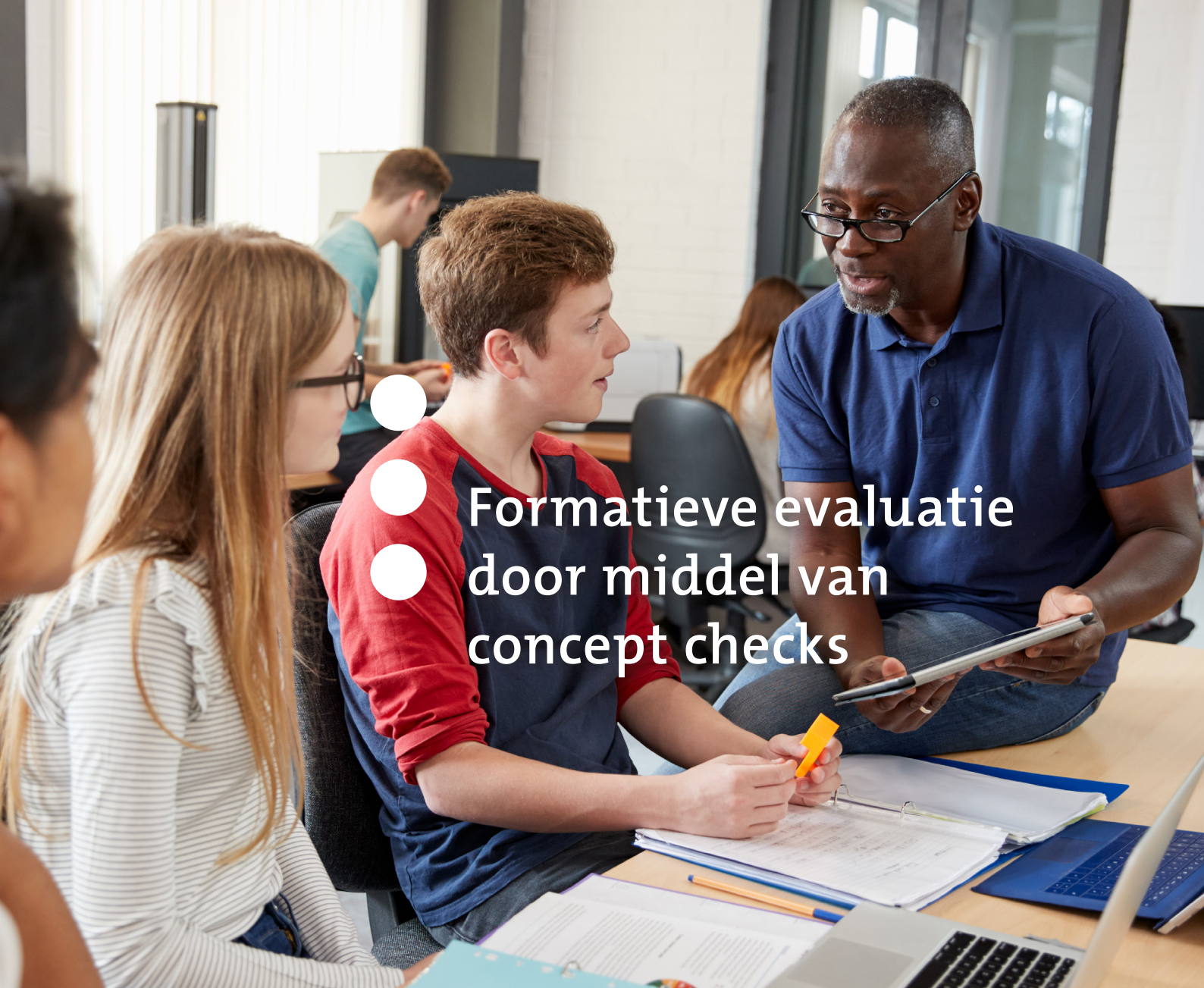


A photograph of a classroom setting. A male teacher with glasses, wearing a blue polo shirt, is sitting on a wooden desk. He is holding a tablet and looking at it while talking to a group of students. In the foreground, a young man in a red and blue long-sleeved shirt is looking at the teacher. Next to him, a young woman with long blonde hair and glasses is also looking towards the teacher. Another student is partially visible on the far left. On the desk, there are several papers, a laptop, and a blue folder. The background shows other students and classroom furniture.

● ● ● Formatieve evaluatie door middel van concept checks

Het opsporen van en reageren op misconcepties bij leerlingen

SLO • nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling



Formatieve evaluatie door middel van concept checks

Het opsporen van en reageren op misconcepties bij
leerlingen

Mei 2019

slo

nationaal
expertisecentrum
leerplan-
ontwikkeling

Verantwoording



2019 SLO (nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling), Enschede

Mits de bron wordt vermeld, is het toegestaan zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave geheel of gedeeltelijk te kopiëren en/of verspreiden en om afgeleid materiaal te maken dat op deze uitgave is gebaseerd.

Auteurs: Ed van den Berg

Redactie: Gerdineke van Silfhout

Informatie

SLO

Afdeling: voortgezet onderwijs

Postbus 2041, 7500 CA Enschede

Telefoon (053) 4840 840

Internet: www.slo.nl

E-mail: info@slo.nl

AN: 3.7902.766

Inhoud

1.	Formatieve evaluatie met onmiddellijke feedback	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Formatieve evaluatie en de cyclus	6
1.3	Diagnose van systematische fouten bij rekenen en remediëring	7
1.4	Snelle diagnose en feedback met een tabel	7
1.5	Snelle diagnose en feedback met diagrammen	9
1.6	Snelle diagnose en feedback met meerkeuzevragen	10
1.7	Voorkennis en vaardigheden corrigeren met concept checks	11
1.8	Antwoorden op papier en/of digitaal	13
1.9	Samenvatting	14
2.	Concept checks Nederlands en andere talen	15
2.1	Fortune lines bij Nederlands	15
2.2	Grammatica: woordsoorten benoemen	16
2.3	Grammatica: bijvoeglijke bijzin herkennen	16
2.4	Tekstbegrip	17
2.5	Drogredenen herkennen	18
3.	Concept checks geschiedenis	19
3.1	Fortune lines	19
3.2	Omcirkelen	20
4.	Concept checks aardwetenschappen	21
4.1	Pijlen zetten: convectiecellen	21
4.2	Intekenen van figuren: platentektoniek	22
5.	Concept checks natuurwetenschappen	23
5.1	Concept cartoons	23
5.2	P(E)OE's	24
6.	Concept checks biologie	27
6.1	Anatomische tekeningen, basisonderwijs	27
6.2	Ordenen	28
7.	Concept checks natuurkunde	31
7.1	Tekenen: hoe ziet lucht eruit?	31
7.2	Diagnose, remediëring en inslijpen: krachten	33
7.3	Geometrische optica	36
8.	Concept checks scheikunde	37
8.1	Inoefenen van een vaardigheid	37
8.2	De kracht van ad hoc weergaven	38
8.3	Begrip meten met grafieken bij chemisch evenwicht	39

9.	Concept checks rekenen/wiskunde	41
9.1	Rekenen	41
9.2	Nagaan of uitleg is overgekomen	42
9.3	Hellingsgrafieken	42
9.4	Meetkunde	43
Literatuur		45

1. Formatieve evaluatie met onmiddellijke feedback

1.1 Inleiding

Vaak verloopt een leerproces op de volgende manier: de docent en leerlingen zijn een aantal weken met leerstof bezig, waarna er een toets voor een cijfer volgt. Tijdens het lesgeven en leren is er volop interactie tussen docent en leerlingen. De docent ontdekt onjuiste antwoorden van zijn leerlingen en reageert daarop. Toch blijven veel problemen verborgen tot het moment dat de summatieve toets wordt afgenomen. Dat is jammer, want er zijn veel mogelijkheden om gedurende de les in enkele minuten begrips- en andere leerproblemen op te sporen én er onmiddellijk en adequaat op te reageren.

In het kort gaat dat als volgt: de docent stelt een klassikale vraag over een belangrijk leerdoel van de les (we noemen dit een *concept check*). Leerlingen antwoorden individueel, op papier, op een manier die snel te controleren is in een snel antwoordformat, bijvoorbeeld met een diagram of grafiek, of een kruisje in een kolom. De docent loopt rond en ziet binnen een minuut antwoorden van een stuk of tien leerlingen, dat is redelijk representatief voor de klas. Hij weet daardoor al snel welke fouten er gemaakt worden (diagnose) en kan de les daarop aanpassen en feedback geven (snelle feedback). De docent kan de antwoorden op papier verzamelen, maar ook via digitale systemen als Socrative, Plickers of GoFormative. Meestal is een snelle rondgang door de klas met een blik op de antwoorden van een stuk of tien leerlingen voldoende om een indruk te krijgen van wat er goed en fout gaat. De docent kan daarop in de verdere les reageren. Het is dan niet nodig de antwoorden te verzamelen. We noemen dit een *concept check* of snelle diagnose.

In deze publicatie laten we aan de hand van concrete voorbeelden verschillende vormen van snelle diagnose zien bij verschillende vakken. Aan de hand van de cyclus van formatief evalueren van Gulikers en Baartman (2017) beschrijven we hoe formatieve lesactiviteiten reacties aan leerlingen kunnen ontlokken en hoe je die kunt verzamelen, analyseren en interpreteren, zodat je de resultaten met leerlingen kunt delen en ze productief kunt gebruiken in het leerproces.

In paragraaf 2 bespreken we eerst de vijf fasen van de cyclus van formatief evalueren en zoomen daarbij in op fase 2 (reacties aan leerlingen ontlokken en verzamelen), fase 3 (reacties analyseren en interpreteren) en fase 4 (resultaten met leerlingen delen). Vervolgens bespreken we op welke manier je als docent op een snelle manier reacties aan leerlingen kunt ontlokken en die kan analyseren, interpreteren en terugkoppelen.

In paragraaf 3 geven we een voorbeeld van het belang van het ontdekken van systematische fouten en het bedenken van een aanpak voor remediëring. In paragraaf 4, 5 en 6 laten we een serie voorbeelden van concept checks met formats voor snelle antwoord voor verschillende vakken zien. Hier geven we ook voorbeelden van hulpmiddelen die zich daarvoor goed lenen: Nederlands/tabel (paragraaf 4), biologie/diagram (paragraaf 5), en natuurkunde/meerkeuze (paragraaf 6).

In paragraaf 7 beschrijven we hoe een aantal concept checks achter elkaar kunnen helpen om een vaardigheid te controleren of in te oefenen. Hier dienen lineaire grafieken die in diverse vakken gebruikt worden, als voorbeeld.

