

Practicum: leren ze er wat?

Vergelijkend onderzoek van lesmethoden in het buitenland met en zonder practicum laat maar weinig verschillen zien tussen leerlingen die wel en leerlingen die geen practicum hebben gehad. De verschillen zitten voornamelijk in vaardigheid in het manipuleren van apparatuur, maar niet in kennis/begrip of onderzoeksvaardigheden. Deze uitspraak is niet gebaseerd op een enkel onderzoek, maar op resultaten van tientallen studies. Tegen elk van deze studies is wel iets in te brengen, maar de consistentie tussen de resultaten van al die studies is te hoog om te negeren. Hoewel onderzoekers al meer dan 10 jaar bekend zijn met de teleurstellende uitkomsten van practicum, blijken docenten en beleidsmakers minder goed op de hoogte te zijn.

Dit artikel start met een korte beschrijving van resultaten van onderzoek en probeert dan aan te geven waarom het rendement van practicum zo laag is en wat dan blijkbaar cruciale factoren zijn in de didactiek van practicum.

Practicumdoelstellingen

Het gebruik van practicum kan verschillende doelen hebben, bijv.:

1. Ondersteuning van theorie d.m.v. verificatie of 'ontdekkings'proeven.
2. Het leren onderzoeken met behulp van experimenten (het komen tot een vraagstelling, variabelen vertalen in meetbare grootheden, hypothesen stellen en toetsen, conclusies trekken, experiment relateren aan theorie, etc.).
3. Het leren gebruiken van een aantal meetinstrumenten en practicum-technieken (meten van temperatuur, pH, stroomsterkte, titreren, gebruiken van een microscoop, etc.).
4. Motiveren van leerlingen.
5. Betekenis laten zien van 'experimentele' wetenschap.

De term 'practicum' is natuurlijk niet eenduidig en kan slaan op vaardigheidstraining in het gebruik van een microscoop tot het doen van eigen onderzoek. We beschouwen een lesmethode als 'practicum' als leerlingen zelf meten of waarnemen en apparatuur hanteren.

Onderzoek

Vier¹ uitgebreide samenvattingen van onderzoek naar de uitkomsten van practicumonderwijs concludeerden het volgende:

1. Practicum is beter dan andere lesmethoden in leren gebruiken van apparatuur en meettechnieken.
2. Practicum is **niet** beter dan andere me-

thoden in het leren van theorie/begrippen.

3. Practicum is niet beter dan andere methoden in het leren onderzoeken.
4. Practicum kan inderdaad leiden tot een wat betere motivatie (maar zoals te zien in 2 en 3 vertaalt zich dat niet direct in betere prestaties).

Dit zijn 'gemiddelde' resultaten, gemiddeld over veel klassen en docenten. Er kunnen dus best klassen en docenten zijn waar practicum tot goede resultaten leidt, maar in de gemiddelde situatie vallen de resultaten van practicum sterk tegen en dat leidt tot de vraag: Is practicum het waard?

Uitspraken over practicum

Klassikale uitleg, demonstratie, en practicum methoden lijken even effectief in het overbrengen van kennis. Practicum is superieur in het onderwijzen van vaardigheden in het hanteren van apparatuur. Sommige soorten van 'inquiry' practicum activiteiten lijken beter dan klassikale uitleg/demonstratie of verificatie practicum in het onderwijzen van het proces van onderzoeken. Echter, docenten moeten vaardig zijn in de didactiek van leren onderzoeken ('inquiry').²

Over voorkandidaatspractica aan een bekende universiteit (waarschijnlijk Berkeley University in de VS):

De meeste studenten kunnen een experiment, dat ze zojuist gedaan hebben, niet zinvol samenvatten. Meestal herinneren ze zich enkele handelingen van het practicum, maar kunnen ze het doel van het experiment niet uitleggen, noch de achterliggende theorie, of gebruikte methoden. Ondanks een aantal uren werk in het laboratorium lijken de studenten weinig te leren van deze ervaring.³

Deze onderzoeksresultaten druisen in tegen de overtuigingen van de meeste docenten natuurwetenschappen. Zoals eerder gezegd, de diverse studies over de effectiviteit van het practicum zijn zeker voor kritiek vatbaar, maar de consistentie in uitkomsten van tientallen onderzoeken is ongewoon hoog en kan niet genegeerd worden. We kunnen twee alternatieve conclusies trekken:

- 1) practicum geeft geen betere resultaten dan andere methoden, of
- 2) practicum wordt verkeerd toegepast en



kan met een betere didactiek wel betere resultaten opleveren dan andere lesmethoden.

