

Leren op het natuurkunde practicum SBI

Inleiding

Vorig jaar werd voor het eerst de opleiding SBI (Science Business en Innovation) aangeboden op de VU. Deze studie is een combinatie van natuurwetenschappen en bedrijfskunde. Het is de bedoeling dat studenten SBI na hun studie op het grensvlak tussen wetenschappers en beleidsmedewerkers kunnen werken. Het natuurkunde practicum voor SBI-studenten is er daarom op ingericht dat ze ook ervaringen opdoen in het experimenteren. Aangezien ze verder weinig natuurkunde-georiënteerde vakken zullen krijgen is er ook aandacht besteed aan de wetenschappelijke methode.

Bij het evalueren van het practicum van vorig jaar heeft [REDACTED] een aantal aanbevelingen gedaan om het practicum te verbeteren. Verder zijn aan het begin van het practicum leerdoelen voor het practicum opgesteld (onder andere over de wetenschappelijke methode). In deze evaluatie wordt ingegaan op de verbeterpunten van [REDACTED] en zal worden geëvalueerd in hoeverre de leerdoelen zijn bereikt. Omdat het aantal leerdoelen aanzienlijk is zal niet op alle leerdoelen even diep worden ingegaan. Hierbij zal ook worden stil gestaan bij de wetenschappelijke methode op het practicum. Om deze leerdoelen in context te plaatsen zal allereerst de opzet van het practicum worden behandeld. Verder wordt bij het evalueren van de leerdoelen gebruik gemaakt van de Kolbcyclus.

Opzet practicum

De werkwijze

Het practicum begint met twee weken introductie experimenten over begrippen in de elektriciteitsleer (op de precieze inhoud hiervan wordt nog teruggekomen). Deze experimenten hebben tot doel om de (wellicht enigszins weggezakte) kennis omtrent de elektrische begrippen te mobiliseren, omdat deze nodig is bij de latere experimenten. Dit gedeelte van het practicum is sterk gestuurd, in die zin dat de studenten van tevoren geformuleerde opdrachten uitwerken.

Na deze introductie beginnen de grote experimenten. De studenten doen bij de grote experimenten zowel een experiment met een zonnecel als met een brandstofcel of elektrolyseur. Het practicum is opgezet met het idee dat studenten uiteindelijk zelf met ideeën voor experimenten aan kunnen komen, waarbij gebruik wordt gemaakt van de al aanwezige apparatuur en opstellingen. Alhoewel het kiezen van het experiment 'vrij' was, was ook deze practicumopzet in enige mate gestuurd, omdat mogelijke opstellingen die gebruikt konden worden al van tevoren waren klaargezet (studenten konden natuurlijk zelf ideeën aanbrengen voor uitbreidingen op deze opstelling of voor compleet nieuwe opstellingen, maar in de praktijk bleken de meesten dat niet te doen).

Over deze twee grote experimenten schreef iedereen individueel een verslag, waarbij het eerste verslag herschreven moest worden. Over het tweede experiment werd ook een (individuele) presentatie gehouden.

De leerdoelen met betrekking tot het natuurkunde practicum

Voor de cursus waren van tevoren de volgende leerdoelen geformuleerd:

1. De verschillende begrippen uit de elektriciteitsleer kennen in onderlinge samenhang en deze kunnen gebruiken om de kwaliteit van een zonnecel en een brandstofcel te beoordelen.
2. Weet hebben van de natuurwetenschappelijke werkwijze en de kwaliteit van je experimentele werk daarop kunnen betrekken.
3. Experimentele vaardigheid opdoen en meetresultaten kunnen verwerken m.b.v. Excel.
4. Kunnen communiceren volgens de natuurwetenschappelijke criteria, zowel mondeling als schriftelijk.

Deze leerdoelen staan ook op bladzijde 1 van de cursushandleiding, dus deze leerdoelen waren in principe bekend bij de studenten.

Om te kunnen reflecteren over deze leerdoelen, is het noodzakelijk om bij deze reflectie over een methode te kunnen beschikken die kan worden gebruikt om te bepalen of de studenten ook daadwerkelijk iets geleerd hebben. De leercyclus van Kolb is één van de theorieën die hiervoor kan worden gebruikt.

