

Leidraad

Wetenschappen in het secundair onderwijs

Zeven aanbevelingen voor wetenschapsonderwijs
binnen biologie, chemie en fysica

Tekstkaders

In de gekleurde tekstkaders vind je extra informatie. De groene, roze en blauwe kaders vertellen je meer over wetenschappelijke achtergronden, de informatie in de licht- en donkerpaarse kaders is meer praktisch van aard.



Verdiepende info



Praktijkvoorbeeld



Effecten uit onderzoek



Zelf aan de slag



Toelichting

Laat jij ons weten wat je vindt van deze leidraad?

Scan de QR-code en geef jouw mening!



Colofon

Auteurs originele Engelse leidraad

Sir John Holman (University of York) and Emily Yeomans (Education Endowment Foundation)

Auteurs hertaling

Julie Willems (Lector en onderzoeker, onderzoekscentrum Toekomstgedreven Onderwijs, Karel de Grote Hogeschool), Philippe Bastiaenssens (Lector en onderzoeker, onderzoekscentrum Toekomstgedreven Onderwijs, Karel de Grote Hogeschool), dr. Ayla De Schepper (senior onderzoeker, onderzoekscentrum Toekomstgedreven Onderwijs, Karel de Grote Hogeschool)

Expertgroep

Jan De Lange (Artevelde Hogeschool), Yves Molenaers (OVSG), Wim Peeters (PONTOn vzw), Annie Pinxten (Universiteit Antwerpen), Reinout Putman (Artevelde Hogeschool), Iris Stiers (Vrije Universiteit Brussel), Annemieke Stijnen (Katholiek Onderwijs)

Gelieve te verwijzen naar deze publicatie als

Willems, J., Bastiaenssens, P., & De Schepper, A. (2025). Leidraad Wetenschappen voor het secundair onderwijs. Stichting Leerpunt. Vlaamse hertaling van Holman, J. & Yeomans, E. (2018). *Improving Secondary Science*. Education Endowment Foundation.

Creative Commons Licentie

Naamsvermelding-NietCommercieel (CC BY-NC)

Deze licentie staat ieder toe dit werk te downloaden, hergebruiken, herpubliceren, delen met anderen, afgeleide werken te maken en er verder op te werken zolang dit gebeurt met een correcte naamsvermelding en dit voor niet-commerciële doeleinden wordt gebruikt.

Publicatie

Maart 2025

Vormgeving & lay-out: Graphixpoint & Magelaan



Met steun van de Vlaamse Overheid



Inhoudstafel

Voorwoord	p. 4
Aanbevelingen samengevat	p. 6
Inleiding	p. 9
Aanbeveling 1: Bouw voort op de ideeën die leerlingen hebben	p. 12
Aanbeveling 2: Help leerlingen om hun eigen leerproces te reguleren	p. 18
Aanbeveling 3: Gebruik modellen om het begrip te ondersteunen	p. 26
Aanbeveling 4: Help leerlingen om kennis op te slaan en op te halen	p. 34
Aanbeveling 5: Gebruik practica doelgericht	p. 40
Aanbeveling 6: De taal van wetenschap aanleren	p. 46
Aanbeveling 7: Geef gestructureerd feedback om denkpatronen van leerlingen te stimuleren	p. 56
Meer informatie over wetenschapsonderwijs in het secundair?	p. 66
Referentielijst	p. 71



Voorwoord

Beste lezer

Welkom bij onze leidraad ‘Wetenschappen in het secundair onderwijs’! Wetenschapsonderwijs in het secundair onderwijs vaak wordt opgesplitst in aparte vakken. Hoewel er overlap bestaat met STEM-onderwijs, ligt de nadruk binnen deze specifieke leidraad op wetenschapsonderwijs binnen biologie, chemie en fysica, in lijn met de originele EEF-leidraad. Doel van deze leidraad is het verbeteren van het wetenschapsonderwijs via didactische principes die sterk ondersteund worden door wetenschappelijk onderzoek. De leidraad is bedoeld voor alle leerkrachten die wetenschapsonderwijs geven in het secundair onderwijs, ongeacht de finaliteit.

Waarom leidraden?

Als kenniscentrum is het hoofddoel van Leerpunt om de **onderwijspraktijk te versterken via wetenschappelijke inzichten**. Een van de manieren waarop dit zal gebeuren, is via ‘leidraden’. Deze gidsen leraren, schoolleiders, zorgcoördinatoren, pedagogisch begeleiders, lerarenopleiders en andere onderwijsprofessionals via onderbouwde aanbevelingen naar praktische tips en aanpakken die in de klas kunnen werken. In elke leidraad wordt de verzamelde kennis op een praktische en toegankelijke manier verzameld.

De leidraad is geen handboek, waarin stap voor stap staat beschreven hoe je als onderwijsprofessional te werk moet gaan. In het

onderwijs is er zelden of nooit één zaligmakende aanpak die altijd in alle klassen en voor alle leraren werkt. **Verschillende situaties vragen om verschillende werkwijzen**. De leidraad zou wel moeten aanzetten tot reflectie en professionele gesprekken binnen schoolteams en stimuleert zo om weloverwogen keuzes te maken in het ontwikkelen van klaspraktijk.

Leerpunt streeft er ook naar samenwerking tussen onderwijsprofessionals bevorderen, waarbij hun professionele expertise vanuit verschillende rollen bijdraagt aan het verhogen van de onderwijskwaliteit.

Waarom een leidraad over wetenschapsonderwijs?

De leidraden gaan in op **onderwerpen** die leraren en schoolleiders belangrijk vinden voor kwaliteitsvol **onderwijs**. Het zijn onderwerpen waarover zij graag meer kennis willen en houvast zoeken. Leerpunt bundelde de prioriteiten van het Vlaamse onderwijsveld in de kennisagenda ([zie leerpunt.be/kennisagenda](https://leerpunt.be/kennisagenda)). Ook wetenschappen kwam daarbij naar voren als een thema waarover een grote nood aan kennis bestaat.

De leidraad **‘Wetenschappen in het secundair onderwijs’** is gebaseerd op het meest recente en relevante nationale en internationale **onderzoek over wetenschapsonderwijs** binnen dit onderwijsniveau. De samengebrachte informatie uit onderzoek

richt zich specifiek op de vraag: ‘Hoe kan je als leraar het wetenschapsonderwijs verbeteren voor alle leerlingen in het secundair onderwijs?’ De nadruk ligt in deze leidraad op de vakken biologie, fysica en chemie, zoals ook het geval was in de originele EEF-leidraad. Het gaat dus specifiek niet over STEM-onderwijs, hoewel er natuurlijk wel overlap is.

“Hoe kan je als leraar het wetenschapsonderwijs verbeteren via didactische principes ondersteund door wetenschappelijk onderzoek?”

Hoe komt een leidraad tot stand?

De ontwikkeling van een leidraad is een proces met verschillende fases, waarbij niet alleen onderzoekers maar ook onafhankelijke beoordelaars zijn betrokken. Het proces start met de publicatie van een overheidsopdracht door Leerpunt. **Onafhankelijke organisaties** worden uitgenodigd om een voorstel in te dienen. Leerpunt ontwikkelt de leidraden dus niet zelf.

De ingediende voorstellen worden beoordeeld door een onafhankelijke commissie. Wie aan de gestelde standaard voldoet en de beste beoordeling ontvangt, mag de opdracht uitvoeren. Voor de leidraad ‘Wetenschappen in het secundair onderwijs’ was dat **Karel de Grote Hogeschool Antwerpen**.

De organisatie waaraan de opdracht gegund wordt, kan de leidraad beginnen ontwikkelen. Het proces kan verschillen

van leidraad tot leidraad. Deze leidraad over wetenschapsonderwijs is een hertaling. Dat betekent dat de leidraad eerst door een andere organisatie werd uitgewerkt, in dit geval de Engelse organisatie **EEF** (Education Endowment Foundation) en dan door de onderzoekers werd vertaald en gecontextualiseerd naar de **Vlaamse onderwijscontext**. De onderzoekers doen dit niet alleen, maar beroepen zich hiervoor ook op **onderzoeks- en praktijkexperten** terzake om zowel de **relevantie en toegankelijkheid** voor Vlaamse onderwijsprofessionals als de **wetenschappelijke kwaliteit** te waarborgen.

Na ontwikkeling wordt de leidraad voorgelegd aan de **wetenschappelijke en gebruikerscommissie** van Leerpunt. Zij beslissen finaal of de leidraad aan de gestelde **kwaliteitscriteria** van Leerpunt voldoet. Ten slotte wordt de leidraad vormgegeven in de **huisstijl** van Leerpunt waarbij de wetenschappelijke en praktijkgerichte informatie aantrekkelijk en toegankelijk wordt weergegeven.

Leidraden worden vanaf voorjaar 2025 regelmatig **gepubliceerd** op de website van Leerpunt. Via **de nieuwsbrieven** kan je op de hoogte blijven van de nieuwste publicaties of oproepen tot nieuwe leidraden, onderzoeken of projecten. Inschrijven kan via de website.

Veel lees- en leerplezier!

Team Leerpunt

[Leerpunt.be/leidraden](https://leerpunt.be/leidraden)
[Leerpunt.be/nieuwsbrief](https://leerpunt.be/nieuwsbrief)

Aanbevelingen samengevat

Deze leidraad doet zeven aanbevelingen die kunnen gebruikt worden door leraren, pedagogisch begeleiders, lerarenopleiders en andere onderwijsprofessionals om het beste uit al hun leerlingen te halen. Hieronder vind je een samenvatting van de zeven aanbevelingen. Lees de volledige leidraad via leerpunt.be/leidraden/wetenschappen-secundair-onderwijs.

1 Bouw voort op de ideeën die leerlingen hebben

- Begrijp de preconcepten van leerlingen over wetenschapsvakken.
- Ontwikkel de denkpatronen van leerlingen aan de hand van cognitieve conflicten en gesprekken.
- Maak voldoende tijd vrij om misconcepties te weerleggen en denkpatronen te veranderen.

Lees hier meer over op pagina **12**.

2 Help leerlingen om hun eigen leerproces te reguleren

- Modelleer je eigen denkpatronen om leerlingen te helpen hun metacognitieve en cognitieve kennis te ontwikkelen.
- Leer leerlingen expliciet hoe ze hun leerproces kunnen plannen, opvolgen en beoordelen.
- Bevorder metacognitieve gesprekken en dialoog in de klas.

Lees hier meer over op pagina **18**.

3 Gebruik modellen om het begrip te ondersteunen

- Gebruik modellen om leerlingen te helpen wetenschappelijke concepten te begrijpen.
- Kies de modellen die je gebruikt zorgvuldig.
- Leer leerlingen expliciet deze modellen aan en moedig leerlingen aan om er kritisch mee om te gaan.

Lees hier meer over op pagina **26**.

4 Help leerlingen om kennis op te slaan en op te halen

- Besteed aandacht aan cognitieve belasting.
- Herhaal kennis na een onderbreking om het langetermijngeheugen te verbeteren.
- Bied leerlingen de kans om eerder geleerde kennis op te halen
- Moedig leerlingen aan om uit te wijden over wat ze hebben geleerd

Lees hier meer over op pagina **34**.

5 Gebruik practica doelgericht

- Ken en expliciteer het doel van elk practicum.
- Volg practica op met andere leeractiviteiten.
- Gebruik practica om wetenschappelijk redeneren te ontwikkelen.
- Benader practica op verschillende manieren.

Lees hier meer over op pagina **40**.

6 Leer de taal van wetenschap aan

- Selecteer zorgvuldig de woordenschat die je wilt aanleren en focus op de moeilijkste woorden.
- Zet activiteiten in om leerlingen te activeren en te helpen wetenschappelijke teksten te begrijpen.
- Help leerlingen om hun wetenschappelijke schrijfvaardigheid te ontwikkelen.

Lees hier meer over op pagina [46](#).

7 Geef gestructureerd feedback om denkpatronen van leerlingen te stimuleren

- Ga na wat je leerlingen begrijpen.
- Denk na waarover je feedback geeft.
- Geef feedback in de vorm van opmerkingen in plaats van cijfers.
- Zorg ervoor dat leerlingen kunnen reageren op je feedback.

Lees hier meer over op pagina [56](#).



Inleiding: Teaching for engagement

Goed onderwijs begint bij gemotiveerde en betrokken leerlingen. Voor leerkrachten in het secundair onderwijs is het een van de meest bevredigende aspecten van hun vak om jongeren enthousiast te maken en te motiveren om zich in een onderwerp te verdiepen. Toch zien we dat de interesse en motivatie voor wetenschappen steeds vaker afnemen. Veel leerlingen beschouwen wetenschappen wel als belangrijk, maar voelen er geen persoonlijke connectie mee. Ze denken vaak: “Wetenschappen zijn belangrijk, maar niets voor mij”¹.

Dit probleem begint al op jonge leeftijd en wordt versterkt tijdens de schoolloopbaan. Onderzoek toont aan dat de houding van leerlingen tegenover wetenschappen al vanaf het eerste leerjaar negatiever wordt. Tegen de tijd dat zij in het secundair onderwijs komen, is hun interesse om wetenschappen te studeren vaak al gevormd of verloren gegaan².

Het belang van wetenschapskapitaal

Een grootschalig onderzoek naar attitudes ten opzichte van wetenschappen laat zien dat motivatie om wetenschappen te studeren sterk samenhangt met het wetenschapskapitaal van een leerling³. Dit kapitaal omvat vier onderdelen:

- 1 Wat leerlingen weten over wetenschappen (kennis);
- 2 Hoe zij erover denken (attitudes);
- 3 Wat zij doen in verband met wetenschappen (ervaringen);
- 4 Wie zij kennen binnen dit domein (sociaal netwerk).

In totaal zijn er acht dimensies van wetenschapskapitaal, zoals uitgelegd in het kader ‘Wetenschapskapitaal’⁴ op de volgende pagina. Deze inzichten hebben geleid tot de ontwikkeling van de *Science Capital Teaching Approach*, een onderwijsaanpak die effectief blijkt in het vergroten van de interesse voor wetenschappen^{5,6}.



Wetenschapskapitaal

8 dimensies

	Voorbeelden
1 Wetenschappelijke geletterdheid (zie Aanbeveling 6 ('Taal van de wetenschap'))	Werk aan onderzoekscompetenties via practica (zie Aanbeveling 5 ('Practica')).
2 Wetenschapsgerelateerde attitudes en waarden	Praat over het gebruik en misbruik van wetenschappelijk bewijs in het dagelijkse leven.
3 Kennis over de transfereerbaarheid van wetenschap	Benadruk dat wetenschappelijke vaardigheden ook in jobs buiten de wetenschappen van pas komen.
4 Gebruik van wetenschapsgerelateerde media	Neem podcasts of documentaires op in het lesmateriaal en bespreek deze in de klas.
5 Deelname aan buitenschoolse wetenschapsactiviteiten	Deel evenementen in de klas waaraan leerlingen kunnen deelnemen.
6 Vaardigheden, kennis en vooropleiding van familie met betrekking tot wetenschap	Ondersteun leerlingen bij het herkennen van wetenschappelijke vaardigheden of kennis die hun familie gebruiken op hun werk of in het dagelijks leven.
7 Het kennen van personen in wetenschapsgerelateerde posities en jobs	Nodig een spreker uit in de klas.
8 Met andere praten over wetenschap in het dagelijks leven	Geef opdrachten of huiswerk waarbij leerlingen worden aangemoedigd om te praten over wetenschappen.

Leerlingen betrekken bij wetenschappen

Een cruciale stap in wetenschapsonderwijs is leerlingen het gevoel geven dat wetenschappen ook voor hen zijn, ongeacht hun achtergrond of gender. Hier liggen twee belangrijke voordelen voor wetenschapsleerkrachten:

- Wetenschappen zijn een praktijkgericht vak. Leerlingen waarderen praktijkwerk in de lessen en geven aan dat een goede leerkracht en praktische opdrachten het vak aantrekkelijk maken⁷.
- Wetenschappen zijn makkelijk te koppelen aan het dagelijks leven. Wanneer lessen de link leggen tussen wetenschappen en de wereld om ons heen, worden leerlingen positiever over het vak.

Toch ervaren veel leerlingen wetenschapsvakken als moeilijker dan andere vakken. Deze perceptie kan hen afhouden van een studie in deze richting⁸, terwijl een wetenschappelijke opleiding juist de deur opent naar tal van lonende carrières. Als leerkracht kun je een sleutelrol spelen door in je lessen verbanden te leggen tussen de leerstof en relevante beroepen, zoals technoloog medische beeldvorming, astrofysicus (fysica), voedingsmiddelenanalist, forensisch wetenschapper (chemie), natuurbeheerder of marien bioloog (biologie)^{9,10}. Onderzoek wijst uit dat dit niet alleen motiverend werkt, maar ook de leerprestaties verbetert¹¹.

Rolmodellen en wetenschapsidentiteit

Leerkrachten en rolmodellen kunnen leerlingen helpen een zogenaamde wetenschapsidentiteit te ontwikkelen. Wanneer leerlingen zichzelf zien als iemand die wetenschappen kan studeren of er een carrière in kan hebben, groeit hun zelfvertrouwen en interesse. Het tonen van voorbeelden of het introduceren van mensen die werkzaam zijn in de wetenschap kan hen inspireren en motiveren^{12,13}.

Kwaliteit van onderwijs als sleutel tot succes

Ten slotte is de kwaliteit van het onderwijs een cruciale factor in het succes en engagement van leerlingen. Door aandacht te besteden aan alle aanbevelingen binnen deze aanpak, ondersteun je niet alleen positieve attitudes ten opzichte van wetenschappen, maar geef je leerlingen ook de tools en motivatie om een toekomst in dit vakgebied te overwegen^{14,15}.





Aanbeveling 1

Bouw voort op de ideeën die leerlingen hebben

Wetenschap bestudeert hoe de wereld werkt, maar kinderen begrijpen al vóór hun formele opleiding de dagelijkse fenomenen op hun eigen manier. Ze ontwikkelen ideeën door zintuiglijke ervaringen en sociale interactie¹⁶. Daarnaast verwerven ze ook al info over wetenschappen in het basisonderwijs. Dit samen zorgt ervoor dat leerlingen al enige voorkennis - al dan niet de juiste - bezitten over enkele wetenschappelijke fenomenen. Het is als leerkracht dus belangrijk dat je dit niet alleen in het achterhoofd houdt bij het opmaken van de beginsituatie van je les, maar dat je hiervoor ook aandacht hebt tijdens de gehele lesopbouw.

Het geheel van deze eerdere, intuïtief verworven kennis noemen we **preconceptuele kennis**. Deze kennis werkt goed om dagelijkse verschijnselen te begrijpen en leerlingen gebruiken deze intuïtieve kennis in gesprekken¹⁷. Maar vaak komen deze ideeën niet (helemaal) overeen met de wetenschappelijke verklaring, en dan spreken we van **misconcepties**. Veel misconcepties zijn gerelateerd aan **drempelconcepten**. Deze transformeren de manier waarop leerlingen denken en, hoewel ze aanvankelijk moeilijk aan te leren zijn¹⁸, als leerlingen ze eenmaal onder de knie hebben, vergeten ze deze concepten niet snel meer. De evolutietheorie is een voorbeeld van een drempelconcept, net als de deeltjestheorie, die de deur opent naar de gehele chemie. Het is dus zeer belangrijk om op elk moment in de les stil te staan bij drempelconcepten

en mogelijke misconcepties daaromtrent, omdat ze zo fundamenteel zijn voor verdere kennisopbouw in de wetenschappen.

Er is dus een heel proces nodig bij leerlingen om hun ideeën bij te stellen of zelfs te vervangen door ideeën die wetenschappelijk correcter zijn. Het proces waarin leerlingen hun theorieën aanpassen en verfijnen hangt nauw samen met het proces van wetenschappelijke ontdekking. Denk maar aan hoe de relativiteitstheorie voortbouwde op de klassieke mechanica van Newton en die verfijnde. We kunnen veel leren van het proces van wetenschappelijke ontdekking als het gaat om de preconcepten van leerlingen:

- Preconcepten zijn een inherent deel van de geschiedenis van wetenschappen en we hebben ze allemaal. Het belangrijkste is dat je je bewust bent van de preconcepten die je leerlingen waarschijnlijk hebben en dat je weet hoe je erop kunt voortbouwen;
- Om hun misconcepties bij te stellen, hebben leerlingen overtuigend bewijs nodig waardoor ze hun denkpatronen kunnen veranderen en openstaan voor nieuwe opvattingen;
- Denkpatronen veranderen kost tijd. Leerlingen moeten hun ideeën herzien en verschillende voorbeelden krijgen om nieuwe denkpatronen te ontwikkelen.
- Zowel volwassenen als kinderen houden er vaak misconcepties op na. Leerlingen moeten zich comfortabel voelen om hun ideeën te durven delen om zo verder te kunnen bouwen op hun denkpatronen.



Waar is het bewijs?

Misconcepties zijn al vaak onderzocht en er is heel wat bewijs dat het onderwijs doeltreffender is als er rekening wordt gehouden met de voorkennis van leerlingen. In het bijzonder toont onderzoek^{17,18,19} aan dat:

- leerlingen fenomenen verklaren op hun eigen manier. Deze ideeën kunnen verschillen van de wetenschappelijke verklaringen. Er zijn dan ook veel misconcepties over wetenschappen en er is onderzoek dat kan aantonen welke dat juist zijn;
- cognitieve conflicten een doeltreffende manier zijn om het denken van leerlingen te stimuleren en hen te helpen hun bestaande ideeën te herzien;
- misconcepties moeilijk te veranderen zijn, maar dat dat wel kan leiden tot leervooruitgang, vooral voor drempelconcepten.

Hoe ga je hiermee om?

Begrijp de preconcepten van leerlingen over wetenschapsvakken

Ga eerst na welke preconcepten je leerlingen hebben. Bekende misconcepties zijn daarbij vaak een handig startpunt. In het kader hieronder staan voorbeelden van veelvoorkomende misconcepties, maar dit zijn misschien niet de misconcepties die in jouw klas leven. Daarom is het belangrijk om bij de introductie van een nieuw onderwerp de ideeën van je leerlingen te weten te komen. Je kunt die informatie dan gebruiken om te beoordelen hoe je het onderwerp het beste kunt benaderen in de

les. Het is nuttig voor je leerlingen om zich bewust te zijn van de ideeën die ze erop nahouden, zodat ze die kunnen vergelijken met de wetenschappelijke verklaringen die je ze aanleert.

Vaak is de intuïtieve invulling die leerlingen hebben van een concept niet dezelfde als de wetenschappelijke invulling daarvan¹⁷. De leerkracht, die vertrekt vanuit de wetenschappelijke en vaak contra-intuïtieve invulling van een bepaald concept, lijkt over iets totaal anders te praten dan waar de leerlingen intuïtief mee in hun hoofd zitten. Dit intern conflict bij leerlingen zorgt ervoor dat het aannemen en leren van een nieuw concept moeilijk en soms zelfs onmogelijk wordt¹⁹.