Wij kiezen voor het tweede alternatief en zullen deze keuze onderbouwen en enkele didactische aanwijzingen geven⁴.

Drie soorten practicum

Eerder werd een lijstje gegeven van doelen van practicum. Die doelen zijn zeer verschillend en vereisen een verschillende didactiek. Het zich niet voldoende bewust zijn van die verschillen is zeker één van de oorzaken van tegenvallende practicum-resultaten.

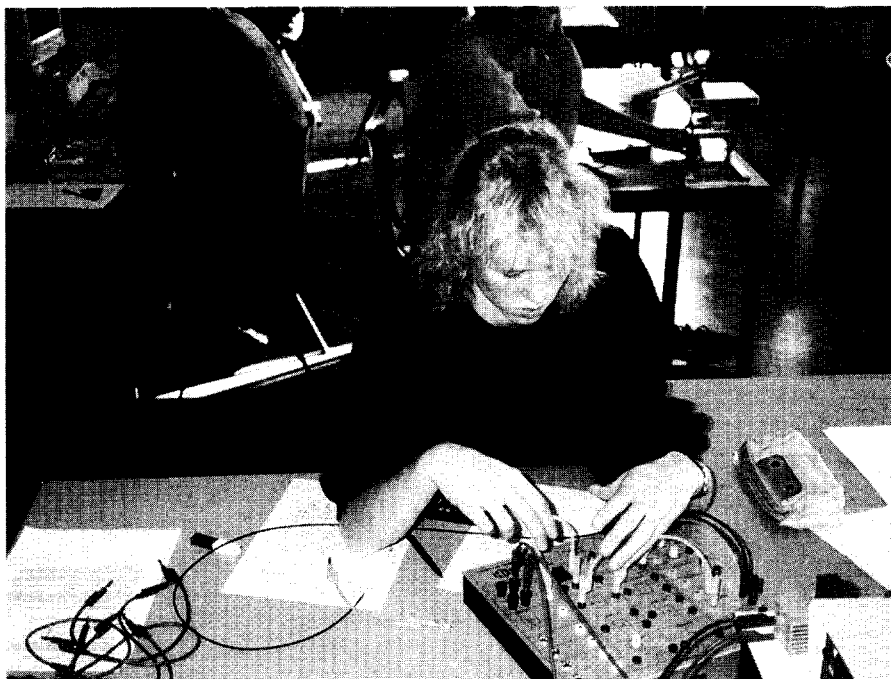
1) Apparatuurpracticum

Voor veel practicumvaardigheden als solderen, titreren, of het maken van microscoop-preparaten bestaat een beste of veiligste manier. Een paar duidelijke aanwijzingen en uitgebreide oefening met supervisie kunnen tot goede resultaten leiden. Eventuele discussie is tamelijk convergent: 'waarom doen we het zus en niet zo'. Een practicum met kookboekachtige instructies van eerst doe je dit en dan dat mag best. Kortom, een vaardighedenpracticum is kookboekachtig met duidelijke voorschriften en aanwijzingen, en veel oefening. Beasley (1979, 1983) is een van de weinigen die gewerkt heeft aan didactiek voor dit soort practica.

2) Onderzoekspracticum

Bij leren onderzoeken gaat het om cognitieve vaardigheden m.b.t. het verwerven en toetsen van kennis. Dit soort vaardigheden wordt vaak process skills genoemd in de internationale onderwijsliteratuur. Voorbeelden van dergelijke vaardigheden zijn (Tabel 15): het komen tot een probleemstelling, het vertalen van een probleem in concrete vragen, het vertalen van vragen in een experiment, het vertalen van variabelen in meetbare grootheden (komen tot operationele definities), observeren, meten, verwerken van gegevens in tabellen en grafieken, conclusies trekken, beperkingen erkennen, etc.) De meeste van deze vaardigheden staan genoemd in het WEN-programma, een aantal deelvaardigheden staat ook in de kerndoelen voor de basisvorming.