De leercyclus van Kolb

Volgens Kolb komt leren pas op gang, wanneer het als een proces wordt opgevat waarin het verwerven van kennis en het opdoen van ervaring elkaar afwisselen (Kallenberg, 2000, p.130). Hierbij vindt het leren in een cyclus van vier fasen plaats. Dit is te zien in figuur 1.

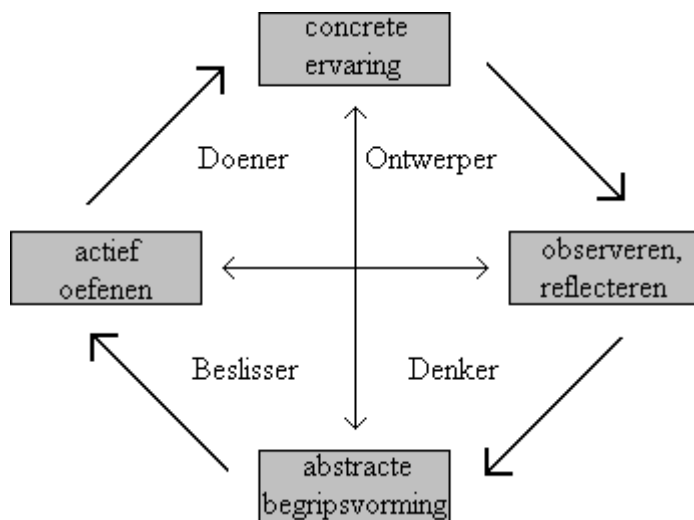


Fig. 1, de leercyclus en leerstijlen van Kolb.

Om iets te leren moeten alle fasen in deze cyclus doorlopen worden. Deze fasen zijn het opdoen van concrete ervaringen, deze situatie observeren en reflecteren over de opgedane ervaringen, tot begripsvorming komen met behulp van de theorie en het hiervan in de praktijk uitproberen (Kallenberg, 2000, p.130). Verder onderscheidt Kolb vier verschillende leerstijlen, te weten doener, ontwerper, denker en beslisser (Kallenberg, blz. 47-49). De leerstijlen geven een indicatie van waar in de cyclus studenten met één van die vier leerstijlen begint. Studenten die op het practicum bijvoorbeeld eerst de theorie uitwerken behoren tot de denkers. Studenten hebben elk een andere leerstijl en iedere student zal op een andere plek in de cyclus beginnen. Het maakt voor het leren niet uit waar in de cyclus wordt begonnen, zolang maar de hele cyclus wordt doorlopen. Verder moet worden opgemerkt dat de meeste mensen niet louter een denker, beslisser, doener of ontwerper zijn. Vaak zijn voor iemand meer leerstijlen herkenbaar, maar heeft een student een voorkeur voor één van de vier types.

Reflectie op de leerdoelen

Begrippen uit de elektriciteitsleer

Introductie-experiment

Eén van de leerdoelen voor de studenten was om de begrippen uit de elektriciteitsleer en hun onderlinge samenhang te kennen. Om dit te bevorderen bestond de eerste twee weken van het practicum uit introductie-experimenten over de elektriciteitsleer. Dit werd gedaan om kennis hiervan te mobiliseren, zodat de studenten dit konden gebruiken bij de 'grote experimenten'. Ik heb een selectie gemaakt van een aantal opgaven waarmee gekeken kan worden in hoeverre het leerdoel is bereikt.

De allereerste twee opgaven hadden als doel om de samenhang tussen de begrippen stroomsterkte, elektrische potentiaal en elektrische weerstand te verhelderen. De studenten ervoeren

deze opgaven als eenvoudig en gaven een geïrriteerde indruk toen ik doorvroeg over dit onderwerp. Alhoewel ze zelf vonden dat ze dit goed beheersten bleek dit tegen te vallen. Zo had de eerste dag niemand door dat de eenheid mAh hetzelfde¹ was als de eenheid coulomb. Er was bijvoorbeeld ook een student die opschreef dat het vermogen van een lampje gelijk was aan 1,2J. In deze zin was het dus zeer nuttig om deze twee weken introductie over de elektriciteitsleer te doen alvorens aan de experimenten over de zonnecel en de brandstofcel te beginnen. Als gevolg van deze introductie-experimenten beheersten de studenten immers de achterliggende theorie over elektriciteitsleer voldoende goed om hier in de grote experimenten gebruik van te kunnen maken. Dit betekent niet alleen dat ze iets geleerd hebben over de elektriciteitsleer. Als gevolg hiervan kunnen studenten bij de grote experimenten makkelijker de Kolbcyclus doorlopen, omdat de kennis van de elektriciteitsleer ze beter in staat stelt om te reflecteren op wat ze gedaan hebben en om theorieën te vormen (bijvoorbeeld hypothese vorming).