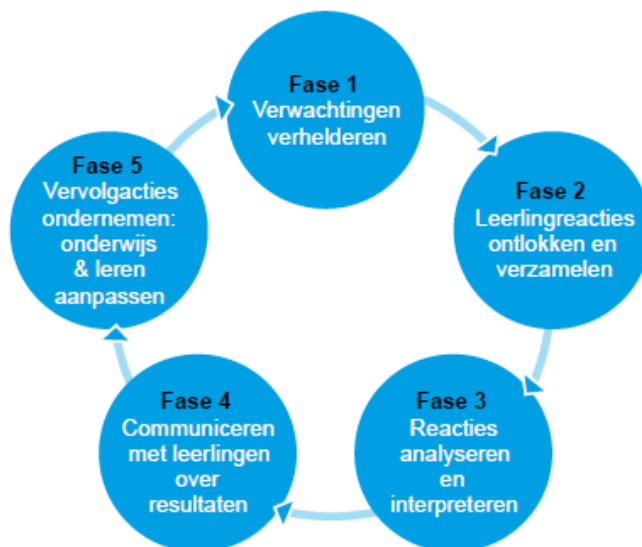
In paragraaf 8 bespreken we op welke manieren de reacties van leerlingen verzameld kunnen worden, digitaal en/of op papier, de voor- en nadelen van meerkeuzevragen met een digitaal antwoordformat en een samenvattingstabel. Ten slotte gaan we in op een belangrijke voorwaarde voor het werken met concept checks: het vertrouwen van leerlingen en docent in elkaar.

In hoofdstuk 2 tot en met 9 werken we voorbeelden van formatief toetsen uit voor Nederlands, geschiedenis, aardwetenschappen, bètavakken algemeen, biologie, natuurkunde, scheikunde en wiskunde. Deze worden steeds op dezelfde wijze besproken: eerst de uitvoering (wat en hoe) en dan een toelichting vanuit vakdidactische en algemeen didactische principes.

1.2 Formatieve evaluatie en de cyclus

In 1998 publiceerden Paul Black en Dylan Wiliam een review van ruim zeshonderd onderzoeken over het gebruik van formatieve evaluatie en feedback. Ze concludeerden dat leereffecten van formatieve evaluatie veel groter waren dan effecten van allerlei andere onderwijsinterventies zoals werkvorm en klasgrootte. Formatieve evaluatie heeft dus positieve leereffecten, mits a) de formatieve evaluatie compleet los staat van cijfers geven, b) feedback begrijpelijk en zinvol is en aanzet tot denken en c) feedback onmiddellijk is, dus tijdens de les waarin problemen zich voordoen. Sindsdien zijn deze conclusies bevestigd in de meta-analyse van Hattie en Timperley (2007). Maar ook Gulikers en Baartman (2017) beschrijven in een recente reviewstudie hoe formatieve evaluatie systematisch kan worden ingebouwd in praktisch onderwijs. Wiliam en Leahy (2015) bieden ook veel praktische tips.

De cyclus van formatief evalueren (FE) van Gulikers en Baartman (2017) bestaat uit de vijf stappen (figuur 1.1). In fase 1 worden verwachtingen verhelderd. Dat betekent dat leerdoelen en succescriteria worden geformuleerd, zodat leerlingen focus krijgen op de te leren stof. In fase 2 ontlokt de docent reacties aan de leerlingen om er achter te komen in hoeverre ze het leerdoel beheersen. In fase 3 analyseert de docent welke conceptuele en vaardigheidsproblemen het bereiken van de leerdoelen mogelijk verhinderen. In fase 4 worden resultaten van fase 2 en interpretaties van fase 3 teruggekoppeld naar leerlingen. In de praktijk blijkt dat resultaten van diagnostische activiteiten vaak goed gebruikt kunnen worden om leerlingen te activeren en dat ze dus echt onderdeel kunnen worden van het leerproces. We spreken dan van *embedded assessment*, formatieve evaluatie die onderdeel is van het leerproces. In fase 5 wordt gekeken naar het hele onderwijsproces, het lokale onderwijssysteem en welke aanpassingen mogelijk zijn om leerresultaten te verbeteren.



Figuur 1.1 De formatieve toetscyclus van Gulikers en Baartman (2017).

1.3 Diagnose van systematische fouten bij rekenen en remediëring

Concept checks helpen bij het ontdekken van systematische fouten. Figuur 1.2 laat een rekensom zien van basisschool niveau die een leerling uit de tweede klas van het voortgezet onderwijs heeft gemaakt. Daar gaat iets fout: hoewel de leerling iets aftrekt van 42, is het resultaat groter dan 42. Door de leerling meerdere opgaven te geven is het mogelijk de oorzaak te achterhalen. De oplossing van de leerling in figuur 1.2 laat het volgende zien: 7 aftrekken van 1 (0,1 – 0,7) vindt deze leerling lastig, dus hij draait het om, hij doet 7 – 1. Hetzelfde geldt voor 2 – 6, de leerling doet 6 – 2. Het algoritme voor aftrekken lijkt verkeerd te zijn aangeleerd en is inmiddels ingeslepen.

De leerkracht van de basisschool en de docent van de middelbare school hebben het niet gemerkt. Bij het nakijken van de toets zet de docent een rode streep door het antwoord, maar de uitleg van wat de leerling fout doet, ontbreekt. De leerling leert dus niet van zijn fouten.

$$\begin{array}{r} 42.13 - 6.7 = 44.6 \\ \begin{array}{r} 42.13 \\ 6.7 \\ \hline 44.63 \end{array} \end{array}$$

Figuur 1.2 Een aftrekprobleem op basisschoolniveau gemaakt door een leerling uit de tweede klas voortgezet onderwijs.

Aftrekken met hergroeperen (vroeger lenen) is lastig. De som $0,1 - 0,7$ lukt niet, daarom converteren we 2×1 (de 2 van 42) in $1 \times 1 + 10 \times 0,1$ en dan hebben we $11 \times 0,1$ minus $7 \times 0,1$ en dat wordt dus $4 \times 0,1 = 0,4$. Iets vergelijkbaars doen we met $2 - 6$, we verdelen 40 in $3 \times 10 + 10 \times 1$ en hebben dan $11 \times 1 - 6 = 5$. Best ingewikkeld. Resultaat is dan $42,13 - 6,7 = 35,43$. Kinderen (en wijzelf) leren deze bewerking vaak mechanisch uit te voeren zonder het achterliggend begrip van het algoritme.

Er zijn ook simpele oplossingen, we schrijven bijvoorbeeld $42,13 - 6,7$ als $42,13 - 7,0 + 0,3$ en komen dan eenvoudig tot 35,43 als antwoord zonder het lastige hergroeperen.

Vakdidactiek: Er zijn twee problemen in dit voorbeeld: 1) een verkeerd aangeleerd algoritme dat klakkeloos wordt toegepast, en 2) een gebrek aan getalbegrip (*number sense*). De leerling heeft niet door dat 44,6 geen redelijk antwoord is. Het foute algoritme kan worden geremedieerd door veel te oefenen met het correcte algoritme (*drill*), maar ontwikkeling van getalbegrip vereist een meer conceptuele benadering, zoals schattend rekenen, om gevoel te krijgen voor redelijke uitkomsten. Aan dat schattend rekenen wordt nu in basisscholen extra aandacht besteed (Scheltens, Hemker & Vermeulen, 2013).

Algemene didactiek: Dit soort systematische fouten moet tijdig opgemerkt en geremedieerd worden. Dat kan met behulp van diagnostische toetsen, maar een onderwijzer of docent kan ook tijdens de les sommen opgeven en vragen stellen waarin hij of zij veel voorkomende fouten en misconcepties integreert. Dergelijke *concept checks* zijn cruciaal om (beginnende) misconcepties op te sporen en te verhelpen.

1.4 Snelle diagnose en feedback met een tabel

Concept checks kunnen meerkeuzevragen zijn of sommen, grafieken en tabellen. Figuur 1.3 laat dat zien. In de brugklas leren kinderen over de persoonsvorm. De persoonsvorm geeft in een zin de tijd aan en bepaalt of de zin in het enkelvoud of in het meervoud staat. Als leerlingen onderstaand werkblad invullen, kan de docent in één oogopslag zien wat goed en wat fout gaat. Hij kan daar nog tijdens de les op reageren. De kinderen geven met een kruisje in de ja- of nee-kolom aan of het vetgedrukte woord in hoofdletters een persoonsvorm is of niet.

Reacties ontlokken aan leerlingen (fase 2), interpretatie door docent (fase 3) en communicatie met leerlingen (fase 4) gebeuren allemaal in een lesactiviteit van 10 tot 15 minuten.

<i>Werkblad Het herkennen van de persoonsvorm: Zijn de vetgedrukte werkwoordsvormen IN HOOFDLETTERS in de zin een persoonsvorm? Geef je antwoord door een kruisje X in de "ja" of "nee" kolom.</i>		
Zinnen	Ja	Nee
1 Een vrouw LOOPT in een vreemde stad.		
2 Ze MOET al een poosje heel nodig naar de wc.		
3 Een openbaar toilet is in geen velden of wegen te BEKENNEN .		
4 Als ze langs een rouwcentrum loopt, BESLUIT ze daar even van de wc gebruik te maken.		
Plenair moment		
5 Na afloop BEZOEKT ze nog even de rouwkamer.		
6 Daar ligt een oude man OPGEBAARD .		
7 De vrouw BIDT even voor de man.		
8 Ze schrijft haar naam in het gastenboek voor ze het rouwcentrum VERLAAT .		
Plenair moment		
9 Twee maanden later ONTVANGT de vrouw een brief.		
10 Daarin staat dat ze de hele erfenis van € 100.000 KRIJGT .		
11 De man bepaalde in zijn testament dat zijn vermogen VERDEELD moest worden onder de aanwezigen bij zijn uitvaart.		
12 Zij WAS de enige.		

Figuur 1.3 Een format voor snelle diagnose van grammatica (Meindersma, 2015).