Veelvoorkomende misconcepties

- **Biologie:**
Bij de ademhaling denken leerlingen soms dat de uitzetting van de longen het gevolg is van het 'aanzuigen van lucht', terwijl het andersom geldt. Deze misvatting wordt bevestigd of versterkt bij het blazen door een strootje in de blaasjes van een varkenslong.
- **Fysica:**
Isolatie is voor sommige leerlingen een manier om te verhinderen dat de koude ergens kan binnendringen of ergens uit kan ontsnappen, terwijl het de warmte is die overgedragen wordt. M.a.w. koude wordt beschouwd als een (stoffelijk) verschijnsel dat zich kan voortplanten.
- **Chemie:**
Het molair volume van een gas in STP-omstandigheden wordt regelmatig beschouwd als een stofconstante, terwijl die voor alle gassen dezelfde waarde heeft. Deze misconceptie ontstaat vanuit foutieve analogie met de massadichtheid, die wel afhankelijk is van de aard van de stof.

Ontwikkel de denkpatronen van leerlingen aan de hand van cognitieve conflicten en gesprekken

Zodra de preconcepten in kaart zijn gebracht, kan je je leerlingen helpen om denkpatronen te ontwikkelen. Een goede manier om denkpatronen te ontwikkelen, is om je leerlingen bewijs voor te leggen dat ingaat tegen hun ideeën²⁰. Enkel objectieve informatie verstrekken, is volgens onderzoek niet voldoende. Leerlingen moeten voor een **cognitief conflict** geplaatst worden, waarbij ze actief bepaalde fenomenen onderzoeken om correcte concepten in hun geest op te bouwen²¹. Door bijvoorbeeld onverwachte waarnemingen te doen, gaan leerlingen hun misconcepties in twijfel trekken, waardoor ze hun manier van denken moeten aanpassen aan dit nieuwe bewijsmateriaal. Vervolgens worden ze door de leerkracht en hun medeleerlingen ondersteund om het probleem aan te pakken en het cognitieve conflict op te lossen. Hierdoor ontwikkelen leerlingen nieuwe leerstrategieën en kennis, die ze vervolgens in andere contexten kunnen toepassen. Om een misconceptie te kunnen weerleggen, is het dus noodzakelijk dat leerlingen een **concept shift** ondergaan. Hierbij gaan leerlingen hun initieel beeld over een begrip aanpassen naar de correcte wetenschappelijke betekenis ervan.

Maak voldoende tijd vrij om misconcepties te weerleggen en denkpatronen te veranderen

Tijdens het lesgeven is het nuttig om misconcepties te herhalen en leerlingen te herinneren aan wat ze in het begin dachten, zodat ze die ideeën opnieuw kunnen bekijken en eventuele veranderingen in hun denken erkennen. Het kan tijd kosten om sommige misconcepties bij te stellen.

Het is dus belangrijk om dit formatief te beoordelen om na te gaan of hun manier van denken op lange termijn veranderd is.

Voorbeelden voor in de wetenschapsles

Er zijn verschillende manieren om de manier van denken van leerlingen bloot te leggen, misconcepties te weerleggen en hun denkpatronen te veranderen. We verkennen hieronder twee manieren: de socratische dialoog en conceptcartoons.

Socratische dialoog

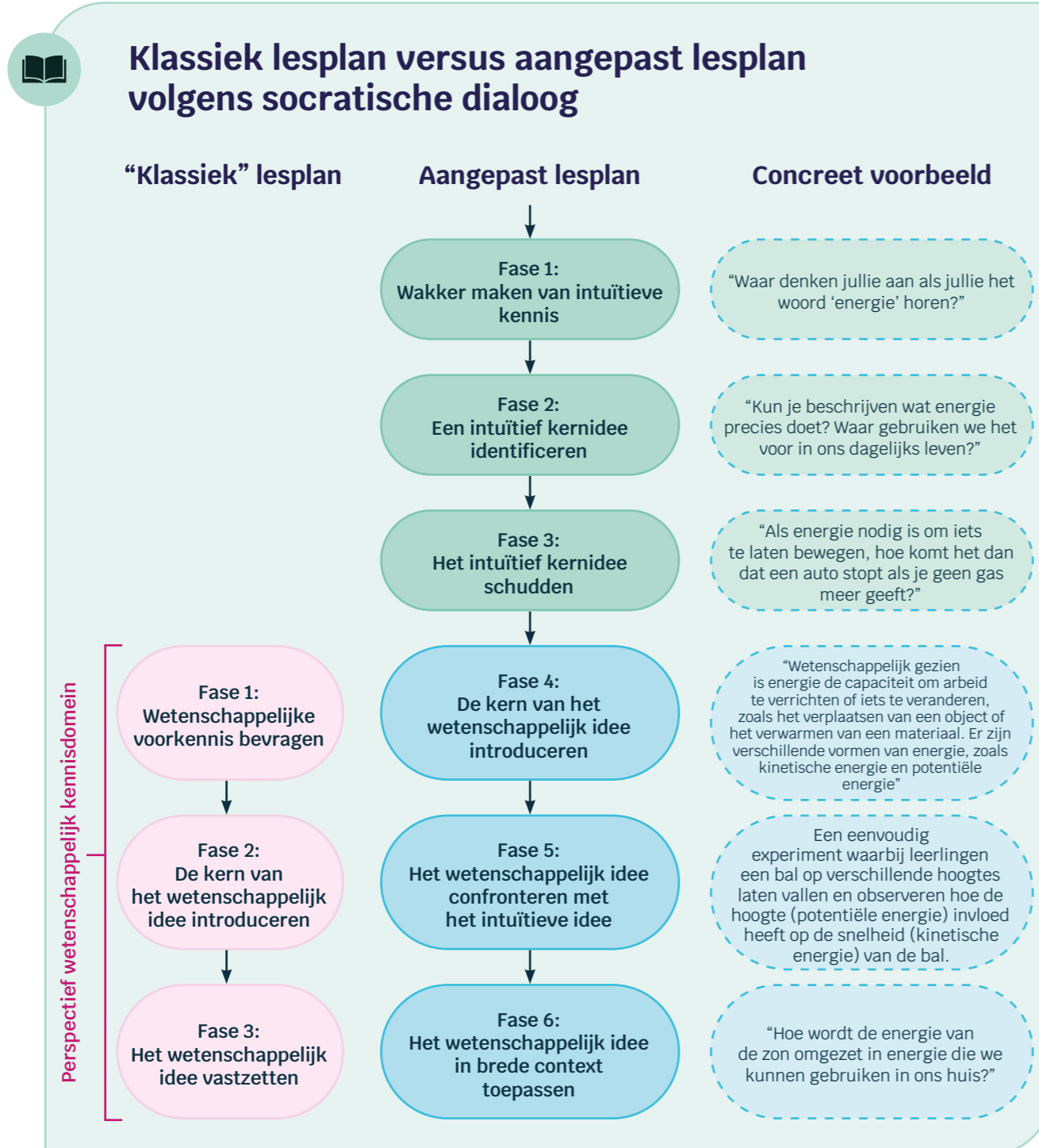
Door gebruik te maken van een socratische dialoog worden leerlingen bewust gemaakt van hun voorkennis en preconcepten. Ze spiegelen deze preconcepten aan de wetenschappelijke kennis en gaan met het wetenschappelijk concept in geïntegreerde opdrachten aan de slag. Het doel van deze aanpak is om leerlingen actiever aan het denken te zetten over de betekenis van basisconcepten in de wetenschappen. Zo worden concepten efficiënter en diepgaander verankerd in het denken en kunnen leerlingen ze beter gebruiken en toepassen¹⁷.

Tijdens een socratisch gesprek staan de preconcepten van de leerlingen centraal: wat denken ze en waarom denken ze dat? In de volgende fase verschuift de focus van de dialoog, zowel tussen de leerlingen onderling, als tussen de leerlingen en de leerkracht, van de ideeën van de leerlingen naar het wetenschappelijke idee.

In onderstaand kader zie je de vergelijking tussen een klassiek lesplan en een les waarin gebruik wordt gemaakt van de socratische dialoog. Bij het klassieke lesplan

ligt de focus enkel op het wetenschappelijk kennisdomein: wat hebben wetenschappers over dat specifiek concept ontdekt en wat is de visie en verklaring hierachter? In tegenstelling tot het aangepast lesplan waarbij voorafgaand aan het wetenschappelijk kennisdomein eerst de intuïtieve kennis van de leerling wordt bevestigd. Het doel bij de socratische dialoog is dan om de intuïtieve kennis te vergelijken met

de wetenschappelijke kennis en eventuele misconcepties te achterhalen²². Hierbij neem je als leerkracht een meer sturende rol aan om het wetenschappelijke concept duidelijk te maken en fungeer je als tolk van het wetenschappelijke idee. Niet de traditionele rol van alwetende autoriteit dus, maar aanwijzer van de interpretatieverschillen tussen het intuïtieve en het wetenschappelijke kennisdomein.



Conceptcartoons

Conceptcartoons zijn gebaseerd op de eigen denkbeelden van leerlingen, die vaak overeenkomen met bekende alternatieve denkbeelden of leerlingendenkbeelden²³. Deze leerlingendenkbeelden moeten niet alleen worden gezien als veelvoorkomende fouten, maar vragen om een specifieke didactische aanpak. Conceptcartoons bieden hiervoor een effectieve benadering²⁴. Samengevat kunnen we stellen dat conceptcartoons:

- leerlingen uitnodigen om na te denken, argumenten te formuleren en de drempel voor discussie te verlagen;
- herkenbare wetenschappelijke ideeën uit alledaagse situaties presenteren, die elk gelijkwaardig zijn maar met elkaar botsen door verschillende uitgangspunten;
- vaak geen enkel correct antwoord hebben;
- kunnen dienen als startpunt voor verder onderzoek.

Conceptcartoon 'Zijn er 's nachts schaduwen?'



Bron: overgenomen van <https://fysica-artevelde.weebly.com/conceptcartoons.html>; De Lange, 2009²⁵



Aanbeveling 2

Help leerlingen om hun eigen leerproces te reguleren

Zelfregulerend leren draait om de vaardigheden van leerlingen om hun eigen leerproces voortdurend te evalueren en hun gedachten, gevoelens en gedrag bij te sturen om de beoogde doelen te bereiken²⁶. Het bestaat uit de volgende delen:

- **Cognitie:** het inzicht van leerlingen in strategieën die ze kunnen gebruiken om te leren, bijvoorbeeld strategieën om vergelijkingen op te lossen of gecontroleerde experimenten te plannen.
- **Metacognitie:** de capaciteit van leerlingen om hun leerproces op te volgen en doelgericht te sturen, bijvoorbeeld door te controleren of de cognitieve strategieën die ze hebben gebruikt om een vergelijking op te lossen wel helpen.
- **Motivatie:** de motivatie van leerlingen om te leren, alsook hun zelfvertrouwen en interesse in de onderwerpen; bijvoorbeeld leerlingen die zichzelf motiveren om een moeilijke taak als huiswerk te maken. (zie Inleiding: teaching for engagement)
- **Taalvaardigheid:** het vermogen om effectief te spreken en te luisteren in diverse contexten. Taalvaardigheid helpt leerlingen hun gedachten en ideeën beter uit te drukken en anderen effectiever te begrijpen, wat hun zelfregulerende vaardigheden ten goede komt. (zie Aanbeveling 6 (*De taal van wetenschap aanleren*'))

Het zelf evalueren en bijsturen van het leerproces lijkt een algemene vaardigheid, maar het is belangrijk dit te ontwikkelen binnen een specifieke vakcontext. Vaak wordt ervan uitgegaan dat leerlingen zelfstandig deze vaardigheden ontwikkelen. De realiteit leert ons dat expliciete instructies nodig zijn en dat dit in het bijzonder nuttig is voor leerlingen die lager dan gemiddeld scoren. Deze aanbeveling rond zelfregulerend leren bevat specifieke pedagogische methodes die helpen om metacognitieve vaardigheden te ontwikkelen in de wetenschapslessen. Toch willen we ook het belang om interdisciplinair samenwerken met collega's benadrukken. Enkel als het hele schoolteam eenzelfde visie op zelfregulerend leren overbrengt, zal de boodschap bij leerlingen ontvangen worden.



Waar is het bewijs?

Verschillende grote correlatieve studies tonen sterke verbanden aan tussen zelfregulerend leren en verworven kennis in wetenschap. Daarnaast zijn er interventiestudies die de impact testen van programma's die gericht zijn op het verbeteren van zelfregulerend leren en die verbeteringen laten zien in resultaten voor wetenschapsvakken. Onderzoek^{26,27,28} toont ook aan dat:

- leerlingen die laag scoren er meer baat bij hebben dan leerlingen die hoog scoren. De strategieën aanleren kan dus helpen om die kloof te dichten;
- vaardigheden in zelfregulerend leren moeten worden ontwikkeld in het kader van een vak;
- onder andere je eigen manier van denken als model aan je leerlingen aanreiken en je leerlingen bij metacognitieve gesprekken betrekken, specifieke strategieën zijn om deze vaardigheden in wetenschapslessen te ontwikkelen.

Ook binnen de Toolkit 'Leren en lesgeven' wordt het belang van zelfregulerend leren aangetoond: leerpunt.be/toolkit/toolkit-leren-lesgeven/metacognitie-zelfregulatie-leren-leren.

Hoe ga je hiermee om?

Modelleer je eigen denkpatronen om leerlingen te helpen hun metacognitieve en cognitieve kennis te ontwikkelen

Toon je leerlingen hoe jij als leerkracht denkt. Je kunt een bruikbaar voorbeeld voor je leerlingen stellen door je denkprocessen expliciet te maken²⁹: Vertel bijvoorbeeld klassikaal hoe je een probleem aanpakt, welke strategieën je hanteert en waarom, en hoe je opvolgt of ze werken of niet. Dit kan met problemen die je al eerder hebt gezien, maar het is vaak ook nuttig om problemen te gebruiken die je nog niet hebt gezien om leerlingen een 'live' voorbeeld te geven van hoe ze een nieuw probleem kunnen aanpakken.

Deze aanpak is vooral nuttig wanneer leerlingen voor het eerst een nieuw probleem of een nieuwe manier van denken benaderen, maar moedig leerlingen ook aan om na verloop van tijd hierin zelfstandiger te worden. Introduceer bijvoorbeeld een aantal 'opzettelijke moeilijkheden'³⁰, zodat leerlingen op bepaalde momenten zelf moeten nadenken over hun leerproces.

Leer leerlingen expliciet hoe ze hun leerproces kunnen plannen, opvolgen en beoordelen

Metacognitie betekent niet alleen 'nadenken over de eigen manier van denken', maar ook het opvolgen van het eigen leerproces. Dit verandert vervolgens ook hoe een taak wordt benaderd.

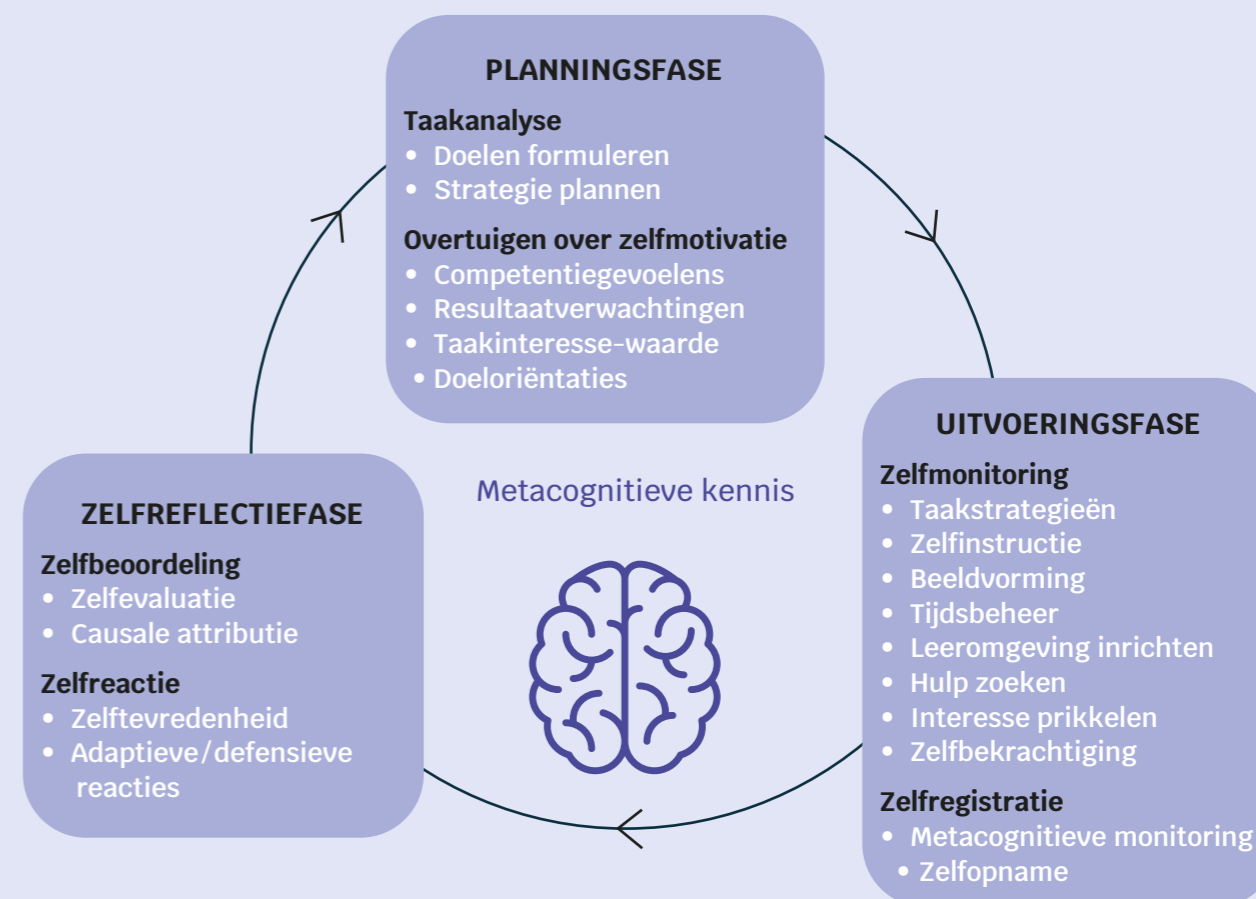
Eén manier om dat te doen, is je leerlingen de cyclus van Zimmerman & Moylan (zie kader op de volgende pagina) aan te leren. Deze cyclus toont ze expliciet hoe ze hun leerproces kunnen plannen, opvolgen en beoordelen²⁷. Het is belangrijk te benadrukken dat een cyclus geen eenmalig proces is. Het kan dus zijn dat je leerlingen de cyclus meer dan eens moeten doorlopen om een taak te voltooien. Bij leerlingen die al veel ervaring hebben in het doorlopen van deze cyclus gebeuren deze processen bijna onbewust en automatisch. Bij minder ervaren leerlingen is het echter waardevol om de cyclus expliciet te maken.

De beste resultaten worden bereikt als metacognitie wordt ingebed in een specifieke taak in plaats van abstract te worden behandeld. De taak begint met je leerlingen toegang te geven tot metacognitieve kennis over hun eigen vaardigheden, de strategieën die ze kunnen gebruiken en hun kennis over deze soort taak. Tijdens de taak doorlopen ze de plannings-, uitvoerings- en zelfreflectiefase, waardoor hun metacognitieve kennis wordt bijgewerkt om soortgelijke taken in de toekomst aan te pakken. Dit is naar analogie met bijvoorbeeld de oplossingsstructuur van een vraagstuk. Hierbij moeten de leerlingen eerst de gegevens en het gevraagde noteren (planningsfase). Vervolgens gaan ze dan proberen het vraagstuk op te lossen (uitvoeringsfase) om tenslotte te evalueren of deze uitkomst realistisch is en wat er eventueel misgelopen kan zijn (zelfreflectiefase).

Het model op de volgende pagina geeft voorbeelden van vragen die per fase gesteld kunnen worden bij een specifieke taak²⁶.



Het cyclisch model van zelfregulerend leren (Zimmerman & Moylan, 2009)



Planningsfase: Wat moeten jouw leerlingen leren?

- Bespreek samen met de leerlingen de leerdoelen en de succescriteria van de opdracht.
- Demonstreer hoe je een (nieuwe) opdracht op de meest effectieve manier kunt aanpakken.
- Stimuleer leerlingen om elkaar te vertellen (of leg zelf uit) hoe ze de opdracht willen aanpakken en hoeveel tijd ze verwachten nodig te hebben.

Uitvoeringsfase: Leren jouw leerlingen wat jij wilt dat ze leren?

- Neem regelmatig een pauze tijdens oefeningen en evalueer het leerproces van de leerlingen:
 - Slagen ze erin?
 - Gebruiken ze de juiste aanpak of strategie?
 - Hoe reageren ze wanneer ze vastlopen?
- Help leerlingen hun focus te behouden.
- Verdeel de opdracht in kleinere stappen.
- Gebruik een zichtbare tijdsindicatie om de voortgang te volgen.

Zelfreflectiefase: Hoe kun je jouw leerlingen verder laten groeien in hun leren?

- Bespreek samen met de leerlingen in hoeverre ze de gestelde doelen hebben bereikt.
- Laat hen hun aanpak en resultaten met elkaar delen.
- Geef één bruikbare tip voor een volgende opdracht, of laat hen zelf een tip formuleren.

Feedback geven op al deze deelstappen, zal ervoor zorgen dat leerlingen groeien op vlak van zelfregulerend leren (zie Aanbeveling 7 ('Feedback')).

Bevorder metacognitieve gesprekken en dialoog in de klas

Metacognitieve gesprekken en dialoog in de klas bevorderen kan via zorgvuldig gestructureerde gesprekken. Leerlingen hebben nood aan expliciete instructies over hoe ze doeltreffend groepsdiscussies kunnen voeren³¹. Belangrijk hierbij is om basisregels voor de groepsdiscussie te stellen. Het is aangetoond dat de volgende regels een positief effect hebben op beredeneerde argumentatie³²:

- Alle groepsleden moeten een bijdrage leveren: geen enkel lid mag te veel of te weinig zeggen, teamleden moeten degenen die minder zeggen, aanmoedigen;
- Elke bijdrage moet met respect worden behandeld. Er moet aandachtig naar worden geluisterd en afgerond kunnen worden;
- Elke groep moet tot een consensus komen tegen het einde van de activiteit en eventuele meningsverschillen moeten opgelost worden;
- Elke suggestie van een lid moet worden gerechtvaardigd. Zeg wat je denkt en waarom je het denkt.

Argumentatie is een specifieke dialoogvorm die leerlingen kan helpen om beredeneerde beweringen te doen die worden ondersteund door bewijs²⁸. Dit helpt leerlingen om de kracht en de beperkingen van wetenschappelijke kennis te begrijpen en laat niet alleen zien wat we weten, maar ook hoe we het weten.