In tegenstelling tot het apparatuurpracticum, vereist het onderzoekspracticum juist vrijheid voor de leerling om keuzes te maken in de opzet van experimenten en ruimte voor discussie tussen leerlingen onder-



ling en met de docent over de voor- en nadelen van diverse mogelijkheden. Verder zullen, zeker in de onderbouw, diverse vaardigheden apart geoefend moeten worden en soms kan dat zelfs zonder apparatuur (bv. oefenen met tabellen en grafieken, of een opzet maken voor een experiment als huiswerk voor het practicum). Soms zal de nadruk liggen op het voorwerk, het ontwerpen van experimenten (vaardigheden 1.1 - 1.5 uit de tabel), soms op uitvoering, soms op verwerking en presentatie van gegevens. De meest algemene vaardigheden als observeren, meten, opschrijven en verwerken van resultaten komen in vrijwel elk practicum aan bod. Onderzoeksvaardigheden kunnen niet volledig gescheiden worden van natuurkundekennis (de context) waarmee geoefend wordt. Als de nadruk in een bepaald practicum ligt op oefening in onderzoek, dan is het beter om te werken met relatief gemakkelijke leerstof opdat begripsmoeilijkheden het leren van onderzoeksvaardigheden niet in de weg staan.

3) Begripspracticum⁶

Een practicum ter ondersteuning van begripsontwikkeling zou moeten bestaan uit een uitgekende serie activiteiten waarbij - beginnend bij leerlingideeën en intuïties - zorgvuldig een begrip wordt opgebouwd en afgezet tegen zogenaamde misconcepties. De vereiste sturing in zo'n proces rechtvaardigt een gestructureerde benadering, maar ook een open interactie tussen leerlingen en docent, opdat verkeerde interpretaties van leerlingen duidelijk naar voren komen. Als de nadruk ligt op begripsontwikkeling, dan is het beter ingewikkelde apparatuur en hoge eisen aan experimenteervaardigheid te vermijden, opdat het proces van begripsvorming niet onnodig gecompliceerd wordt. Kwalitatieve 'houtje-touwje' proeven zijn vaak beter voor begripsvorming dan nauwkeurige metingen met ingewikkelde apparatuur.

Eén van de problemen met practicumonderwijs is dat deze drie soorten practicum nu juist niet onderscheiden worden. Bijvoorbeeld, bij een elektriciteitspracticum in de onderbouw verwachten we dat leerlingen schakelingen lezen en maken, meters juist plaatsen, etc. We verwachten ook nog dat begrippen als stroom en spanning beter begrepen zullen worden. De problemen met het schakeling maken zullen de begripsvorming gewoon vertroebelen. Veel beter is het om de vaardigheidscomponent te scheiden van de begripsdoelen van het practicum. Oefen leerlingen eerst in wat basisvaardigheden als schakelingen bouwen met meters erin. Dat kan snel en efficiënt (een les). Pas als dat lekker loopt, gebruik dan die vaardigheden in een practicum om meer over de begrippen stroom en spanning te leren (bv. serie- en parallel-schakeling, wet van Ohm, etc.).

Het is goed vaardigheidspractica te scheiden van begrips- en onderzoekspractica. Vaak is het mogelijk in de eerste tien minuten van een practicum de vaardigheden te oefenen en dan pas over te gaan naar de begrippen of onderzoeksvaardigheden. Apparatuurpractica hoeven vaak geen hele les te duren, ze kunnen vooraf gaan aan een begrips- of onderzoekspracticum. Hoe dan ook, het is goed het apparatuurpracticum begripsmatig te scheiden van de andere twee omdat een heel andere aanpak vereist is.

Vooraf in de onderbouw is het nodig de begrips-, onderzoeks- en apparatuurpractica goed uit elkaar te houden. Op hogere niveaus zullen practica meer geïntegreerd zijn, maar ook dan is het belangrijk duidelijke prioriteiten te stellen m.b.t. leerdoelen. Voor een bepaald practicum moet men zich afvragen, wat de twee of drie belangrijkste doelen zijn i.p.v. alles tegelijk te willen bereiken. Met een duidelijke keuze van doelen en prioriteiten weten docenten en leerlingen beter waar ze aan toe zijn.