Bron: *eenechtbroodje aap.nl*

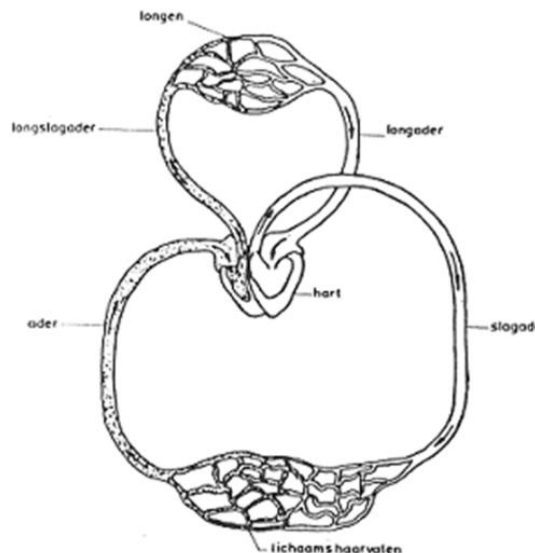
Vakdidactiek: De leerlingen kunnen het hele werkblad in één keer invullen, maar als ze dan iets consistent verkeerd doen, blijven ze dat in elk geval doen tot het moment van klassikale uitleg. Dat kan ook anders. De docent kan de oefening indelen in blokken door alleen de eerste vier opgaven te geven (bijvoorbeeld op het bord). Het eerste klassikale terugkoppelingsmoment is dan na die vier opgaven. Bij het tweede blokje van vier opgaven kunnen leerlingen laten zien in hoeverre ze het nu begrepen hebben. Op deze manier is beter begrip makkelijk inzichtelijk te maken. Er kunnen daarna nog enkele klassikale terugkoppelingsmomenten zijn, afhankelijk van ontdekte fouten. Leerlingen merken elke keer de verbetering. Als er meer oefening nodig is, kan de docent gemakkelijk enkele extra zinnen improviseren.

Algemene didactiek: Met deze duidelijke lay-out van een werkblad (of een digitale weergave) heeft de docent een format in handen waarmee hij binnen een minuut antwoorden van ongeveer tien leerlingen kan controleren. Bij veel correcte antwoorden laat de docent de leerlingen doorwerken of rondt hij de oefening af, omdat het leerdoel is bereikt. Als er veel fouten gemaakt worden, ziet hij in de antwoorden *wat* er niet goed gaat. Hij geeft dan klassikaal een korte uitleg en de oefening gaat verder. De docent gaat opnieuw rond om te zien of het nu beter gaat. Wanneer er weinig fouten worden gemaakt, is klassikale uitleg overbodig of zelfs storend. De docent kan dan individueel assisteren of gebruikmaken van *peer teaching*, waarbij de leerlingen elkaar helpen. Andere grammaticaopgaven passen ook goed in dit format, maar er zijn natuurlijk ook andere werkvormen (hoofdstuk 2).

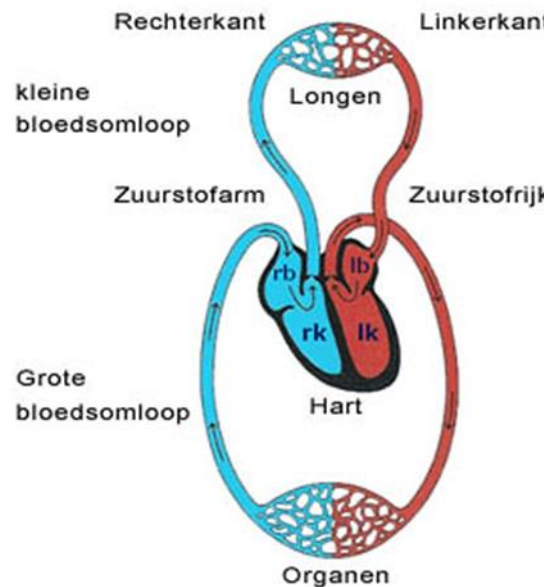
Als er geen verbetering optreedt, zal de docent een andere uitleg moeten proberen. Met de formatieve evaluatie ontdekt de docent wat wel en wat niet werkt. Deze methode genereert vakdidactische kennis. Natuurlijk duurt deze oefening niet een hele les. Na vijftien minuten kiest de docent een andere werkvorm. Wel kan hij een paar weken later de oefening herhalen om te zien of leerlingen het nog kunnen.

1.5 Snelle diagnose en feedback met diagrammen

Diagrammen zijn een handig antwoordformat om in een oogopslag fouten te diagnosticeren. In het volgende voorbeeld staat een vraag over de bloedsomloop met een handige antwoordvorm (figuur 1.4). Een typisch leerboekplaatje (figuur 1.5) kan echter leiden tot misvattingen (figuur 1.6), die we met een iets anders ontworpen vraag en figuur (1.7 & 1.8) ontdekken.



Figuur 1.4 Bloedsomloop: leerlingen geven met pijlen en kleuren de richting en het zuurstofgehalte van de bloedstroom weer.



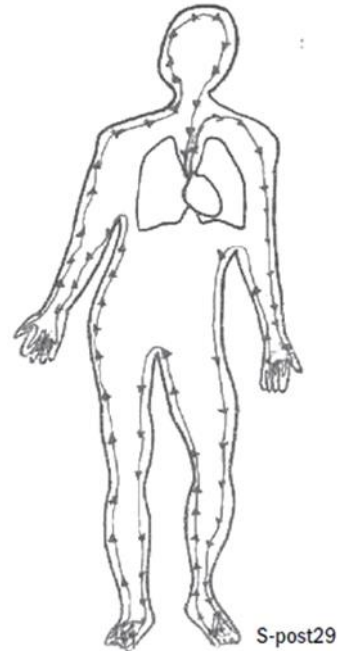
Figuur 1.5 Typische boekillustratie van de bloedsomloop (Wikipedia) als bedoeld antwoord op figuur 1.4.



Figuur 1.6 Gestileerde weergave van foute leerling interpretaties in figuren 7 en 8.



Figuur 1.7 Foutieve weergave van bloedsomloop door leerling.



Figuur 1.8 Weergave van de bloedsomloop als lineaire keten door een andere leerling.

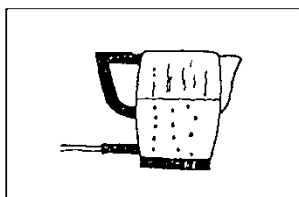
Vakdidactiek: Na een les over bloedsomloop kan de docent met een begripsvraag snel controleren of de basisinformatie goed is begrepen. In figuur 1.4 moeten leerlingen met een pijl de richting van de bloedstroom aangeven en met de kleuren blauw (zuurstofarm) of rood (zuurstofrijk) het zuurstofgehalte in het bloed aangeven. Dit is een activiteit van één of twee minuten, waarna de docent direct weet of de leerlingen de lesstof begrepen hebben.

Deze weergave van de bloedsomloop kan echter leiden tot de misvatting, dat alleen het rechterdeel van het lichaam (links in figuur 1.6) zuurstofarm bloed zou krijgen. Die misvatting kan gecorrigeerd worden door figuur 1.6 op de beamer zetten, leerlingen te vragen wat er mis is en samen na te gaan tot welke gezondheidsproblemen een dergelijke bloedsomloop zou kunnen leiden. Maar het kan ook gecorrigeerd worden door leerlingen individueel de bloedsomloop in het lichaam te laten tekenen (figuur 1.7 en 1.8), en klassikaal feedback te geven of door leerlingen in duo's elkaars tekeningen te laten bekritisieren.

Algemene didactiek: Misvattingen kunnen tijdens de les gemakkelijk en snel worden opgespoord met diagrammen. Populaire diagrammen uit leerboeken kunnen echter ook misvattingen veroorzaken. Daarom is het belangrijk om die fouten door middel van formatieve evaluatie tijdig op te sporen en te remediëren.

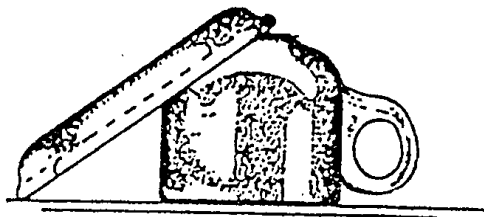
1.6 Snelle diagnose en feedback met meerkeuzevragen

Met meerkeuzevragen kan een docent heel snel fouten diagnosticeren. Voor alle vakken zijn diagnostische toetsen beschikbaar waarin de meest voorkomende fouten al verwerkt zijn. De docent zet een typische meerkeuzebegripsvraag op de beamer of het bord (figuur 1.9a). De leerlingen kiezen individueel een antwoord door een A, B, C of D groot in hun schrift te schrijven, door hand of gekleurde kaartjes op te steken of door digitaal te stemmen met hun telefoon (*Socrative*, *Plickers*, *GoFormative*). Zij beargumenteren het antwoord vervolgens in hun schrift. De docent inventariseert klassikaal of loopt rond en bekijkt de antwoorden. Als de resultaten tegenvallen, volgt discussie in tweetallen of kleine groepjes. Als er veel variatie is in de antwoorden, kan er heftige discussie zijn. Dan ontstaat er *peer teaching*, waarbij leerlingen elkaar spontaan uitleg geven en helpen bij het ontwikkelen van begrip. De docent gaat rond, luistert, praat met groepjes en kan de discussie desgewenst klassikaal maken. Ten slotte kan met een parallelvraag (figuur 1.9b) gekeken worden of de discussies tot verbetering hebben geleid. Eric Mazur (1997) van Harvard gebruikt deze methode in het hoger onderwijs met klassen van twee- tot driehonderd studenten. Na een korte uitleg van een nieuw begrip (of een huiswerkopdracht) volgt een meerkeuzevraag, een *concept check*. Als die matig of slecht gemaakt wordt, gaan studenten met elkaar in discussie (*peer teaching*). Vervolgens is er een tweede *concept check*, een parallel vraag, waarmee gecheckt wordt of er verbetering is opgetreden.



Figuur 1.9a Wanneer water kookt, ontstaan er grote bellen in het water. Waar bestaan die uit?

- A. lucht
- B. warmte
- C. stoom
- D. zuurstof en waterstof



Figuur 1.9b Een natte schotel op de aanrecht is na een tijdje droog. Wat is er met het water gebeurd?

- A. Het is in de schotel gegaan.
- B. Het is opgedroogd en bestaat niet meer.
- C. Het is veranderd in zuurstof en water in de lucht.
- D. Het is de lucht in gegaan als kleine stukjes water.

De meerkeuzevoorbeelden van figuur 1.9a en 1.9b zijn in leerlingentaal geformuleerd. De alternatieven in de meerkeuzevraag komen uit interviews met leerlingen in een Nieuw-Zeelands onderzoek van Osborne en Cosgrove (1982). Zij onderzochten de ideeën van tieners en volwassenen over faseveranderingen zoals verdampen en condenseren. Het gewenste antwoord in de vraag van figuur 1.9a is stoom (water in gasvorm), maar waterstof en zuurstof is een populair antwoord, zelfs onder tweede- en derdejaars studenten in bètavakken. Onze wereld zou er heel anders uitzien als water inderdaad zo gemakkelijk zou splitsen in zuurstof en waterstof.

Vakdidactiek: In een onderwijsleergesprek kunnen docent en leerlingen in discussie gaan over goede en foute antwoorden. Zij kunnen zelfs bespreken hoe je experimenteel het verschil tussen de antwoorden in figuur 1.9a kunt vaststellen. Bijvoorbeeld: zuurstof en waterstof zijn brandbaar, stoom niet. Een vervolgonderzoek kan duidelijkheid brengen. In hogere klassen kan de docent ingaan op de bindingsenergie van water die veel groter is dan de beschikbare thermische energie bij het kookpunt.