Voorbeelden voor in de wetenschapsles

Werken aan metacognitieve vaardigheden van leerlingen moet ingebed zijn in een specifieke taak. Een geschikte taak in de wetenschappen is bijvoorbeeld om metacognitieve vaardigheden toe te passen wanneer leerlingen hun preconcepten onder de loep nemen (zie Aanbeveling 1 ('Preconcepten')). Het is nuttig om foute ideeën en de reden waarom ze fout zijn, alsook de juiste ideeën en waarom die juist zijn in een discussie te betrekken. Onderzoek toont aan dat groepsdiscussies beter werken als er een stimulans wordt gebruikt om verschillende standpunten naar voren te brengen³³.

We verkennen op de volgende pagina's hoe we dit kunnen doen aan de hand van twee voorbeelden: een conceptcartoon (zie kader op pagina hiernaast) en een practicum (zie Aanbeveling 5 ('Practica')).

Conceptcartoon: sprekende hoofden

Een manier om je leerlingen te stimuleren om verschillende ideeën te verkennen is het gebruik van 'sprekende hoofden' (zie onderstaande cartoon). De groepen kunnen de 'sprekende hoofden' gebruiken om verschillende vragen te beantwoorden:

- Wie heeft het juiste idee, wie heeft het verkeerde idee?
- Wie geeft de beste wetenschappelijke verklaring?
- Wie heeft het over gegevens, wie geeft uitleg?
- Wie gebruikt bewijs, wie geeft een mening?

In de les kan je concept cartoons ook aanbrenge aan de hand van de werkvorm *think-pair-share*. Hierbij is het de bedoeling dat leerlingen eerst zelfstandig nadenken (*think*), om vervolgens hun idee met hun buur te bespreken (*pair*). De laatste fase is een klasgesprek waarin alle ideeën van de leerlingen aan bod komen (*share*).

Sprekende hoofden 'Het smelten van ijs'



Bron: Overgenomen uit *Misvattingen fysica te lijf* (p. 22) door C. Balck en R. Van Peteghem, 2005, Centrum Nascholing Onderwijs.³⁴

Practica: een kans om te werken aan metacognitieve vaardigheden

Bij practica en andere activiteiten rond onderzoekcompetenties is de complexiteit doorgaans van hogere orde (zie Aanbeveling 5 ('Practica')). Bijgevolg is de nadruk op zelfregulerend leren erg belangrijk. Het

expliciteren van de doelstellingen (verwachtingen) is hierbij cruciaal. Onderstaand vind je een voorbeeld van hoe je zelfregulerend leren kan stimuleren tijdens een practicum.

Zelfregulerend leren tijdens een practicum

Onderwerp

Onderzoek naar de invloedsfactoren:

- *Biologie*: bij het kiemingsproces van tuinkerszaden
- *Chemie*: bij het geleidend vermogen van een NaCl-oplossing
- *Fysica*: bij de totale druk in water

Doelstelling

De leerlingen formuleren een hypothese op basis van een onderzoeksvraag.

Evaluatiecriteria

De hypothese:

- bevat één onafhankelijk variabele;
- vermeldt minstens twee mogelijke invloedsfactoren die constant (moeten) blijven;
- is toegepast op de concrete context;
- wordt verwoord in de vorm: als onafhankelijk variabele ..., dan afhankelijk variabele ...;
- wordt gefundeerd op basis van voorkennis;
- wordt onderbouwd met een logische redenering.

Plannings- en zelfreflectiefase

- Neem de doelstelling, de evaluatiecriteria en de scoreverdeling op in de opdracht-instructie.
- Illustreer met een uitgewerkt voorbeeld (m.b.t. een ander onderwerp), zowel met de maximumscore als met lagere scores.
- Vermeld een deadline.

Uitvoeringsfase

- Voorzie materiaal waaruit de leerlingen mogelijke invloedsfactoren kunnen afleiden, zoals tekst- en beeldfragmenten.
- Plan tussentijdse kennisdelingsmomenten in bij complexere opdrachten.





Aanbeveling 3

Gebruik modellen om het begrip te ondersteunen

Modellen zijn een nuttig hulpmiddel bij het ontwikkelen en delen van wetenschappelijke kennis, omdat in de wetenschappen vaak gewerkt wordt met verschijnselen en concepten die niet direct met onze zintuigen waarneembaar zijn. Ze worden al gebruikt sinds wetenschappers hun ideeën aan elkaar uitleggen. Modellen helpen de werkelijkheid te vereenvoudigen, beter te beheersen en te begrijpen³⁵. Aangezien modellen slechts een representatie van de realiteit zijn, is het belangrijk om de beperkingen ervan te erkennen en deze duidelijk te maken aan je leerlingen.

Enkele kernideeën bij modellen³⁶:

- Een model is een vereenvoudigde weergave die inzicht biedt in een fenomeen.
- Het bevat de essentiële elementen en vaak ook de relaties daartussen.
- Elk model bevat veronderstellingen die de bruikbaarheid beperken.
- Modellen en patronen zijn nauw met elkaar verbonden.

Het doel is dat je als leerkracht modellen gebruikt om de brug te slaan tussen de huidige ideeën van leerlingen en nieuwe inzichten. Modellen helpen om na te denken over de 'echte dingen' en er zijn veel verschil-

lende modellen (zie kaderstuk 'Soorten modellen'). Door modellen expliciet te bespreken, kun je je leerlingen helpen hun eigen denkwijze te begrijpen. Door hen uit te nodigen om modellen te bespreken en te verbeteren, geef je hen bovendien extra inzichten.

Wanneer leerlingen voldoende vertrouwd zijn met modellen, ze al veelvuldig hebben gebruikt en begrijpen, kan je leerlingen ook zelf modellen laten ontwerpen³⁷. Bovendien wordt er vanuit de minimumdoelen gesuggereerd om aan de slag te gaan met het modelleren (bv. STEM > cesuurdoel: 12.01.01). Maar eveneens als er geen geschikt model bestaat voor de onderwerpen die jij wilt geven, dan kan je zelf een model ontwerpen. De ontwerpcyclus vanuit het STEM-onderwijs kan je hierbij helpen: stemoov.weebly.com.

Hoe ga je hiermee om?

Gebruik modellen om leerlingen te helpen wetenschappelijke concepten te begrijpen

Ten eerste willen we stimuleren dat modellen ingezet worden om wetenschappelijke concepten te begrijpen. Wetenschappelijke kennis is moeilijk te verkrijgen. We schakelen constant tussen waarnemingen met onze zintuigen, de verklaringen voor deze waarnemingen en de symbolische weergaven van die verklaringen. Modellen kunnen gebruikt worden om waarnemingen te verbinden met verklaringen en representaties (zie Aanbeveling 1 ('Preconcepten')).



Soorten modellen

Modellen die leerkrachten vaak gebruiken zijn onder andere:

- **driedimensionale modellen**, bijvoorbeeld een bol-staafmodel voor organische moleculen of een model van gekleurd plastic voor de menselijke bloedsomloop;
- **verbale en schriftelijke modellen**, bijvoorbeeld analogieën zoals het hydrodynamisch model voor elektrische stroom;
- **wiskundige modellen**, bijvoorbeeld bewegingsvergelijkingen en chemische formules;
- **beelden**, bijvoorbeeld grafieken, diagrammen en animaties; computermodellen – zoals simulaties van de bevolkingsgroei.



Waar is het bewijs?

Onderzoek toont aan dat modelleren veelvuldig wordt toegepast in het wetenschapsonderwijs. De focus ligt eerder op hoe het gebruik van modellen kan worden geoptimaliseerd dan op de waarde van de modellen zelf. Onderzoek^{35,37} toont aan dat:

- leerlingen de ideeën waarop modellen zijn gebaseerd moeten kennen. Anders kunnen ze nog meer in de war raken;
- het belangrijk is dat leerlingen begrijpen hoe modellen verschillen van het idee dat aangeleerd wordt en het onderliggende idee leren, in plaats van het model.

Alex Johnstone (1982) ontwikkelde als eerste het idee van de drie niveaus van wetenschappelijke kennis, aanvankelijk gebruikt om de drie niveaus van kennis over chemie uit te leggen³⁸. Onderstaand kader geeft de driehoek van Johnstone weer. Deze driehoek kan worden toegepast op elk wetenschapsvak. In de fysica zouden de drie niveaus bijvoorbeeld kunnen verwijzen naar fysieke objecten (macroscopisch); krachten, reacties en elektronen (submicroscopisch); en formules (symbolisch). In de biologie zou dit dan weer kunnen zijn: planten en dieren (macroscopisch); cellen (submicroscopisch); en DNA (symbolisch).

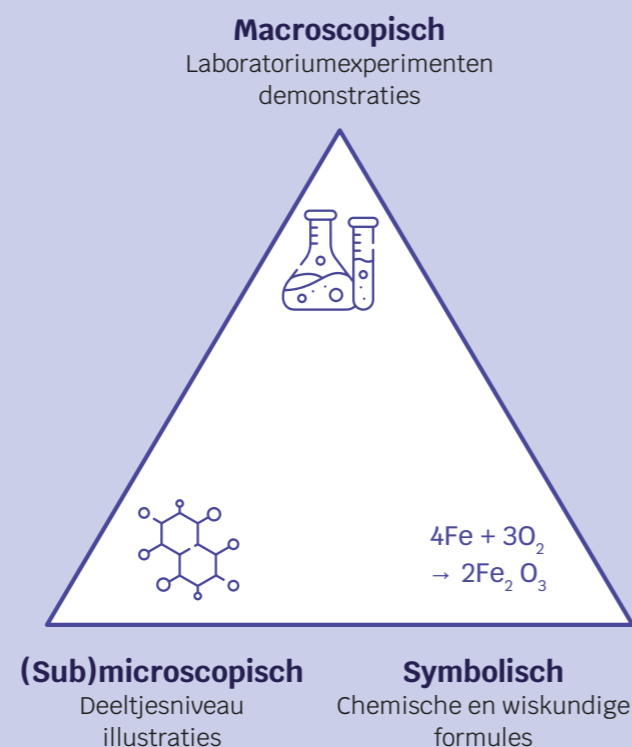
Elk van deze niveaus helpt een individu bij het begrijpen van een fenomeen. Expert-wetenschappers bijvoorbeeld zullen een begrip opbouwen dat de drie niveaus combineert. Leerlingen werken echter vaak op het macroscopische niveau en vinden het moeilijk om hun ervaringen met het fenomeen te relateren aan de submicroscopische en symbolische niveaus - vooral omdat ze deze twee niveaus niet kunnen observeren. Modellen helpen leerlingen om waarnemingen te koppelen aan de submicroscopische en symbolische niveaus en om een rijker begrip op te bouwen.



Drie niveaus van kennis

De drie kennisniveaus zijn³⁸:

- het **macroscopische** – inclusief de beschrijvende kennis die verworven wordt door ervaring, direct (via de zintuigen) of indirect (via metingen).
Bijvoorbeeld: *Aardgas brandt in aanwezigheid van lucht en kan worden gebruikt om dingen op te warmen*
- het **submicroscopische** – inclusief de verklaringsmodellen die wetenschappers hebben ontwikkeld om waarnemingen op macroscopisch niveau te verklaren; we kunnen dingen op dit niveau niet rechtstreeks waarnemen.
Bijvoorbeeld: *Aardgas bestaat voornamelijk uit methaan, een chemische verbinding die een verbrandingsreactie ondergaat met zuurstofgas in de lucht, waarbij twee nieuwe stoffen ontstaan, koolstofdioxide en water, en waarbij energie vrijkomt in de vorm van warmte en licht;*
- het **symbolische** – inclusief chemische symbolen, formules en wiskundige vergelijkingen.
Bijvoorbeeld: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{energie}$.



Kies de modellen die je gebruikt zorgvuldig

Ook willen we aanmoedigen dat je de gebruikte modellen zorgvuldig kiest en inzet tijdens je lessen. Wetenschapsleerkrachten beschikken over veel modellen. Die modellen worden best alleen gebruikt wanneer ze het begrip van de concepten kunnen bevorderen. Er zijn ook veel concepten waarbij geen modellen nodig zijn.

Denk dus goed na over de modellen die je voor, tijdens en na je lessen zal gebruiken. Een handige manier om dit te doen is met de FAR-aanpak (Focus, Actie en Reflectie) (zie onderstaand kader)³⁹.

Het is belangrijk dat je leerlingen vertrouwd zijn met het onderliggende idee waarop het model is gebaseerd. Als het model net zo onbekend is als het nieuwe concept dat wordt onderwezen, kan het model het leerproces eerder hinderen dan helpen.



De FAR-aanpak

Focus (voor de les)

Concept dat tijdens de les wordt aangeleerd	Is het een moeilijk, onbekend of abstract concept of proces?
Leerling	Welke ideeën kennen de leerlingen al over het concept of proces dat het model zal beschrijven?
Model	Is het model zelf iets waarmee leerlingen vertrouwd zijn? (Als je bijvoorbeeld waterstroming gebruikt om elektrische stroom te modelleren, zijn de leerlingen vertrouwd met turbines en warmtepompen?).

Actie (tijdens de les)

Bespreken	Bespreek de kenmerken van het wetenschappelijk concept en het model.
Gelijkenissen	Zoek de gelijkenissen tussen het concept en het model.
Verschillen	Bespreek waar het model verschilt van het concept.

Reflectie (na de les)

Conclusies	Was het model duidelijk en nuttig, of verwarrend?
Verbeteringen	Hoe kan het model worden verbeterd voor toekomstig gebruik? Moet de klas het idee opnieuw bekijken?

Bewerking van Treagust et al., 1998³⁹

Kritisch leren omgaan met modellen

Leer tenslotte je leerlingen expliciet deze modellen aan en moedig je leerlingen aan om kritisch met ze om te gaan. Leerlingen halen het meeste uit de modellen als ze begrijpen hoe de modellen zich verhouden tot de realiteit en waarom ze worden gebruikt. Dat is een belangrijke stap in het ontwikkelen van het vermogen om 'te redeneren als een wetenschapper'. De drie niveaus van begrip over de 'aard van de modellen'⁴⁰ zijn:

- 1 Beginner**
'Ik denk dat modellen een directe kopie van de realiteit zijn en zie niet in hoe ze van de realiteit verschillen.'
- 2 Intermediair**
'Ik begrijp dat modellen geen directe kopieën van de realiteit zijn en ik begrijp dat modellen worden gebruikt om mij te helpen mijn wetenschappelijk inzicht te ontwikkelen.'
- 3 Expert**
'Ik weet dat verschillende modellen kunnen worden gebruikt om verschillende aspecten van een idee uit te leggen.'

'Ik begrijp dat modellen sterke en zwakke punten hebben en dat bestaande modellen kunnen worden veranderd en verbeterd.'

'Ik weet dat modellen kunnen worden gebruikt om ideeën te testen en gemaakt zijn voor specifieke doeleinden.'

Zorg ervoor dat je leerlingen het model niet leren in plaats van het concept dat het moet uitleggen. Dit kun je bereiken door hen expliciet te wijzen op de overeenkomsten en verschillen tussen het model en het concept. Laat ze bijvoorbeeld zelf ervaringen opdoen met verschillende soorten modellen en daag ze daarna uit om bestaande modellen met elkaar te vergelijken.

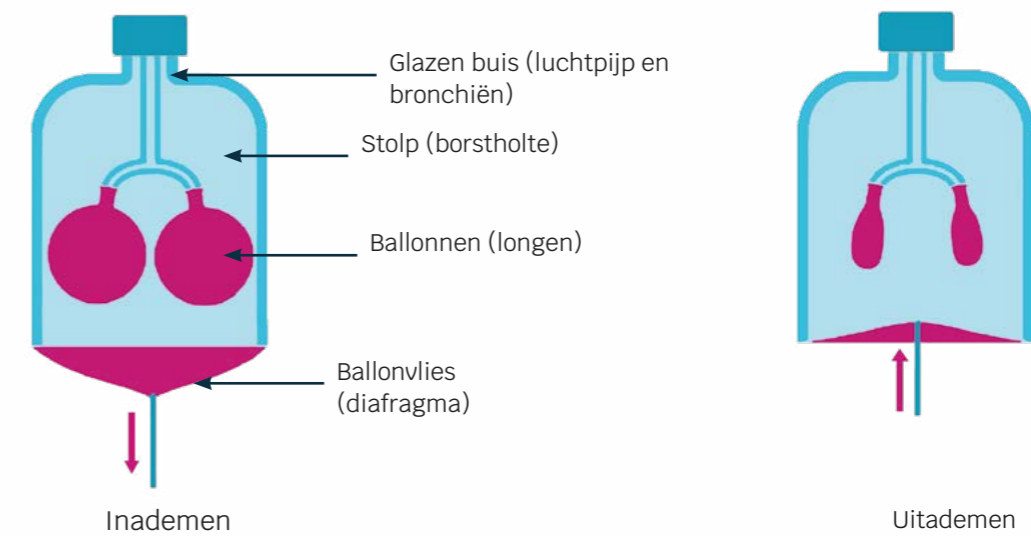
Voorbeelden voor in de wetenschapsles

Op de volgende pagina's geven we voor de verschillende wetenschapsvakken een voorbeeld van hoe modellen in de les kunnen worden ingezet met aandacht voor mogelijke valkuilen. (zie Aanbeveling 1 ('Preconcepten')).

Modellen in de wetenschapsles

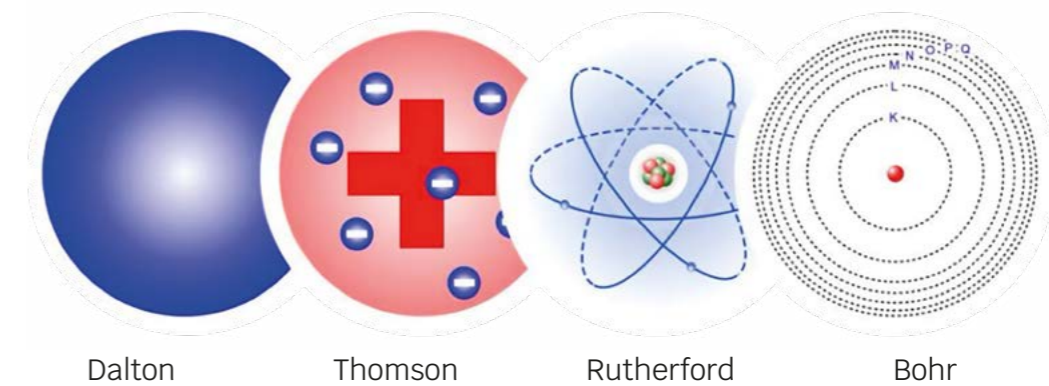
Biologie: het model van de buikademhaling

Een fysiek model van de longen, bestaande uit ballonnen die worden opgeblazen in een glazen stolp, kan handig zijn om de buikademhaling aan je leerlingen uit te leggen. Dit model heeft echter zijn beperkingen: de borstwand is niet stijf zoals het glas en de rol van de ribben en tussenribspieren wordt niet weergegeven.



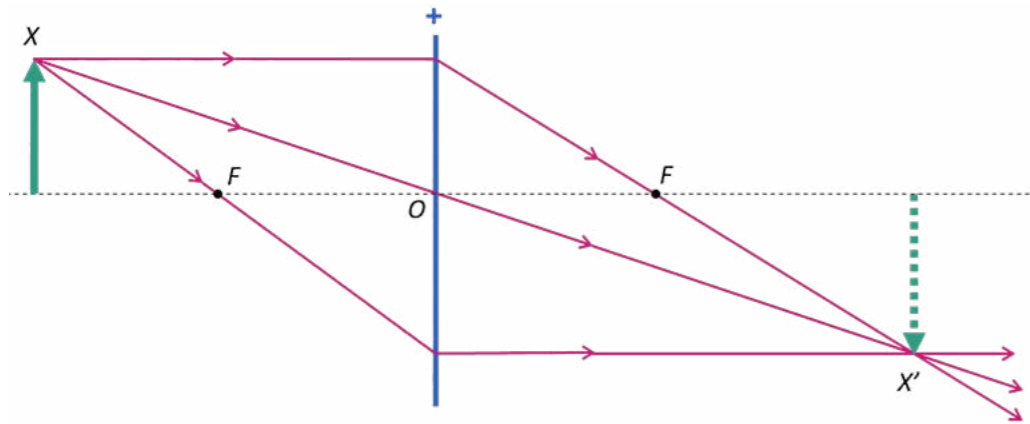
Chemie: de atoommodellen

De beschrijving van de atoommodellen van Dalton, Thomson, Rutherford en Bohr illustreren het wetenschappelijk denken en de ontwikkeling van modellen. Elke versie vertoont aanpassingen op basis van nieuwe inzichten en technologische vooruitgang, maar bevat ook haar eigen beperkingen.



Fysica: de stralengang

Het gebruik van karakteristieke stralengangen bij beeldvorming door bolle lenzen maakt het mogelijk om het verband tussen de brandpuntsafstand, de voorwerpsafstand en de beeldafstand visueel weer te geven. Dit model heeft echter beperkingen. Het gaat uit van een extreem dunne lens, negeert de verschuiving van evenwijdige stralen en is meestal tweedimensionaal.



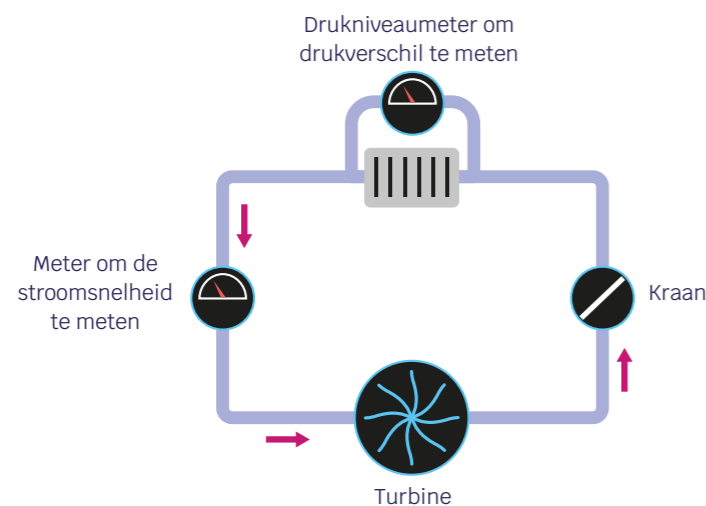
Vergelijk modellen met elkaar tijdens de les

Er zijn drie veelgebruikte modellen om elektrische stroom uit te leggen: het hydrodynamisch model, het touwmodel en het bestelwagenmodel. Bij het vergelijken en bespreken van de drie modellen kunnen de volgende discussievragen worden gesteld:

- Hoe zou je in elk model weergeven dat:
 - de stroomsterkte verhoogt?
 - de spanning verhoogt?
- Welk model vind je het nuttigst? Waarom?
- Hoe kun je de modellen verbeteren?
- Hoe zou je elk model aanpassen om met wisselstroom om te gaan?