Het zal duidelijk zijn dat het onmogelijk is een begripspracticum uit te voeren dat geen vaardigheden vereist, of een onderzoekspracticum zonder begripkennis. Ons voorstel is echter practica zo in te richten dat het accent op één van de drie (begrip, onderzoeksvaardigheden, apparatuurvaardigheden) ligt, bijvoorbeeld, dat een begripspracticum niet met (voor leerlingen) onbekende apparatuur gedaan wordt en niet geheel nieuwe analysevaardigheden eist, of dat een onderzoekspracticum niet teveel gebruik maakt van begrippen die nog niet beheerst worden.

Echt onderzoek en ook de EXO (eigen on-

derzoek in vwo 6) is een integratie van apparatuurvaardigheden, onderzoeksvaardigheden, en begripvorming. Uiteindelijk moeten de 3 soorten practicum dus geïntegreerd aan bod komen.

Keuze van practicumproeven

Veel proeven zijn 'vaste prik' geworden in het schoolpracticum zonder dat de waarde ervan of de beste manier van presenteren ooit is vastgesteld. Leren de leerlingen er wel wat van? Neem bijvoorbeeld de vrije val demonstratie van een veer en een stukje lood in een vacuümgezogen buis. Ik herinner me de proef uit de 2de of 4de klas hbs, maar de essentie van die proef is destijds nooit tot mij doorgedrongen. Een proef met twee ongelijke stenen zou me meer hebben kunnen leren over de massa-onafhankelijke valversnelling g . Het veertje en het lood had de laatste proef moeten zijn in een hele serie over de valversnelling, waarin men eerst de massaonafhankelijkheid van g laat zien met stenen, daarna voorwerpen neemt waar luchtwrijving een rol speelt (papierblad versus papierpropje en steen), en uiteindelijk de veer en het lood in de buis.

Anderzijds zijn er ook veel proeven die juist niet gedaan worden. De afgelopen 15 jaar is er veel onderzoek gedaan naar intuïtieve ideeën van leerlingen over de natuur. Voorbeelden zijn dat leerlingen (en hun ouders) denken dat zwaardere dingen sneller vallen dan lichte (ook wanneer wrijving geen rol speelt), dat de stroom naar een lamp groter is dan de stroom uit een lamp, dat een batterij een constante stroom geeft in plaats van een constante spanning. Begripspractica zouden daar nu net op in moeten spelen, maar dat gebeurt nog erg weinig. Bijvoorbeeld, welke practicumserie heeft proeven om de stroomsterkte voor en na een lamp te meten, of om te laten zien dat de stroomsterkte van een spanningsbron niet constant is, maar afhankelijk van de schakeling? Onderzoek naar remediatie van die leerlingideeën of misconcepties heeft een aantal duidelijke aanwijzin-

gen opgeleverd voor het soort van proeven waar leerlingen van zouden kunnen leren. Bijvoorbeeld, Liem's (1987) boek met simpele 'counterintuitive' proeven zijn prachtige bronnen voor demonstraties⁸.

Sommige experimenten met ingewikkelde apparatuur zijn 'black-box'-experimenten waarin de natuurkunde voor leerlingen verborgen blijft. Experimenten uitgevoerd met eenvoudige apparatuur of zelfs met alledaagse voorwerpen, werken didactisch vaak beter.

Practicumdoelen en werkbladen

De grote curriculumbeweging van de zestiger jaren in de VS legde veel nadruk op onderzoeksvaardigheden. Leerlingen moesten leren onderzoeken. Kennis heeft vaak slechts tijdelijke waarde, maar het kunnen vergaren en valideren van benodigde kennis is een vaardigheid die een leven lang van belang is. Dit alles onder het motto: Geef me een vis en ik heb eten voor een dag, leer me vissen en ik eet een leven lang. Een aantal jaren geleden analyseerde een groep onderzoekers⁹ practicumwerkbladen van bekende Amerikaanse curricula (o.a. van de natuurkunde curricula PSSC, en Harvard Project Physics, de diverse versies van BSCS biologie, en CBA en CHEM Study voor scheikunde). Ze kwamen tot de volgende conclusies:

- Zelden of nooit wordt de leerling gevraagd om:*
- een onderzoeksvraag te formuleren;
 - een hypothese te formuleren of te toetsen;
 - experimentele resultaten te voorspellen;
 - te werken volgens eigen ontwerp;
 - nieuwe vragen te formuleren gebaseerd op onderzoek;
 - een experimentele techniek toe te passen gebaseerd op een zojuist uitgevoerd onderzoek.

