

Recepten¹ om leerlingen te laten nadenken tijdens scheikundepracticum

Ed van den Berg (Vrije Universiteit) en Marjolein Wal (Bètapartners en Felisenum)

Veel practicum-instructies lijken op een kookboek: “doe dit en dan dat”. Dat maakt practica niet erg effectief, maar een kookboekformat is wel begrijpelijk. Je wilt toch veilige practica waarin leerlingen correct omgaan met materialen en acceptabele resultaten behalen. In dit artikel geven we recepten om practica meer minds-on te maken, leerlingen meer te laten nadenken. Maar wel veilig en met redelijke resultaten. Je kunt de recepten gebruiken om kleine wijzigingen te maken in practicum-instructies. En die kunnen leiden tot aanzienlijke veranderingen in het denken en redeneren van leerlingen.

Recept 1, analyse van een bestaand practicum

Als je een practicum wilt verbeteren, helpen deze vragen daarbij:

- a) Wat is het verschijnsel, wat is er te zien/horen/voelen en meten?
- b) Welke begrippen zijn nodig om het verschijnsel te beschrijven/verklaren of eraan te meten? Welke begrippen zijn bekend en welke daarvan geven misschien nog problemen zoals misconcepties? Welke begrippen zijn nieuw?
- c) Welke vaardigheden zijn nodig om het practicum succesvol uit te voeren? Welke daarvan leveren mogelijk problemen op of vereisen oefening van tevoren? Eventueel onderverdelen in labvaardigheden en onderzoeksvaardigheden.
- d) Kijk naar de leerdoelen. Is het **hoofddoel** begripontwikkeling, leren onderzoeken of het leren van laboratoriumvaardigheden? De meeste practica hebben elementen van alle drie, maar wat kies je als hoofddoel?
- e) Kies nu een beperkt aantal leerdoelen, hooguit 3 of 4.
- f) Practicum of toch demonstratie? Practicum heeft het voordeel van betrokkenheid en zelf scheikunde doen maar het nadeel van meer tijd en verwarring.
- g) Kijk opnieuw naar de instructies voor leerlingen in het werkblad. Hoe kun je die verbeteren met focus op de belangrijkste leerdoelen en nadruk op heen-en-weer denken van leerlingen tussen verschijnsel en begrippen? Kijk hierbij ook naar onderstaande ‘recepten’.
- h) Maak een korte checklist met waar je op let tijdens de uitvoering, gericht op dat leerdoel en het aan het denken zetten van leerlingen.
- i) Bedenk enkele begeleidingsvragen gericht op de leerdoelen en heen-en-weer denken tussen verschijnselen en begrippen, opdat leerlingen doen en denken.
- j) Wat moet er gebeuren in de prelab- en postlabdiscussie? Dit zijn cruciale practicumonderdelen waar heen-en-weer verband wordt gelegd tussen begrippen, verschijnselen, en onderzoeks-aanpak.

¹ Uitgebreide versie voor de NVOX website. Het artikel was achtergrondmateriaal bij een Bètapartner workshop.

Recept 2, heen-en-weer denken tussen verschijnselen en begrippen/theorie (Berg, 2012).

Dit is de essentie van natuurwetenschap. Wat zien of ervaren we (het verschijnsel)? Hoe beschrijven we dat in begrippen en representaties? Hoe verklaren we het verschijnsel? Hoe kunnen we met de practicumervaring onze begripkennis verbeteren en voorspellingen doen over nieuwe situaties? Stop dit soort vragen in de practicuminstructies en stel ze tijdens het practicum. Het helpt om een duidelijk lijstje te maken van begrippen en verschijnselen. Daarmee kun je als docent gemakkelijk begeleidingsvragen formuleren tijdens de rondgang door de klas.

Je kunt een tabel in de practicum instructies zetten **in te vullen door leerlingen**. Zie het voorbeeld over het oplossen van een bruistablet in water.



Figuur 1 Oplossen van een bruistablet met Vitamine C in koud (links) en in heet (rechts) water.