Een onderwijsvorm die hiervoor gebruikt kan worden is door ze in groepjes aan de opgaven te laten werken en ze op deze manier elkaar ook de opgaven uit te laten leggen. Een gevaar hierin is dat sommige studenten dan opschrijven wat de andere studenten zeggen, zonder dat ze het begrijpen en op deze manier de Kolbcyclus niet doorlopen, wat betekent dat ze niets geleerd hebben.

Uiteindelijk heeft iedereen aan het eind van deze twee weken een kort verslag geschreven over een kort introductie-experiment. Dit experiment had als doel om de uitgangsimpedantie van een spanningsbron en het maximale vermogen van deze spanningsbron te bepalen. Bij deze experimenten moest duidelijk worden dat een niet-ideale spanningsbron niet bij elke belasting hetzelfde vermogen levert en dat er een bepaald maximum is. De zonnecel en de brandstofcel zijn ook geen ideale spanningsbron. In de grote experimenten werd ook de UI-karakteristiek van de zonnecel en brandstofcel gemeten. Het idee was dat de studenten deze informatie uit het introductie-experiment konden gebruiken bij de grote experimenten. Zoals eerder vermeld zou deze informatie ze beter in staat moeten stellen de Kolbcyclus te doorlopen, omdat ze met deze informatie beter in staat zijn om een hypothese te vormen voor hun experiment.

In het verdere verloop van de cursus bleek deze kennis bij sommigen echter weer te zijn weggezaakt. Het gaat hierbij met name om de UI-karakteristiek van een energiebron. Het idee is dat er bij een bepaalde belastingsweerstand een maximaal vermogen optreedt. De studenten zouden bij het meten van een zonnecel of een brandstofcel moeten weten dat een zonnecel bij een andere belastingsweerstand ook een ander vermogen levert. Toch bleken er studenten te zijn die hier niet over nadachten bij het experimenteren met de zonnecel. Bij sommige studenten moest ik expliciet verwijzen naar de introductie-experimenten (ook nog tijdens het tweede experiment). Bij de studenten die dit soort dingen tijdens het tweede experiment nog niet doorhadden is dit leerdoel kennelijk nog niet bereikt. Kennelijk is de Kolbcyclus dan niet volledig doorlopen. Tijdens het introductie-experiment hebben ze in ieder geval actief geoefend en ze hebben concrete ervaring opgedaan, dus de ontbrekende stap(pen) zijn observeren/reflecteren en/of abstracte begripsvorming.

Om dit 'probleem' op te lossen kunnen twee verschillende dingen worden gedaan als dit zich voordoet. Allereerst kan dit gedaan worden door expliciet dingen te vragen over het introductie-experiment en op deze manier de benodigde kennis te activeren door ze te laten nadenken. Wat ook een manier is, is om ze de testmetingen die ze bij de grote experimenten hebben gedaan alvast te laten analyseren in Excel (een grafiek maken in Excel), om ze zo zelf te laten nadenken over in welk gebied ze eigenlijk moeten meten en waarom. Dit betekent dat er een zekere sturing nodig is. Zoals is beschreven in de handleiding voor assistenten op het natuurkunde practicum zijn er drie begeleidingsniveaus:

- B1 strakke begeleiding: de assistent neemt de student aan de hand in het oplossen, doet eventueel voor hoe te onderzoeken.
- B2 de assistent is meer een coach en geeft open opdrachten en helpt zo de studenten op weg.
- B3 de assistent is slechts beoordelaar in hoeverre de onderzoeksvaardigheid naar behoren is uitgevoerd en laat het over aan de studenten zelf hoe zij de situatie aanpakken.

Bij studenten die gedurende de grote experimenten de kennis van de introductie-experimenten nog onvoldoende toepasten is dus gebruik gemaakt van begeleidingsniveau B1. Voor studenten die wel de terugkoppeling maakten naar de introductie-experimenten is begeleidingsniveau B2 van toepassing.