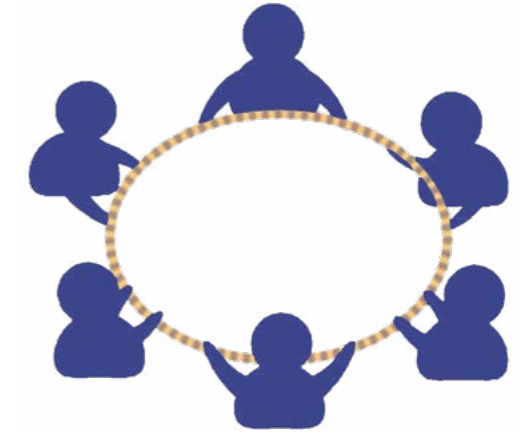
Het hydrodynamisch model

Het hydrodynamisch model is er een dat leerlingen makkelijk kunnen begrijpen. Ze moeten wel vertrouwd zijn met hoe het verschilt van hun ervaring met water in leidingen. In tegenstelling tot water dat de leidingen verlaat via kranen, kan elektriciteit het circuit bijvoorbeeld niet verlaten.



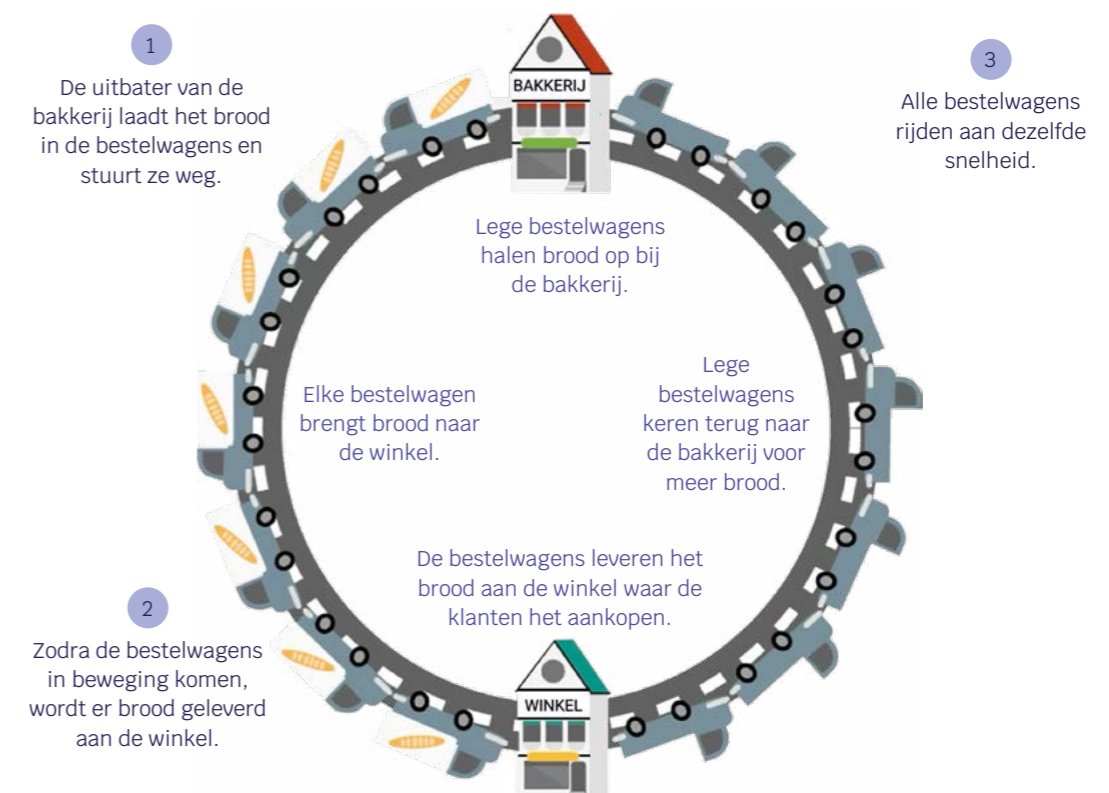
Het touwmodel

Het touwmodel is nuttig om het idee van energiestroom te ontwikkelen en om de constantheid van stroom in een circuit te laten zien. Dit model is echter beperkt, omdat er geen component in het circuit is die de energie overdraagt. Het is wel tastbaar: leerlingen kunnen in een kring gaan staan en het touw vasthouden. Het kan ook de warmte in een elektrisch circuit demonstreren.



Het bestelwagenmodel

Het bestelwagenmodel is nuttig om aan te tonen dat de beweging van elektronen in een circuit gepaard gaat met een overdracht van energie. De beperking hier is dat energie wordt gezien als een substantie in plaats van een concept. Het is ook belangrijk dat bestelwagens worden gezien als één ononderbroken lijn zonder ruimte ertussen. Anders geeft het model niet weer hoe de elektronen zich in het circuit voortbewegen.



Het gaat er hier niet om één model te kiezen, maar om de vergelijking tussen modellen te gebruiken om leerlingen te helpen inzicht te ontwikkelen in zowel het concept als de aard van de modellen. De drie boven-

staande modellen kunnen de misconceptie doen ontstaan dat elektronen de energie vervoeren door zich te verplaatsen, zoals bv. watermoleculen door een buis. Eén juist model bestaat dus niet.



Aanbeveling 4

Help leerlingen om kennis op te slaan en op te halen

Zonder kennis kan je niet aan wetenschap doen. Leerlingen moeten nieuwe concepten en woordenschat leren en die kennis toepassen in nieuwe contexten. Informatie kunnen begrijpen en onthouden, is dus belangrijk om te slagen in wetenschappen op school⁴¹. We hebben het hier niet louter over het uit het hoofd leren: kennis is een belangrijke stap naar een diepgaander begrip.

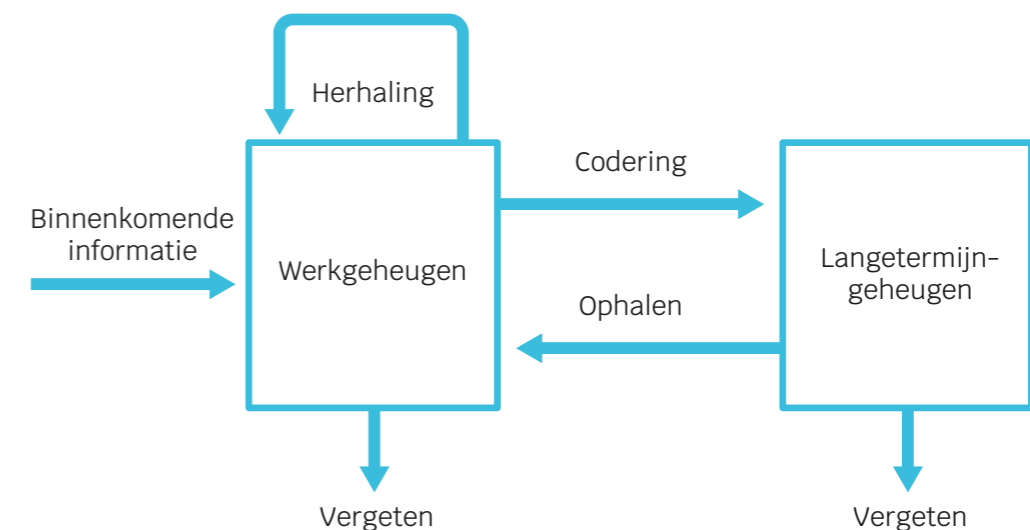
Het geheugen bestaat uit twee belangrijke delen – het langetermijngeheugen en het **werkgeheugen** (zie figuur). Informatie die actief wordt verwerkt, wordt opgeslagen in het werkgeheugen. Hier gebeurt ook het ‘denken’. Het is belangrijk om te weten dat het werkgeheugen beperkt is in de hoeveelheid informatie die het op een bepaald moment kan bevatten. Je werkgeheugen kan gemiddeld zo'n zeven ‘bits’ aan informatie opslaan voor ongeveer 20 seconden, tenzij het wordt opgefrist door herhaling. Na voldoende herhaling kan kennis doorsijpelen naar het langetermijngeheugen.

Het **langetermijngeheugen** kan worden beschouwd als een ‘opslagplaats van kennis’. Het langetermijngeheugen moet echter niet worden gezien als een statische opslagplaats van kennis; het wordt voortdurend bijgewerkt.

Capaciteitsbeperkingen gelden voor nieuwe informatie, maar niet voor informatie die uit je langetermijngeheugen wordt opgehaald. In je langetermijngeheugen wordt informatie opgeslagen in schema's. Een schema is een denkpatroon dat categorieën infor-

matie en de verbanden daartussen organiseert. Het werkgeheugen behandelt elk schema als één enkel informatie-element. Dit vermindert de belasting van het werkgeheugen, omdat zelfs complexe schema's als één element kunnen worden verwerkt.

De werking van het geheugen



Figuur 1. Werkgeheugen en langetermijngeheugen



Waar is het bewijs?

Cognitiewetenschap heeft de jongste jaren geleid tot belangrijke doorbraken op het begrijpen van de verschillende functies en processen van het brein. Het toepassen van laboratoriumdata in de klaspraktijk is echter niet eenvoudig. Onderzoek^{42,43,44,45} ondersteunt wel:

- de theorie van cognitieve belasting, hoewel het minder duidelijk is hoeveel informatie leerlingen juist in hun werkgeheugen kunnen opslaan;
- gespreide herhaling, heeft het meeste bewijs uit klaslokaalstudies van de besproken strategieën, met effecten die in verschillende contexten zijn aangetoond;
- *retrieval practice* (i.e. het actief ophalen van informatie uit het langetermijngeheugen) en elaboratieve ondervraging (i.e. verdiepend vragen naar waarom en hoe iets waar is) waarvan positieve effecten zijn waargenomen in een aantal onderzoeken.

Hoe ga je hiermee om?

Besteed aandacht aan cognitieve belasting

Door de beperkingen van het werkgeheugen kan het snel overbelast raken bij een nieuwe taak. Elke taak die de limiet van het werkgeheugen overschrijdt, zal leiden tot cognitieve overbelasting. De kans vergroot dat de inhoud verkeerd begrepen wordt en niet effectief gecodeerd wordt in het langetermijngeheugen (zie Aanbeveling 1 (Preconcepten)).

Om het werkgeheugen niet te overbelasten kun je complexe taken structureren door de hoeveelheid nieuwe informatie die leerlingen moeten verwerken te beperken. Een manier om cognitieve overbelasting te voorkomen, is om leerlingen te helpen belangrijke en vaak gebruikte informatie in hun langetermijngeheugen op te slaan⁴¹ (zie Aanbeveling 2 (Zelfregulerend leren)).

Herhaal kennis na een onderbreking om het langetermijngeheugen te verbeteren

Een tweede methode is om de kennis opnieuw te bekijken na een onderbreking. Dit zal leerlingen helpen de kennis op te slaan in hun langetermijngeheugen. Alles over een onderwerp in één keer leren, is niet zo doeltreffend als gespreid leren⁴². Gespreid herhalen houdt in dat je een onderwerp opnieuw bekijkt na de 'vergeetkloof' om je langetermijngeheugen te versterken. Dit kan eenvoudigweg door tijd vrij te maken om te herhalen, zowel aan het begin van een les over wat er de vorige les werd geleerd als over langere periodes (aan het einde van de week, maand of onderwerp).

Bied leerlingen de kans om eerder geleerde kennis op te halen

Herhaaldelijk herlezen van een tekst blijkt geen effectieve manier van leren te zijn. Het is veel effectiever wanneer leerlingen proberen te herinneren wat ze eerder over een onderwerp hebben geleerd of recent gelezen. *Retrieval practice* houdt in dat je probeert te herinneren wat je in het verleden hebt geleerd, bijvoorbeeld door oude leerstof te herhalen voordat je nieuwe, verwante leerstof aanleert. Een combinatie van gespreid herhalen en *retrieval practice* is bijzonder gunstig voor het behoud van kennis in het langetermijngeheugen⁴³.

Leerlingen passen *retrieval practice* toe bij elke toets. Door regelmatig (bijvoorbeeld wekelijks in plaats van per trimester) korte toetsen met een lage inzet af te nemen, moeten leerlingen regelmatig kennis ophalen. Andere activiteiten, zoals het werken met geheugenkaartjes, oefenvragen of het maken van een conceptmap, bevorderen dit proces. Het belangrijkste is dat leerlingen zoveel mogelijk putten uit hun langetermijngeheugen. Vervolgens kunnen ze bronnen raadplegen om hiaten op te vullen en zichzelf feedback te geven (zie Aanbeveling 2 (Zelfregulerend leren)).

Wat *retrieval practice* bijzonder maakt voor het onderwijs, is de duurzaamheid van het effect: de voordelen blijven soms zelfs jaren zichtbaar, lang nadat de techniek is toegepast. Bovendien moet *retrieval practice* plaatsvinden na een redelijke tussenpauze. Onderzoek toont aan dat langere tussenpozen, bij voorkeur minstens een week, effectiever zijn.

Moedig leerlingen aan om uit te wijden over wat ze hebben geleerd

Tenslotte raden we aan om je leerlingen aan te moedigen om wat ze geleerd hebben te elaboreren. Elaboreren houdt in dat je in detail beschrijft en uitlegt wat je hebt

geleerd. Deze aanpak ondersteunt het leerproces door nieuwe informatie te koppelen aan bestaande voorkennis, wat helpt om die informatie op te slaan in het langetermijngeheugen. Dit is nuttig voor leerlingen om een concept steeds beter te begrijpen⁴³.



Voorbeelden voor in de wetenschapsles

Complexe taken structureren in de les

Als leerlingen leren over titratie in de chemie, specifieke warmtecapaciteit in de fysica of microscopische bouw van een dierlijke cel in de biologie, zijn er veel nieuwe concepten en praktische vaardigheden die ze moeten leren en nieuwe apparatuur waarmee ze moeten leren omgaan. Als ze dat allemaal tegelijkertijd moeten doen, zullen ze het moeilijk vinden om dat allemaal te verwerken (zie Aanbeveling 5 ('Practica')).

Om het werkgeheugen niet te overbelasten kun je complexe taken structureren door de hoeveelheid nieuwe informatie die leerlingen moeten verwerken te beperken. Hieronder enkele manieren om dat aan te pakken:

- Plan lessenreeksen, zodat alle noodzakelijke achtergrondkennis van tevoren aan bod komt, inclusief het herhalen van eerder aangeleerde ideeën waar een complexe taak op gebaseerd is.
- Voorkom dat aandacht verdeeld wordt door ervoor te zorgen dat leerlingen niet meerdere bronnen moeten raadplegen om een taak af te ronden. Verdeelde aandacht doet zich bijvoorbeeld voor als leerlingen moeten schakelen tussen een diagram en een schriftelijke uitleg. (Zie figuur hiernaast).
- Door steeds dezelfde structuur in een les te hanteren, wordt dit voorspelbaar voor de leerlingen. Dit maakt dat ze meer capaciteit en ruimte in hun werkgeheugen over houden om met de nieuwe leerstof aan de slag te gaan.
- Geef uitgewerkte of gedeeltelijk opge-

loste voorbeelden die leerlingen bij elke stap van een proces helpen – wat vooral nuttig is wanneer ze voor het eerst een strategie leren om een probleem op te lossen – maar bouw het aantal voorbeelden af naarmate de leerlingen meer ervaring hebben.

- Deel een taak op, zodat leerlingen ze stap voor stap kunnen uitvoeren en bij elke stap kunnen opschrijven wat ze weten voordat ze aan de volgende stap beginnen.
- Faseer de aanbreng van nieuwe leerstof: behandel eerst nieuwe feiten en concepten, om ze vervolgens in een onderzoekspracticum te behandelen. Of leer eerst het gebruik van de spanningsbron (contextloos) aan, alvorens dat toestel in een practicum te laten gebruiken door de leerlingen.

Dual coding in de les

Dual coding is een leermethode die gebruikmaakt van zowel visuele als verbale informatie om kennis en begrip te versterken⁴⁵. Het idee is dat je informatie beter onthoudt en begrijpt als je het op twee verschillende manieren verwerkt:

- 1 **Verbaal:** Dit kan tekst, gesproken uitleg of symbolen zijn.
- 2 **Visueel:** Dit omvat afbeeldingen, diagrammen, grafieken of andere visuele hulpmiddelen.

Door beide soorten informatie tegelijkertijd aan te bieden, creëer je in je brein meerdere verbindingen met dezelfde kennis. Dit maakt het eenvoudiger om de informatie later terug te halen. Bijvoorbeeld: als je leert over een wetenschappelijk concept, kun je dit versterken door zowel een geschreven uitleg als een visueel diagram te gebruiken.

Hierbij is het wel van belang dat je je werkgeheugen niet overbelast: wanneer je bijvoorbeeld geschreven woorden voorleest, activeer je twee keer het verbale proces. Dit kan leiden tot overbelasting van dat systeem. Het is daarom belangrijk om ervoor te zorgen dat je informatie op een optimale manier codeert⁴⁶.

Een voorbeeld daarvan zie je in de figuur hieronder. Afbeelding a voorkomt verdeelde aandacht en vermindert de cognitieve belasting door de labels te integreren in de afbeelding. Om afbeelding b te begrijpen, moeten leerlingen hun aandacht verdelen tussen de afbeelding en de opgelijste labels, wat cognitief meer belastend is.

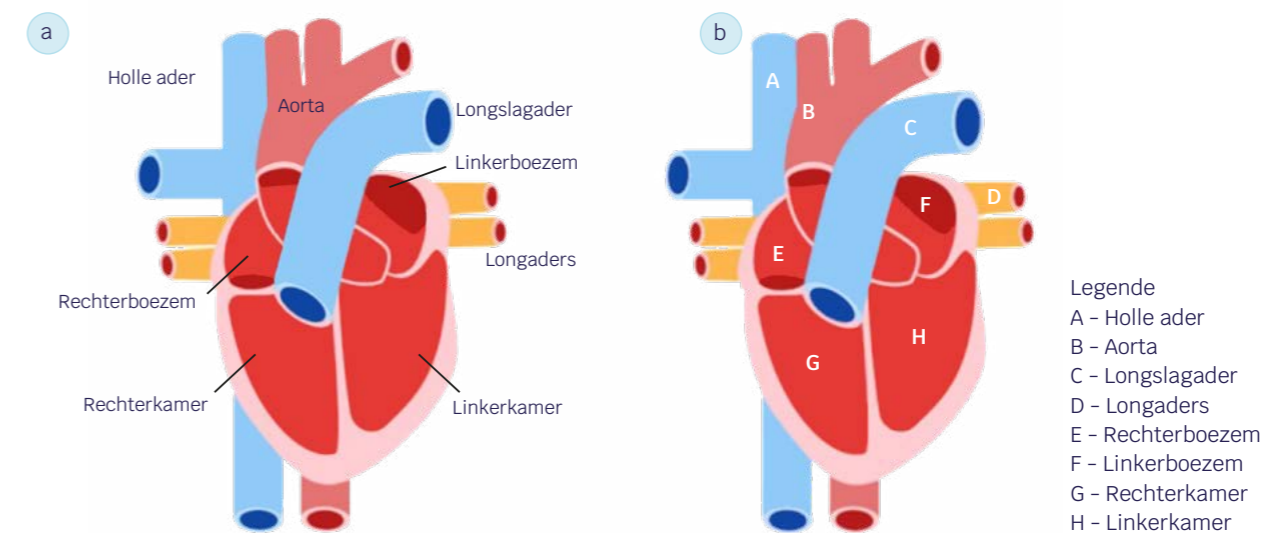
Retrieval practice in de les

Bij *retrieval practice* kan je je leerlingen vragen om groep I van het periodiek systeem op te noemen voor je groep VII aanleert, waarbij je dan overeenkomsten en verschillen bekijkt. Andere voorbeelden hiervan zijn de opbouw van formules in de fysica met meerdere grootheden, zoals

de algemene gaswet en de formule voor hydrostatische druk of bij de vergelijking van verschillende samenlevingsvormen in de biologie, waarbij je leerlingen dan een schematisch overzicht biedt van de gelijkenissen en verschillen.

Elaboratieve ondervraging in de les

Elaboratieve ondervraging is een veelvuldig bestudeerde manier van elaboreren. Leerlingen worden gevraagd om een concept dat ze hebben geleerd te verklaren. Stel waarom- en hoe-vragen over de onderwerpen die ze leren, bijvoorbeeld: 'Vertel me hoe een elektrische motor werkt.', 'Waarom draait de motor sneller als er meer stroom is?', 'Hoe komt de elektrische stroom in de spoel terecht?' 'Vertel me hoe deze plant water opneemt in deze droge omgeving.', 'Waarom merken we bij deze chemische reactie een temperatuurstijging?'. Onderzoek toont aan dat de leereffecten groter zijn wanneer leerlingen zelf antwoorden op deze vragen genereren in plaats van dat ze de uitleg krijgen³³.



Figuur 2. Cognitieve belasting vermijden



Aanbeveling 5

Gebruik practica doelgericht

Experimenten zijn niet alleen inherent aan wetenschappen, maar helpen leerlingen ook om wetenschappelijke theorie en kennis in de realiteit te verankeren. Hiervoor is het niet noodzakelijk om uitgebreid didactisch materiaal te voorzien. Veel experimenten kan je uitvoeren met huis-, tuin- en keukenmateriaal of zelfs zonder materiaal. Denk bijvoorbeeld aan de gedachte-experimenten van Albert Einstein. Het is ook niet altijd nodig om complexe psychomotorische vaardigheden te betrekken of een volledig labo-verslag te laten schrijven als leerlingen de gewenste waarnemingen kunnen verwoorden na het bekijken van een doeltreffend videofragment. Daarnaast kan ook jij als leerkracht een demonstratie uitvoeren, waarbij jouw leerlingen de verschijnselen moeten vaststellen.

Onze definitie van **'practica'** omvat een grote verscheidenheid aan activiteiten waarbij leerkracht en/of leerlingen cognitieve en/of psychomotorische processen uitvoeren, met echte voorwerpen en materialen of visuele equivalenten in het kader van een wetenschappelijke redenering.

Uit internationaal onderzoek bleek dat wetenschapsleerkrachten het grotendeels eens zijn over de vijf doelen voor het uitvoeren van practica⁴⁷:

- 1 De principes van wetenschappelijk onderzoek aanleren.
- 2 Het begrip van de theorie verbeteren door praktijkervaring.
- 3 Specifieke praktische vaardigheden aanleren, zoals meten en observeren, die van pas kunnen komen bij toekomstig onderzoek of werk.
- 4 Vaardigheden en eigenschappen op een hoger niveau ontwikkelen, zoals communicatie, groepswerk en doorzettingsvermogen.
- 5 Leerlingen motiveren en engageren. Het evalueren van een practicum is uitdagend, omdat je zowel de ontwikkeling van vaardigheden als het wetenschappelijk redeneren van leerlingen in kaart wil brengen. In Aanbeveling 7 ('Feedback') worden hiervoor concrete handvaten aangeboden.

Hoe ga je hiermee om?

Ken en expliciteer het doel van elk practicum

Het is belangrijk dat je duidelijk bent over de vaardigheden of kennis die je je leerlingen wilt meegeven tijdens een bepaald practicum. Denk na over de beste aanpak om deze vaardigheden en kennis te ontwikkelen en plan hoe je deze kunt opvolgen met andere leeractiviteiten.