Tabel 1 Heen-en-weer-denken

Wat zie je?	Wat denk je daarbij? Verklaren.
1. Het tablet zinkt naar de bodem van het glas.	1. Het tablet heeft een grotere dichtheid dan water.
2. Er vormen zich veel belletjes op het tablet.	2. Er gebeurt iets tussen het tablet en water dat gasvorming veroorzaakt. Welk gas? Welke reactie?
3. De belletjes stijgen op en verdwijnen aan het wateroppervlak.	3. De belletjes hebben een kleinere dichtheid dan water.
4. Het tablet danst op en neer en heen en weer.	4. De belletjes geven drijfvermogen aan het tablet. Het aantal belletjes dat aan het tablet vast zit, varieert en ook de plek waar ze vast zitten. Daardoor krijg je die dansbewegingen.
5. Het tablet wordt steeds kleiner.	5. Het tablet lost op en misschien is er een chemische reactie met gasvorming.
6. Het water verkleurt.	6. Er is een kleurstof in het tablet. Welke?
7. Uiteindelijk gaat de rest van het tablet naar boven.	7. Het tablet inclusief belletjes op het oppervlak heeft een kleinere dichtheid dan water en kan drijven.
8. Water proeven ... beetje zuur	8. Er zit een zuur in het tablet of er wordt een zuur gevormd. Even pH meten?

Je zou nog een derde kolom kunnen toevoegen met “Wat is mijn follow-up experiment?” om terug te koppelen naar de verschijnselen, of een kolom verklaringen op microniveau (moleculen/atomen).

Recept 3, kookboekachtige instructies in willekeurige volgorde aanbieden

Laat leerlingen eerst uitvogelen wat de correcte volgorde is, dan mogen ze aan het werk. Het bepalen van de juiste volgorde dwingt leerlingen beter na te denken over wat ze moeten doen. Dat kan resulteren in vloeiender uitvoering met betere resultaten. In dit voorbeeld onderzoeken leerlingen of palmitinezuur een zuivere stof is of een mengsel. De instructie aan de leerlingen is: *Je gaat een stollingscurve maken van palmitinezuur. Dat is een afkoelingscurve van de temperatuur tegen de tijd. Daarbij gebruik je onderstaande stappen, maar die staan nu nog in willekeurige volgorde. Bedenk eerst de juiste volgorde. Als je die hebt, vormen de hoofdletters tussen haakjes een bekend woord. De stappen in willekeurige volgorde zijn:*

- a. Verwarm het water tot het kookt en laat het water 5 minuten koken (T).
- b. Maak van de gegevens in de tabel een temperatuur-tijd-diagram (M).
- c. Steek de thermometer in het palmitinezuur (A).
- d. Stop met meten als de temperatuur van het palmitinezuur lager is dan 35 °C (U).
- e. Als de temperatuur van het water 80 °C is, zet je de reageerbuis in het bekglas met koud water (R).
- f. Zet de reageerbuis met palmitinezuur in een bekglas met water (N).
- g. Lees elke 30 seconden de temperatuur van het palmitinezuur af. Noteer de temperaturen in de onderstaande tabel (I).

Door letters toe te kennen aan de stappen herkennen leerlingen zelf wanneer ze de juiste volgorde hebben en hoeft de docent/toa niet elk groepje te inspecteren. In dit geval zullen ze bij correcte volgorde het woord NATRIUM herkennen.

Bovenstaande instructies zijn voor sommige leerlingen te “talig”. Met chemix.org kun je gemakkelijk en gratis visuele instructies maken en ook die kun je door de leerlingen in correcte volgorde laten zetten.

Recept 4, in de instructies iets weglaten en vertellen dat een belangrijke handeling mist

Leerlingen moeten zelf uitvinden wat dat is en mogen niet starten totdat ze de docent/toa hebben ingefluisterd wat er mist. Laat bijvoorbeeld in een practicum waarin een indicator wordt gebruikt de instructie over het toevoegen van indicator weg.