Als van leerlingen nooit geëist wordt dat ze voorspellingen doen, of onderzoeksvragen formuleren, of zelf een proefje uitdenken, hoe kun je dan verwachten dat ze onderzoeksvaardigheden leren? Soms kunnen bestaande practicum werkbladen met enkele eenvoudige veranderingen meer onderzoeksgericht worden. De internationale *science education* literatuur bevat veel voorbeelden van onderzoekspractica (zie literatuurlijst). In Nederland is er voor natuurkunde een bovenbouwserie ontwikkeld door TU Eindhoven en voor biologie is er het SPIN materiaal. Resultaten van proeven in veel boeken en

1.0 opzet van het experiment

De leerling:

- formuleert het te onderzoeken probleem.
- formuleert hypothese.
- ontwerpt experiment (onafhankelijke en afhankelijke variabelen).
- ontwerpt observatie- en/of meetprocedures voor elke variabele (operationele definities).
- voorspelt resultaten.

2.0 uitvoering van het experiment

De leerling:

- observeert, meet.
- manipuleert.
- schrijft resultaten op.
- berekent.
- legt uit of beslist over experimentele technieken.
- werkt volgens eigen opzet.

3.0 analyse en interpretatie

De leerling:

- transformeert resultaten in standaardvorm (tabellen).
- stelt relaties vast (inclusief grafieken).
- beschrijft/besprekt nauwkeurigheid gegevens.
- beschrijft/besprekt aannames.
- formuleert generalisaties.
- verklaart relaties.
- formuleert nieuwe vragen/problemen.

4.0 toepassingen

De leerling:

- voorspelt, gebaseerd op resultaten van onderzoek.
- formuleert hypothesen voor follow-up.
- past experimentele techniek toe op nieuw probleem.

Tabel 1. onderzoeksvaardigheden

practicum-handleidingen zijn reeds bekend voordat een leerling de proef doet, of kunnen gevonden worden op de volgende pagina. Dus is de leerling erop gericht het juiste antwoord te krijgen in plaats van na te denken over doel en methoden van de proef.

Practicumbegeleiding

In een serie observatiestudies van zo'n 70 voorkandidaatspractica in de VS vonden Kyle e.a. (1982) dat de docenten (en assistenten) vaak *het leren* tegenwerkten i.p.v. stimuleerden. Docenten waren voornamelijk bezig met apparatuurvoorziening en vragen over apparatuur en soms met het beantwoorden van vragen waar leerlingen nu juist over na moesten denken. Dit is trouwens iets waar we onszelf ook voortdurend op betrapten tijdens een practicum. De docenten waren tamelijk ongetrainde aio's. Uit observatie¹⁰ van het gedrag van ervaren docenten aan middelbare scholen in Engeland vond men dat leerlingen zelden gevraagd werd naar voorspellingen van experimentele resultaten en naar uitleg.

Onderzoek¹¹ over leerlingtaken in de klas en thuis laat zien dat docenten (waaronder ikzelf) een zeer sterke neiging hebben het cognitieve niveau van taken te verlagen door hulp aan leerlingen. Dat kan zijn door een klassikale hint te geven, het kan ook gebeuren via interactie met leerlingen of zelfs door het geven van antwoorden.

Dus zelfs als practicuminstructies goed gelegenheid bieden om onderzoeksvaardigheden te oefenen, kan begeleiding roet in het eten gooien.

Gedurende het practicum werken leerlingen vaak in groepjes. Vanwege apparatuurschaarste gebruikten we in Indonesië meestal groepjes van vier. We dachten dat we goed practicum gaven, maar bij een practicumtoets sprong de éne zekering na de andere eruit. Wat was er gebeurd? In de meeste groepjes hadden één of twee studenten de proeven gedaan en de rest had als 'notulist' gewerkt. Dit incident is niet beperkt tot onze klassen in Indonesië. In gemengde groepen hebben jongens er het handje van alles naar zich toe te trekken en de meisjes notuleren. De enige manier om dit soort problemen te voorkomen is door (af en toe) leerlingen individuele practicumcijfers te geven.

