duidelijke context** wordt gegeven. Hierbij is het een pre dat het gaat om een actuele en voor de studenten herkenbare context.

7.3.3 Schrijfp opdrachten

De belangrijkste verbeterpunten voor de schrijfp opdrachten zijn in de beleving van de studenten op het gebied van: relevantie (onderwerpen) en begeleiding.

Relevantie (onderwerpen)

De studenten vonden de schrijfp opdrachten een goed alternatief voor een tentamen. Ze zagen bij de eerste opdracht echter de relevantie niet goed in. Ze hadden niet het idee dat ze er veel van leerden. Het is misschien een goed idee om, zoals eerder aangegeven, de **eerste schrijfp opdracht te laten vervallen** en meer tijd te besteden aan één grote schrijfp opdracht.

De tweede schrijfp opdracht beviel beter. De onderwerpen spraken aan. Wel gaven enkele studenten aan dat ze **eigen onderwerpen wilden kiezen**. Ook was er een sterke voorkeur voor een van de onderwerpen: 'Rijden op elektriciteit of brandstof'. De studenten gaven aan dat ze dit onderwerp actueel en interessant vonden. Het is dus zaak om **actuele en interessante onderwerpen** aan te reiken of de studenten enige vrijheid te geven in het kiezen van een onderwerp.

Begeleiding

Het was voor de studenten de eerste keer op de universiteit dat ze in aanraking kwamen met een schrijfp opdracht. De criteria die de docent en de onderzoeker hadden opgesteld waren dan ook niet altijd even logisch voor de studenten. Het is aan te bevelen om de **criteria van tevoren bekend te maken** en **toe te lichten**. Daarnaast is het aan te raden om **tussentijds feedback te geven** op de versies zodat de studenten meer kunnen leren op het gebied van schrijfvaardigheid en ze bevestigd krijgen of ze de opdracht goed begrepen hebben.

Hoofdstuk 8: Discussies en suggesties vervolgonderzoek

In dit hoofdstuk zal beschreven worden op welke manier het onderzoek beïnvloed kan zijn geweest en hoe het onderzoek verbeterd kan worden. Vervolgens zullen suggesties voor vervolgonderzoek gegeven worden.

Discussies

Focus aanpak

Bij aanvang van het onderzoek was in grote lijnen bekend waar de cursus op beoordeeld moest worden. De specifieke onderdelen waren echter nog niet opgesteld. Dit heeft geen invloed gehad op de analyse van het schriftelijke materiaal en de colleges. Deze zijn namelijk vastgelegd op respectievelijk papier en geluidsopnamen. Er kan wel een invloed zijn geweest op de wijze waarop de interviews zijn afgenomen. Bepaalde onderwerpen zijn hierdoor mogelijk onderbelicht tijdens het interview. Het is belangrijk om bij aanvang van de evaluatie de onderdelen al gespecificeerd te hebben.

Objectiviteit onderzoeker

Als onderzoeker ben ik nauw betrokken geweest bij het opzetten van de cursus. Dat kan als een nadeel beschouwd worden. Wanneer je enthousiast raakt over een cursus is het immers lastig om die nog objectief te beoordelen. Doordat mijn nauwe betrokkenheid kreeg ik echter veel inzicht op de inhoud en de achtergrond van de cursus. Ik ben van mening dat deze informatie essentieel was om mijn onderzoek te doen slagen.

De interviews met de groepjes studenten werden afgenomen door mij en de medeassistenten. Er was hierdoor misschien minder openheid bij de studenten op moment van interviewen. Het is daarom aan te bevelen de interviews te laten afnemen door onafhankelijke student-assistenten.

Online enquête

Er bestond onder studenten enige verwarring over de online enquête. Meerdere studenten gaven aan dat het hen niet duidelijk was of de enquête alleen beantwoord moest worden voor het onderdeel Energie of voor beide onderdelen: Energie én Materie (gegeven door A. Philipse).

Deze verwarring is ontstaan doordat een onderdeel van de enquête vragen stelde over de begeleiding van A. Philipse. Door de incorporatie van dit onderdeel hebben de studenten mogelijk de enquête voor beide delen beantwoord en kan er geen duidelijk beeld worden gevormd van de kwaliteit van het energiedeel. Het is dus aan te raden om het deel met betrekking tot de begeleiding van A. Philipse in een apart onderdeel van de enquête te plaatsen.

Suggesties voor vervolgonderzoek

Voorkennisonderzoek

In het huidige onderzoek is niet gekeken naar de voorkennis van de studenten over de kernbegrippen. Hierdoor is het lastig vast te leggen of er substantiële veranderingen in het denken zijn opgetreden. De voorkennis van de studenten kan op meerdere manieren gemeten worden. Er kunnen interviews voorafgaand aan de cursus worden gehouden. Er kan ook voor gekozen worden om de cursus te starten met een soort voorkennistoetsje. Beide opties geven meer inzicht op de voorkennis van de studenten. Hierdoor kan niet alleen de verandering in denken en uitdrukken over de kernbegrippen beter gemeten worden, maar kan de docent tijdens de vervolgcourses beter inspelen op de getoonde voorkennis.

Post-onderzoek

Naast het meten van de voorkennis middels een interview of een toets, is het ook zeer aan te bevelen om na afloop van de cursus de stand van zaken qua begripsvorming te meten. Dit kan bereikt worden door enkele studenten te interviewen of alle studenten een begripstoets te laten maken.