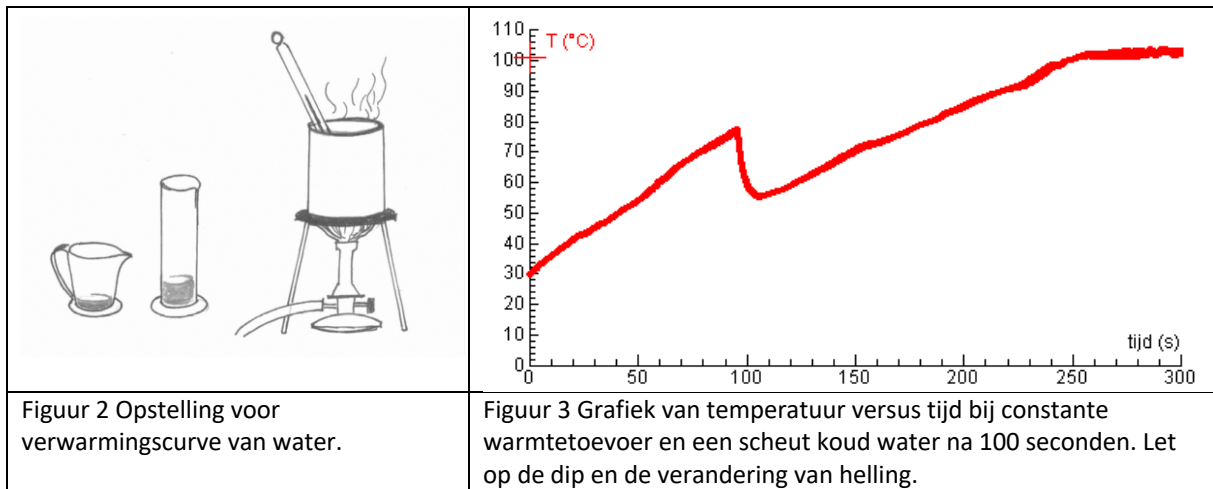
Voorbeeld: een onderzoek naar het azijnzuurgehalte van azijn versus schoonmaakazijn:

Uitvoeren

- a) *Pas op met de stoffen, deze zijn bijtend!*
- b) *Doe precies 5 mL van de natuurazijn in een plastic beker.*
- c) ~~*Doe vier druppels BTB (BroomThymolBlauw) bij de azijn.*~~
- d) *Vul een injectiespuit met 10,0 mL natriumhydroxide-oplossing.*
- e) *Druppel de natriumhydroxide-oplossing langzaam bij de azijn in de beker terwijl je roert.*
- f) *Zodra de oplossing groen of blauw is moet je stoppen met toevoegen.*
- g) *Noteer hoeveel natriumhydroxide-oplossing je hebt toegevoegd.*

Eigenlijk wordt dat weglaten in bestaande practicuminstructies al heel vaak toegepast door een tussentijdse vraag om de volgende stap te bedenken, of om een deelstap in onderzoeksprocedure te

bedenken als het geheel te ingewikkeld is. Om het nog uitdagender te maken kun je naast alleen iets weglaten ook de overblijvende instructies in willekeurige volgorde zetten, zoals in recept 3.



Recept 5, 'dirty tricks'

De in 2016 overleden natuurkundedocent Jan Leisink gaf les aan de zwakste leerlingen in het vmbo maar kreeg ze met handige "tricks" heel goed aan het denken. Zo liet hij leerlingen water verwarmen en een temperatuur-tijdgrafiek maken (figuren 2 & 3). Hij liep rond en voegde af en toe 200 ml koud water toe. Dat gaf een rare grafiek, leg uit! Hij zei ook dat de temperatuur niet boven 110 °C mocht komen, dan kon de thermometer stukgaan. Wanneer het water kookte en de temperatuur bleef steken, kwamen leerlingen bij hem, "*meneer, de thermometer is stuk*". Dan gaf hij ze een andere thermometer. Uiteindelijk werd duidelijk dat bij de kooktemperatuur iets bijzonders aan de hand was! Ideeën voor dit soort 'tricks' krijg je bijvoorbeeld op de fiets onderweg naar school of in gesprek met collega's. Misschien een triviale opmerking, maar let op dat je bij de introductie van een practicumles nooit de resultaten weggeeft. Als Jan de grafiek al had getekend en gezegd had we gaan bewijzen dat, was het hele verrassingseffect weg geweest.

Recept 6, een hele simpele en altijd bruikbare "dirty trick" is om de materialenlijst weg te laten en meer materialen klaar te zetten dan nodig. Leerlingen moeten dan nadenken over wat ze echt nodig hebben. Dit veroorzaakt productieve verwarring. Een andere mogelijkheid is om leerlingen zelf hun materiaal te laten uitzoeken. Dat is mogelijk wanneer het materiaal in het klaslokaal staat of op een kar binnengereden wordt.

Recept 7, leerlingen laten nadenken over de onderzoeksopzet.

