

Dilemma's in het natuurkunde practicum

Henk Vos, PhD Phys., PhD Ed.Sc., *afd. Elektrotechniek, Universiteit Twente*
Emailadres: h.vos@utwente.nl

Vaak doen studenten hun best op het natuurkunde practicum, spannen zich in om de voorgeschreven berekeningen en metingen uit te voeren, en verwachten dan voor hun inzet een hoog cijfer. Maar wanneer ze geen inzicht vertonen of een verkeerde aanpak hebben, moet de begeleider ze dan een hoog cijfer geven om ze te stimuleren of een (demotiverend) laag cijfer om aan te geven dat ze met de verkeerde dingen bezig waren? Soms worden historische demonstratie-experimenten op een practicum herhaald. Wordt de student daar wat wijzer van of is dat zonde van de tijd? Als een onderzoekende houding even niet te vinden is bij de studenten, wat is dan het nut van illustrerende proeven bij de theorie? Of van een open opdracht? Moeten de studenten leren onderzoek te doen door het gewoon te doen? Moeten ze in het diepe gegooid worden of moeten ze aan het handje genomen worden? Moeten ze veel tijd besteden aan het herhaaldelijk schrijven van verslagen of is het voldoende als de begeleider een enkele keer een cijfer geeft voor een verslag?

Deze en soortgelijke dilemma's zijn niet gemakkelijk op te lossen. Gelukkig bestaan er voorbeelden van oplossingen die aantoonbaar hebben gewerkt. Een aantal daarvan zullen worden besproken. Tevens zal kort ingegaan worden op een theoretische beschrijving van deze dilemma's, of liever, een overzicht van een aantal dilemma's als aspecten van een leertaak op twee niveaus van implementatie. Deze kunnen geïnterpreteerd worden als cognitief en metacognitief van niveau. Een oplossing is mogelijk aan de hand van het begrip metacognitie en te kiezen of voor cognitieve of voor metacognitieve ontwikkeling. Maar allereerst worden de soorten practica met hun problemen beschouwd, aan de hand van de doelen die ze kunnen dienen.

De doelen die bij practica geformuleerd worden, zijn meestal de doelen die de docent in zijn hoofd heeft, zoals inzicht verwerven. We zullen dat onderwijsdoelen noemen. De studenten hebben vaak andere doelen, zoals het halen van een voldoende of iets zelf willen meten. We zullen deze leerdoelen noemen. Het formuleren van een onderwijsdoel betekent niet automatisch dat dit ook een leerdoel wordt: het onderwijsdoel "de student moet zelf willen meten" wordt door Watzlawick e.a (1974) een pragmatische paradox genoemd. Immers, als de student dit onderwijsdoel als opdracht opvat, voldoet hij juist niet aan de opdracht.

Het eerste type practicumexperimenten, dat wordt onderscheiden, is het uitvoeren van *historische demonstratie-experimenten*. Een voorbeeld hiervan is het bepalen van de lading van het elektron, of een modernere versie, het quantum Hall effect in een 2-dimensionale halfgeleider bepalen. Het onderwijsdoel zou hier kunnen zijn om een historische mijlpaal te herhalen of inzicht te verwerven. Het leerdoel dat vaak ontbreekt is echter: willen weten, zelf willen meten.

Historische experimenten kunnen ook alternatieve doelen dienen: het onderwijsdoel zou kunnen zijn de student een verrassende ervaring te laten opdoen, zodat hij gemotiveerd wordt tot het leerdoel: willen onderzoeken. Een voorbeeld zou kunnen zijn onderzoek aan de rechte boemerang (Vos, 1985), of aan meer bekende inspirerende fenomenen uit de geschiedenis. Een alternatieve aanpak zou kunnen zijn het leerdoel "zelf willen meten" op andere wijze te activeren, bijvoorbeeld door de studenten van tevoren voorspellingen te laten doen over uitkomsten of nauwkeurigheid (vergelijk praktische oefening hierna).

Een ander veel voorkomend type zijn de *illustrerende proeven* bij college en theorie. Een voorbeeld uit de elektrotechniek is het meten van de lineariteit van een weerstand. De vraag is of een dergelijke meting kan bijdragen aan het vermaak van de studenten, een uitdaging vormt, of tot een openbarend inzicht leidt. Het onderwijsdoel zou hier kunnen zijn een verschijnsel waarnemen, of een voorstelling verwerven. Er ontbreekt echter vaak een leerdoel: het verschijnsel is al duidelijk voor de student, hij weet het al. Een alternatief doel

zou kunnen zijn: een verschijnsel identificeren. Bijvoorbeeld door de studenten een handjevol weerstanden, condensatoren en spoelen geven, en te laten bepalen welke wat is aan de hand van metingen met signaalgenerator en oscilloscoop. Een verrassing hierbij is dat spoelen zich enigszins als condensatoren gedragen en dat 47 n niet alleen op een condensator maar ook op een spoeltje kan staan.