Algemene didactiek: Meerkeuzevragen zijn heel handig en voor elk vak bestaan er diagnostische toetsen waaruit losse onderdelen gebruikt kunnen worden. Het nadeel van meerkeuzevragen is echter dat er geen ruimte is voor onverwachte antwoorden en gedachtenkronkels van leerlingen, die je daardoor dus niet opmerkt.

Bij meerkeuzevragen kunnen leerlingen hun antwoorden groot in een schrift schrijven (voor een rondlopende docent) of zij kunnen antwoord geven via stemming met gekleurde kaartjes of met hun telefoons. In het laatste geval krijgt de docent statistieken van antwoorden op het scherm. Dat geeft snel overzicht over het percentage correcte antwoorden, maar interessanter is hoe vaak elk van de foute alternatieven worden gekozen, want dat geeft aanwijzingen voor remediëring. Veel leerdoelen kunnen met meerkeuzevragen worden getoetst. Het formuleren van parallelle *concept checks* blijkt in de praktijk nog best lastig.

1.7 Voorkennis en vaardigheden corrigeren met concept checks

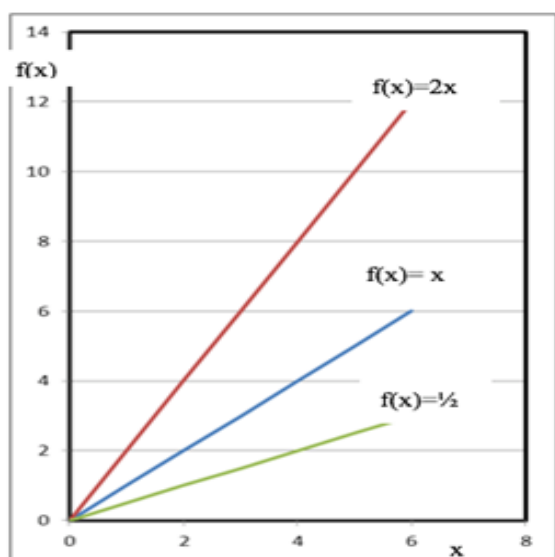
In deze paragraaf geven we een voorbeeld formatieve evaluatie voor de vakken wiskunde, natuurwetenschappen, techniek of economie. De formatieve evaluatie laat zien of de leerlingen bekend veronderstelde kennis paraat hebben voor toepassing. De meting kost een paar minuten, tenzij de leerlingen het onderwerp echt niet (meer) beheersen en extra oefening nodig is. Die extra oefening kan heel efficiënt gedaan worden door een klassikale serie van *concept checks*.

Stel dat de docent snel wil zien of leerlingen voldoende kennis en vaardigheden hebben met betrekking tot grafieken om daar vervolgens gebruik van te maken in een opgave of activiteit. Dit voorbeeld gaat over rechte lijnen, maar de opdracht kan ook gedaan worden met andere grafieken en functies.

Docent: *Teken een simpel assenstelsel in je schrift en schets de grafiek $f(x) = x$. Gebruik gelijke eenheden op beide assen.*

De docent schetst als voorbeeld een assenstelsel op het bord, om te voorkomen dat leerlingen te veel tijd steken in het assenstelsel en te weinig in de grafiek zelf.

Vakdidactiek: Direct na de instructie loopt de docent de klas rond om te controleren of iedere leerling bezig is en geen tijd verknooit aan het mooi maken van een coördinatensysteem en zo de eigenlijke taak vermijdt. Vervolgens kijkt de docent of ze inderdaad een rechte lijn onder 45 graden met de x-as tekenen (figuur 1.10). Als er veel fouten gemaakt worden, kan de docent klassikaal kort een voorbeeld geven, waarin hij laat zien hoe je van de eerste twee kolommen in figuur 1.11 tot de grafiek in figuur 1.10 komt.



Figuur 1.10 Grafieken als bedoeld

x	$f(x)=x$	$f(x)=2x$	$f(x)=\frac{1}{2}x$
0	0	0	0
1	1	2	$\frac{1}{2}$
2	2	4	1
3	3	6	$1\frac{1}{2}$
4	4	8	2
6	6	12	3

Figuur 1.11 Tabel ter ondersteuning bij het tekenen van de grafiek

Docent: *Schets nu in dezelfde figuur de grafiek van $f(x) = 2x$. Een schets is voldoende, het is niet nodig precies te meten.*

Vakdidactiek: Terwijl de leerlingen bezig zijn, loopt de docent weer door de klas en ziet in één oogopslag of een leerling een steilere of minder steile grafiek tekent vergeleken met $f(x) = x$. De docent heeft zelfs tijd voor korte individuele interviews met één of twee leerlingen. Die interviews kunnen in minder dan een halve minuut uiterst nuttige informatie opleveren voor een klassikale reactie op fouten. Leerlingen die al klaar zijn, kunnen hun antwoorden met die van hun burens vergelijken, meestal doen ze dat spontaan al. De docent kan eventueel direct klassikaal kort ingaan op veel gemaakte fouten en de redenering daarachter.

Docent: *Schets nu in dezelfde figuur de grafiek van $f(x) = \frac{1}{2}x$.*

Vakdidactiek: Opnieuw loopt de docent rond en checkt in een minuut een stuk of vijftien leerlingen. Hier en daar vraagt hij een leerling met een fout antwoord om een toelichting. Weer volgt een plenaire reactie op veelvoorkomende fouten. Vervolgens is de opdracht om $f(x) = x - 5$ te schetsen, enzovoort. Deze herhaling van lineaire grafieken kan afgesloten worden met het algemene voorschrift voor een rechte lijn $f(x) = ax + b$ en de betekenis van de richtingscoëfficiënt a (steilheid) en de constante b (verschuiving van de grafiek).

Als bij de eerste opdrachten blijkt dat vrijwel alle leerlingen het goed doen, gaat de docent meteen over op de activiteit waarin de grafieken *gebruikt* worden. Als er daarentegen ernstige problemen blijken te zijn, dan is er extra oefening nodig voordat die eigenlijke activiteit kan beginnen. Die extra oefening kan plaatsvinden in de vorm van een nieuwe klassikale opgave, zelfstandig werken terwijl de docent rondloopt, of in de vorm van een onmiddellijke klassikale remediëring. Het is belangrijk dat de docent daadwerkelijk de klas rondgaat en niet aanneemt dat hij alle fouten van de leerlingen al kent. De korte interviews tijdens de rondgang zijn uiterst belangrijk en vormen een ideale voorbereiding op de plenaire uitleg. Bovendien zijn die interviews bij uitstek interessant: ze vormen het zout in de pap voor een docent én leerlingen merken dat de docent hen echt wil helpen.

Algemene didactiek: De kracht van de methode ligt in de snelle diagnose, gecombineerd met *onmiddellijke* individuele (interviewtje) en klassikale feedback. De oefening is geprogrammeerd in kleine stappen en het is gemakkelijk een stapje terug te zetten wanneer resultaten laten zien dat dat nodig is. Bedenk wel dat dit een herhalingsoefening is voor leerlingen die ooit al over lineaire grafieken hebben geleerd. Meer voorbeelden voor het vak wiskunde staan in hoofdstuk 9.

Er zijn enkele spelregels voor de uitvoering van een serie concept checks die samen een oefening vormen met steeds een cyclus van opgave, diagnose, klassikale feedback en volgende opgave:

1. Zodra de eerste opgave gegeven is, maakt de docent een rondje door de klas om te controleren of iedereen pen en papier heeft en meedoet. Als dat niet het geval is, dan treedt hij strikt op. Pas daarna gaat hij naar de resultaten kijken.
2. Als de docent bij het rondgaan in de klas onverwachte antwoorden tegenkomt, interviewt hij de leerling tien seconden; dit kan interessante vakdidactische kennis opleveren.
3. Soms geeft de docent bij de rondgang alvast individueel een zeer korte uitleg.
4. Als de docent meerdere opgaven achter elkaar geeft, zoals bij het grafiekenvoorbeeld (figuur 1.10 en 1.11), dan moet hij het tempo erin houden: snel opeenvolgende opgaven en korte, bondige plenaire uitleg over ontdekte fouten. Bij een langere uitleg slaat het proces dood.
5. Een docent die over de schouders van zijn leerlingen meekijkt, kan bedreigend overkomen. Het succes van de snelle feedbackmethode is gebaseerd op het *vertrouwen* dat de docent geïnteresseerd is in het denken van de leerling en dat hij de leerling naar betere prestaties wil leiden. De docent toont dus die interesse en laat weten dat formatieve evaluatie volledig los staat van cijfers.

In de dagelijkse lespraktijk voer je een *concept check* met 1 of 2 vragen/opgaven in enkele minuten uit, dan weet je hoe je verder moet met de les. Over een slim opgebouwde serie *concept checks* (grafiekenvoorbeeld) bedoeld voor diagnose én oefening, doe je 10 – 20 minuten.

1.8 Antwoorden op papier en/of digitaal

Veel docenten gebruiken digitale middelen als *Socrative*, *Plickers*, *Kahoot* of *Goformative* om te het controleren of leerlingen de leerstof begrepen hebben. Bij meerkeuzevragen krijgt de docent statistieken die hij na de les kan nakijken. Bij *Socrative* wordt met smartphones gestemd. Bij *Plickers* houden leerlingen een papier omhoog in verschillende standen die A, B, C of D aangeven. Elk papier heeft een unieke code die aan een leerling gekoppeld kan worden. De docent filmt de codes met een tablet vanaf zijn positie voor de klas, waarna het programma de beelden automatisch omzet in antwoordstatistiek, eventueel per leerling. Bij deze technieken blijft de docent voor de klas staan en is de antwoordvorm meerkeuze. De statistiek kan zo worden ingesteld dat de docent de frequenties van de **foute** opties te zien krijgt, want juist daarmee bepaalt hij de volgende stap in het onderwijsproces. Het is een veelvoorkomende fout dat docenten alleen op het aantal correcte antwoorden letten.