Voordat de docent de instructies uitdeelt, kan eerst de onderzoeksvraag gesteld worden. Bijvoorbeeld: *er zijn hele snelle chemische reacties zoals explosies en hele langzame reacties zoals het roesten van ijzer. Zijn er manieren om reacties te versnellen of te vertragen, om de 'reactiesnelheid' te beïnvloeden? Je krijgt magnesiumpoeder, stukjes magnesiumlint, zinkpoeder, schoonmaakazijn, waterstofperoxideoplossing, reageerbuis, en een waterbad dat je kunt instellen op verschillende temperaturen. Bedenk een experiment om onderzoeken welke variabelen reactiesnelheid beïnvloeden. Welke variabelen denk je aan, welke situaties ga je vergelijken? Welke uitkomsten verwacht je? In je voorstel maak je a) een tekening van de opstelling en b) een tabel om je observaties/metingen in te vullen.*

Vaak is het mogelijk om leerlingen hun voorstel te laten presenteren als een datatabel. De docent kan dan snel zien wat hun methode is en of die acceptabel is. Eventueel geef je leerlingen al de lege tabel 2a. Uiteindelijk verwacht je dat ze komen met een of meerdere rijen uit tabel 2b.

Tabel 2a: Ontwerp van een experiment om invloeden op reactiesnelheden te onderzoeken.

Ingestelde variabelen (constant)	Onafhankelijke variabele (gevarieerd)	Afhankelijke variabele (gemeten)

Tabel 2b: Ontwerp van een experiment om invloeden op reactiesnelheden te onderzoeken.

Ingestelde variabelen (constant)	Onafhankelijke variabele (gevarieerd)	Afhankelijke variabele (gemeten)
Temperatuur en concentratie azijnzuur, massa Mg	Verdelingsgraad: <ul style="list-style-type: none"> • Laag (Mg-lint) • Hoog (Mg-poeder) 	Tijd tot reactie is afgelopen
Verdelingsgraad en massa Mg, concentratie azijnzuur	Temperatuur schoonmaakazijn <ul style="list-style-type: none"> • Kamertemperatuur • 60 °C 	Tijd tot reactie is afgelopen
Temperatuur, verdelingsgraad en massa Mg	Concentratie azijnzuur <ul style="list-style-type: none"> • Schoonmaakazijn • Schoonmaakazijn 10x verdund 	Tijd tot reactie is afgelopen
Temperatuur, verdelingsgraad en aantal mol Mg en Zn, concentratie azijnzuur	Soort stof <ul style="list-style-type: none"> • Mg-poeder • Zn-poeder 	Tijd tot reactie is afgelopen

Voor deze aanpak is vaak geen tijd in een enkel practicum uur. Je kunt dit als huiswerkopdracht meegeven en de eerste minuten van het practicum inventariseren waar leerlingen mee komen. Leerlingen hebben dan al nagedacht over het experiment. Je kunt daarna sommige leerlingen volgens eigen ontwerp laten werken en anderen een werkblad met de kookboekinstructies geven. In plaats van als huiswerk kun je deze opdracht ook in de laatste 10 minuten van de les voorafgaand aan het practicum doen. De tijd die je voor het practicum investeert, win je terug doordat leerlingen beter weten wat ze aan het doen zijn.

Recept 8, verschillende groepjes verschillende experimenten laten doen of volgens eigen voorstel laten werken (zie bijvoorbeeld de experimenten in tabel 2).

Op deze manier vermindert het kopiëergedrag en wordt een postlab discussie veel interessanter met meer gelegenheid voor redeneren.

Recept 9, vooraf vaardigheden oefenen

Als technische vaardigheden belangrijk zijn, loont het om die eerst apart te oefenen. Dat reduceert verwarring tijdens het practicum en geeft leerlingen de gelegenheid zich dan te concentreren op de