¹ Er zit nog een numerieke factor tussen, maar dat is voor het verhaal verder niet interessant.

Het document ‘De zonnecel als diode’

Zoals eerder vermeld was één van de verbeterpunten van Tomek van vorig jaar dat er een simpele en beknopte theoretische achtergrond zou worden uitgereikt bij ieder experiment, zodat ook studenten met een niet-inductieve leerstijl² beter tot hun recht komen en het voor alle studenten eenvoudiger wordt om de volledige cyclus van Kolb te doorlopen. Vorig jaar was de opzet van het practicum zodanig dat studenten bijna gedwongen werden om in de Kolb cyclus bij de ervaring te beginnen (van de Watering, blz. 3).

Om de cursusdocumenten op blackboard begrijpelijker te maken heb ik een document geschreven dat als doel heeft om 1^e jaars SBI-studenten op een kwalitatieve manier de UI-karakteristiek van een zonnecel te laten begrijpen³. Hoewel het in eerste instantie niet als uitgangspunt is genomen, kon dit document ook prima worden gebruikt om het voor de studenten makkelijker te maken de cyclus van Kolb te doorlopen. Dit zal worden toegelicht aan de hand van twee verschillende groepjes die gebruik hebben gemaakt van het document.

De eerste groep bestond uit studenten die vanuit de theorie een experiment probeerden te verklaren; zij hadden een voorkeur voor de leerstijl ‘denker’. Hun onderzoek bestond uit het geven van een beschrijving van de werking van de zonnecel. Vervolgens voerden ze een experiment uit waarbij ze verschillende zonnecellen met elkaar vergeleken. De verschillen tussen deze zonnecellen probeerden ze vervolgens te verklaren aan de hand van de theorie. Deze opzet bevat in principe alle fasen in de cyclus van Kolb: eerst het opstellen van een theorie (begripsvorming), vervolgens het opzetten en uitvoeren van een experiment (actief oefenen en concrete ervaring) en vervolgens de resultaten interpreteren (observeren en reflecteren). Deze groep begon dus niet bij het opdoen van ervaringen, maar heeft wel de hele Kolbcyclus doorlopen.

Bij de eerste versie van het verslag hadden ze echter nog niet de goede vertaalslag gemaakt; de interpretatie van het experiment kwam niet overeen met hun theorie. Bij het herschrijven van het verslag heeft één van de studenten expliciet gebruik gemaakt van dit document⁴. In zijn herschreven verslag was duidelijk dat de interpretatie van de resultaten nu wel goed was afgestemd op de eerdere theorie. Het document heeft hierbij geholpen om de stap van een concrete ervaring naar reflectie te maken. Hiermee heeft hij de volledige cyclus van Kolb doorlopen.

De tweede groep bestond uit studenten die eerst waarnemingen hadden gedaan en deze vervolgens met theorie wilden verklaren. Ze hadden eerst een experiment uitgevoerd waarbij ze de invloed van de lichtintensiteit op het rendement wilden bepalen. Om dit experiment uit te voeren moesten ze bij elke lichtintensiteit bij verschillende belastingen de spanning over deze weerstand meten. Het viel hen op dat de gemeten spanning bij een bepaalde weerstand anders was als de lamp al een tijdje aanstond dan wanneer de lamp net aan was en ze wilden een hier een verklaring voor zoeken. Uiteindelijk hebben ze (deze laatste stap hadden ze overigens niet alle drie goed gemaakt) een verklaring gevonden voor dit verschijnsel. Al heb ik het ze niet expliciet gevraagd, het document heeft hierin waarschijnlijk een grote rol gespeeld; de redeneringen in het verslag zijn namelijk terug te voeren op het document.