Er zijn ook nadelen aan digitale techniek. Niet iedere leerling heeft een (opgeladen) smartphone bij zich, waardoor vaak enkele leerlingen niet kunnen meedoen. Bovendien blijft een leraar vaak voor de klas staan en interpreteert hij de opbrengsten via het digibord of zijn eigen computer. Wanneer de docent *concept checks* op papier doet, moet hij wel de klas in om de antwoorden te bekijken. Een schets op papier, een diagram, markeren of onderstrepen, een grafiek of een andere snelle indeling laat in één oogopslag zien of het concept begrepen is. Al ziet de docent maar de resultaten van de helft van de leerlingen (tien tot vijftien leerlingen), dan geeft dat wel binnen een minuut een representatief beeld. Bovendien komt hij dan onverwachte antwoorden tegen, die hij bij meerkeuzevragen zou missen. Hij kan ook even tien of twintig seconden een snelle individuele toelichting horen van een leerling. Dat is vaak nuttig als voorbereiding op klassikale feedback én het toont de leerlingen dat ik me verantwoordelijk voel voor hun begripsontwikkeling. Hoe dat in de praktijk kan gaan, is mooi beschreven door Hein Bruijnesteijn (2015).

Een minder anonieme vorm is het gebruik van witte bordjes met viltstift. De leerlingen schetsen bijvoorbeeld een grafiek of diagram, of schrijven een chemische reactie of redenering op de bordjes, die een rol kunnen spelen in een klassikale discussie. De docent kan leerlingen dan een concrete vraag laten stellen over het bordje van een andere leerling. Dit leidt tot zeer waardevolle klassikale discussie.

Werken op papier vinden leerlingen vaak veiliger. Omdat zij dit individueel doen, geeft het waarschijnlijk een beter diagnostisch beeld, met name van de zwakkere leerlingen. Werken op bordjes is niet meer anoniem, maar publiek. Daardoor is het een goed middel bij groepswerk. Bovendien stimuleert deze werkvorm het redeneren.

1.9 Samenvatting

Samenvatting	
Kernideeën over formatieve evaluatie en feedback: • Formatieve evaluatie en kwaliteitsfeedback zijn cruciaal tijdens het leren en onderwijzen; • Het leren zelf kan gevolgd en gemonitord worden; • Het proces van formatieve evaluatie met feedback genereert bij de docent kennis over veel voorkomende begrips- en vaardigheidsproblemen; • Diagnose van begrips- en vaardigheidsproblemen kan gedaan worden tijdens de les met snelle formats; • <i>Peer teaching</i> is een effectief middel in het oplossen van individuele leerproblemen; • Resultaten van afsluitende 'toetsen' kunnen gebruikt formatief gebruikt worden.	Formatieve evaluatie en snelle feedback kan worden ingezet voor het: • meten/diagnosticeren van begrip, voorkennis en vaardigheden (formatief); • begrip opbouwen, stap-voor-stap met feedback; • inslijpen van vaardigheden met feedback; • klassikaal nagaan van beheersing (summatief); • uitleggen aan elkaar (<i>peer teaching</i>); • opbouwen van zelfvertrouwen; • toewerken naar een activerende werkvorm met begripsdiscussies in duo's of groepjes.
Voorbeelden van snelle formats zijn: • diagrammen • tekeningen, schetsen • grafieken en tabellen • korte-antwoord- of meerkeuzevragen • <i>concept cartoons</i> met meerkeuzevragen • ordeningstaken • korte invulvragen, zoals tussenkoppen aanbrengen in een tekst • markeer- of omcirkelvragen	Werkwijze voor klassikale <i>concept checks</i>: • Zorg dat elke leerling actief meedenkt en - doet; • Loop als docent rond en bekijk 10 – 15 leerlingantwoorden (of verzamel de antwoorden digitaal); • Soms: ga een kort gesprekje aan met een leerling die een 'afwijkend' antwoord geeft; • Soms: geef hier en daar wat individuele uitleg, terwijl andere leerlingen hun antwoorden vergelijken (<i>peer teaching</i>); • Geef klassikale feedback op de meest gemaakte fouten (kort en bondig) of ga over op andere verwerkingsvorm.
Vervolg van concept checks: a) Doorgaan met de les als blijkt dat de meeste leerlingen het gewenste antwoord geven. De enkele leerlingen die fouten hebben gemaakt, kunnen later ondersteuning krijgen van de docent of geholpen worden door een klasgenoot; b) Een korte klassikale uitleg geven om een fout/misconceptie te corrigeren, eventueel met een volgende <i>concept check</i> om het resultaat te controleren; c) Leerlingen in duo's of groepjes laten discussiëren (<i>peer teaching</i>), waarbij leerlingen elkaar aanvullen en corrigeren en de luisterende docent nog meer informatie op doet over de kennis en redeneringen van leerlingen. Dit levert rijke didactische kennis op. d) Een remediërende oefening geven voor in de klas of als huiswerk; e) Een demonstratieproef of mini-onderzoek starten om antwoorden te onderzoeken (figuur 1.9).	

2. Concept checks Nederlands en andere talen

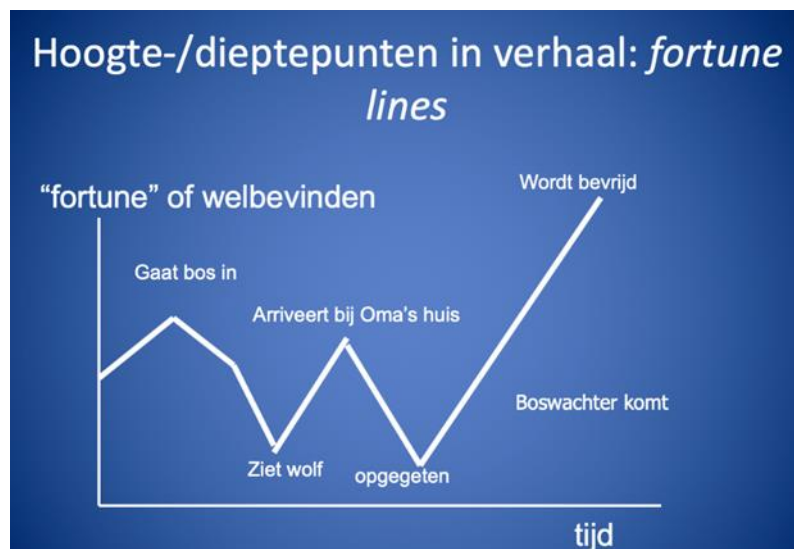
2.1 Fortune lines bij Nederlands

Ook bij literatuuronderwijs zijn er antwoordvormen te bedenken waarmee de docent heel snel begrip kan herkennen. De werkvorm die in deze paragraaf besproken wordt, behoeft wat oefening, maar is vervolgens bij veel verschillende onderwerpen/vakken te gebruiken.

Hoe en wat?

Bij een vak als literatuur moet begrip meestal blijken uit teksten van leerlingen (antwoorden op samenvattings- en verklaringsvragen). Het kost de docent veel tijd om die te lezen. Het begrip van leerlingen kan echter ook grafisch worden getoetst. Je kunt bijvoorbeeld het welbevinden (fortune) van een persoon uitzetten als functie van de tijd. Zo is in het sprookje van Roodkapje een aantal belangrijke momenten te markeren (White & Gunstone, 1992, p108):

1. Roodkapje gaat blij van huis.
2. Roodkapje gaat het bos in.
3. Roodkapje ontmoet de wolf.
4. Roodkapje vlucht voor de wolf.
5. Roodkapje arriveert bij oma's huis.
6. Roodkapje wordt opgegeten.
7. Roodkapje en oma worden bevrijd.



Figuur 2.1 Levenslijn roodkapje (White & Gunstone, 1992)

Vakdidactiek: Het welbevinden van Roodkapje kan weergegeven worden in een grafiek (figuur 2.1). De docent kan ook een perspectiefwisseling toepassen, waarbij de leerlingen het welbevinden van de grootmoeder of van de wolf moeten tekenen. Iemand die het sprookje en de grafiek begrijpt, komt hier goed uit. *Bovendien kan het heen en weer gaan tussen weergaven (tekst versus grafiek) en ook tussen perspectieven (roodkapje, wolf, oma) extra begrip opleveren.*

Natuurlijk is het sprookje wat kinderachtig maar dit soort grafieken kunnen leerlingen maken voor verschillende personages in romans. De grafieken meten het begrip van hoogtepunten en dieptepunten in een verhaal (fase 2), maar kunnen ook helpen om discussie over de roman te starten (fase 4).

2.2 Grammatica: woordsoorten benoemen

Leerlingen laten met verschillende kleuren het verschil tussen werkwoorden en zelfstandige naamwoorden zien. Naast het omcirkelen met bepaalde kleuren noteren ze ook het aantal werk- en zelfstandige naamwoorden. Op die manier kan de docent in enkele minuten zien of leerlingen werkwoorden en zelfstandige naamwoorden kunnen onderscheiden. Door klassikaal tussentijdse feedbackmomenten in te lassen, kunnen leerlingen leren van gemaakte fouten, feedback verwerken en zo hun groei zichtbaar maken.¹

Woordsoorten benoemen Opdracht: Omcirkel de werkwoorden met rood en de zelfstandige naamwoorden met blauw. Tel vervolgens hoeveel werkwoorden en zelfstandige naamwoorden je gevonden hebt.	
reis ver drink wijn denk na lach hard duik diep kom terug droom een boot in de zon geef hem zeilen en wind	Aantal werkwoorden 6 – 7 – 8 – 9 – 10 Aantal zelfstandige naamwoorden 3 – 4 – 5 – 6 – 7
Songtekst van: Spinvis, <u>tot ziens Justine Keller</u> (Kom terug)	
Klassikaal moment voor feedback	

Woordsoorten benoemen Opdracht: Omcirkel de werkwoorden met rood en de zelfstandige naamwoorden met blauw.	
gooi een steen naar de dag zo ver als je kunt spoel het zout van je huid doof het vuur volg het spoor dat er ligt zoek niet wat er nooit meer is was het zand uit je haar geef een naam aan ieder jaar drink de tranen op je hand ...	
Songtekst van Spinvis, <u>tot ziens Justine Keller</u> (Kom terug)	
Klassikaal moment voor feedback	

2.3 Grammatica: bijvoeglijke bijzin herkennen

Bevat de zin een beperkende of een uitbreidende bijvoeglijke bijzin? Leerlingen zetten een kruis in het juiste vakje en zetten de komma('s) op de juiste plek(ken). Ze gebruiken voor de komma's een opvallende kleur. Op die manier kan de docent in enkele minuten zien of leerlingen de beperkende en uitbreidende bijvoeglijke bijzin kunnen onderscheiden en de komma's correct kunnen plaatsen. Door klassikaal tussentijdse feedbackmomenten in te lassen, kunnen leerlingen leren van gemaakte fouten, feedback verwerken en zo hun groei zichtbaar maken.