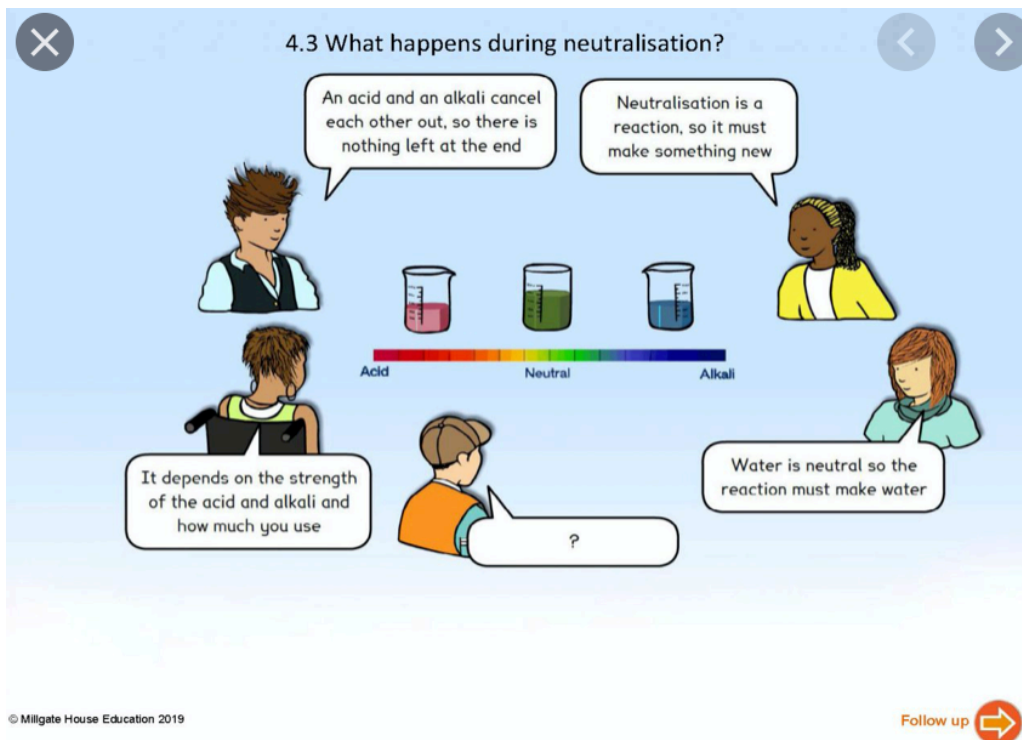
inhoud en heen-en-weer denken. Denk aan leren pipetteren, correct temperatuur meten en ingewikkelde apparatuur te gebruiken zoals sensoren. Of eerst een chromatogram leren maken en dan pas gebruiken om een analyse mee te doen.

Recept 10, verwachtingen uitspreken, voorspellen

Je wilt dat leerlingen bewust nadenken over wat voor resultaten ze verwachten. Bij de meeste experimenten kunnen ze verwachtingen uitspreken of uitkomsten voorspellen en dan aan het eind van het experiment vragen in hoeverre de verwachtingen zijn uitgekomen en wat mogelijke oorzaken van afwijkingen zijn.

Recept 11, Predict-(Explain)-Observe-Explain P(E)OE

Als je misconcepties verwacht, is het zinvol om leerlingen uitkomsten te laten voorspellen met argumenten (predict-explain). En bij misconcepties zullen voorspellingen vaak niet kloppen. En dat is een leermoment. Een voorbeeld is de pH van zwakke versus sterke zuren. Neem sterke en zwakke zuren met dezelfde concentratie en vraag leerlingen de pH te voorspellen en vervolgens te meten. Dit werkt het best als elke leerling expliciet voorspelt en de voorspelling opschrijft met toelichting alvorens te meten.



Figuur 4 Concept cartoon neutralisatie

Recept 12: Concept cartoons (Naylor en Keogh, 2013) kunnen gebruikt worden om discussie tijdens practicum te stimuleren. Zie figuur 4. Het is niet zo moeilijk om wat leerlingen uitspreken in een plaatje te zetten en daarmee discussie te stimuleren. Juist bij bekende misconcepties is het gemakkelijk om alternatieve uitspreken te vinden. Scheikunde concept cartoons zijn te vinden in Naylor en Keogh (2013) maar ook op de site van de Royal Society of Chemistry en via Google.

In plaats van alleen als hulpmiddel voor discussie, kan een cartoon ook worden gebruikt om leerlingen zelf proeven te laten bedenken. Bijvoorbeeld, welk experiment zou je kunnen doen om

bewijsmateriaal te verzamelen voor of tegen een bepaalde cartoon uitspraak. Dan gebruik je een cartoon als opstap om leerlingen experimenten te laten bedenken in de context van het verzamelen van bewijsmateriaal. Dan wordt practicum echt redeneren met bewijsmateriaal. Te hoog gegrepen? Wij deden dit soort experimenten met kinderen van groep 6 – 8 (Berg et al, 2015)!

Literatuur

Berg, E. van den (2012). Natuurwetenschap en techniek: heen-en-weer denken tussen begrippen en verschijnselen, redeneren met begrippen en met bewijsmateriaal. *NVOX*, 37(4), 176-177.

Naylor, S., Keogh, B. (2013). Concept Cartoons in Science Revised Edition. www.millgatehouse.co.uk

Berg, E. Van den, Kruit, P., Veen, A. van der (2015). Concept cartoons als opstap naar onderzoek. *NVOX*, 40 (2), 94-95.