Algemene opmerking: het valt me op dat een grote groep (ongeveer de helft) van de studenten geen gebruik maakt van de documenten op blackboard en pas achteraf (bij het schrijven van het verslag) iets aan de theorie doet. Dit punt heeft Tomek vorig jaar ook al aangedragen. Hoewel mijn document wel heeft bijgedragen aan het beter doorlopen van de Kolbcyclus voor twee groepen studenten, moet worden opgemerkt dat allebei deze groepjes al uit zichzelf interesse toonden voor de theorie. Het probleem is hiermee dus niet verholpen. Het gaat er dus om om de informatie die ze nodig hebben just-in-time aan te dragen. Het is echter moeilijk om bij elk groepje van tevoren in te schatten wanneer ze de informatie precies nodig hebben. Groepjes die zich bezighouden met de theorie kunnen dit het beste gelijk al hebben. Groepjes die na een experiment een waarneming willen verklaren kunnen het document het beste na het experiment aangereikt krijgen. Voor een aantal experimenten is het ook niet nodig om bijvoorbeeld de werking van een zonnecel helemaal te doorgronden, maar voor een

² Het begrip niet-inductieve leerstijl hoort bij studenten die liever eerst de theorie doornemen.

³ *De zonnecel als diode*

⁴ Aan het begin van het experiment waren wel exemplaren uitgedeeld, maar dit was kennelijk niet verwerkt.

volgende keer kan het document beter aan iedereen verstrekt worden (het document dat ik heb geschreven stond ook niet op blackboard). Met behulp van de theorie in dit document kan verklaard worden waarom de UI-karakteristiek verandert als een bepaalde grootte gevarieerd wordt en wat dit betekent voor het vermogen en het rendement van de zonnecel. Aan de hand hiervan kunnen de studenten hun beweringen beter onderbouwen (vooral hun verwachtingen). Dit past ook beter in de wetenschappelijke methode. Als het document op blackboard staat is het makkelijker om aan ieder groepje de informatie op het juiste moment aan te dragen; iedereen kan dan zelf het document bekijken op het moment dat hij/zij het nodig heeft.

De natuurwetenschappelijke werkwijze

Een tweede leerdoel is om weet te hebben van de natuurwetenschappelijke werkwijze en de kwaliteit van het experimentele werk daarop kunnen betrekken. Dit leerdoel is temeer van belang, omdat er in de verdere studie SBI weinig practicum vakken meer komen. In de wetenschappelijke methode worden vier stappen doorlopen (Handleiding Natuurkunde Practicum).

1. Het observeren en beschrijven van wat wordt waargenomen.
2. Hierover nadenken en proberen een verklaring te vinden met een hypothese.
3. Het onderzoeken van deze hypothese door andere verschijnselen of bepaalde uitkomsten kwantitatief te voorspellen.
4. Het opzetten van een experiment om deze voorspellingen te testen en het evalueren van de uitkomsten.

Het idee bij de twee grote experimenten is dat de studenten gedurende het eerste dagdeel testmetingen doen om tot een onderzoeksvraag te komen. Deze eerste stap bleek voor een aantal studenten al moeilijk om te nemen. Tijdens het practicum bleken een aantal groepjes ook niet te weten wat ze wilden bereiken en hoe ze dit wilden meten. Het feit dat sommigen tijdens een werkplanbespreking aan mij vroegen: *“Wat gaan we meten?”* getuigt hiervan. Sommige groepjes (ook bij het tweede experiment) hadden dan ook een te gemakkelijke houding. Een voorbeeld hiervan is een groepje dat tijdens het tweede experiment na 10 seconden naar de opstelling te hebben gekeken zei: *“We willen gaan kijken bij welke golf lengte de zonnecel beter werkt, is dat goed?”*

Deze houding is aan te scherpen door de studenten kritische vragen te stellen over de opstelling waar ze aan willen meten en over het experiment dat ze daarmee willen gaan uitvoeren. Een aantal keer heb ik tegen groepjes gezegd dat ze de testmetingen eerst moesten analyseren in Excel voordat ze verder gingen, om ze op die manier een hint te geven in welk gebied ze moesten meten. Het gebeurde namelijk dat groepjes de UI-karakteristiek aan het meten waren en geen idee hadden in welk gebied ze moesten meten en toch maar doormaten.

Aan de andere kant waren veel groepjes hierin actief bezig en kwamen ze zelf met een plan om metingen uit te voeren die ze nodig hadden om een bepaald resultaat te krijgen. Aangezien dit tijdens het tweede experiment beter ging dan tijdens het eerste experiment, kan geconcludeerd worden dat voor een grote groep deze stap geslaagd is, ook al heb ik tijdens het tweede experiment een andere groep studenten begeleid dan tijdens het eerste experiment, waardoor het dus moeilijk vergelijken is.