Een volgende categorie proeven is die waarin *praktische oefening, of toepassing van de theorie* aan de orde komt, zoals RC circuits doormeten. Vaak wordt toegelaten dat die ongeïnteresseerd worden uitgevoerd. Ze dragen meestal niet bij tot het kweken van een onderzoekende houding, maar dat is dan ook meestal niet het onderwijsdoel van deze proeven. Dat is eerder het beheersen van berekeningen, metingen, apparatuur en/of opstellingen. Vaak ontbreekt het leerdoel: iets willen weten, of iets willen modelleren, zodat het leren beheersen van de vaardigheid geen doel van de student dient.

Een alternatief doel dat hier bijvoorbeeld gebruikt zou kunnen worden is om de studenten iets te laten maken. Dat vinden ze meestal wel leuk. Door te eisen dat ze eerst de onderdelen begrijpen en doormeten, worden ook de onderwijsdoelen " berekenen, meten, begrijpen hoe het werkt" indirect tot leerdoelen. Een voorbeeld is het START-P-project in onze afdeling Elektrotechniek. De studenten komen net binnen en gaan in groepen een robotje bouwen en begrijpen, met behulp van RC-berekeningen en netwerksimulaties in PSPICE, dual trace storage oscilloscoop, en signaalgenerator en voedingen. Ze werken met een digitaal geheugen en motortjes die aangestuurd worden.

Bij het *begeleiden* van de studenten komen hierbij ook meer algemene dilemma's naar voren. Moet je studenten voorzeggen wat ze moeten doen en alles voorkauwen, of moet je ze zelf inzicht, overzicht laten ontwikkelen. Een tussenoplossing is hier om in plaats van antwoorden te geven de studenten (op een verstandige manier) vragen stellen. Student-assistenten kunnen hier heel goed in zijn.

Een ander dilemma is dat van lief zijn voor studenten (niet te veel eisen stellen, een grote inzet geeft een hoog cijfer ter stimulering) versus realistisch zijn (geen inzicht, verkeerde aanpak geeft een demotiverend laag cijfer). Een oplossing zou hier kunnen zijn: de studenten zo'n laag cijfer geven vlak voor een gelegenheid waarbij ze hun aanpak kunnen corrigeren en hun cijfer ophalen.

Het laatste type practicum lijkt op het leren doen van zelfstandig onderzoek aan een zelfgekozen probleem met zelfgekozen middelen waar iets nieuws uit komt. Dit is het *open experiment*, of de *open opdracht*. Een voorbeeld hiervan is het doen van onderzoek aan de zwevende gyroscoop, die als speelgoed te koop is. Dergelijke experimenten bereiden voor op het doen van wetenschappelijk onderzoek, vormen soms al een onderdeel daarvan, maar kunnen ook in simpele vorm al vroeg aangeboden worden. Hierbij valt te denken aan het leren experimenteren op de basisschool, waar sommige onderwijzers enthousiast mee bezig zijn.

Het dilemma hier is aan de ene kant om de studenten te direct in het diepe te gooien en aan de andere kant om ze teveel aan het handje te houden. Zelfstandigheid geven is niet hetzelfde als zelfstandigheid ontwikkelen. Het onderwijsdoel kan vaak geformuleerd worden als systematisch leren experimenteren. Wat ontbreekt is echter een handvat, een strategie, een methodiek voor die systematische aanpak. Het gevolg van het ontbreken van een methodiek kan zijn dat de student afhaakt, dat ze zichzelf overschatten, en dat ze door vallen en opstaan moeten ontdekken wat de bedoeling is.