'Gaan we vandaag een experiment doen?' Je hebt de vraag vast ook al gekregen. Leerlingen raken geëngageerd door practica⁵⁰. Maar je leerlingen blij maken is op zich geen reden om waardevolle lestijd hieraan te spenderen. Vraag jezelf af: doe je het experiment om een nieuw fenomeen, zoals elektromagnetisme, te introduceren en de



Waar is het bewijs?

De onderzoeken naar practica richten zich vaak op verschillende doelen, waardoor het moeilijk is om een consensus te bereiken over de impact van practica. Er zijn maar weinig onderzoeken die de doeltreffendheid van verschillende soorten practica vergelijken.

Zij tonen wel aan dat^{48, 49}:

- leerlingen meer geëngageerd zijn voor practica;
- door de grote verscheidenheid aan doelen en doelstellingen van practica, het belangrijk is om duidelijk te maken waarom je bepaalde activiteiten kiest. Verschillende soorten practica zijn immers nodig om verschillende doelen te bereiken;
- practica een positieve invloed hebben op het ontwikkelen van specifieke praktische vaardigheden;
- practica bevorderlijk zijn voor het ontwikkelen van vaardigheden om wetenschappelijk te redeneren. Dit kan een invloed hebben op de resultaten van leerlingen;
- open onderzoeksprojecten een invloed kunnen hebben op de ontwikkeling van vaardigheden, de houding van leerlingen en hun resultaten.

interesse van de leerlingen te wekken? Wil je dat ze ontvankelijker zijn voor de leerstof? Of leer je ze een nieuwe vaardigheid, zoals het gebruik van een microscoop, zodat ze niet eerst hoeven te zoeken naar hoe ze deze scherpstellen wanneer ze plantencellen bekijken? Het is belangrijk om duidelijk te hebben wat het doel en de gewenste resultaten van het practicum zijn. Deel dit ook met je leerlingen. Ze moeten weten waarom ze het practicum doen. Vaak zeggen leerlingen dat ze 'gewoon de instructies volgen' zonder het doel te begrijpen⁵⁰. In veel wetenschapslessen zijn leerlingen het niet gewend om experimenten van dichtbij te observeren, om zelf te beslissen hoe ze een onderzoek gaan uitvoeren of om zelf gegevens te verzamelen om hun vragen te beantwoorden.

Laat dit net één van de belangrijkste doelen van een practicum zijn: onderzoeksvaardigheden bij leerlingen ontwikkelen. Dat kan enkel als de leerlingen de onderzoeksvaardigheden leren gebruiken en hierover in discussie kunnen gaan⁵¹.

Een effectief practicum heeft dus een helder leerdoel en stimuleert het bijbehorende denkproces. Om het practicum doelgericht in te zetten en de didactiek te optimaliseren, kunnen verschillende soorten practica onderscheiden worden⁵²:

- **Begripspracticum:** Dit practicum bestaat uit zorgvuldig geplande activiteiten die open interacties tussen de leerkracht en de leerlingen bevorderen. Hier worden de denkbeelden van leerlingen uitgedaagd door middel



van observaties uit eenvoudige experimenten of door het bespreken van tegenstrijdige meningen van anderen (zie Aanbeveling 1 ('Preconcepten')). Dit helpt leerlingen om hun begrip van wetenschappelijke concepten te verdiepen. Het wordt vooral gebruikt om nieuwe leerinhouden (feiten, concepten) aan te leren. Het wetenschappelijk onderzoeksproces fungeert hier ten dienste van die doelstelling en wordt bijgevolg best op de achtergrond gehouden. Een te sterke focus op het onderzoeksproces kan cognitieve overbelasting veroorzaken waardoor het leerrendement daalt (zie Aanbeveling 4 ('Het geheugen')).

- **Onderzoekspracticum:** Bij dit practicum stellen de leerlingen zelf een probleemstelling op, formuleren ze een onderzoeksvraag, ontwerpen ze een onderzoeksplan, verzamelen ze gegevens, voeren ze metingen uit, analyseren ze de data en trekken ze conclusies. Om te voorkomen dat leerlingen onderzoek als een lineair proces zien, is het essentieel dat ze het cyclische en iteratieve karakter van wetenschappelijk onderzoek leren begrijpen. Vermijd cognitieve overbelasting door de aanbreng van nieuwe feiten en concepten afzonderlijk van de onderzoeksvaardigheden te behandelen.
- **Apparatuurpracticum** (of instrumenteel practicum): In dit type practicum ligt de focus op het aanleren van praktische vaardigheden, zoals het correct gebruiken van meetinstrumenten. Dit kan efficiënt worden aangeleerd door middel van duidelijke instructies, stapsgewijze handleidingen, gestructureerde aanpakken (zoals recepten), softwarehulp-

functies en veel oefening. Focus uitsluitend op de werking van een toestel (bv. een microscoop, een spanningsbron, een pH-meter) of de beheersing van een psychomotorische vaardigheid (bv. een schuifmaat hanteren, een microparaat maken, een titratie uitvoeren). Het apparaatpracticum kan dienen als voorbereiding op een onderzoekspracticum of begripspracticum.

Volg practica op met andere leeractiviteiten

Je kan niet verwachten dat een wetenschappelijk concept blijft hangen na één enkele, relatief korte praktijkactiviteit (zie Aanbeveling 4 ('Het geheugen')). Een practicum kan een belangrijk onderdeel van je les zijn, maar vul het aan met andere activiteiten. Denk na over hoe het practicum aansluit bij de inhoud van het lesonderwerp, zowel ervoor als erna.

- Welke kennis en vaardigheden hebben leerlingen nodig om het meeste uit het practicum te halen?
- Zal het practicum een nieuw idee introduceren of zal het ideeën die leerlingen al eens gezien hebben, versterken?
- Plan de ontwikkeling van hun praktische vaardigheden op dezelfde manier als de ontwikkeling van hun kennis.

Voor practica die gericht zijn op het verbeteren van het begrip van wetenschappelijke theorieën, moet je leerlingen helpen om verbanden te leggen tussen het practicum en de onderliggende wetenschappelijke ideeën. Leerlingen moeten zowel met hun hoofd als met hun handen werken⁴⁸. In de tabel op de volgende pagina wordt weergegeven hoe je kunt evalueren of het practicum doeltreffend is op beide vlakken.

Doeltreffendheid van een practicum in termen van het werken met hoofd en handen

	Beoordelen of er wordt gewerkt met de handen tijdens een practicum	Beoordelen of er wordt gewerkt met het hoofd tijdens een practicum
Doen de leerlingen wat van hen wordt verwacht?	Leerlingen doen wat beoogd werd met de voorziene voorwerpen en materialen en maken de gewenste waarnemingen.	Tijdens het practicum denken de leerlingen na over wat ze doen en observeren, waarbij ze de inzichten gebruiken die in het practicum beoogd werden.
Leren de leerlingen wat van hen wordt verwacht?	Leerlingen kunnen zich later herinneren en beschrijven wat ze tijdens het practicum hebben gedaan en wat ze hebben waargenomen.	Leerlingen kunnen het practicum later bespreken aan de hand van de inzichten die het practicum beoogden te ontwikkelen.

Bewerking van Millar en Abrahams, 2009⁴⁸

Gebruik practica om wetenschappelijk redeneren te ontwikkelen

Wetenschap is voor mensen de krachtigste manier om de waarheid over de wereld te ontdekken. Een wetenschappelijke houding is een eigenschap die leerlingen goed van pas zal komen in het leven (Zie 'Teaching for engagement'). Maak gebruik van practica om dit wetenschappelijk redeneren verder te ontwikkelen⁴⁹.

Bij elk practicum kun je een aspect van wetenschappelijk redeneren laten zien. Ook als het hoofddoel van het practicum is om een bepaalde wetenschappelijke theorie of vaardigheid te ontwikkelen, kun je laten zien hoe je wetenschappelijke methoden toepast.

Eén van de fundamenteën van wetenschappelijk redeneren, is het controleren van variabelen. Hoe leerlingen presteren op taken gerelateerd aan 'controle van varia-

belen', voorspelt hoe leerlingen scoren op een test over wetenschappelijke kennis⁵³. Bespreek expliciet de controle van variabelen wanneer je een practicum introduceert, zoals de factoren die reactiesnelheid beïnvloeden of de beperkende factoren voor fotosynthese. Het is ook bevorderlijk voor leerlingen om te oefenen op het controleren van variabelen wanneer ze hun eigen practicum ontwerpen⁵⁴. Denk hierbij ook aan het expliciet maken van metacognitieve processen. (zie Aanbeveling 2 ('Zelfregulerend leren'))

Practica gaan soms fout. Dit is zowel een kans als een probleem. Leg het onverwachte uit aan de hand van wetenschappelijke redenering.

Benader practica op verschillende manieren

Ten slotte zijn er verschillende manieren om leerlingen kennis te laten maken met de processen van het practicum: van virtuele

experimenten tot projecten met een open einde. Dankzij virtuele experimenten, zoals de PhET-simulaties van de Universiteit van Colorado⁵⁵, kunnen leerlingen snel variabelen veranderen, patronen in gegevens zien en relaties begrijpen. Zulke experimenten mogen het echte werk niet vervangen, aangezien deze digitale simulaties geprogrammeerd zijn om het gewenste resultaat te vertonen en niet berusten op de natuurlijke interactie van de parameters. Maar ze kunnen wel ondersteunen: leerlingen kunnen via een computersimulatie het proces van een bepaald practicum doorlopen, zodat ze de stappen die ze moeten nemen al kennen, wanneer ze het practicum in de klas doen en zich kunnen concentreren op de leerstof die ze moeten aanleren. Wees je wel bewust van de gevaren van modellen gebruiken van bepaalde practica.

Een vorm van practica die meer tijd vraagt, zijn projecten met een open einde. Leerlingen werken gedurende een langere periode aan een project van hun eigen keuze. Binnen het beperkte curriculum projecten mogelijk maken, vooral op het niveau van het secundair onderwijs, is een uitdaging. Maar die mogelijkheid is er wel in buitenschoolse activiteiten, zoals in STEM-academies. Een synthese van internationaal onderzoek naar de invloed van wetenschapsprojecten met een open einde toonde verschillende voordelen aan, zoals het aanleren van wetenschappelijke ideeën, interesse in een carrière als wetenschapper en het ontwikkelen van vaardigheden⁴⁹. Er waren ook interessante resultaten op het vlak van attitudes van groepen die typisch ondervertegenwoordigd zijn in de wetenschappen. (zie ook 'Teaching for engagement')

Voorbeelden voor in de wetenschapsles

- **Biologie: een apparatuurpracticum**
Alvorens je een micropreparaat bekijkt om de bouw van een cel aan te leren, voer je best eerst een apparatuurpracticum uit waarin je de werking van de microscoop aanleert of herhaalt aan de hand van een voorwerpglasje waarop een hoofdletter L werd aangebracht.
- **Chemie: een onderzoekspracticum**
Bouw samen met de leerlingen de onderzoeksvraag op:
Welke invloed heeft kaliumjodide op de reactiesnelheid van de analysereactie van waterstofperoxide?

Formuleer klassikaal een gefundeerde hypothese:
Als kaliumjodide wordt toegevoegd, dan zal de reactiesnelheid verhogen.

Geef de leerlingen de opdracht om een onderzoeksplan op te zetten in functie van de onderzoeksvraag en de hypothese. Het plan moet bestaan uit een lijst van benodigheden, een schets van de proefopstelling en een werkwijze, rekening houdend met de veiligheidsvoorschriften.

- **Fysica: een begripspracticum**
Leerlingen veronderstellen vaak dat toevoeging van warmte aan een systeem steeds gepaard gaat met een temperatuurstijging van dat systeem. Deze misconceptie kan belicht en bestreden worden aan de hand van een begripspracticum, waarbij de temperatuur van water tijdens het koken wordt gemeten. Op die manier kan het begrip latente warmte doeltreffender verankerd worden (zie Aanbeveling 1: ('Preconcepten')).

Aanbeveling 6

De taal van wetenschap aanleren

Om wetenschappen te beoefenen, moet je een nieuwe taal leren: de taal van de wetenschap. Het is belangrijk dat je leerlingen vloeiend worden in die taal. Om competent te worden in de taal van de wetenschap moeten leerlingen teksten kunnen begrijpen, analyseren en interpreteren. Daarnaast moeten ze de taal van de wetenschap kunnen gebruiken om ideeën uit te leggen en op bewijs gebaseerde verklaringen te formuleren. Dat lijkt misschien allemaal extra werk waarvoor je tijd moet vrijmaken, maar het is echt de kern van het leren en aanleren van wetenschappen.

Taalontwikkelen lesgeven houdt in dat je tegelijkertijd aandacht besteedt aan zowel vakinhoudelijke als taalgerichte doelen. Hierbij is het uitgangspunt dat taal een essentiële rol speelt in het leerproces, ongeacht de leerinhoud. Taal, leren en denken zijn nauw met elkaar verweven (zie Aanbeveling 2 ('Zelfregulerend leren')). In een krachtige leeromgeving gaan het verwerven van vakinhoud en het ontwikkelen van (vakspecifieke) taalvaardigheid daarom hand in hand⁵⁶. Aan taalontwikkelen lesgeven dient dus vakoverschrijdend gewerkt te worden. Ga dus zeker ten rade bij jouw collega's Nederlands of andere taalvakken.

Binnen het wetenschapsonderwijs is er een extra uitdaging op vlak van taalontwikkelen lesgeven, namelijk het kritisch denken rond wetenschap. Samengevat richt het wetenschapsonderwijs zich op drie soorten inzichten:

- 1 Wetenschappelijke ideeën (wetenschap als geheel van kennis),
- 2 Inzichten in hoe wetenschappelijk onderzoek wordt uitgevoerd (wetenschap als verzameling van methoden en vaardigheden),
- 3 Wetenschap als een manier van kennisverwerving (*nature of science*).

In het Vlaamse wetenschapscurriculum ligt de nadruk vooral op de eerste twee aspecten: wetenschappelijke ideeën en het onderzoeksproces. Om echter het kritisch denken over wetenschappen bij jongeren te bevorderen, is het waardevol om ook aandacht te besteden aan het derde aspect: *nature of science* (NOS)⁵⁷. Meer informatie hierover vind je in het kader 'Kritisch denken rond wetenschap'.

Wetenschappen vereist dus heel wat lezen en schrijfvaardigheden. Dit hoofdstuk gaat specifiek over het aanleren van wetenschappelijke woordenschat en het ondersteunen van leerlingen bij het lezen en schrijven over wetenschappen. Meer informatie over de soorten gesprekken die kunnen helpen bij het ontwikkelen van denkpatronen vind je bij Aanbeveling 2 ('Zelfregulerend leren').



Kritisch denken rond wetenschap

Kritisch denken, dat zich richt op de betrouwbaarheid van uitspraken, sluit nauw aan bij *nature of science*. Kritisch denken over wetenschap betekent dat je gaat nadenken over hoe wetenschappelijke kennis wordt gevormd en in hoeverre wetenschappelijke beweringen betrouwbaar of waar zijn. Dit vormt de kern van *nature of science*: nadenken over wat wetenschappen daadwerkelijk tot wetenschap maakt. Kritisch denken over wetenschap houdt dus in dat je stilstaat bij de aard van wetenschap zelf⁵⁷ (zie 'Teaching for engagement').





Waar is het bewijs?

De onderzoeksliteratuur toont consistente en sterke correlaties tussen de lees- en schrijfvaardigheid van leerlingen en hun succes bij het leren van wetenschap. Interventies op het gebied van lees- en schrijfvaardigheid hebben ook een aantoonbaar effect op de resultaten voor wetenschapsvakken. Onderzoek^{56, 58, 59} toont aan dat:

- leerlingen expliciet nieuwe wetenschappelijke woordenschat moeten aangeleerd krijgen. Dit kan uitdagend zijn, maar gekende woorden die in een onbekende context worden gebruikt, leveren de meeste moeilijkheden op;
- verbanden tussen woorden laten zien een doeltreffende manier is om woordenschat aan te leren en het begrip bevordert;
- uitgebreid lezen zelden aan bod komt in wetenschapslessen, maar dat authentieke teksten lezen een goede manier is om leerlingen kennis te laten maken met wetenschappelijke geschreven taal;
- wetenschappelijk schrijven de leerlingen kan helpen om zaken beter te begrijpen en dat schrijfkaders hiervoor een handig hulpmiddel zijn.

Hoe ga je hiermee om?

Taalondersteuning binnen de wetenschappen moet gericht zijn op het ontwikkelen van kennis en vaardigheden, zowel met het oog op de toepassing van die kennis in het dagelijks leven als op het leggen van een fundament voor een vervolgopleiding en een beroepskeuze (zie 'Teaching for engagement').

Taalgericht vakonderwijs kenmerkt zich door vak- en vaktaaldoelen, die worden ontwikkeld in contextrijk onderwijs, met taalsteun en diverse interactiemogelijkheden. Deze elementen – context, taalsteun en interactie – vormen samen de drie pijlers van taalgericht vakonderwijs⁶⁰.

1 Context

De context biedt aanknopingspunten om de nieuwe leerstof te verbinden met de bestaande kennis van de leerlingen. Door de context te creëren of te activeren, kun je als leerkracht voorkomen dat de leerstof geïsoleerde schoolse informatie blijft (zie Aanbeveling 1 ('Preconcepten')).

2 Interactie

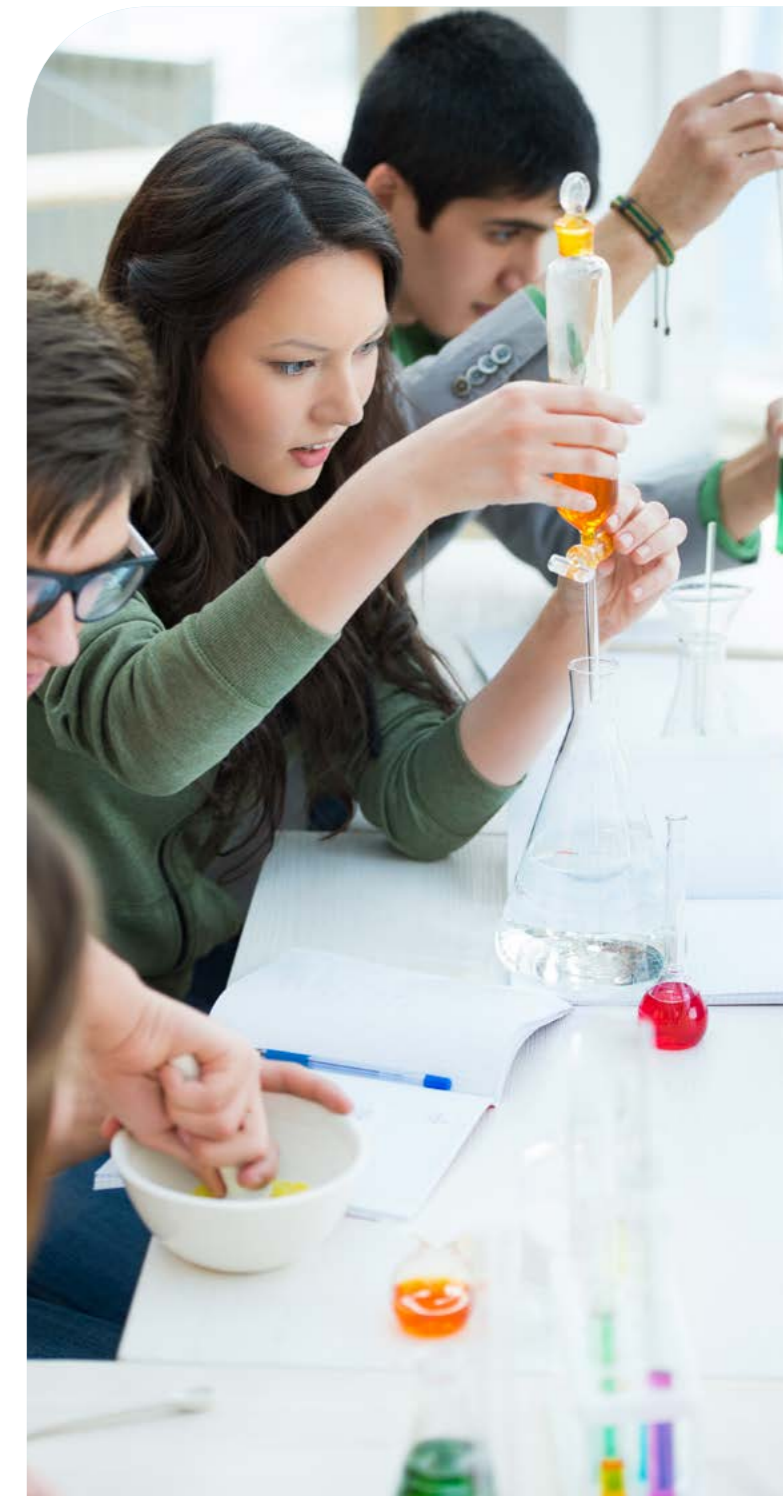
De meeste leerprocessen ontstaan door gedachten over een onderwerp uit te wisselen, vragen te stellen en informatie met elkaar te delen. Daarom is het essentieel dat je als leerkracht gevarieerde interactiemogelijkheden creëert. Door je leerlingen meer aan het woord te laten, krijg je inzicht in wat ze weten over de leerstof en hoe ze die kennis verwoorden. Interactie beperkt zich echter niet tot de uitwisseling tussen leerkracht en leerling,

maar omvat ook de interactie tussen leerlingen onderling. Door leerlingen op een gestructureerde manier te laten spreken en schrijven, leren zij hun kennis verwoorden en met anderen delen. Daarom zijn opdrachten die samenwerking stimuleren en leerlingen aanmoedigen om taal te produceren een cruciaal onderdeel van interactie.

3 Taalsteun

Als leerkracht kan je op diverse manieren taalsteun bieden. Allereerst kan je taalsteun geven door taalfeedback te bieden. Dit doe je door tijdens groepswork of coöperatief leren te observeren en inhoudelijk of vormelijk te reageren op de taaluitingen van leerlingen. Daarnaast kun je taalsteun bieden door gebruik te maken van hulpmiddelen, zoals stappenplannen, kijkwijzers en schrijfkaders bij spreek- en schrijfopdrachten. Een duidelijk bordschema is eveneens een effectieve vorm van taalsteun. Tot slot kun je visuele taalsteun inzetten. Afbeeldingen en mindmaps zijn nuttig om denkrelaties te verwoorden, zoals overeenkomsten en verschillen, deel-geheelrelaties en oorzaak-gevolgrelaties.