Ook de hypothesevorming bleek in de praktijk lastig te zijn, of meer de onderbouwing hiervan. Bij het eerste experiment waren er weliswaar studenten met een hypothese, maar vaak was deze onvoldoende of niet onderbouwd. Het feit dat ze met een hypothese kwamen geeft aan dat ze er kennelijk wel over nagedacht hadden, maar in de wetenschappelijke methode moet je alles onderbouwen.

Jaap Buning heeft halverwege het practicum, tussen het eerste en tweede experiment in, een (klassikaal) verhaal gehouden over de wetenschappelijke methode. In principe wisten studenten dus tijdens het tweede experiment wat de wetenschappelijke methode inhoudt. Aan de andere kant waren er tijdens het tweede verslag nog steeds studenten die beweringen en zelfs hypothesen niet onderbouwden. Er moet wel bij gezegd worden dat niet alle studenten altijd op tijd kwamen en een gedeelte van de studenten dus niet bij deze presentatie was. Het niet of niet goed onderbouwen van beweringen kwam dus ook nog voor in het tweede experiment/verslag. Een voorbeeld hiervan is het volgende:

Twee studenten wilden de golflengte-afhankelijkheid van het rendement van een zonnecel bepalen. Om dit te doen maten ze voor iedere golflengte voor meerdere waarden van een op de zonnecel aangesloten weerstand de spanning over deze weerstand. Hiermee kon het geleverde vermogen van de zonnecel bepaald worden. Vervolgens werd ook de intensiteit van het licht gemeten. De studenten gaven als verwachting dat het vermogen van de zonnecel maximaal zal zijn bij een bepaalde golflengte. Ze hadden hierbij niet door dat ze de verwachting moesten uitspreken over het rendement, omdat als het vermogen van een zonnecel wordt gemeten, zonder te corrigeren voor de intensiteit van het invallende licht op de zonnecel, niet alleen de golflengte-afhankelijkheid van de zonnecel werd onderzocht, maar ook het spectrum van de gebruikte lamp werd meegenomen.

Dit soort redeneringsfouten heeft ook te maken met wat ik al eerder noemde, dat de studenten pas achteraf de theorie doornemen als ze al bezig zijn met het schrijven van hun verslag en daar tijdens het experiment zelf minder mee bezig zijn. Gezien vanuit de Kolbcyclus is dit gedeeltelijk te verklaren doordat op het practicum door de meeste groepjes begonnen wordt bij het opdoen van ervaringen; het opdoen van theorie is dan een andere stap in deze cyclus; kennelijk maakt niet iedereen deze stap.

Experimentele vaardigheden en verwerking meetresultaten

Onder experimentele vaardigheden wordt volgens de practicum handleiding verstaan: initiatief, inzet, gestructureerd werken en bijhouden van het waarnemingenboek en creativiteit. Bij deze evaluatie wordt hier verder niet op ingegaan. Er kan wel opgemerkt worden dat de studenten in meer of mindere mate met deze vaardigheden hebben geoefend.

Bij het verwerken van de meetresultaten werd Excel gebruikt. Het is in Excel mogelijk om grafieken te tekenen en foutvlaggen in de grafiek aan te brengen. De SBI-studenten werken niet met Origin, omdat ze in hun verdere leven waarschijnlijk meer met Excel dan met Origin te maken krijgen. Het verwerken van de data is op een andere manier gebeurd dan tijdens het natuurkunde eerstejaarspracticum. Gedurende het practicum is er wel aandacht besteed aan de onnauwkeurigheden in het experiment, maar het gebruik van foutenanalyse is redelijk beperkt gebleven.

Dat er aandacht wordt besteed aan de onnauwkeurigheden in het experiment is belangrijk in verband met de wetenschappelijke methode; de vraag naar betrouwbaarheid en validiteit. Bij het schrijven van de verslagen werd van de studenten verwacht dat hier aandacht aan werd besteed. Het resultaat was verschillend, sommigen hadden hier aandacht aan besteed, anderen niet.

Schriftelijke en mondelinge communicatie

Het is voor de wetenschappelijke methode belangrijk om te kunnen communiceren over wat je gedaan hebt. Een belangrijk onderdeel hierin is dat je een ander kunt overtuigen dat de keuzes en conclusies die je hebt getrokken op grond van het experiment juist zijn. De onderbouwing van deze uitspraken, verwachtingen of conclusies speelt daarin een belangrijke rol. Tijdens het practicum is hierin geoefend door middel van werkplanbesprekingen, het inleveren van verslagen en het houden van een presentatie. Bij de evaluatie zal alleen worden ingegaan op de schriftelijke vaardigheden.