Het is erg lastig om zo'n systematische aanpak onder woorden te brengen: niet alle docenten kunnen dat (Vos, 2001) en ze verschillen erover van mening. Hier is een groepsmatige benadering geboden. Een voorbeeld hiervan is het leren experimenteren zoals dat bij Netwerkanalyse in onze faculteit is geïmplementeerd (Vos, 2001). De kern van de methodiek is dat berekenings- en meetresultaten met elkaar moeten kloppen (vergelijk: hypothese opstellen en toetsing) en dat ontbrekende informatie zelf opgespoord moet worden. Deze methodiek moet geleidelijk opgebouwd worden. Wij deden dat in drie stappen: de methodiek introduceren bij bekende stof en verspreide informatie; herinneren aan de methodiek door hints bij nieuwe stof en onvolledige informatie; geen verwijzing naar de

methodiek in nieuw domein met collegestof, die voor een gedeelte nog niet behandeld was op het moment van het practicum.

Andere problemen op het practicum komen voort uit wat de docent noemt, een gebrek aan *voorbereiding*. Het onderwijsdoel is hier het snappen van de opdracht. Voor de student is het leerdoel meer het lezen van de opdracht, en snappen wat er staat. In ons onderzoek zijn aanwijzingen gevonden dat matige en zwakke studenten in het begin van het practicum wel degelijk voorbereiden, en daar zelfs meer tijd aan besteden dan goede studenten, maar dat ze het lijken op te geven na een of twee keer. De remedie die we hebben toegepast is: bij de eerste practicummiddag zorgen dat alle informatie ergens staat (bij de opdracht, ergens anders in de handleiding, in het collegedictaat of boek). En elke keer ter voorbereiding zorgen voor relevante vragen met gemenigheidjes er in, die te maken hebben met waar de studenten tegenaan lopen in het practicum.

Een heikel punt is de *verslaglegging*. Deze kost veel tijd. Er moeten labjournaals (logboeken) worden bijgehouden en uiteindelijk moet een verslag gemaakt worden. Het is de studenten niet aan het verstand te brengen dat een logboek alles omvat wat er gebeurde (ook wat er verkeerd ging) en dat een verslag bedoeld is om je resultaten, methodes, en aanpak te verantwoorden naar de wetenschappelijke wereld om je heen, en dat deze twee dus verschillen. Er liggen hier weer een aantal dilemma's. Niet teveel eisen stellen vs. juist wel eisen stellen. Voorbeelden geven vs. uitleggen hoe het moet vs. aparte schrijftraining vs. zelf een artikel laten publiceren.

Een alternatief is hier om de principes van het verslagleggen afzonderlijk te trainen. Deze methode is al eens eerder gepropageerd (Vos, 1987). Dit naar aanleiding van een analogie met het onderwijzen van de matvoering bij schaken. Het is gebleken dat het afzonderlijk uitleggen, demonstreren, en oefenen van de drie principes (afsnijden van zoveel mogelijk velden en lijnen, samenwerking van de stukken, op tijd doen van een zet) met dame en koning maar zonder matvoering, leidde tot generalisatie naar andere stukkencombinaties en naar het uitvoeren van de complete matvoering. Tevens verliep het leren snel en foutloos.

Bij verslaglegging zou het gaan om de volgende principes. Het eerste principe is onderscheid maken tussen feit en mening, tussen wat er feitelijk gebeurt en wat daarvan gevonden wordt, tussen data en conclusie. Bij het schrijven van labjournaals en bij reflectieve journaals is dit eveneens een belangrijk principe en kan daar geoefend worden. Een tweede principe is het maken van een samenvatting. Vaak ontbreekt de tijd om een iteratie te maken die dient om het verslag compacter te maken. Dit principe kan bijvoorbeeld via het maken van een poster geoefend worden. Een derde principe is dat van hypothesevorming en toetsing, zoals dat bij leren experimenteren in simpeler situaties al geoefend kan worden.

Een laatste dilemma ligt in de *didactiek*. Je kunt inductief of deductief te werk. Deductief betekent dat de docenten uitgaan van hun eigen inzichten en er tevens van uitgaan dat de studenten die moeten verwerven. Hierbij vergeten ze dat ze er zelf heel lang over hebben gedaan om die inzichten te verwerven, dat de studenten doorhebben dat die inzichten van oudere datum zijn, dat de problemen die de studenten moeten oplossen nieuwe problemen zijn, en dat de studenten geen trechters hebben waar je inzichten in kunt gieten. Inductief betekent uitgaan van de student en de ervaringen die hij op kan doen, en de inzichten laten ontwikkelen. Dit gaat langzaam, er worden veel fouten gemaakt, en het resultaat is niet gegarandeerd.