Een voorwaarde om deze drie pijlers in de praktijk te brengen, is dat je aandacht hebt voor taaldoelen⁶¹. Stel taaldoelen op, maak deze duidelijk naar je leerlingen toe en gebruik zelf ook het taalgebruik dat je verwacht naar je leerlingen toe. Wanneer leerlingen de wetenschappelijke vaktaal beheersen en hun denkproces kunnen uitleggen, verbetert ook hun begrip van de wetenschappen. Bovendien bieden taaldoelen zowel voor de leerlingen als voor jou houvast bij het geven van feedback (zie Aanbeveling 7 ('Feedback')) en het op- of afbouwen van taalsteun.



Selecteer zorgvuldig de woordenschat die je wilt aanleren en focus op de moeilijkste woorden

Wees je bewust van de woordenschat die nodig is voor een bepaald onderwerp. Maak een bewuste keuze van woorden die je gaat aanleren en wanneer je dat gaat doen. Focus op die woorden die je leerlingen echt moeten begrijpen en zorg ervoor dat ze die wel degelijk begrijpen. Een gouden regel die je hierbij in het achterhoofd kunt houden, is less is more: een diepgaand begrip van enkele woorden is beter dan een oppervlakkig begrip van heel veel woorden⁵⁸.

Denk er ook aan dat sommige gekende woorden, zoals 'veld', in de wetenschappen een andere betekenis hebben dan in het dagelijkse leven. Verschillende onderzoeken hebben aangetoond dat zulke woorden vaker problematisch zijn voor leerlingen dan woorden die we doorgaans als technisch taalgebruik beschouwen⁶².

Bespreken hoe de betekenis van zulke woorden verschilt in de wetenschappen zou een belangrijk onderdeel moeten zijn van het aanleren van woordenschat. Ook al zijn het geen 'nieuwe' woorden, toch zou erop moeten worden gefocust bij het aanleren van woordenschat. Voorbeelden van wetenschappelijke woorden met een andere betekenis in het dagelijkse leven zijn 'kracht', 'warmte', 'energie', 'leven', 'materie', 'stof', 'schaal', 'mol'...

Zet activiteiten in om leerlingen te activeren en te helpen wetenschappelijke teksten te begrijpen

Het is belangrijk dat de teksten die leerlingen lezen geschikt zijn voor hun niveau, maar tegelijkertijd ook uitdagend en interessant

zijn. Leerlingen moeten de kans krijgen om authentieke wetenschappelijke boeken en teksten te lezen⁵⁹. Gebruik hiervoor activiteiten om leerlingen te engageren om wetenschappelijke teksten te lezen en help hen deze te begrijpen. Tijdens het lezen kan je als leerkracht extra taalsteun bieden door moeilijke passages te bespreken en de structuur van de tekst te verduidelijken. Zo wordt het lezen een voorbereiding op het schrijven, omdat de leerlingen een voorbeeldtekst over het onderwerp grondig analyseren.

Dat betekent niet dat alle leerlingen tijdschriftartikels moeten lezen, maar ze moeten wel de toegang krijgen tot kwaliteitsvolle teksten uit verschillende bronnen, waaronder nieuwsartikels en populairwetenschappelijke boeken.

Daarenboven kan je leerlingen ondersteunen bij het lezen van wetenschappelijke teksten door hen de nodige woordenschat aan te leren. Gebruik gestructureerde activiteiten om hen te helpen de teksten te begrijpen.

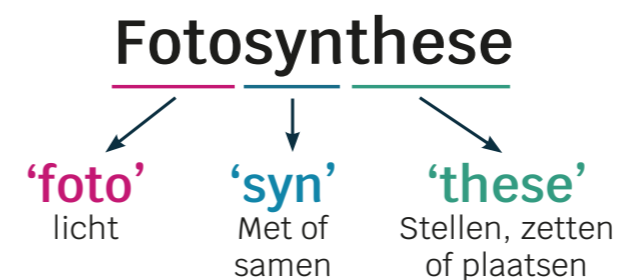
Help leerlingen om hun wetenschappelijke schrijfvaardigheid te ontwikkelen

Communiceren over wetenschappen houdt onder andere in dat je hierover gaat spreken en discussiëren, maar ook schrijven en lezen zijn hierbij belangrijke elementen. Schrijfvaardigheid helpt leerlingen bij het leren van vakinhoud, omdat ze hierdoor reflecteren op hun begrip van concepten, hun eigen ideeën formuleren en ideeën op nieuwe manieren combineren.

Voorbeelden voor in de wetenschapsles

Verbanden tussen woorden duidelijk maken en in een context gebruiken

Leer expliciet nieuwe wetenschappelijke woordenschat aan met behulp van directe instructie⁶³. Het is belangrijk om niet alleen de betekenis van woorden uit te leggen, maar ook de verbanden tussen woorden en het gebruik ervan in verschillende contexten te verduidelijken. Leerlingen kunnen bijvoorbeeld leren woorden te segmenteren op basis van hun morfemen (de eenheidsdelen waaruit een woord bestaat). Dit helpt hen om nieuwe woorden met vergelijkbare morfemen gemakkelijker te herkennen en begrijpen, wat de uitbreiding van hun woordenschat bevordert. Zo leren ze bijvoorbeeld het woord 'fotosynthese' beter begrijpen door de morfemen ervan te analyseren, waardoor ze in de toekomst ook andere woorden met dezelfde bouw gemakkelijker kunnen herkennen. Het versterken van de nieuwe woordenschat kan door leerlingen aan te moedigen om de woorden actief te gebruiken. Laat ze bijvoorbeeld zinnen maken met het nieuwe woord in verschillende contexten, zoals: 'Geef een zin waarin zowel 'fotosynthese' als 'nacht' voorkomt.'



Figuur 3: De morfemen waaruit het woord 'fotosynthese' bestaat⁶⁴

Daarnaast kunnen kennismappen een krachtige tool zijn om de verbanden tussen woorden visueel weer te geven. Kennismappen tonen de relaties tussen woorden. Bijvoorbeeld het etymologische verband tussen de begrippen kinematica, kinesist, cinema, hyperkinetisch en kinetische energie, afkomstig uit de Oudgriekse woorden κίνημα (kinein – bewegen) of κίνησις (kinèsis – beweging). De kinematica bestudeert bewegingen, een kinesist helpt je opnieuw correct bewegen, in een cinema kijk je naar bewegende beelden, hyperkinetische activiteit vertoont een overmaat aan beweging, en een systeem bezit kinetische energie ten gevolge van zijn snelheid en is bijgevolg in beweging. Door deze verbanden zichtbaar te maken, kunnen leerlingen beter begrijpen hoe woorden samenhangen.

Kennismappen kunnen als referentiemateriaal worden gebruikt, of leerlingen kunnen zelf een kennismap maken wanneer ze nieuwe woorden en ideeën tegenkomen. Dit kan door tijdens de les een klassikale kennismap op te bouwen en nieuwe terminologie toe te voegen naarmate het onderwerp zich ontwikkelt⁶⁵.

Ontwikkelen van leesvaardigheid in de wetenschapsles: rijke teksten

Rijke teksten zijn een veelzijdig hulpmiddel om zowel de taalontwikkeling als de kennisopbouw van leerlingen te bevorderen⁶⁶. Ze stimuleren diepgaand lezen, spreken en discussiëren over wetenschappen. Zo'n tekst kan dienen als vertrekpunt voor het werken aan woordenschat, leesbegrip en spreek- en schrijfvaardigheid. Daarnaast verrijkt een rijke tekst de woordenschat en de algemene kennis van leerlingen, waardoor ze hun eigen ervaringen in een nieuw perspectief kunnen plaatsen. Om die reden zijn rijke teksten veel breder inzetbaar dan alleen in de taallessen. Ga bijvoorbeeld aan de slag met

artikels uit wetenschappelijke tijdschriften zoals NewScientist of EOS Wetenschap.

Wanneer je leerlingen meerdere rijke teksten rond een gemeenschappelijk thema lezen, breiden ze hun kennis over dat onderwerp nog verder uit. Dit is niet alleen motiverend, maar ook functioneel: door verschillende teksten met elkaar te vergelijken, krijgen leerlingen de kans om hun begrip van het thema te verdiepen en de informatie kritisch te beoordelen. Uit onderzoek blijkt dat rijke teksten op papier aanbieden in plaats van digitaal zorgt voor een diepere verwerking van de inhoud⁶⁷.

DART's (*Directed Activities Related to Text*) kunnen hierbij helpen⁶⁸.



Lezen van wetenschappelijke teksten aan de hand van DART's

Reconstructie van woorden en teksten

Tekst, diagrammen of tabellen aanvullen

- Zinnen of zinsdelen aanvullen
- Diagrammen labelen met tekst
- Tekst gebruiken om een tabel aan te vullen

Tekst ordenen of classificeren

- Leerlingen plaatsen tekstsegmenten in een logische volgorde
- Leerlingen classificeren tekstsegmenten volgens vaste categorieën (bv. 'instructie', 'uitleg', 'bewijs')

Voorspellen

- Leerlingen schrijven het volgende deel van de tekst

Bewerking van Osborne en Dillon, 2010⁶⁸.

Analyses van teksten

Markeren en labelen

- Onderstrepen (leerlingen zoeken naar specifieke delen van een tekst)
- Labelen (leerlingen labelen tekst volgens de labels die ze hebben gekregen)
- Segmenteren (leerlingen splitsen de tekst op en labelen de verschillende delen)

Opnemen en opbouwen

- Diagrammen maken om de inhoud en het verloop van de tekst weer te geven
- Leerlingen maken hun eigen tabellen met informatie uit de tekst
- Leerlingen gebruiken de tekst om vragen te beantwoorden of om hun eigen vragen te maken
- Leerlingen maken een lijst van de belangrijkste punten in een tekst

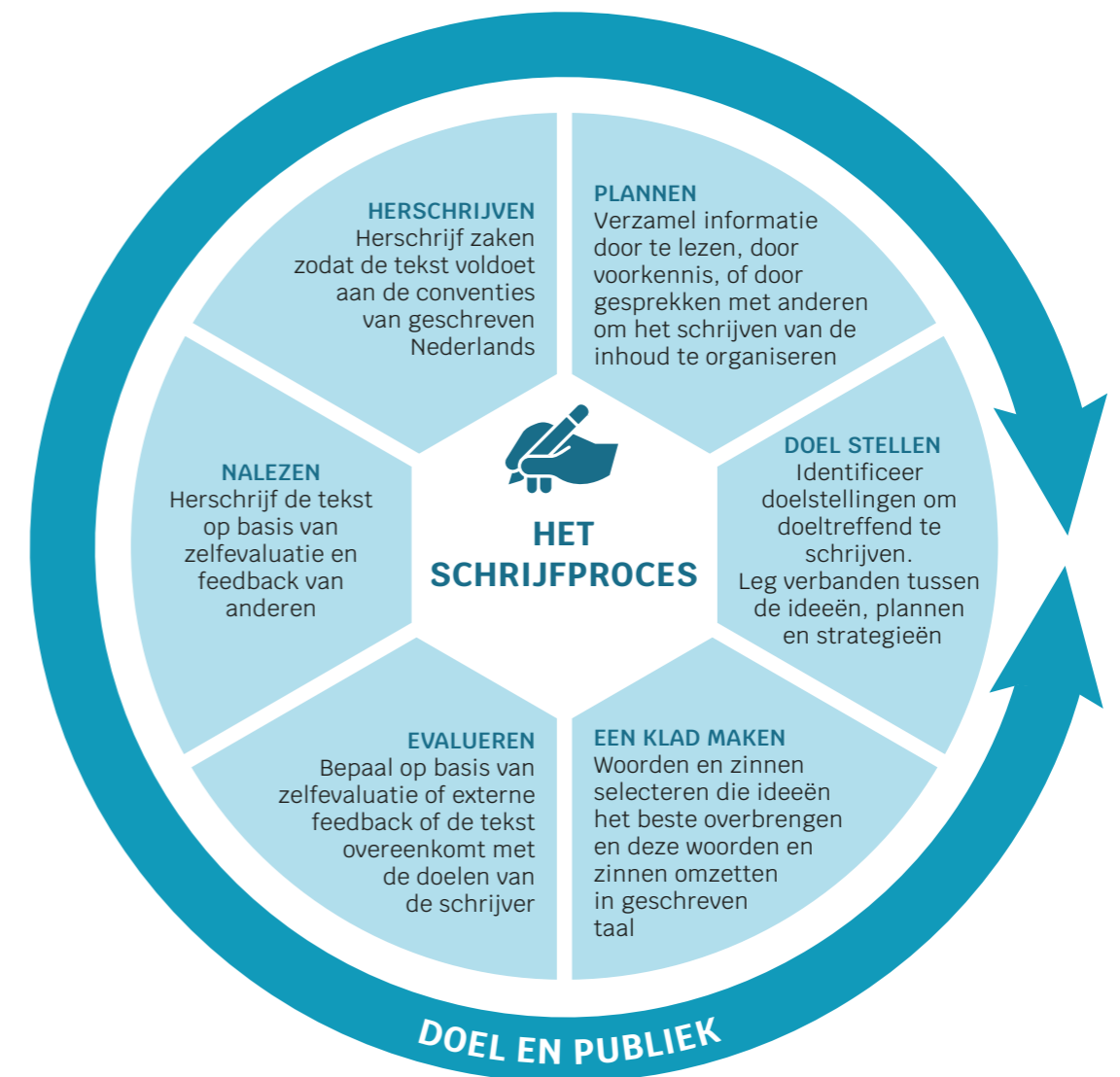
Ontwikkelen van schrijfvaardigheid in de wetenschapsles

Een procesmatige aanpak van het schrijfproces (zie onderstaande figuur) is een doeltreffende manier om de schrijfvaardigheid van je leerlingen te ontwikkelen⁶⁹. Om goed te kunnen schrijven moet je je doel en je publiek kennen: 'Waarom schrijf ik dit en voor wie?' Dit helpt leerlingen om hun eigen schrijven te evalueren en verhoogt de motivatie en interesse van leerlingen.

(Peer) feedback kan hierbij erg waardevol zijn (zie Aanbeveling 7 ('Feedback')).

Het schrijfproces

Het schrijfproces bestaat uit verschillende onderdelen en is iteratief. Leerlingen kunnen delen in een andere volgorde uitvoeren (wat geïllustreerd wordt door de pijlen in tegen-gestelde zin) of leerlingen kunnen sommige delen ook tegelijkertijd uitvoeren.

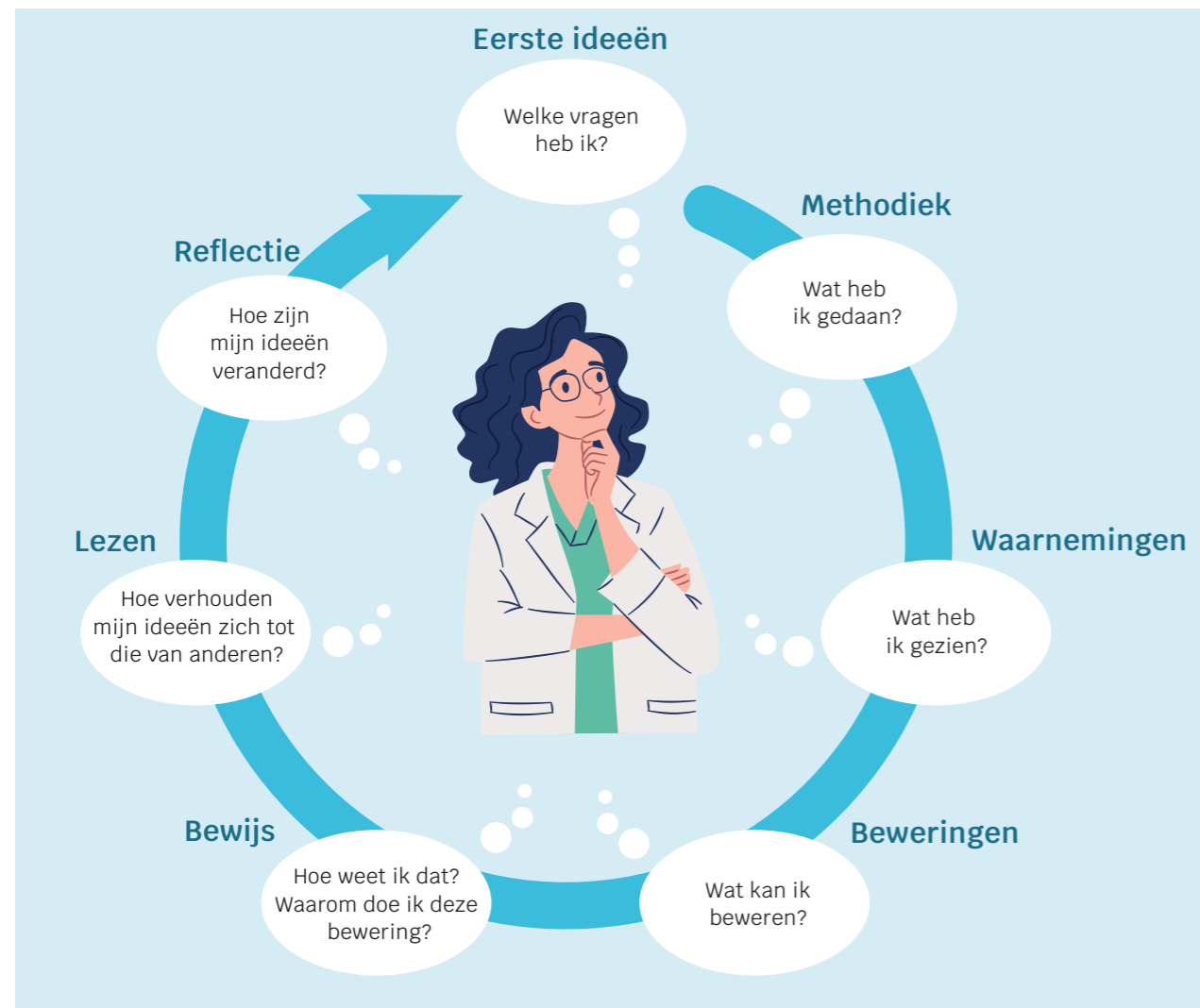


Bewerking van What Works Clearinghouse Teaching secondary students to write effectively, 2016⁶⁹

Schrijfkaders kunnen handig zijn om leerlingen strategieën aan te leren die hen helpen bij het schrijven. Naarmate leerlingen zelfverzekerder worden in hun schrijven, kan het gebruik van schrijfkaders afgebouwd worden.

Science Writing Heuristic

De Science Writing Heuristic is een handig schrijfkader dat bedoeld is om leerlingen te helpen om wetenschappelijke argumenten op te stellen en te plannen hoe ze die argumenten zullen presenteren⁷⁰. Het schrijfkader bevat sjablonen voor leerlingen (zie kaders hiernaast) en voor leerkrachten waarin activiteiten worden voorgesteld om het begrip te bevorderen.



Bewerking van Hand et al., 2016⁷⁰

Twee voorbeelden van hoe een schrijfkader voor het verslag van een begripspracticum

en onderzoekspracticum er kan uitzien (overgenomen uit van Dijk et al.⁷¹).



Een begripspracticum

Titel

Voorspelling (vooraf genoteerd):

Ik voorspel dat ik het volgende zal zien ...

Waarnemingen:

Ik zag dat ...

Conclusie:

Mijn waarnemingen klopten niet met mijn voorspelling, want ...

De waarnemingen kloppen wel met de theorie over ... , want ...



Een onderzoekspracticum

De theorie zegt over onze onderzoeksvraag ...

Onze waarnemingen laten zien dat ...

Het antwoord op de onderzoeksvraag is dus ...

We zijn redelijk zeker van ons antwoord, omdat ...

We twijfelen nog over ..., omdat ...

Daarom zouden we nog de volgende experimenten kunnen doen ...



Aanbeveling 7

Geef gestructureerd feedback om denkpatronen van leerlingen te stimuleren

Volgens Hattie en Timperley (2007) is het essentieel om te focussen op communicatieprocessen met bijzondere aandacht voor feedback. Daarom ontwikkelden ze een feedbackmodel voor het geven van effectieve feedback, waarin drie stappen centraal staan⁷²:

- 1 Feed up: Wat is mijn doel? Waar wil ik naartoe?**
Voor de ontvanger van feedback is het cruciaal om een duidelijk beeld te hebben van het doel dat moet worden bereikt. Om deze doelgerichtheid te ondersteunen, is het belangrijk om transparantie te bieden over de beoordelingscriteria en de manier van evalueren. Het verduidelijken van wat er precies wordt verwacht op het gebied van kwaliteit kan daarbij helpen.
- 2 Feedback: Hoe presteer ik momenteel?**
In deze fase gaat het om het terugkoppelen van informatie over de huidige prestaties. Het is echter niet voldoende om alleen een oordeel te geven over het huidige niveau van bekwaamheid. Feedback moet inzicht geven in wat er goed of

fout is gegaan, waarbij het oordeel wordt ondersteund door objectieve informatie en niet door persoonlijke meningen.

3 Feed forward: Wat zijn de volgende stappen?

Onderzoek toont aan dat feedback het meest effectief is wanneer het ook concrete suggesties voor verbetering biedt. Feed forward is vooral van waarde als er nog leermogelijkheden zijn. In het geval van een eindopdracht is het vaak beter om enkel verantwoording te geven voor het uiteindelijke oordeel.

De vragen over feed up, feedback en feed forward hangen nauw met elkaar samen en moeten in onderlinge relatie worden bekeken. Ze bieden inzicht in de kloof tussen het huidige niveau en het gewenste resultaat.



Waar is het bewijs?

Er zijn veel meta-analyses die aantonen dat feedback een zeer grote invloed heeft op de resultaten van leerlingen. Simpelweg meer feedback geven, zal niet noodzakelijk leiden tot betere resultaten. Het is de vorm waarin je feedback geeft die cruciaal is. Onderzoek toont aan dat^{72,73}:

- leerkrachten met een hele reeks strategieën en niet alleen formele beoordelingen zouden moeten nagaan wat hun leerlingen begrijpen;
- feedback de leerling zou moeten helpen bij het hele leerproces en niet alleen om beter te scoren voor een specifieke taak;
- leerlingen beter presteren als feedback wordt gegeven in de vorm van constructieve opmerkingen en dat er manieren zijn om dit te doen, zodat de werklast beperkt blijft;
- feedback het meest doeltreffend is als leerlingen weten hoe ze erop moeten reageren en daar ook de tijd voor krijgen.

Hoe ga je hiermee om?

Ga na wat je leerlingen begrijpen

Leerlingen kunnen sterke punten hebben op het ene gebied en zwakke op het andere. Het is dus belangrijk dat je een nauwkeurig beeld opbouwt van de huidige kennis van al je leerlingen. Een manier om dit te doen is door hun kennis formeel te testen. Andere manieren zijn regelmatige klassikale beoordelingen met een lage inzet: leerlingen informeel observeren, klassikale of groepsdiscussies, peer-assessment of zelfbeoordeling.