Evaluatie over de schriftelijke vaardigheden

De studenten moesten over het introductie-experiment met betrekking tot de elektriciteitsleer een schriftelijk verslag inleveren. Eén van de doelen van dit verslag was om de studenten duidelijk te maken wat er later bij de verslagen over de grote experimenten van hen werd verwacht. De verslagen werden dan ook met de studenten besproken. In deze verslagen werden een aantal 'standaard' fouten gemaakt. Voorbeelden hiervan zijn het niet toevoegen van figuurnummers, het opnemen van tabellen met alle meetgegevens en het geven van resultaten in teveel significante cijfers. Een voorbeeld:

Eén van de opdrachten die in het verslag moest worden besproken was de opdracht om de interne weerstand van een spanningsgenerator te bepalen. Bij het meten van de spanning over de belastingsweerstand hadden twee studenten gedurende het experiment een relatieve fout in de orde van grootte van 1%. Ze gaven als conclusie dat de spanningsgenerator een interne weerstand heeft van 42.88489Ω , omdat de fit van Excel deze waarde als output gaf.

Hoewel dit soort ‘fouten’ eenvoudig te vermijden zijn in vervolgverslagen, werden deze toch nog een aantal keer gemaakt in de verslagen van het eerste experiment. Bij het tweede experiment werden deze fouten niet meer gemaakt. Het punt van een verkeerd aantal significante cijfers is belangrijk voor de betrouwbaarheid en validiteit van het onderzoek. Hiermee suggereerden ze dat ze een onzekerheid hadden die kleiner was dan één op een miljoen.

Verder waren een aantal verslagen schrijftechnisch niet al te best en werden beweringen vaak niet onderbouwd, maar dit waren dan punten die gebruikt werden voor het geven van feedback op de verslagen. Ik had de indruk dat de studenten deze vorm van feedback nuttig vonden. Wat dit betreft is het dus goed geweest om het introductieverslag ook te gebruiken om de studenten te laten ervaren wat er van ze verwacht wordt bij het schrijven van een verslag.

Na dit introductieverslag moest over elk van de twee grote experimenten een verslag worden geschreven. Het eerste verslag moest hierbij herschreven worden. Bij het schrijven hiervan konden de studenten gebruik maken van de feedback op het eerdere verslag. Een aantal fouten die voorkwamen in de verslagen over het eerste grote experiment waren het in een onlogische volgorde zetten van onderdelen, bijvoorbeeld de discussie na de conclusie⁵, het niet onderbouwen van beweringen en niet-exact taalgebruik. Deze fouten hangen samen met begrip van de wetenschappelijke methode. Een aantal van de ‘fouten’ in de introductie verslagen (zoals gebruik van persoonlijke voornaamwoorden) zouden nog gezien kunnen worden als stilistische fouten, dit soort fouten zijn dat zeker niet. Het is in de wetenschappelijke methode immers belangrijk om beweringen te onderbouwen. Jaap Buning heeft tussen het eerste en tweede experiment een verhaal gehouden over de wetenschappelijke methode, dus in principe was het voor de studenten tijdens het tweede experiment duidelijk wat de wetenschappelijke methode inhield en dat ze beweringen moesten onderbouwen. Dat dit door sommige studenten niet gedaan werd in het tweede verslag kan dus betekenen dat die studenten nog geen goed beeld van de wetenschappelijke methode hebben.

Wat bijvoorbeeld vaak voorkwam was het niet-onderbouwen van uitspraken en het onduidelijk formuleren. Zie voor een reflectie op het eerste punt het kopje “*De natuurwetenschappelijke werkwijze*”. Een voorbeeld van het laatste is een zin die een student in de conclusie schreef: “*In het rendement is geen verband met het vermogen gevonden noch met de resultaten van het reendement zelf.*” (de spelfout hoort in het citaat).

Ondanks dat dit soort fouten werden gemaakt is in ieder geval aan iedereen duidelijk geworden hoe een natuurkundig of wetenschappelijk verslag moet worden opgebouwd en dat dit leerdoel (voor de meesten) daarmee gehaald is.