Als illustratie van onduidelijke doelen, onduidelijke instructies, en onduidelijke begeleiding geven we het volgende voorbeeld, dat opgenomen is in Nieuw-Zeeland¹²:

Voorbeeld 1

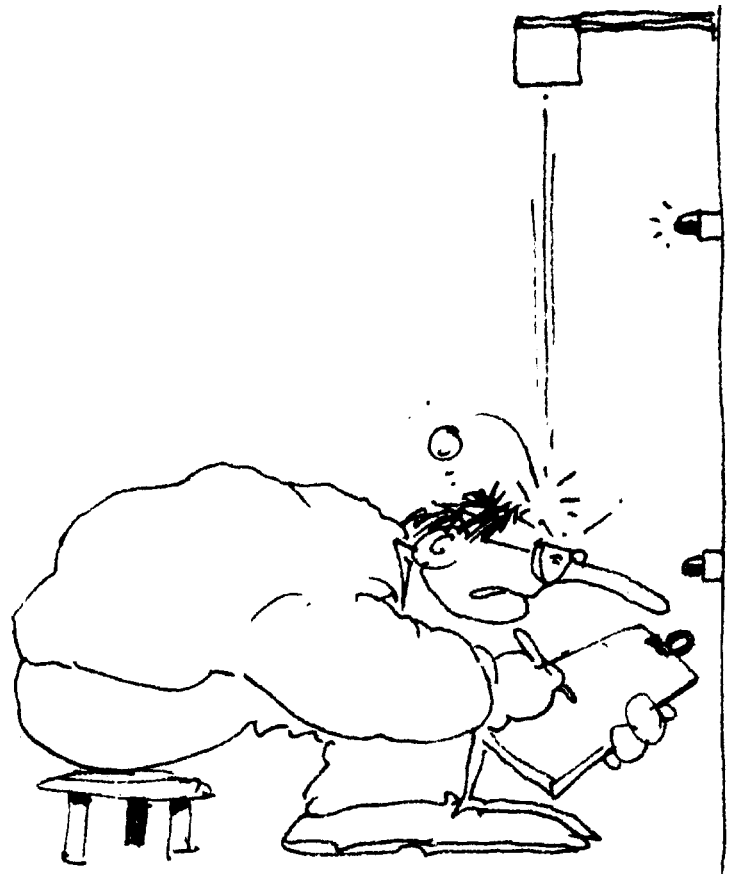
Het volgen van instructies

Observer (O) in klas met 30 leerlingen die in paren werken:

O: *Wat zijn jullie aan het doen?*

L1: *Hmmm... die hier (wijst naar stap 3 in boek) nummer 3.*

O: *Wat is dat?*



L1: (Kijkt naar partner die niets zegt, pakt dan het boek).

O: *Kun je het me vertellen zonder eerst te lezen?*

L1: *Ik ben het vergeten.*

O: *Waar gaat het experiment over?*

L1: (Geen antwoord, een grijns).

Later is hetzelfde paar jongens bezig een gele stof te verwarmen.

O: *Wat ben je nu aan het doen?*

L1: *Dit aan het verwarmen.*

O: *O ja, waarvoor?*

L1: *Wel... (rent naar zijn tafel aan de andere kant van het lokaal en komt terug met zijn boek) we doen nummer 5.*

O: *Wat deed je voordat je het begon te verhit-*

L1: *Deze hier (wijst naar nummer 3 en 4 van de instructies).*

O: *Kun je me vertellen wat je gevonden hebt?*

L1: *We hebben dit gele spul.*

O: *Weet je waar dit experiment voor dient?*

L1: *Nee, eigenlijk niet.*

Voorbeeld 2

Een voorbeeld van 'control' in een experimentele opzet.

De observator (O) leest in een leerlingen-schrift: Er was geen glucose in de controlebuis.

O: *Wat is een controlebuis?*

L1: *Was dat de beker?*

L2: *Een andere buis of zoiets.*

L1: *O ja, we moesten een reageerbuis gebruiken met iets anders erin.*

O: *Dus die controlebuis is een speciale buis of zoiets?*

L2: *Nee, het is een gewone buis.*

O: *Waarom wordt het controlebuis genoemd?*
L1 & L2: *(Halen schouders op en giechelen een beetje)*

Probeer dit soort vragen ook te stellen tijdens een practicum en zie of de bedoelingen van het practicum wel of niet duidelijk zijn overgekomen. Wij adviseren de docent om voor elk practicum een stuk of drie vragen te formuleren waarmee hij/zij rondloopt gedurende het practicum en leerlingen interviewt. Dat helpt in het focussen van het practicum op enkele hoofdzaken, zowel voor docent als leerling.