¹ De voorbeelden in paragraaf 2.2 zijn van Yke Meindersma, vakddactica Nederlands aan de VU Amsterdam

Zinnen	Uitbreidende bijvoeglijke bijzin	Beperkende bijvoeglijke bijzin
Wielrenners die geen dopingverklaring hadden ondertekend mochten niet starten in de Tour de France.		
De zanger Jan Smit die me deze vriendelijke brief geschreven heeft viert deze week zijn verjaardag op Curaçao.		
Deze boete van zeventig euro wordt alleen opgelegd aan automobilisten die bij controle hun rijbewijs niet kunnen tonen.		
Koningin Noor van Jordanië die de vierde vrouw is van koning Hoessein brengt deze week een bezoek aan enkele Europese landen.		
De aanval van de Taliban-strijders die niet geheel onverwacht kwam werd zonder veel moeite afgeslagen.		
Klassikaal moment voor feedback		
Op deze walvissoort die al jaren met uitsterven bedreigd wordt wil Japan nu echt jacht gaan maken.		
De vestiging die het College in Kampen heeft krijgt elk jaar meer leerlingen.		
De neushoorn waarvan er in de jaren tachtig van de vorige eeuw nog slechts enkele duizenden waren doet het inmiddels weer beter.		
Hoewel Japan weer walvissen gaat vangen heeft het lang toegezegd niet te zullen blijven jagen op dieren die met uitsterven worden bedreigd.		
Alle schakers die bij de protestdemonstraties aanwezig waren verklaarden zich solidair met hun gearresteerde Russische ex-vakgenoot.		
Klassikaal moment voor feedback		

2.4 Tekstbegrip

Leerlingen krijgen de volgende opdracht: Welke woorden in de onderstaande tekst helpen je als lezer om vast te stellen dat je een betoog aan het lezen bent? Gebruik een marker om de zinnen te markeren en onderstreep de woorden die jou geholpen hebben.

Opdracht 1: Markeer de zin waarin het standpunt van de schrijfster staat met rood.

Opdracht 2: Markeer de argumenten waarmee de schrijfster haar standpunt onderbouwt met groen.

Opdracht 3: Omcirkel de alinea waarin de schrijfster een tegenargument weerlegt.

Opdracht 4: Markeer de zin die de conclusie van dit betoog is met blauw.

Door te werken met kleuren, onderstrepingen en cirkels kan de docent in korte tijd zien welke leerlingen standpunt, (tegen)argumenten en conclusies kunnen herkennen en markeren in de tekst.

Kinderreclame verbieden!

De stichting Mijn Kind Online wil reclame op kindersites verbieden. 'Adverteerders zoeken steeds slimmere manieren om hun producten te laten figureren in de sociale hangplekken van kinderen op internet', zegt de stichting Mijn Kind Online. Volgens de stichting is er te veel reclame verstopt in online spelletjes en communities. Het lijkt me echter geen goed idee om reclame op websites voor kinderen te verbieden.

Ten eerste, een verbod op kinderreclame houdt in dat er gecensureerd wordt. In Nederland geldt nog altijd vrijheid van meningsuiting en daar past het censureren van informatie niet bij.

Ten tweede, adverteerders zullen binnen de kortste keren een andere manier hebben gevonden om reclame te maken wanneer reclame op websites voor kinderen verboden is. Zo is het altijd nog geweest en zo zal het ook wel blijven. Reclamebureaus maken altijd dankbaar gebruik van de enorme budgetten die bedrijven beschikbaar stellen voor promotie en reclame.

Het zal ook wel bij een dergelijk verbod wel weer lukken iets nieuws te verzinnen.

Kinderen gaan hun identiteit verbinden aan merken, zeggen tegenstanders van kinderreclame. Maar het is onzin te denken dat we kinderen weg kunnen houden van reclame. Reclame is overal en kinderen moeten leren ermee om te gaan.

Kortom, het is waanzin te denken dat we de wereld reclamevrij kunnen maken. Kinderen groeien nu eenmaal op in een nieuwe tijd en daar hoort reclame bij. We moeten niet proberen dit aspect van de huidige maatschappij te verstoppen voor kinderen.

2.5 Drogredenen herkennen

Leerlingen omcirkelen de optie 'ja' of 'nee' en geven met een cijfer aan om welke drogreden het gaat. Op die manier kan de docent in enkele minuten zien of drogredenen herkennen en of ze ook de verschillende drogredenen kunnen onderscheiden.

Uitspraak	Wordt hier een drogreden gebruikt?	Zo ja, welke drogreden herken je? (nr. 1-9)
De huidige generatie jongeren is een pretparkgeneratie: een generatie van lust en overlast. (13 april '13 Aryan van de Ley)	ja/nee	
A: Sommige stimulerende middelen zouden van de dopinglijst moeten worden geschrapt. B: Jij vindt dus dat sporters hun gang maar kunnen gaan met het gebruiken van doping?	ja/nee	
Elsschot is zo'n goede schrijver, omdat hij zo goed schrijft.	ja/nee	
Twintig jaar ervaring in het onderwijs heeft me geleerd dat slechte leerlingen niet bestaan, slechte scholen wel.	ja/nee	
Iemand met twee echtscheidingen achter de rug zoals jij, hoeft mij niets over het huwelijk te vertellen.	ja/nee	
Sinds de uitvinding van de computer kan niemand meer rekenen.	ja/nee	
Interviewer: Maar het gaat toch maar om vijftien treintaxi's? Taxichauffeur: Vijftien. Moet je 's luisteren. Als je nu twee konijnen in een hok stopt, hoeveel heb je er dan over twee maanden?	ja/nee	

1	onjuist beroep op causaliteit (post hoc ergo propter hoc)
2	het maken van een verkeerde vergelijking
3	overhaaste generalisatie
4	autoriteitsargument
5	cirkelredenering
6	ontduiken van de bewijslast
7	vertekenen van het standpunt
8	het bespelen van het publiek
9	op de man spelen (argumentum ad hominem)

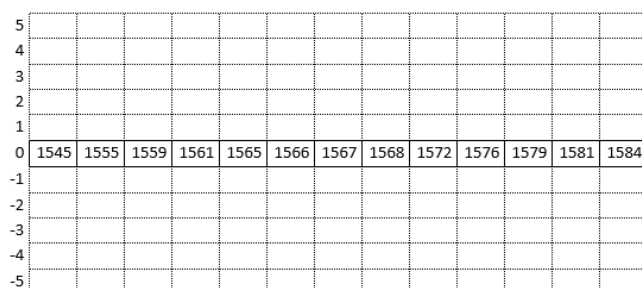
3. Concept checks geschiedenis

3.1 Fortune lines

De *fortune line* (2.1) kan ook toegepast worden bij het vak geschiedenis.

Hoe en wat?

Leerlingen evalueren het welbevinden van Willem van Oranje (en/of de hertog van Alva) bij elk van de gegeven gebeurtenissen en zetten kruisjes in figuur 3.1 op de schaal van +5 tot –5, groot welbevinden of geen enkel welbevinden. De horizontale as is een tijdbalk, de verticale as is een schaal van welbevinden.



Figuur 3.1 Levenslijn Willem van Oranje, in te vullen op grond van onderstaande gebeurtenissen in zijn leven.

Gebeurtenissen:

- 1545 Willem van Oranje krijgt samen met Filips II een opleiding en opvoeding in Brussel aan het hof van Karel V.
- 1555 Filips II wordt koning van Spanje en heer van de Nederlanden. Willem van Oranje is eregast bij de inhuldigingsplechtigheid en ondersteunt de moeilijk lopende vader van Filips: Karel V.
- 1559 Filips II verlaat de Nederlanden en gaat naar Spanje. Margaretha van Parma neemt het bestuur over. Filips benoemt Willem van Oranje tot stadhouder van Holland, Utrecht en Zeeland.
- 1561 Willem van Oranje stuurt een brief naar Filips waarin hij klaagt over de beperkte macht van de Nederlandse adel in het bestuur van de Nederlanden. In het antwoord van Filips II zegt de koning dat het allemaal wel goed komt. Hij geeft Willem zelfs toestemming om te trouwen met een protestantse vrouw.
- 1565 Posing van de Nederlandse adel, onder wie Willem van Oranje, om meer macht te krijgen in het bestuur mislukt. Filips II stuurt aan landvoogdes Margaretha van Parma een brief waarin hij aangeeft dat het bestuur in de Nederlanden blijft zoals het is. Hij schrijft verder dat Margaretha de protestanten harder moet aanpakken.
- 1566 De Beeldenstorm: Filips II is woedend en stuurt zijn leger onder leiding van de Hertog van Alva naar de Nederlanden. Ook Willem van Oranje veroordeelt de beeldenstorm, hij is voorstander van verdraagzaamheid tussen godsdiensten.
- 1567 Margaretha van Parma vraagt aan de edelen om een contract te tekenen waarin ze trouw beloven aan Filips II. Willem van Oranje weigert dit te doen. Als de Hertog van Alva in Brussel aankomt, vlucht Willem naar Duitsland en hij is geen stadhouder meer.

- 1568 Alva begint een harde vervolging van de protestanten en opstandelingen. Willem van Oranje probeert terug te vechten, maar dat mislukt. Begin Tachtigjarige Oorlog.
- 1572 De watergeuzen veroveren Den Briel en eisen de stad op voor Willem van Oranje. Holland en Zeeland benoemen Willem van Oranje weer tot stadhouder.
- 1576 Pacificatie van Gent: tot vreugde van Willem van Oranje besluiten de noordelijke en de zuidelijke gewesten samen de Spaanse troepen uit de Nederlanden te verdrijven.
- 1579 De zuidelijke gewesten besluiten Filips te steunen. Als reactie hierop gaan de noordelijk gewesten samenwerken: de Unie van Utrecht.
- 1581 Plakkaat van Verlatinghe: De noordelijke gewesten verklaren dat Filips II niet meer hun koning is en dat Willem van Oranje hun leider is.
- 1584 Willem van Oranje wordt in Delft door Balthasar Gérards vermoord. Maurits, de zoon van Willem van Oranje, wordt tot Prins van Oranje benoemd.

De tekst is afkomstig uit Actief Historisch Denken (de Vries et al., 2004).

Vakdidactiek: Het begrip van de leerlingen is af te lezen uit de grafiek. Daardoor kan de docent snel ontdekken welke punten de leerlingen nog niet begrijpen, zodat hij daar nog wat extra feedback op kan geven. Deze opdracht leent zich ook goed voor een discussie over interpretatie in kleine groepjes of klassikaal. In dat geval kan de docent vloeiend overgaan van formatieve evaluatie naar een groepsdiscussie. Formatieve evaluatie van begrip leidt vaak tot zinvolle discussies. Het is gemakkelijk andere voorbeelden te bedenken bij geschiedenis, bijvoorbeeld het verloop van conflicten (zie boven) en oorlogen met de mogelijkheid van perspectiefwisseling. De verticale as kan ook andere zaken meten, bijvoorbeeld de productiviteit van een schilder of schrijver in verschillende periodes uit zijn of haar leven.