Peerassessment is een beoordelingsmethode waarbij studenten, aan de hand van vooraf vastgestelde evaluatiecriteria, beoordelen in hoeverre hun medestudenten (*peers*) de gestelde leerdoelen hebben bereikt. Peerassessment is nuttig omdat leerlingen vaak meer openstaan voor kritiek van hun medeleerlingen dan van hun leerkracht⁷³. Een handige manier om peerassessment te structureren is door de groep naar de antwoorden van elk groepslid te laten kijken en de sterke en zwakke punten van elk van hen te beoordelen. Zo kunnen ze op een objectieve manier zien hoe hun werk zich verhoudt tot het werk van hun klasgenoten. Dit kan met een puntenschema of door leerlingen hun eigen kwaliteitscriteria te laten bepalen waarmee ze hun eigen werk in de toekomst kunnen beoordelen.

Denk na waarover je feedback geeft

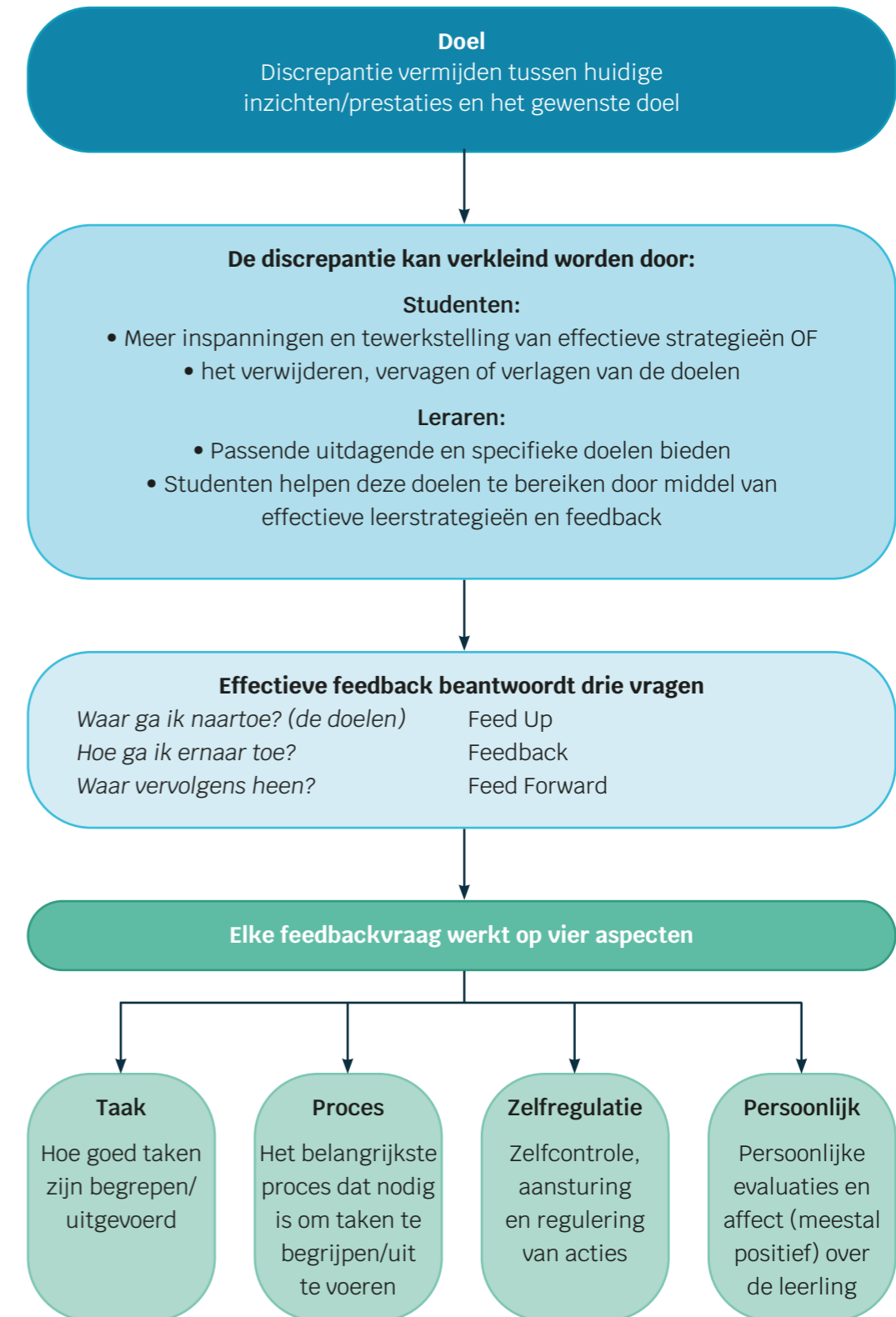
Daarnaast moet je nadenken waarover je als leerkracht feedback geeft. Naast de drie belangrijke stappen voor het geven van feedback zijn er ook vier aanvullende aspecten die een rol spelen in het feedbackproces⁷²:

- 1 **Taakgerichte feedback** richt zich op het uitvoeren van een specifieke taak.
- 2 **Procesgerichte feedback** legt de focus op de processen die nodig zijn om een taak succesvol uit te voeren of het beoogde doel te bereiken.
- 3 **Zelfregulerend leren** verwijst naar het vermogen van de leerling om het eigen leerproces te monitoren en bij te sturen (zie Aanbeveling 2 (*Zelfregulerend leren*)).
- 4 **Persoonlijke feedback** is feedback die op de persoon zelf gericht is.

Feedback is het meest effectief wanneer het specifiek gericht is op het proces en het zelfregulerend leren⁷². Het geven van tips en informatie die direct verbonden zijn aan een bepaald doel is dus aan te raden.

De vier aspecten van het feedbackproces kunnen worden gekoppeld aan de stappen van feedback (feed up, feedback en feed forward). De figuur op de volgende pagina maakt gebruik van feedbackvragen om zowel de leerdoelen als de succescriteria expliciet te maken voor leerlingen en leerkrachten.

Verloop van feedback



Bewerking van Brooks et al. (2019)⁷⁴

Geef feedback in de vorm van opmerkingen in plaats van cijfers

Black en Harrison (2004) constateerden dat wetenschapsleerkrachten feedback voornamelijk in de vorm van cijfers geven in de plaats van in de vorm van opmerkingen. Dat kan leerlingen die lager scoren demotiveren en leerlingen die hoger scoren zelfingenomen maken⁷⁵. Opmerkingen, daarentegen, tonen aan beide groepen wat ze kunnen verbeteren: “Je begrijpt wat homeostase is, maar zoek wat voorbeelden van zowel planten als dieren.”

Feedback kan verschillen in kwaliteit en in hoe makkelijk ermee aan de slag kan worden gegaan. Onderstaand kan je enkele kenmerken van kwaliteitsvolle feedback terugvinden.

Kwaliteitsvolle feedback:

- is specifiek, nauwkeurig en duidelijk;
- legt het verband met eerdere prestaties of met een ander onderdeel van de taak dat de leerling goed of slecht deed;
- is bemoedigend en helpt leerlingen om werkpunten in kaart te brengen;
- geeft leerlingen een leidraad om te reageren op de opmerkingen van hun leerkracht;
- geeft concrete suggesties voor verbetering.

Opmerkingen moeten niet per se schriftelijk gegeven worden: doeltreffende feedback kan zowel individueel, als in groep tijdens de les worden gegeven. Probeer tijdens het verbeteren fouten te vinden die meerdere leerlingen maken en geef dan feedback aan de hele klas.

Deze aanpak kan leerlingen geruststellen, omdat ze zich realiseren dat ze evenveel begrijpen als veel van hun klasgenoten.

Probeer te focussen op kwaliteit en niet op kwantiteit als je het werk van leerlingen bekijkt: wat minder, maar diepgaandere feedback zal wellicht beter zijn dan heel veel oppervlakkige cijfers.

Om effectieve feedback te geven, is het belangrijk dat je als feedbackgever enkele regels volgt⁷⁶.

- **Opbouwende feedback**
Feedback moet gericht zijn op verbetering. Zowel aandachtspunten als positieve aspecten worden benoemd, zodat de ontvanger niet alleen weet wat beter kan, maar ook welke sterke punten die al heeft.
- **Gebruik ik-boodschappen**
Feedback moet altijd gebaseerd zijn op je eigen mening en ervaring. Verwoord het vanuit jezelf, bijvoorbeeld met zinnen die beginnen met “ik vind” of “mij is opgevallen.”
- **Specifiek en veranderbaar gedrag benoemen**
Zorg ervoor dat de feedback gericht is op gedrag dat aangepast kan worden. Geef concrete voorbeelden om de feedback helder en bruikbaar te maken.
- **Corrigerende feedback**
Feedback moet duidelijk maken wat goed en minder goed ging. Simpelweg aangeven of iets goed of fout is, heeft geen positief effect en kan zelfs averechts werken.
- **Tijdige feedback**
Het is het meest effectief om feedback direct na de prestatie te geven.

Zorg ervoor dat leerlingen kunnen reageren op je feedback

Verschillende onderzoeken tonen aan dat leerlingen feedback niet altijd begrijpen of verkeerd begrijpen⁷⁷. Maak feedback duidelijk, makkelijk om mee aan de slag te gaan en ook relevant voor de leerling. Zorg er bovendien voor dat je leerlingen genoeg tijd hebben om te reageren op jouw feedback. Zo kan jij achterhalen of ze de feedback juist begrepen hebben.

Om ervoor te zorgen dat leerlingen kunnen reageren op jouw feedback, is het nuttig om feedback te zien als een vraag. Hier lees je een voorbeeld uit een practicumverslag:

‘Herbekijk je tabel met meetresultaten.’

vs.

Kan je de afspraken rond de weergave van meetresultaten in een tabel opsommen?

In welke kolom de variabelen genoemd worden? Waar je eenheden moet vermelden en waar niet? Welke regel je moet toepassen voor de notatie van de resultaten van je berekeningen?

‘Vergelijk met je vorige laboverslag en bijhorende verbeterleutel.’



Voorbeelden voor in de wetenschapsles

Hieronder presenteren we drie verschillende methodes om feedback te geven op de vaardigheden van je leerlingen tijdens een practicum: rubrics of one, SAM-schalen en comparatief beoordelen.

Rubrics of one

De grootste kracht van rubrics is dat ze het onuitgesproken expliciet maken. Rubrics vormen een waardevol kader voor het geven van effectieve en efficiënte feedback en voor transparante beoordeling⁷⁸. Ze ondersteunen het leerproces door in te zetten op drie vormen van feedback: feed up, feedback en feed forward.

- **Feed up**
Rubrics verduidelijken de verwachtingen. Leerlingen krijgen inzicht in de leerdoelen, de vereiste kwaliteit, de beoordelingscriteria en de norm die gehaald moet worden.
- **Feedback**
Rubrics geven aan waar de leerlingen zich bevinden in hun leerproces en beoordelen op verschillende criteria.
- **Feed forward**
Rubrics tonen welke stappen nog nodig zijn om de norm te bereiken of om verder te excelleren.

Een rubric of one combineert het halen van bepaalde normen en prestatieniveaus hierbinnen in één tabel. De rubriek is vooral geschikt wanneer de focus ligt op het geven van feedback en het dus wordt ingezet als formatief evaluatie-instrument. Je stelt hierbij een norm vast en beschrijft wat er



duidelijk boven of onder die norm ligt. De scores in de voorbeeldrubric dienen dus louter ter illustratie van waar de leerlingen zich op dat moment in het leerproces bevinden (feedback) en welke stappen ze

nog kunnen ondernemen om de volledige score te verkrijgen (feed forward). Je kan deze scores ook gerust weglaten. Het kader omvat een voorbeeld van een uitgewerkte rubric of one voor een practicum.



Voorbeeld van een rubric of one

Zo kan ik groeien:		Dit moet ik kunnen:			Doe ik heel goed:		
		Je bent ordelijk te werk gegaan tijdens het labo en bij het opstellen van je verslag.					
0		0,5			1		
		Je maakt een tekening van de proefopstelling met bijhorende materialen.					
0		0,5			1		
		Je waarnemingen zijn realistisch en met een kritische blik waargenomen en genoteerd. Je waarnemingen staan in de juiste eenheid in de tabel, rekening houdend met BC (beduidende cijfers).					
0	1	2	3	4			
		Je stelt de juiste grafiek op en je houdt rekening met volgende elementen: titel, astitel, lineaire lijn, grootheden en eenheden...					
0	1	2	3	4			
		Je beantwoordt de bijhorende vragen met de juiste termen en symbolen.					
0	1	2	3	4	5	6	7
		Je maakt je berekeningen met de juiste formules en houdt rekening met eventuele meetfouten en met BC.					
0	1	2	3	4	5	6	
		Je vormt een duidelijk en helder besluit met een antwoord op de onderzoeksvraag.					
0		1			2		

SAM-schaal

Met de SAM-schaal kan je inzetten op het beoordelen van attitudes en vaardigheden. Een handig hulpmiddel dus voor het beoordelen van een practicum. Bij de SAM-schaal staat de persoonlijke groei centraal. Dit is een instrument om je leerlingen op te

volgen en te begeleiden in hun groeiproces en dient dus herhaaldelijk afgenomen te worden. Het is dus niet de bedoeling dat je bij een evaluatie alle verschillende vaardigheden of attitudes gaat meten. Als leerkracht en evaluator kies je zelf welke zaken op dat moment belangrijk zijn.



SAM-schaal voor inzet en doorzettingsvermogen

	Onvoldoende	Matig	Goed	Zeer goed
Werk-afbakening/taakopvatting	Weigert werk op te nemen. Doet zelf zo weinig mogelijk.	Neemt weinig werk op en doet nooit extra werk.	Doet wat nodig is. Doet extra werk als dat gevraagd wordt.	Stelt zich verantwoordelijk op. Doet spontaan meer dan gevraagd.
Werktempo	Uitgesproken traag bij opdrachten, taken of projecten. Verprutst zijn / haar tijd door te dromen, te kletsen, ...	Houdt zich zeer wisselend bezig. Heeft regelmatig aanmoediging nodig om door te zetten.	Maakt zinvol gebruik van de normale tijd om een taak af te werken, een opdracht uit te voeren.	Houdt er een stevig werktempo op na.
Doorzettingsvermogen	Werkt alleen onder dwang. Geeft snel op.	Geeft vrij snel op.	Geeft niet op vooraleer er een bevredigende oplossing is.	Geeft nooit op, blijft zich vast in een probleem.
Concentratievermogen	Is zeer afgeleid, is niet alert, zelfs niet bij het werk dat niet langdurig is.	Laat zich afleiden, is niet zo alert bij het werk, zeker niet als het een relatief langdurige taak is.	Blijft meestal alert, ook bij relatief langdurige opdrachten, taken of projecten.	Blijft alert, ook bij langdurige opdrachten.

Comparatief beoordelen

In de praktijk blijkt het voor leraren vaak lastig om complexe vaardigheden op een objectieve manier te beoordelen. Comparatief beoordelen kan hierbij een oplossing bieden⁷⁹. Dit houdt in dat je de opdrachten van leerlingen (zoals presentaties, practicumverslagen, posters) steeds paarsgewijs

vergelijkt en telkens de beste selecteert. Op deze manier ontstaat uiteindelijk een rangorde van de minst naar de meest kwalitatieve opdracht. Bij een beperkt aantal opdrachten worden de kwaliteitsverschillen sneller zichtbaar, waardoor je direct een rangschikking kunt maken van de minst naar de meest kwalitatieve opdracht. In het kader hiernaast staat een voorbeeld van

comparatief beoordelen van onderzoeksverslagen biologie.

Dit systeem kan ook effectief zijn voor het beoordelen van andere soorten werk in wetenschapsvakken, zoals practicumverslagen of onderzoeksprojecten, waarbij complexiteit en objectiviteit belangrijke factoren zijn.



Comparatief beoordelen van onderzoeksverslagen

Situatie

In een biologieklas hebben leerlingen een onderzoeksopdracht uitgevoerd waarbij ze de groei van planten onder verschillende lichtomstandigheden hebben geobserveerd. Elke leerling heeft een verslag geschreven waarin ze hun onderzoeksopzet, hypothese, waarnemingen, analyse-, en conclusies beschrijven.

Stappen voor comparatief beoordelen

1 Opdrachten per paar vergelijken

Je verzamelt alle verslagen en vergelijkt telkens twee verslagen met elkaar. Hierbij kijk je naar specifieke criteria zoals:

- Duidelijkheid van de hypothese
- Logische opbouw van het onderzoek
- Nauwkeurigheid van de waarnemingen
- Grondigheid van de analyse
- Helderheid en onderbouwing van de conclusies

2 Selectie van de beste per paar

Voor elk paar kies je het verslag dat het sterkst scoort op de meeste criteria. Bijvoorbeeld:

- Verslag A vs. verslag B: verslag A wordt geselecteerd omdat de analyse van de resultaten uitgebreider is.
- Verslag C vs. verslag D: verslag D wordt geselecteerd vanwege de duidelijke en goed onderbouwde hypothese.

Wanneer je meer dan 20 opdrachten wilt rangschikken, is het handig om een tool te gebruiken die comparatief beoordelen ondersteunt. Er zijn digitale tools beschikbaar die het proces van het samenstellen van paren en het berekenen van een rangorde automatiseren, zoals Comproved, RM Compare en No More Marking.

3 Herhalen van de vergelijking

Je herhaalt dit proces met alle verslagen, waardoor er steeds betere verslagen “overblijven” in de volgende rondes van vergelijking. Op deze manier ontstaat geleidelijk een rangorde van verslagen.

4 Eindrangschikking van kwaliteit

Na meerdere vergelijkingsrondes ontstaat er een lijst van de verslagen, van de minst naar de meest kwalitatieve. Deze rangschikking geeft je inzicht in hoe verslagen zich verhouden tot elkaar op basis van de kwaliteit van inhoud en opbouw.

Voordelen voor jou als leerkracht

- Transparantie: Het proces laat de sterke en zwakke punten van verslagen duidelijk zien, zodat je een objectievere beoordeling kan maken.
- Feedbackmogelijkheid: Je kan je leerlingen gericht feedback geven door bijvoorbeeld uit te leggen waarom een bepaald verslag in een bepaalde ronde beter scoorde dan een ander.

Voordelen voor de leerling

- Inzicht in kwaliteitscriteria: Leerlingen leren wat een goed onderzoeksverslag onderscheidt van een minder goed verslag.
- Vergelijkend leren: Door te begrijpen waarom sommige verslagen beter zijn, kunnen ze hun eigen werk verbeteren voor toekomstige opdrachten.

Meer informatie over wetenschapsonderwijs in het secundair?

Bij Inleiding: Teaching for engagement

- **Science Capital Teaching Approach**

Deze leidraad geeft concrete voorbeelden van hoe *The Science Capital Teaching Approach* in de les kan worden toegepast:

Godec, S., King, H., & Archer, L. (2017). *The science capital teaching approach: Engaging students with science, promoting social justice*. University College London. discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10080166/1/the-science-capital-teaching-approach-pack-for-teachers.pdf

Bij Aanbeveling 1

- **Ideeënfabriek**

Ideeënfabriek is een didactische methode om de vorming van concepten bij jouw leerlingen te vergemakkelijken. Op de website vind je meer informatie over de methode en kan je ook lesmateriaal en verdiepend materiaal raadplegen.

[Odisee.ideeenfabriekwetenschappen.be/nl](https://odisee.ideeenfabriekwetenschappen.be/nl)

- **Misconceptions**

Deze webpagina's geven een overzicht van veelvoorkomende misconcepties binnen de wetenschap en geven hand-

vaten hoe je jouw leerlingen op het juiste spoor zet.

elbd.sites.uu.nl/category/misconcepten

leraar24.nl/307845/misconcepten-zo-zet-je-leerlingen-op-het-juiste-spoor

Bij Aanbeveling 2

- **ReguLEER!**

Het boek omvat een pedagogisch-didactische verkenning van zelfregulerend leren. Daarnaast bundelt het interviews met leerkrachten en schoolleiders hoe zij zelfregulerend leren hebben geïmplementeerd in hun eigen onderwijscontext.

Drok, H., Kneyber, R., & Devid, V., (2024). *Reguleer!: een pedagogisch-didactische verkenning van zelfregulerend leren*. toetsrevolutie.nl/wp-content/uploads/2024/04/ReguleERapril2024.pdf

- **Zelfregulerend leren**

Dit boekje biedt een overzicht van de kennis die bestaat rond zelfregulerend leren. Daarnaast geeft het handvaten om vertrekken vanuit je eigen aanpak nog meer resultaten te boeken met jouw leerlingen.

Peeters, J. (2022). *Zelfregulerend leren. Hoe? Zo!*. Lannoo.

- **De Wijsneuzen over zelfregulatie**

In deze podcastaflevering wordt er een antwoord gezocht op de vraag: Hoe worden mijn leerlingen ooit zelfregulerend?

Litjes, L., & Peeters, W. (Host). (2023, 9 mei). Hoe worden mijn leerlingen en studenten óóit zelfregulerend?. (NR. 4) [Podcastaflevering]. In *De Wijsneuzen*. vernieuwonderwijs.nl/wijsneuzen-aflevering4

- **Meesterlijk zelfregulerend**

Een podcastreeks over zelfregulatie van de Pedagogische begeleidingsdienst van GO!

PDB-GO! (Host). (2024). Meesterlijk Zelfregulerend [Podcast]. youtube.com/playlist?list=PLr71rD0tXT_6R-wAapAoXmC__rtcksnDuq

Bij Aanbeveling 3

- **Interactieve simulaties**

PhET™ biedt interactieve, op onderzoek gebaseerde simulaties voor wetenschappen en wiskunde aan. Deze simulaties zijn telkens een model. Ze testen en evalueren elke simulatie uitgebreid om de educatieve effectiviteit te garanderen.

[University of Colorado. phet.colorado.edu/nl](https://universityofcolorado.phet.colorado.edu/nl)

- **Modellen maken en gebruiken**

Op deze webpagina vind je een overzicht van de soorten modellen en ook enkele tips voor het maken en gebruiken van modellen.

Associatie Universiteit Gent. bigideasgreatscience.wordpress.com/denk-en-werkwijzen/modellen-maken-en-gebruiken

Bij Aanbeveling 4

- **De Wijsneuzen over Dual Coding**

In deze podcastaflevering wordt er een antwoord gezocht op de vraag: Hoe kun je visueel het leren versterken?

Litjes, L., & Peeters, W. (Host). (2024, 8 december). Hoe kun je visueel het leren versterken?. (NR. 38) [Podcastaflevering]. In *De Wijsneuzen*. vernieuwonderwijs.nl/de-wijsneuzen-aflevering38-dual-coding

- **Wijze lessen**

In dit boek worden twaalf didactische bouwstenen besproken om je lessen beter en effectiever te maken. Er is een hoofdstuk gewijd aan cognitieve processen en het werkgeheugen. Daarnaast werd het boek ook omgezet in een podcastreeks.

Surma, T., Vanhoyweghen, K., Sluismans, D., Camp, G., Muijs, D., & Kirschner, P. (2019). *Wijze lessen: twaalf bouwstenen voor effectieve didactiek*. Ten Brink Uitgevers. research.ou.nl/ws/files/12121456/Wijze_Lessen_digitaal_160919_1.pdf

Vanhoeck, R. (Host). (2023). *Wijze lessen* [Podcast]. Buiten De Krijtlijnen en Expertisecentrum Onderwijs en Leren. wijzelessen.transistor.fm

- **Cognitive science approaches**
Dit rapport geeft een overzicht van wetenschappelijke evidentie voor cognitiewetenschappelijke benaderingen in de klas wat betreft het verwerven en vasthouden van kennis van je leerlingen.