Effect van peer review op de kwaliteit van de schrijfo opdracht

De kwaliteit van de geschreven stukken (cursusjaar 2007-2009) liet nogal te wensen over. In de aanbevelingen is geopperd om de studenten elkaars werk te laten becommentariëren. In een vervolgonderzoek kan onderzocht worden of de geschreven stukken door de peer review significant van betere kwaliteit zijn. Hierbij is het belangrijk dat er ook wordt onderzocht of de geschreven stukken ook voor de peer review van een betere kwaliteit zijn dan de geschreven stukken van het voorgaande jaar.

Nawoord

De cursus Machines en Energie 2010 is inmiddels afgerond. Ook dit jaar ben ik betrokken geweest bij de cursus. Dit maal niet als onderzoeker, maar als student-assistent. Het is een goed moment om terug te kijken op de evaluatie van de cursus van 2009 en de aanbevelingen die daarbij gegeven zijn. In welk opzicht is de cursus aangepast? Welke aanbevelingen zijn ter harte genomen? Zijn er tekenen dat de cursus verbeterd is? Dit zijn vragen die mij tijdens de cursus van 2010 bezig hielden.

De cursus is flink aangepast op een aantal punten. Ik zal de belangrijkste kort beschrijven.

Zo is het eerste college opgesplitst in twee bijeenkomsten. Tijdens de tweede bijeenkomst wordt er meer aandacht besteed aan de eenheid van warmte en het ontstaan van het begrip temperatuur. Dit heeft geleid tot een betere voorbereiding op de warmte-experimenten en een beter begrip van warmtebehoud.

Het begrip exergie bleek toch te lastig te zijn om in een enkele bijeenkomst over te brengen. Er is voor gekozen om dit begrip niet te behandelen tijdens de cursus van 2010.

De beoordeling van de schrijfpodrachten is ook flink gewijzigd. De studenten kijken via een peer-review elkaars werk na. Deze aanbeveling is dus ter harte genomen. Behalve dat de studenten op elkaars werk inhoudelijke feedback hebben gegeven, hebben ze elkaars werk ook beoordeeld aan de hand van gegeven criteria. De docent heeft deze becijferingen steekproefsgewijs gecontroleerd. De studenten hadden overigens de optie een second opinion van de docent te krijgen wanneer ze het niet eens waren met de becijfering.

De cursus Machines en Energie 2010 is veranderd, maar is de cursus ook verbeterd? Niet alleen de structuur en het doel van de colleges, maar ook die van de schrijfpodrachten is helderder. Deze veranderingen lijken een positieve uitwerking te hebben op de beleving van de studenten. Ook de resultaten van de schrijfpodrachten zijn beter. De kwaliteit van het geschreven werk is flink vooruit gegaan door de peer-reviews.

Ik ben erg blij en trots met mijn onderzoek te kunnen hebben bijgedragen aan het verbeteren van de cursus. Nu weet ik dat ik niet voor niets al die *energie* er in gestoken heb.

Utrecht, augustus 2010

Referenties

- Ball, D.W. (2003), *Physical Chemistry*, Brooks/Cole-Thomson H1 t/m 3
- Baarda, D.B. , Goede, M.P.M de, Teunissen, J. (2005), *Basisboek Kwalitatief Onderzoek*, Wolters-Noordhoff, H8 interviews
- Doménech, J.L, D. Gil-Pérez, A.Gras-Martí, J. Guisasola, J. Martínez- Torregrosa, J. Salinas, R.Trumper, P.Valdés & A.Vilches (2007). Teaching of Energy Issues: A Debate Proposal for a Global Reorientation. *Science & Education*, 16, (p. 43-64)
- Driesen, H.P.W. (2003), *Chemie tussen context en concept*, Commissie Vernieuwing Scheikunde HAVO en VWO in opdracht van het ministerie van OCenW
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23 (pp 5-12)
- Driver, R. & Warrington, L. (1975). Student's use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20, (p. 171-176)
- Eerde, H. A. A., van & Boer, C. J. E. M. van den (2006). De verborgen wiskunde problematiek van taalzwakke leerlingen. *Euclides*, 71(6) (p. 292-296)
- Genseberger, R.J. (2008), *Machines en Energie*, Universiteit Utrecht, Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
- Lijnse, P.L. (1990). Energy between the life-world of pupils and the World of physics. *Science Education*, 74, p. 571-573
- Oers, B. van W. L. Wardekker. (1997). De cultuurhistorische school in de pedagogiek. In: S. Miedema (red.). *Pedagogiek in meervoud: wegen in denken over opvoeding en onderwijs*. Houten/Diegem: Bohn Stafleu Van Loghum.
- Stuurgroep Nieuwe Scheikunde, www.nieuwescheikunde.nl, laatst bezocht op 23-7-2010
- Valk, A.E van der (1992). *Ontwikkeling in energieonderwijs*. Utrecht CDβ-Press
- Warren, J. W. (1972), The Nature of Energy, *European Journal of Science Education*, 4 (p. 295-297)
- Zegers, G.E., Boersma, K. Th., Genseberger, R.J., Jambroes-Willebrand, A.G., Kooij, H. van der, Mooldijk, A.H., Wijers, M., Eijkelhof, H.M.C., (2003). *Een basis voor SONaTe. Voorbeelden van inhoudelijke samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde in de tweede fase havo/vwo*. Delft:Axis