Algemene reflectie

De practicumopzet is zo gekozen dat iedereen zijn eigen experiment kan kiezen. Aan het begin van het eerste experiment kon iedereen nu zelf kiezen wat hij/zij wilde doen. Van tevoren werd aan de hand van een korte oriëntatie op de opstellingen klassikaal al een inventarisatie gemaakt van parameters die mogelijk een invloed hebben op de werking van de zonnecel.

Een aanbeveling voor volgend jaar: dit jaar verliep de indeling bij het eerste experiment nogal ad hoc. Dit had niet alleen tot gevolg dat er een onevenwichtige verdeling was tussen de twee groepen (de groep die het eerste experiment de zonnecel deed was groter dan de groep die de brandstofcel deed), maar zorgde er ook voor onhandige situaties. Door het grote aantal studenten kon niet iedereen het experiment doen dat hij wilde door het beperkte aantal opstellingen per proef. Twee studenten die eerst de golflengte-afhankelijkheid van de zonnecel wilden onderzoeken konden dit niet doen, omdat er ook al twee andere groepjes waren die dit deden. Verder waren er slechts twee lichtintensiteitsmeters aanwezig. Door het grote aantal studenten moesten groepjes soms lang wachten tot er een vrij was. Dit probleem was niet aan de orde toen de tweede, kleinere groep studenten de zonnecel deed.

⁵ Dat de discussie vaak na de conclusie werd geschreven is hoogstwaarschijnlijk nog blijven hangen van de middelbare school. Op mijn middelbare school werd dit inderdaad zo geleerd. Omdat de eindexamennormen voor alle scholen in Nederland hetzelfde zijn, zal mijn school niet de enige zijn geweest. In het tweede verslag werd deze fout in ieder geval niet meer gemaakt.

Tomek gaf vorig jaar als verbeterpunt dat de studenten van te voren op de hoogte werden gesteld van de losse sturing en wat er van hen verwacht werd. Dit jaar was dit inderdaad aangegeven. Desalniettemin werd er door een aantal studenten de kritiek gegeven dat het practicum ‘vaag’ was.

Conclusie

Op het practicum is nu een cursusdocument aanwezig met een simpele theoretische achtergrond van de zonnecel. Dit document heeft twee groepjes beter geholpen bij het doorlopen van Kolb-cyclus. Mogelijk kan dit document volgend jaar al gelijk op blackboard worden gezet zodat iedereen er gelijk gebruik van kan maken.

Bij het evalueren is duidelijk geworden dat de leerdoelen voor een groot deel van de studenten in meer of mindere mate zijn gehaald.

1. De studenten kunnen de verschillende begrippen uit de elektriciteitsleer gebruiken om de kwaliteit van een zonnecel te beoordelen⁶.
2. De studenten hebben weet gekregen van de natuurwetenschappelijke methode, in die zin dat ze nu ervaringen hebben opgedaan.
3. De studenten hebben allemaal experimentele vaardigheden opgedaan.
4. De studenten weten nu meer over hoe natuurwetenschappelijk gecommuniceerd moet worden, alhoewel dit niet voor iedereen in dezelfde mate geldt. Dit geldt met name voor de schriftelijke communicatie.

Alhoewel hier geconcludeerd wordt dat de leerdoelen in meer of mindere mate zijn gehaald, moet hierbij wel worden opgemerkt dat dit niet voor iedereen geldt.

Literatuurverwijzingen

- [1] Kallenberg, A.J., van der Grijspaarde, L., ter Braak, A. en van Horzen, C.J., *Leren (en) doceren in het hoger onderwijs*, Lemma, Utrecht, 1^e druk, vijfde oplage, 2006.
- [2] van de Watering, Tomek, “Leren (en) doceren op het natuurkunde practicum SBI”, *Evaluatie SBI practicum*, 2007
- [3] Buning, Jaap, “Handleiding Practicum Natuurkunde voor studenten Science Business and Innovation”, *Cursushandleiding natuurkunde practicum voor studenten SBI*, 2008
- [4] Buning, Jaap, “Leren onderzoeken. Hoe dat proces te begeleiden?”, *Een handleiding voor assistenten op het natuurkundepracticum om studenten te begeleiden*, 2005

⁶ In principe heb ik niet de brandstofcel begeleid, dus daar kan ik geen uitspraken over doen.