Education Endowment Foundation. (2021). *Cognitive science approaches in the classroom: a review of the evidence*. educationendowmentfoundation.org.uk/education-evidence/evidence-views/cognitive-science-approaches-in-the-classroom

Bij Aanbeveling 5

- **The Fibonacci Project**
Dit Europees project focuste op de methode van onderzoekend leren en lesgeven binnen wetenschap- en wiskunde onderwijs. Informatie en materialen kan je terugvinden op de projectwebsite. The Fibonacci Project. (2010-2013).

www.fibonacci-project.eu

- **Leren onderzoeken door te filosoferen**
Dit artikel legt uit hoe de methodiek van filosoferen mogelijkheden biedt voor het versterken van onderzoekscompetenties van je leerlingen.

De Schrijver, J., De Poorter, J., Anthone, R., & Cornelissen, E. (2013). Leren onderzoeken door te filosoferen in het wetenschapsonderwijs. *VOB Jaarboek 2013*, 1(1), 43-52. www.researchgate.net/publication/308034558_Leren_onderzoeken_door_te_filosoferen_in_het_wetenschapsonderwijs

- **STEM-academies**
Op de webpagina van Vlaio vind je een overzicht van erkende STEM-academies in Vlaanderen. Deze STEM-academies hebben een open aanbod aan buitenschoolse STEM-activiteiten.

Vlaio. www.vlaio.be/nl/vlaio-netwerk/stemvlaio/stem-de-vrije-tijd/erken-de-stem-academies-2024

Bij Aanbeveling 6

- **Taalontwikkelen lesgeven**
Deze webpagina geeft meer uitleg over wat taalontwikkelen lesgeven is. Daarnaast zijn er ook enkele didactische pakketten terug te vinden.

Arteveldehogeschool. www.arteveldehogeschool.be/nl/taalontwikkelen-lesgeven

- **Werken aan vaktaal**
Deze handleiding laat zien hoe je als leraar wetenschappen taalgericht kan werken, hoe je je lessen kan herontwerpen en hoe je lesmateriaal op een andere manier kan inzetten.

van Dijk, G., Hajer, M., Scharte, R., & de Vos, B. (2013). *Werken aan vaktaal bij de exacte vakken*. SLO. www.slo.nl/@4189/werken-vaktaal

- **Rijke Teksten**
Op deze website vind je voorbeelden van rijke teksten voor leerlingen van 2 tot 18 jaar om je lessen mee te verrijken. Daarnaast vind je er ook informatie terug wat rijke teksten zijn en hoe je ermee kunt werken.

Taalunie. www.rijketeksten.org

- **Kritisch denken over wetenschap**
Dit artikel verkent hoe je de kritische houding en het kritisch denken van jouw leerlingen rond wetenschap kan stimuleren.

De Schrijver, J., Boven, L., & Van Den Broeck, L. (2022). *Mag je aan alles twijfelen? Kritisch denken over wetenschap*. VOB - Jaarboek 2022. www.researchgate.net/profile/Jel-le-De-Schrijver/publication/361091836_Mag_je_aan_alles_twijfelen_Kritisch_denken_over_wetenschap/links/629b563c55273755ebd1ce65/Mag-je-aan-alles-twijfelen-Kritisch-denken-over-wetenschap.pdf

Bij Aanbeveling 7

- **Toolkit feedback geven aan leerlingen**
Deze webpagina van Leerpunt geeft een overzicht van wetenschappelijke bevindingen over feedback geven en geeft ook concrete tips om dit toe te passen in jouw leeromgeving.

Leerpunt. leerpunt.be/toolkit/toolkit-leren-lesgeven/feedback-geven-aan-leerlingen

- **Feedback in de klas**
Een boek met een duidelijke didactische en praktische insteek die toepasbaar is op verschillende onderwijsniveaus. Je maakt snel kennis met nieuwe vormen over feedback en ontdekt zo extra leerkanalen en mogelijkheden voor je leerlingen en jezelf.

Vanhoof, S., & Speltinckx, G. (2021). *Feedback in de klas: verborgen leerkanalen*. LannooCampus.

- **Buiten De Krijtlijnen over comparatief beoordelen**

In deze podcastaflevering vertelt Maarten Goossens, als co-founder van Comproved, over comparatief beoordelen van complexe vaardigheden.

Expertisecentrum Onderwijs en Leren Thomas More. (Host). (2023, 27 maart). Maarten Goossens over comparatief beoordelen. (NR. 142) [Podcastaflevering]. In *Buiten De Krijtlijnen*. dekrijtlijnen.transistor.fm/episodes/142-maarten-goossens-over-comparatief-beoordelen

- **PROEV**
De website PROEV biedt leerkrachten en schoolteams verschillende vormen aan die hen helpen bij het ondersteunen en verbeteren van hun evaluatiepraktijk en -beleid. Daarnaast is er een zelfscan beschikbaar waarmee men de eigen evaluatiepraktijk kan analyseren en in kaart brengen.

PROEV (2023-2024). proev.be

- **Buiten De Krijtlijnen over evalueren**
In deze podcastaflevering geeft Dries D'haese, een van de drijvende krachten achter Proev, tips hoe leerkrachten hun evaluatiepraktijk en -beleid kunnen verbeteren.

Expertisecentrum Onderwijs en Leren Thomas More. (Host). (2024, 27 mei). Dries D'haese over beter evalueren. (NR. 183) [Podcastaflevering]. In *Buiten De Krijtlijnen*. dekrijtlijnen.transistor.fm/episodes/183-dries-dhaese-over-beter-evalueren

• Feedbacktool

De feedbacktool van De Vlaamse Scholierenkoepel is een wetenschappelijk onderbouwde methodiek om feedback te verzamelen over jouw manier van lesgeven bij je leerlingen.

Scholierenkoepel. www.scholierenkoepel.be/kennisbank/feedbacktool

Organisaties die wetenschapsonderwijs ondersteunen

Er zijn heel wat verenigingen die wetenschapsleerkrachten samenbrengen om kennis en ervaringen uit te wisselen. Ze bieden ondersteuning via workshops, lesmateriaal en netwerkmogelijkheden om het wetenschapsonderwijs te versterken.

• Algemeen

Vereniging voor Leraars wetenschappen (VELEWE): velewe.be

iSTEM: www.istem.be

Science on Stage: www.science-on-stage.eu

• Biologie

Vereniging voor het onderwijs in de biologie, de milieuleer en de gezondheidseducatie: www.vob-ond.be

• Chemie

Koninklijke Vlaamse Chemische Vereniging (KVCV): www.kvcv.be/nl/

ChemieLeerkracht:

chemieleerkracht.blackbox.website

• Fysica

Belgian Physical Society:

www.belgianphysicalsociety.be

• Professionalisering

Er zijn verschillende initiatieven die wetenschapsleerkrachten ondersteunen in hun professionele ontwikkeling. Pedagogische begeleidingsdiensten, professionele leergemeenschappen en bijscholingsinitiatieven van hogescholen, universiteiten, onderzoekscentra en lerarenopleidingen helpen leerkrachten om hun vakinhoudelijke en didactische kennis up-to-date te houden.

• Sectororganisaties

Verschillende sectororganisaties ondersteunen het wetenschapsonderwijs door samenwerkingen tussen onderwijs en industrie te bevorderen. Ze bieden leerkrachten toegang tot expertise, educatief materiaal en praktijkgerichte initiatieven binnen technologische en wetenschappelijke domeinen.

• Agoria: www.agoria.be/nl

• Belgian Nuclear Research Centre (SCK CEN): www.sckcen.be/nl

• Essenscia (Federatie van de Chemische Industrie en Life Sciences): www.essenscia.be

• VIB: vib.be/nl/#/

• Vlaamse instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO): vito.be/nl

• Wetenschappen voor het brede publiek

Er zijn heel wat initiatieven die wetenschappen toegankelijk maken voor het brede publiek. Via evenementen, podcasts en burgerwetenschapsprojecten kunnen jongeren op een laagdrempelige manier kennismaken met wetenschappelijk onderzoek en innovatie.

• Dag van de wetenschap: www.dagvandewetenschap.be

• Iedereen wetenschap: www.iedereenwetenschapper.be

• Ik heb een vraag: wetenschappers geven antwoord: www.ikhebeenvraag.be

• Nerdland: nerdland.be

• ScienceVille: www.docville.be/nl/scienceville-voor-scholen
Wetenschap Brussel: wetenschapbrussel.be

Referentielijst

- 1 Kayan-Fadlemlula, F., Sellami, A., Abdelkader, N., & Umer, S. (2022). A systematic review of STEM education research in the GCC countries: Trends, gaps and barriers. *International Journal of STEM Education*, 9(2). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00319-7>
- 2 Kaur, T., McLoughlin, E., & Grimes, P. (2022). Mathematics and science across the transition from primary to secondary school: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 9(13). <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00328-0>
- 3 Nomikou, E., Archer, L., & King, H. (2017). Building 'science capital' in the classroom. *School Science Review*, 98(365), 118-124.
- 4 DeWitt, J., Archer, L., & Mau, A. (2016). Dimensions of science capital: Exploring its potential for understanding students' science participation. *International Journal of Science Education*, 38(16), 2431-2449. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1248520>
- 5 Godec, S., King, H., & Archer, L. (2017). *The Science Capital Teaching Approach: Engaging students with science, promoting social justice*. University College London.
- 6 Archer, L., DeWitt, J., Godec, S., Henderson, M., Holmegaard, H., Liu, Q., MacLeod, E., Mendick, H., Mooto, J., & Watson, E. (2023). *ASPIRES3 main report*. Young People's STEM trajectories age 10-22. University College London.
- 7 Hamlyn, R., Matthews, P., & Shanahan, M. (2017). *Young people's views on science education: Science Education Tracker*. Wellcome Trust.
- 8 Aguilera, D., & Perales-Palacios, F. (2020). What effects do didactic interventions have on students' attitudes towards science? A Meta-Analysis. *Research in Science Education*, 50, 573-597. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9702-2>
- 9 Van den Berghe, W., & De Martelaere, D. (2012). *Kiezen voor STEM*. VRWI
- 10 Holman, J. (2014). *Good career guidance*. The Gatsby Foundation.
- 11 Woolley, M. E., Rose, R. A., Orthner, D. K., Akos, P. T., & Jones-Sanpei, H. (2013). Advancing academic achievement through career relevance in the middle grades. *American Educational Research Journal*, 50(6), 1309-1335. <https://psycnet.apa.org/doi/10.3102/0002831213488818>
- 12 Schneider, B., Judy, J., & Mazuca, C., (2012). Boosting STEM interest in high school. *Phi Delta Kappan International*, 94(1), 62-65. <https://doi.org/10.1177/003172171209400112>
- 13 Gartland, C. (2015). Student ambassadors: 'Rolemodels', learning practices and identities. *British Journal of Sociology of Education*, 36(8), 1192-1211. <https://doi.org/10.1080/01425692.2014.886940>
- 14 Reynolds, D., Sammons, P., De Fraine, B., Van Damme, J., Townsend, T., Teddlie, C., & Stringfield, S. (2014). Educational effectiveness research (EER): A state-of-the-art review. *School Effectiveness and School Improvement*, 25(2), 197-230. <https://doi.org/10.1080/09243453.2014.885450>
- 15 Van Houte, H., Merckx, B., De Lange, J., & De Bruyker, M. (2013). *Zin in wetenschap, wiskunde en techniek. Leerlingen motiveren voor STEM*. Acco.
- 16 Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. Routledge.
- 17 Sermeus, J., Balck, C., Temmerman, W., De Schrijver, J., Robberecht, B., Garcia Fernandez, B., Mokuku, T., Taolane, B., Koma, S., Croes, T., Maetens, C., De Kinder, C., & De Paepe, H. (2018).

Werken met, niet tegen, intuïtieve voorkennis natuurwetenschappen.

- 18 Novak, J. D. (2009). Meaningful Learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86(4), 548–571. <https://doi.org/10.1002/sce.10032>
- 19 Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. In S. Vosniadou (Eds.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). Routledge.
- 20 Strike, K. A., & Posner, G. J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. In L. H. T. West, & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change* (pp. 211-231). Academic Press.
- 21 De Schrijver, J., Vervaet, S., Van De Keere, K., Vandebek, C., & Cornelissen, E. (2015). Weten over weten: Nature of science in het wetenschapsonderwijs. *VOB Jaarboek*, 12(1), 189-197.
- 22 Delnoij, J., & van Dalen, W. (2003). *Het socratisch gesprek*. Damon VOF.
- 23 Balim, A. G., Inel-Ekici, D., & Özcan, E. (2016). Concept cartoons supported problem based learning method in middle school science classrooms. *Journal of Education and Learning*, 5(2), 272-284. <https://doi.org/10.5539/jel.v5n2p272>
- 24 Chin Siong, L., Yunn Tyug, O., Phang, F. A., & Puspanathan, J. (2023). The use of concept cartoons in overcoming the misconception in electricity concepts. *Participatory Educational Research*, 10(1), 310-329. <https://doi.org/10.17275/per.23.17.10.1>
- 25 De Lange, J. (2009). Case study, the use of concept cartoons in the Flemish science education: Improvement of the tools and supporting learners' language skills through a design based research. ESERA Proceedings. Presented at the European Science Education Research Association Conference, Istanbul, Turkey.
- 26 Drok, H., Kneyber, R., & Devid, V. (2024). *ReguLEER! Een pedagogisch-didactische verkenning van zelfregulerend leren*. Telos Uitgevers.
- 27 Zimmerman, B. J., & Moylan, A. (2009). Self-regulation: Where metacognition and motivation intersect. In D. J. Hacker, J. Dunlosky, & A. C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 299-315). Routledge.
- 28 Murphy, P. K., Greene, J. A., Allen E., Baszczewski, S., Swearingen, A., Wei, L., & Butler, A. M. (2018). Fostering high school students' conceptual understanding and argumentation performance in science through quality talk discussions. *Science Education*, 102(6), 1239–1264. <https://doi.org/10.1002/sce.21471>
- 29 Muijs, D., & Reynolds, D. (2010). *Effective teaching: Evidence and practice*. Sage.
- 30 Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. In M. A. Gernsbacher, R. W. Pew, L. M. Hough, & J. R. Pomerantz (Eds.), *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society (2nd ed)* (pp. 59-68). Worth Publishers.
- 31 Allchin, D., & Zemlén, G. Á. (2020). Finding the place of argumentation in science education: Epistemics and whole science. *Science Education*, 104(5), 907–933. <https://doi.org/10.1002/sce.21589>
- 32 Mercer, N., Dawes, L., Wegerif, R., & Sams, C. (2004). Reasoning as a scientist: Ways of helping children to use language to learn science. *British Educational Research Journal*, 30(3), 359–377. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1080/01411920410001689689>
- 33 Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B., & Robinson, A. (2010). Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1), 69–95. <https://doi.org/10.1080/09500690802713507>
- 34 Balck, C., & Van Peteghem, R. (2005). *Misvattingen fysica te lijf*. Centrum Nascholing Onderwijs.
- 35 Upmeier zu Belzen, A., Krüger, D., & van Driel, J. (2019). *Towards a competence-based view on models and modeling in science education*. Springer.
- 36 <https://bigideasgreatscience.wordpress.com/perspectieven/modellen/>
- 37 Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y>
- 38 Johnstone, A. H. (1982). Macro- and microchemistry. *School Science Review*, 64(227), 377–379.
- 39 Treagust, D. F., Harrison, A. G., & Venville, G. J. (1998). Teaching science effectively with analogies: An approach for preservice and inservice teacher education. *Science Teacher Education*, 9(2), 85–101.
- 40 Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school pupils and experts. *Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822.
- 41 Surma, T., Vanhoyweghen, K., Sluijsmans, D., Camp, G., Muijs, D., & Kirschner, P. (2019). *Wijze lessen: Twaalf bouwstenen voor effectieve didactiek*. Ten Brink Uitgevers.
- 42 Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving pupils' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14(1), 4–58. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1177/1529100612453266>
- 43 Weinstein, Y., Madan, C. R., & Sumeracki, M. A. (2018). Teaching the science of learning. *Cognitive Research: Principle and Implications*, 3(2). <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0087-y>
- 44 Agarwal, P. K. (2019). Retrieval practice & Bloom's taxonomy: Do students need fact knowledge before higher order learning? *Journal of Educational Psychology*, 111(2), 189–209. <https://doi.org/10.1037/edu0000282>
- 45 Cuevas, J.A. (2016). An analysis of current evidence supporting two alternate learning models: Learning styles and dual coding. *Journal of Educational Sciences & Psychology*, 6(1), 1–13.
- 46 Torrance Jenkins, R. (2017). Using educational neuroscience and psychology to teach science. Part 1: A case study review of Cognitive Load Theory (CLT) and Cognitive Acceleration through Science Education (CASE). *School Science Review*, 99(367), 93–103.
- 47 Holman, J. (2017). *Good practical science*. Gatsby Foundation.
- 48 Millar, R., & Abrahams, I. (2009). Practical work: Making it more effective. *School Science Review*, 91(334), 59–64.
- 49 Oliveira, H., & Bonito, J. (2023). Practical work in science education: A systematic literature review. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1151641>
- 50 Hamlyn, R., Matthews, P., & Shanahan, M. (2016). *Science education tracker*. Wellcome Trust.
- 51 The Fibonacci Project. (2012). *Inquiry in science education*. http://fibonacci.uni-bayreuth.de/index.php%3FfeID=tx_nawsecuredl&u=0&-file=fileadmin%252FDokumente%252Fstartingpackage%252Fbackground%252Finquiry_in_science_education.pdf&t=1681380444&hash=6384fa3f561acb4b-f7adb04d1237eaa6
- 52 Katholiek onderwijs Vlaanderen. (2022). Leerplan secundair onderwijs. Natuurwetenschappen C, 2de graad D-finaliteit, II-NatS-d. <https://pro.katholiekonderwijs.vlaanderen/II-Nat-d>
- 53 Nunes, T., Bryant, P., Strand, S., Hillier, J., Barros, J., & Miller-Friedmann, J. (2017). *Review of SES and science learning in formal educational settings*. Education Endowment Foundation.

- 54 Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15(10), 661–667. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1111/j.0956-7976.2004.00737.x>
- 55 PhET simulations from the University of Colorado at Boulder: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/new>
- 56 Nielsen, C. (2021). Can the complexities of developing students' literacy skills around physical science concepts benefit from a singular approach to teaching academic vocabulary? In D. Geelan, K. Nichols, & C. V. McDonald (Eds.), *Complexity and simplicity in science education* (pp. 119–141). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79084-4_7
- 57 De Schrijver, J., Boven, L., Vervacke, L., & Van den Broeck, L. (2022). Mag je aan alles twijfelen? Kritisch denken over wetenschap. *VOB Jaarboek*, 45(1), 13–28.
- 58 Beck, I. L., McKeown, M. G., & Kucan, L. (2013). *Bringing words to life: Robust vocabulary instruction*. The Guildford Press.
- 59 Dori, Y. J., Avargil, S., Kohen, Z., & Saar, L. (2018). Context-based learning and metacognitive prompts for enhancing scientific text comprehension. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1198–1220. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1470351>
- 60 Hajer, M., & Meestringa, T. (2020). *Handboek taalgericht vakonderwijs*. Coutinho.
- 61 Vlaams Talenplatform. (2024). *Taalbewust wiskunde geven. Een inspiratiegids voor taalgericht vakonderwijs in de wiskundeles*. Vlaams Talenplatform.
- 62 Wong, C. L., Chu, H., & Yap, K. C. (2020). A framework for defining scientific concepts in science education. *Asia-Pacific Science Education*, 6(2), 615–644. <https://doi.org/10.1163/23641177-BJA10010>
- 63 Hattie, J. A. C. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- 64 Nunes, T., Bryant, P., & Barros, R. (2012). The development of word recognition and its significance for comprehension and fluency. *Journal of Educational Psychology*, 104(4), 959–973. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0027412>
- 65 Larson, S. C. (2014). Exploring the roles of the generative vocabulary matrix and academic literacy engagement of ninth grade biology students. *Literacy Research and Instruction*, 53(4), 287–325. <https://doi.org/10.1080/19388071.2014.880974>
- 66 <https://www.rijketeksten.org/>
- 67 Singer, L. M., & Alexander, P. A. (2017). Reading on paper and digitally: What the past decades of empirical research reveal. *Review of Educational Research*, 87(6), 1007–1041. <https://doi.org/10.3102/0034654317722961>
- 68 Osborne, J., & Dillon, J. (2010). *Good practice in science teaching: What research has to say*. Open University Press.
- 69 What Works Clearinghouse. (2016). *Teaching secondary students to write effectively*. Institute of Education Sciences. https://ies.ed.gov/ncee/wwc/Docs/PracticeGuide/wwc_secondary_writing_110116.pdf
- 70 Hand, B., Norton-Meier, L. A., Gunel, M., & Akkus, R. (2016). Aligning teaching to learning: A 3-year study examining the embedding of language and argumentation into elementary science classrooms. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(5), 847–863.
- 71 van Dijk, G., Hajer, M., Scharte, R., & de Vos, B. (2013). Werken aan vaktaal bij de exacte vakken. SLO. <https://www.slo.nl/@4189/werken-vaktaal/>
- 72 Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research* 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- 73 Yan, Z., Lao, H., Panadero, E., Fernández-Castilla, B., Yang, L., & Yang, M. (2022). Effects of self-assessment and peer-assessment interventions on academic performance: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100484>
- 74 Brooks, C., Carroll, A., Gillies, R. M., & Hattie, J. (2019). A matrix of feedback for learning. *Australian Journal of Teacher Education*, 44(4). <https://doi.org/10.14221/ajte.2018v44n4.2>
- 75 Black, P., & Harrison, C. (2004). Science inside the black Box: Assessment for learning in the science classroom. *Phi Delta Kappan International*, 86(1). <https://doi.org/10.1177/003172170408600105>
- 76 Windey, E. (2009). Kwaliteitsvol onderwijs samen met leerlingen: Feedback van leerlingen aan leraren. *IVO117*, 50–55
- 77 Carless, D., & Winstone, N. (2020). Teacher feedback literacy and its interplay with student feedback literacy. *Teaching in Higher Education*, 28(1), 150–163. <https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1782372>
- 78 Panadero, E., & Jonsson, A. (2020). A critical review of the arguments against the use of rubrics. *Educational Research Review*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100329>
- 79 Bouwer, R., Goossens, M., Mortier, A., Lesterhuis, M., & De Maeyer, S. (2018). Een comparatieve aanpak voor peer assessment: Leren door te vergelijken. In D. Sluijsmans, & M. Segers (Eds.). *Toetsrevolutie. Naar een feedbackcultuur in het hoger onderwijs* (pp. 92–106). Phronese.