Een oplossing is om een versnelde inductie tot stand te brengen, via een ontwikkelende didactiek. Het merkwaardige verschijnsel doet zich dan voor dat de docent het gevoel heeft dat dit, net als gewone inductie, verkeerd is. Dit verschijnsel werd door Freudenthal ooit de anti-didactische inversie van de docent genoemd. Mijns inziens houdt dit verschijnsel in dat docenten vergeten hoe hun eigen, langzame of versnelde, inductie is verlopen, veel tijd moeten besteden om zich dat proces weer bewust te maken, zodat ze de studenten kunnen begeleiden bij hun versnelde inductieprocessen.

Het voorgaande kan samengevat worden in een overzicht waarin zes aspecten van leertaken worden weergegeven (Tabel 1). Deze zes aspecten komen uit de handelingstheorie (Mettes en Pilot) en omvatten allereerst het motiveren voor de leertaak, het stellen van doelen, en het op peil brengen van de voorkennis. Als aan deze voorwaardelijke aspecten niet voldaan

is, vindt er geen uitvoeren of leren plaats. Vervolgens gaat het om de oriëntatie op de uit te voeren taak, de uitvoering zelf, en de evaluatie van de uitkomsten, alsmede de evaluatie van de andere aspecten van de leertaak. Een aantal voorbeelden van deze aspecten zijn weergegeven in twee kolommen, op twee verschillende niveaus.

Tabel 1. Aspecten van leertaken op twee niveaus van implementatie

Aspect leertaak	Implementatie laag niveau	Implementatie hoog niveau
1. Motivatie	Doen wat de docent zegt, dat is goed voor mij. Vak halen.	Uitdaging. Verrassing. Vrijheid. Zelfstandigheid. Zelfverantwoordelijkheid.
2. Doelen	Taak beheersen. Voldoende cijfer.	Willen snappen. Willen weten. Willen onderzoeken.
3. Voorkennis	Informatie doorlezen. Handleiding volgen. Just in time informatie (docent).	Nodige informatie zelf opzoeken. Methode van aanpak. Just in time feedback (docent).
4. Oriëntatie	Informatie doorlezen. Kijken naar een demonstratie.	Informatie begrijpen. Voorbereiden. Proefexperiment uitvoeren.
5. Uitvoering	Kookboek uitvoeren (individueel). Lege tabel invullen. Opschrijven wat is gedaan en wat er uit kwam (samen).	Zelf kookboek maken (samen). Lege tabel maken. Opschrijven wat acties met elkaar en met het doel van de proef te maken hebben (individueel).
6. Evaluatie	Is dit goed meneer?	Verwachting vergelijken met resultaat.

De implementatie kan zowel door de docent als door de student (leren leren!) verzorgd worden. Op enkele plekken zijn de consequenties voor samenwerken aangegeven, zoals dat vaak in een practicum in paren of in een project met vier of meer studenten plaats vindt. Dat vergt enige toelichting.

Op laag niveau is het doel een taak te beheersen, bijvoorbeeld een meetinstrument. De uitvoering dient dan individueel plaats te vinden, anders is beheersing niet gegarandeerd. Reflecteren op wat ze gedaan hebben en het verwerven van inzicht is hier geen doel voor de studenten, zodat het schrijven van een verslag of logboek best samen mag gebeuren. Wat geëvalueerd wordt, en beoordeeld, is de beheersing van een vaardigheid, niet of ze het goed kunnen opschrijven.

Het omgekeerde is het geval op het hogere niveau. Daar is willen snappen en onderzoeken het doel. Het samenstellen van het kookboek en dat uitvoeren mag dan best gemeenschappelijk plaats vinden. Echter, het schrijven van logboek of verslag is voor de studenten juist het product van de oefening in het reflecteren op wat ze gedaan hebben, kortom reflectie op het begrip en inzicht dat is opgedaan. Dat moet dus individueel, niet alleen ter oefening maar ook ter evaluatie en beoordeling.

Hier worden twee niveaus onderscheiden die in de praktijk vaak door elkaar lopen. De implementatie van laag niveau is het cognitieve niveau. Cognitie is het vermogen om intelligent te handelen: kennis, vaardigheden, begrip, en gevoel daarvoor. De aandacht is gericht op input, output en assistentie (extern). De sturing van de taken vindt plaats door waarneembare elementen (veldsturing). De houding is de student is afhankelijk.