Practicumevaluatie

Practicumevaluatie gebeurt vaak op grond van schriftelijke toetsen over de inhoud van het vak en niet over onderzoeksvaardigheden. Als die wel worden geëvalueerd, is dat meestal via practicumverslagen die vaak te standaard en te algemeen zijn om te zien of bepaalde vaardigheden nu wel of niet beheerst worden. Een deel van de onderzoeksvaardigheden kan schriftelijk getoetst worden, bijvoorbeeld: het maken van een onderzoeksopzet, het werken met tabellen en grafieken. Een ander deel zal via practicumtoetsen moeten (bv. CITO) of via individuele toetsing gedurende leerlingpractica, bijvoorbeeld: meetvaardigheden, vragen over meetopstelling en nauwkeurigheid, vaardigheid met apparatuur. Het is daarbij belangrijk dat leerlingen weten waarop ze beoordeeld worden. Net als alle andere werkvormen moet practicumonderwijs duidelijk zijn in doelstellingen en direct daaraan gekoppelde evaluatie. Overigens zijn er aanwijzingen¹³

dat bij een echte practicumevaluatie de goede cijfers niet noodzakelijk bij de beste leerlingen (op schriftelijke toetsen) terecht komen.

Conclusies

Kortom, er zijn nog veel vragen rond de effectiviteit van practicum. Oorzaken van zwakke resultaten van practicum vergeleken met andere lesmethoden zouden kunnen zijn: het niet duidelijk definiëren van doelen, het door elkaar laten lopen van drie (aanvankelijk) onverenigbare soorten practicum, inconsistenties tussen doelen en de vormgeving van het practicum in werkbladen, tussen doelen en begeleiding, en tussen doelen en cijfergeving. Als we onze 'preek' moesten samenvatten in enkele punten, dan zouden we dat doen als volgt:

1. Stel vast of een practicum begrips-, onderzoeks- of apparatuurpracticum is.
2. Voor een begrips- of onderzoekspracticum: zijn er apparatuurvaardigheden die nog geoefend moeten worden? Doe dat dan eerst en apart alvorens in het begrips- of onderzoekspracticum te duiken.
3. Voor een onderzoekspracticum: Kies uit de tabel enkele onderzoeksvaardigheden en richt de aandacht daarop in plaats van alles tegelijk te doen. Zorg dat in een practicumserie de meeste vaardigheden aan bod komen.
4. Voor een onderzoekspracticum: Een aantal vaardigheden kunnen ook wel eens zonder practicum geoefend worden (bv. grafieken, ontwerpen).
5. Voor een begripspracticum: Kies proeven die zinvol zijn voor leerlingen en niet alleen voor natuurkundigen en sluit aan bij de intuïties (preconcepties) van leerlingen.
6. Formuleer voor elk practicum enkele vragen:
 - a om het practicum mee te beginnen (zonder resultaten daarin weg te geven!),
 - b voor de begeleiding (om mee de klas in te gaan), en
 - c voor de slotbespreking, bijvoorbeeld 'waar ging het om', 'wat hebben we geleerd, wat weten we nu dat we eerst niet wisten', 'wat verbaasde je', etc. N.B. Het kan beter zijn een practicum vroegtijdig te beëindigen en ruimte te laten voor een slotdiscussie dan door te gaan 'tot de bel'.
7. Vooral voor een onderzoekspracticum is het vaak handig om wat voorbereidingsvragen mee te geven als huiswerk de les voor het practicum.

In de toekomst hopen we nog eens dieper

in te gaan op het onderzoekspracticum en op het apparatuurpracticum. Voor het begripspracticum hebben we dat al eens gedaan¹⁴.