Algemene didactiek: Slim bedachte weergaven zoals *fortune lines* kunnen even geoefend en vervolgens gebruikt worden voor diagnose van tekstbegrip (fase 2). Ze kunnen ook een start zijn om een zinvolle interpretatiediscussie door leerlingen op gang te brengen (fase 4) of juist een grafische samenvatting van een groepjesdiscussie zoals in het voorbeeld over het leven van Willem van Oranje.

3.2 Omcirkelen

Cirkels zijn snel gezet en snel gelezen. Het volgende voorbeeld komt ook uit *Actief historisch denken* (de Vries et al, 2004) en is een lesactiviteit waarin de docent snel resultaten kan zien (*embedded* formatieve evaluatie).

Instructies: Hieronder staan zes rijtjes met telkens vier personen, plaatsen of gebeurtenissen. Bepaal, samen met een klasgenoot, per rijtje welke persoon, plaats of gebeurtenis niet in het rijtje thuis hoort. Doe het zo:

- Maak eerst zelf een keuze.
- Vergelijk vervolgens je keuze met die van een klasgenoot.
- Maak vervolgens samen een definitieve keuze.
- Noteer waarom je voor deze persoon, plaats of gebeurtenis hebt gekozen.

Welke persoon, gebeurtenis of plaats hoort er niet bij?

- Karel V – Brussel – Centralisatie – Stadhouder
- Karel V – Centralisatie – Brussel – Edelen
- Landvoogd – Stadhouder – Paus – Koning
- Margaretha van Parma – Alva – Filips II – Landvoogd
- Hagenpreek – Filips II – Beeldenstorm – Alva
- Den Briel – Gewapende vluchtelingen – Alva – Watergeuzen

4. Concept checks aardwetenschappen

De aardwetenschappen gebruiken veel diagrammen en grafieken en hebben daarmee talloze mogelijkheden voor *concept checks* en snelle feedback. Enkele voorbeelden hier geven een aanzet voor het toepassen van formatieve evaluatie.

4.1 Pijlen zetten: convectiecellen

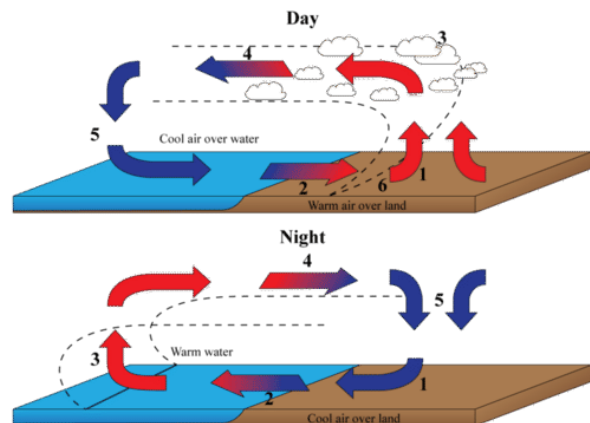
Verwarming veroorzaakt stroming van lucht (land- en zeewind), stroming van water (oceanstromingen) en zelfs stroming van materiaal in de aarde (platentektoniek).

Hoe en wat?

Gebruik de ruimte rond de afbeelding en teken met pijlen de richting waarin de lucht stroomt. Schrijf bij de pijlen een verklaring waarom de lucht op dat punt in een bepaalde richting stroomt, gebruik daarbij de woorden *warm/koud* en *dichtheid*.



*Figuur 4.1 Concept check: geef de circulatie van lucht naast en boven het vuur aan met pijlen en schrijf daarnaast wat er op dat punt met de lucht gebeurt. Gebruik o.a. de woorden *warm/koud* en *dichtheid*.*



Figuur 4.2 Een van de vele toepassingen van convectiecellen in aardwetenschappen. Andere voorbeelden zijn de Hadley cel voor convectie vanuit de evenaar en globale circulatie, oceanstromingen, convectiecellen onder de tektonische platen. Als de pijlen en tekst in bovenstaande figuur worden weggelaten, dan kun je die door leerlingen laten intekenen in een concept check.

Vakdidactiek: De pijlen zijn een snelle representatie, de docent ziet in een oogopslag wat een leerling ervan maakt. De toelichting is een langzame representatie, die dwingt de leerling tot verklaren en is brandstof voor discussie. Bij een rondgang door de klas kan de docent in een minuut de helft van de klas inspecteren op de pijlen en zelfs ook nog twee of drie verklaringen hebben gezien.

In plaats van vragen naar de abstracte convectie rond een vuur, kan de docent ook vragen naar een concreet geval van convectie in aardrijkskunde zoals bij land- en zeewind met als gewenste plaatjes de figuren in 4.2.

4.2 Intekenen van figuren: platentektoniek

In figuur 4.3 is een imaginair continent getekend van 1000 km breed en 2500 km lang. Een oceaanplaat schuift aan de oostkant (rechterkant van het continent) onder het continent. Geef met driehoekjes (Δ) aan waar je op dit continent gebergten vindt, geef met rondjes ($\otimes$) aan waar je vulkanen aan zult treffen, en geef met vierkantjes ($\square$) aan waar je op het continent uitgebreide rivierdelta's kunt aantreffen met eventueel moerasgebieden etc.



Figuur 4.3 Een imaginair continent waar vanaf rechts een oceaanplaat onder schuift.

5. Concept checks natuurwetenschappen

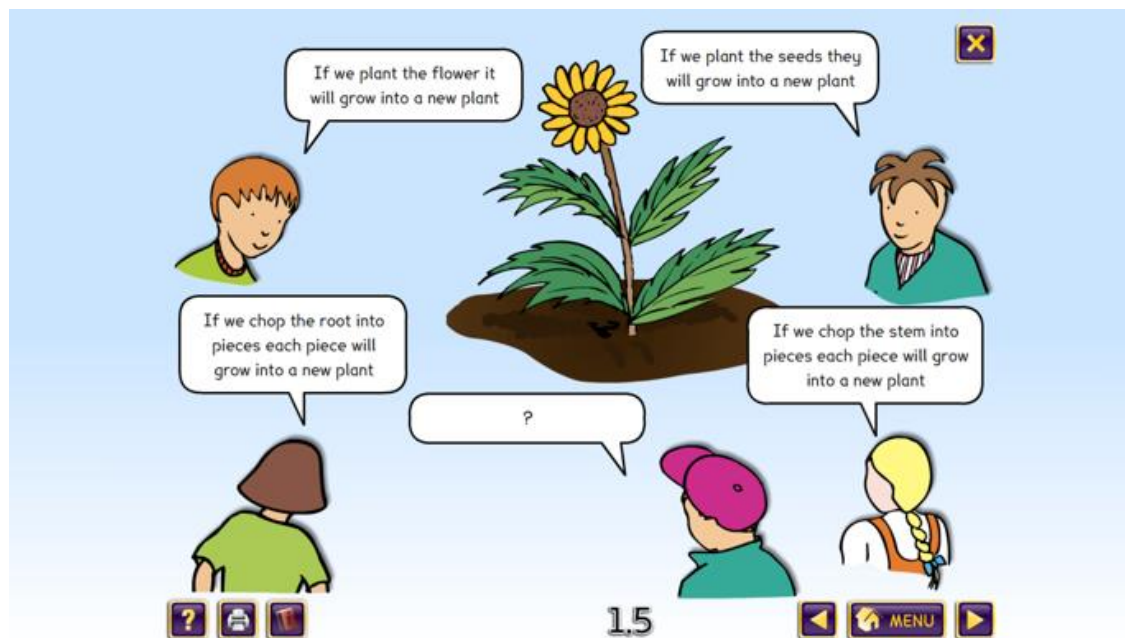
5.1 Concept cartoons

Concept cartoons worden veel gebruikt in bètavakken, maar er zijn ook mogelijkheden in alfa- en gammavakken. In een concept cartoon doen imaginaire leerlingen prikkelende en tegenstrijdige uitspraken over dagelijkse verschijnselen. Misconcepties en correcte uitspraken worden neutraal gepresenteerd (figuur 5.1) en zijn meestal afkomstig uit de praktijk en daardoor herkenbaar. Dit motiveert en nodigt uit tot discussie.

Vakdidactiek: De cartoons kunnen op drie manieren gebruikt worden:

- om voorkennis te inventariseren. De docent luistert en gaat na welke misconcepties er zijn, of laat leerlingen stemmen over de uitspraken;
- als oefening in redeneren. Leerlingen bespreken de cartoons in kleine groepjes en gebruiken hun ervaringen met het verschijnsel als bewijsmateriaal voor of tegen de uitspraken;
- als start van een onderzoek, om leerlingen de drempel naar het onderzoeken over te krijgen (Berg & Higler, 2011; Berg & Kruit, 2015).

Door de cartoons te bekijken en te bespreken worden leerlingen zich bewust van hun eigen denkbeelden en merken ze dat er ook andere denkbeelden en redeneringen zijn en dat zet aan tot denken. Rondlopend en luisterend krijgt de docent inzicht in de denkbeelden en redeneringen van leerlingen. Een klassikaal rondje stemmen over wie gelijk heeft, geeft snel formatieve informatie. Langzame formatieve informatie krijgt de docent door te luisteren bij een discussie of door groepjes naar redeneringen te vragen.



Figuur 5.1 Een biologie concept cartoon.

5.2 P(E)OE's

Predict-explain, observe-explain is een werkvorm of demonstratievorm in de natuurwetenschappen. Het is een werkvorm die veel informatie voor formatieve evaluatie kan opleveren die meteen gebruikt kan worden in het leerproces. In een situatie waar leerlingen denken te weten wat er gaat gebeuren, laat de docent ze voorspellen (P-predict), een redenering bij de voorspelling geven (E-Explain). Vervolgens wordt het experiment gedemonstreerd (O-observe) en moeten de observaties verklaard worden (E-explain). Er zijn veel P(E)OE's te vinden op internet, filmpjes ter illustratie hiervan met name op YouTube.

Het demonstratieboek van Liem (Liem, 1987) bevat ruim 400 demonstratie-experimenten voor natuurkunde, scheikunde en biologie die als PEOE zijn uit te voeren. De voorspellingen en redeneringen kunnen vaak in meerkeuzevragen worden geformuleerd, een snel format dus.

Bij veel verschijnselen komen leerlingen tot voorspellingen waar ze veel vertrouwen in hebben en die toch fout blijken te zijn. Onze intuïtie zit er regelmatig naast. Juist dan kunnen demonstraties extra motiverend en nuttig zijn. Het is daarbij wel belangrijk dat de docent het contrast tussen voorspelling en uitkomst optimaal benadrukt en probeert het denken van alle leerlingen te stimuleren in plaats van alleen het denken van een paar slimmeriken.