De implementatie van hoog niveau is metacognitief van karakter. Metacognitie is cognitie die betrekking heeft op de eigen cognitie. (Hier vindt dus een splitsing van cognitie plaats, en

een verandering in betekenis van het begrip cognitie). Bij metacognitie gaat het dus altijd over het eigen functioneren (intern), terwijl de externe factoren minder belangrijk zijn. De aandacht is gericht op het eigen cognitief functioneren (intern). De sturing van de taken vindt plaats door interne elementen (zelfsturing), zoals inzicht in de stof willen, willen begrijpen wat de bedoeling is, zelf willen nagaan of het klopt. De houding van de student is kritisch.

Problemen of dilemma's in het practicumonderwijs zoals boven beschreven hebben vaak te maken met de keus tussen cognitieve doelen of metacognitieve doelen. Als er geen keus wordt gemaakt ontstaan er dilemma's. Willen de docenten de studenten vaardigheden leren of willen zij hen leren om hun vaardigheden zelf te ontwikkelen? Eigenlijk zijn we als docenten wel van mening dat het in het onderwijs vooral om het hoge niveau dient te gaan, en dat dat vaak niet lukt door allerlei praktische beperkingen. Gelukkig dat we daar wel iets aan doen.

Het ontwikkelen van metacognitie is het belangrijkste onderwijsdoel tegenwoordig. Immers, cognitieve informatie is overal op internet en in boeken te vinden. Studenten leren op het VWO hoe ze die informatie om kunnen zetten in bruikbare kennis. Vaardigheden zijn er tegenwoordig zoveel dat het ondoenlijk is om die allemaal te trainen. Er is slechts tijd om een beperkt aantal daarvan te trainen om aan de hand daarvan te leren hoe je je eigen vaardigheidstraining zelf kan sturen. Studenten dienen vooral te leren hoe ze hun eigen docent kunnen zijn (leren leren), alweer een metacognitief doel.

Ontwikkeling van metacognitie kost tijd, energie, en geld. Metacognitieve ontwikkelingen zijn persoonlijke ontwikkelingen van individuen. De begeleiding hiervan kan alleen maar persoonlijk zijn. De meeste studenten zijn niet zomaar gemotiveerd of in staat om deze ontwikkeling zelf op gang te brengen. Waar studenten het in het onderwijs zelf moeten uitzoeken (plannen en zelfstudie in de tweede fase, reflectieve portfolio's maken, overgang bachelor-master), gaat dit ten koste van de ontwikkeling van metacognitie.

Wanneer in het onderwijs bezuinigd wordt, kan dat door minder kennis en vaardigheden van laag niveau te onderwijzen: onderwerpen schrappen, minder tijd voor oefenen. Dat zou gecompenseerd kunnen worden door de ontwikkeling van inzicht, zelfsturing, en daarmee van het leren leren. Dan moeten de docenten echter tijd krijgen, niet zozeer in het onderwijs zelf, maar vooral voor training, materiaal ontwikkeling, e.d. Daarvoor is echter minstens zoveel geld nodig.

De schoolse ontwikkeling van het natuurkundig denken is een versnelde inductie gebaseerd op het practicum en de dagelijkse ervaring. Dat denken leidt tot inzicht in relaties tussen verschijnselen in de wereld, en een systematische aanpak om die te ontdekken, valideren en toe te passen. De ontwikkeling van dit denken is waardevol op zichzelf, waardevol als voorbeeld voor andere disciplines, en waardevol als basis voor het beheersen van verschijnselen in de maatschappij. Het is de moeite waarde om hieraan te blijven werken.

Vos, H. Straight boomerang of balsa wood and its physics. *Amer.J.Phys.*53(6), June 1985, 524-527.

Vos, H. Strategie voor practicumverslagen. *Ned. Tijds. V. Natuurkunde* B53, 4 (24-2-1987) 19.

Watzlawick, P., Beavin, J.H. en Jackson, D.D. *De pragmatische aspecten van de menselijke communicatie*. Houten: Bohn Stafleu Van Loghum, 1974

Henk Vos is fysisch en onderwijskundige. Na een promotie in de natuurkunde heeft hij als docent aan een lerarenopleiding gewerkt en vervolgens in ontwikkelingsprojecten voor staftraining van fysici in Indonesië. Hij werkt sinds 1985 aan de Universiteit Twente als docent en onderwijsadviseur. In 2001 is hij gepromoveerd op het onderwerp: Metacognitie in het Hoger Onderwijs. In zijn proefschrift heeft hij een aantal succesvolle onderwijs vernieuwingsactiviteiten voorzien van een theoretische achtergrond. Sinds 2002 is hij naast zijn part-time docentschap werkzaam als zelfstandig onderwijskundig adviseur.