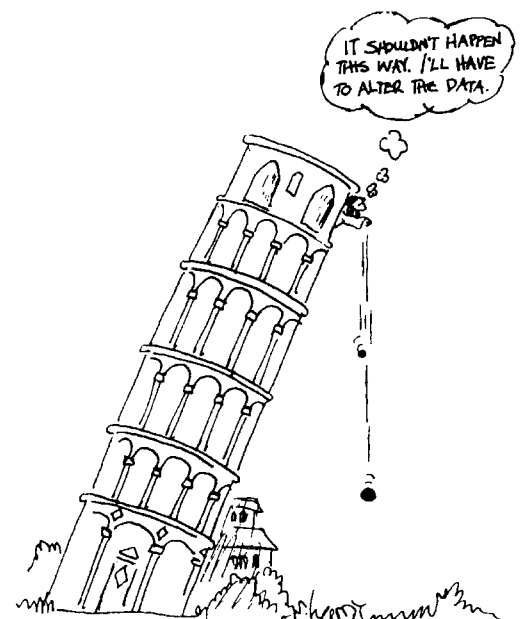
Noten:

1. Bates, 1978; Hofstein & Lunetta, 1982; Garret & Roberts, 1982; Hodson, 1993.
2. Bates 1978.
3. Reif and St. John (1979, p. 950).
4. Berg & Giddings, 1992.
5. Zie ook Hellingman (1982) en Feiner (1993).
6. De didactiek van het begripspracticum is besproken in een artikel in het 1991 Woudschotenverslag (van den Berg & Bosch).
7. Van den Berg & Bosch in het 1991 Woudschotenverslag.
8. Zie recensie in NVON maandblad van december 1993.
9. Tamir ad Lunetta, 1981, p. 482.
10. Galton en Eggleston (1981).
11. Doyle, 1985; Sanford, 1987.
12. (Uit Osborne, Freyberg, Tasker: Focus on experiments, Working Paper no. 2 of the Learning in Science Project, University of Waikato, New Zealand).
13. Ben Zvi et al., 1977.
14. Zie verslag Woudschoten 1991.

Literatuur

1. Bates, G.R. (1978). The role of the laboratory in secondary school science programs. In: M.B. Rowe (Ed.), What research says to the science teacher (Vol I). Washington D.C.: National Science Teachers Association.
2. Beasley, W. F. (1979). The effect of physical and mental practice on psychomotor skills on chemistry student laboratory performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 16(5), 473-479.
3. Beasley, W.F. (1983). Mental practice as a technique to improve laboratory skill development. *Journal of Chemical Education*, 60(6), 488-489.
4. Berg, E. van den, Giddings, G. (1992). *Teaching in the Laboratory: An alternative view*. Monograph. Perth: Science and Mathematics Education Centre, Curtin University of Technology.
5. Ben-Zvi, R., Hofstein, A., Samuel, D., Kempa, R.F. (1977). Modes of instruction in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 14(5), 433-439.
6. Doyle, W. (1985). Classroom organization and management. In: M.C. Wittrock, *Handbook of Research on Teaching*, Third Edition. New York: Macmillan.
7. Feiner-Valkier, S. (1993). Een programma van experimenten. Enschede, SLO.
8. Galton M., Eggleston, J. (1979). Some characteristics of effective science teaching. *European Journal of Science Education*, 1(1), 75-86.
9. Garrett, R.M., Roberts, I.F. (1982). Demonstration versus small group practical work in science education. A critical review of studies since 1900. *Studies in Science Education*, 9, 109-146.
10. Hellingman, C. (1982). A trial list of objectives of experimental work in science education. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 4(1), 29-43.

11. Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 70, 33-40.
12. Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
13. Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.
14. Kyle, W.C., et. al. (1982). Assessing and analyzing behavior strategies of instructors in college science laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 17(2), 131-137.
15. Liem, T. (1987). *Invitations to Inquiry*. Boston: Ginn and Company.
16. Reif, F., & St. John, M. (1979). Teaching physicists' thinking skills in the laboratory. *American Journal of Physics*, 47(11), 950-957.
17. Sanford, J.P. (1987). Management of science classroom tasks and effects on students' learning opportunities. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(3), 249-265.
18. Tamir, P., Lunetta, V.N. (1981). Inquiry-related tasks in high school science laboratory handbooks. *Science Education*, 65(5), 477-484.



Afbeelding 2 Resultaten veranderen? Dat is uit den boze! Maar toch.... het plaatje laat zien dat de experimentator verwachtingen had over uitkomsten, een experiment wordt pas fysica als er wat ideeën (theorie?) achter zitten, als er enige verwachting is, op grond waarvan een experimentator kan zeggen 'aardig', of 'vreemd'. Dat geldt ook voor leerlingen.