Hoe werkt de P(E)OE?

Alle leerlingen formuleren individueel hun verwachtingen/voorspellingen op papier met onderbouwing. Alle leerlingen observeren het resultaat van de demonstratie. Alle leerlingen denken mee met het oplossen van het verschil tussen voorspelling en observatie. Een voorspelling kun je alleen vragen bij demonstraties waarbij leerlingen zelf voorkennis hebben en denken dat ze wel weten wat er zal gebeuren. Daarom is niet elke demonstratie geschikt voor het P(E)OE-model.

Stap	Stappen in PEOE (algemeen)	Voorbeeld vallende stenen
1	Laat zien hoe je het experiment gaat uitvoeren of vraag "hoe kan ik onderzoeken of ...?" Kom dan met de leerlingen tot een opzet voor de demonstratie en zorg ervoor dat die duidelijk is voor alle leerlingen voordat ze gaan voorspellen.	<i>Ik (docent) heb twee stenen, een grote en een kleine. Hoe kan ik onderzoeken welke het snelste valt?</i>
2	Predict – Explain: Laat leerlingen <i>individueel</i> hun verwachting opschrijven (voorspellen wat er zal gebeuren) én de reden daarvoor. Dit kan gewoon in het schrift of op een speciaal werkblad. Het kan ook met meerkeuzevragen in www.socrative.com of www.plickers.com .	<i>Ik laat de stenen tegelijk vallen door mijn hand naar beneden weg te trekken (figuur 5.2). Schrijf op, welke steen het eerst de grond zal raken. Leg uit waarom je dat denkt. (kan ook in meerkeuzeformat).</i>
3	Een korte inventarisatie van verwachtingen. Het belangrijkste is dat leerlingen merken dat er verschillende voorspellingen zijn en meestal met een 'redelijke' argumentatie. Doordat ieder een voorspelling met reden heeft opgeschreven (of heeft gestemd op Socrative), kan elke willekeurige leerling gevraagd worden bij te dragen in de discussie in plaats van alleen vrijwilligers.	Inventarisatie van redenen voor de drie mogelijke voorspellingen (grote of kleine steen of gelijk). Resultaat van stemming en eventueel argumenten noteren op het bord.
4	Observe: Experiment, laat iedere leerling de eigen observatie opschrijven voordat er discussie is. Wanneer dit niet gebeurt, zullen leerlingen hun observaties 'aanpassen' zodra discussie start en worden verschillen in observatie niet duidelijk. Meestal is het mogelijk het experiment te herhalen totdat er overeenstemming is over de observatie of meting.	De docent gaat op de tafel staan met de twee stenen en laat ze vallen op het tafelloppervlak, of op een plankje op de grond dat goed herrie maakt. Iedereen luistert naar het resultaat. Eventueel 1 of 2 leerlingen er vlakbij om ook de ogen te gebruiken. Herhalen tot allen het eens zijn over het resultaat.
5	Explain: Leerlingen vragen onderling te overleggen (denken-delen-uitwisselen) over een verklaring van de observatie of meting. In de dan volgende klassikale discussie (stap 6) kan opnieuw aan elke leerling gevraagd worden bij te dragen.	Denken-delen-uitwisselen over de vraag of grootte iets te maken heeft met valsnelheid.
6	Klassikale discussie.	Klassikale discussie en conclusie dat grootte en zwaarte blijkbaar niets uitmaken. Zijn er voorbeelden van voorwerpen die niet gelijk de grond raken?
7	Noteren van complete uitleg op bord of verwijzing naar schrift.	Conclusie formuleren op bord.
8	Zijn er andere vergelijkbare verschijnselen die we nu ook kunnen verklaren?	Demonstratie voortzetten met voorwerpen waarbij luchtwrijving wel een rol speelt, bijvoorbeeld eerst een A4-papier, dan een prop, dan blad A4 boven op boek leggen en samen laten vallen. Zie figuur 5.3.

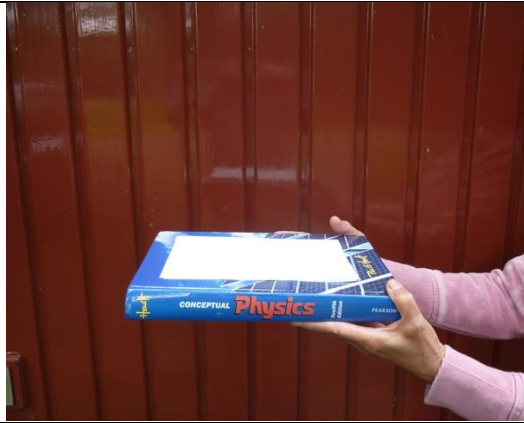
Figuur 5.2. Stappen in een Predict-Explain-Observe-Explain (PEOE) demonstratie.

Stappen

Stappen in P(E)OE (figuur 5.2) worden in geïllustreerd met het triviale voorbeeld van een grote en kleine vallende steen (figuur 5.3). Zowel de massa als het volume van de stenen zijn verschillend. Veel leerlingen (en hun ouders) verwachten dat een grote steen sneller zal vallen dan een kleine.



Figuur 5.3 Stap 2: Trek de hand snel naar onderen/opzij weg en de grote en kleine steen beginnen gelijk aan hun val.



Figuur 5.4 Stap 8: Boek en papier vallen even snel.

6. Concept checks biologie

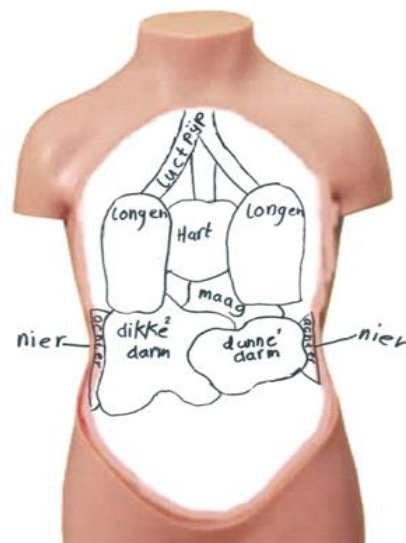
6.1 Anatomische tekeningen, basisonderwijs

Kinderen van 8 en 9 jaar kregen de opdracht de binnenkant van het lichaam te tekenen. De figuren 6.1 en 6.2 zijn daarvan het resultaat.

8
thymen
Hoe denk jij dat de binnenkant van je lichaam eruit ziet?



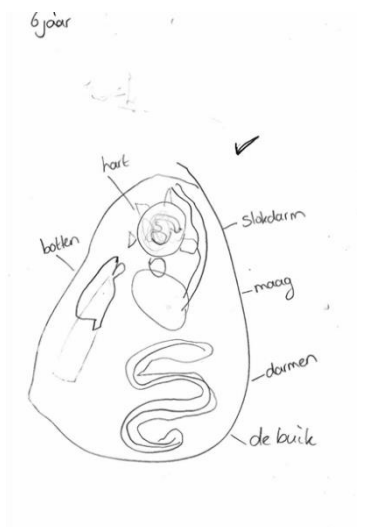
9jaar
Suzan
Hoe denk jij dat de binnenkant van je lichaam eruit ziet?



Figuur 6.1 Kindertekening 1

Figuur 6.2 Kindertekening 2

Kinderen van 6 en 7 jaar oud kregen de opdracht de spijsvertering te tekenen met als resultaat figuren 6.3 en 6.4. De tekeningen laten zien dat kinderen bepaald niet met lege hoofden naar een nieuw onderwerp komen. Er is al veel correcte en incorrecte voorkennis en die voorkennis, goed of fout, is het beginkapitaal voor de les.



*Figuur 6.3 Spijsvertering
leerling A*



*Figuur 6.4 Spijsvertering
leerling B*



*Figuur 6.5 Twee ideeën over hoe
een bevrucht kippenei er van
binnen uitziet.*

Er zijn ook heel interessante tekeningen van jonge kinderen over hoe een kip in een ei eruit zou zien. Collega's van de Pabo van de Hogeschool van Amsterdam hebben daar onderzoek naar gedaan (figuur 6.5).

6.2 Ordenen

Ordenen is een ander voorbeeld van concept checks waarbij de docent in korte tijd inzicht heeft in (ontbrekende) kennis en eventuele misconcepties bij leerlingen. Hieronder worden twee voorbeelden beschreven: ordening door middel van letters en ordening door middel van onderdelen van een voorwerp/object.

voorbeeld 1

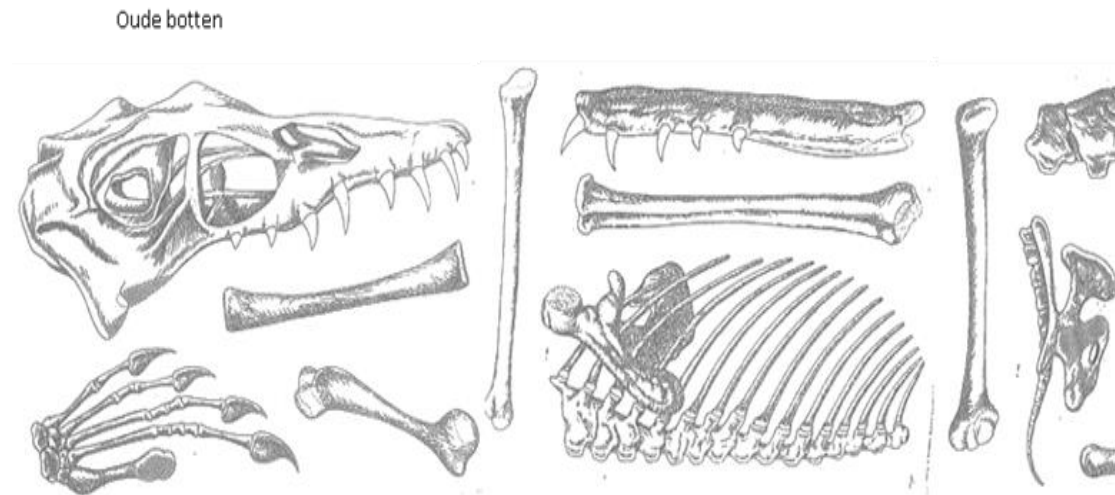
Orden de volgende onderdelen van klein naar groot:

- chromosoom
- DNA-molecuul
- spermacel
- koolstofatoom

Ook dit is een snel antwoordformat. Als de leerlingen hun antwoorden in grote letters in het schrift schrijven, dan kan de docent die in een oogwenk herkennen, bijvoorbeeld DBAC. In de biologie zijn er veel mogelijkheden om ordeningsvragen te stellen. Die kunnen ook leiden tot relevante discussies, bijvoorbeeld, valt een chromosoom samen met een DNA-molecuul?

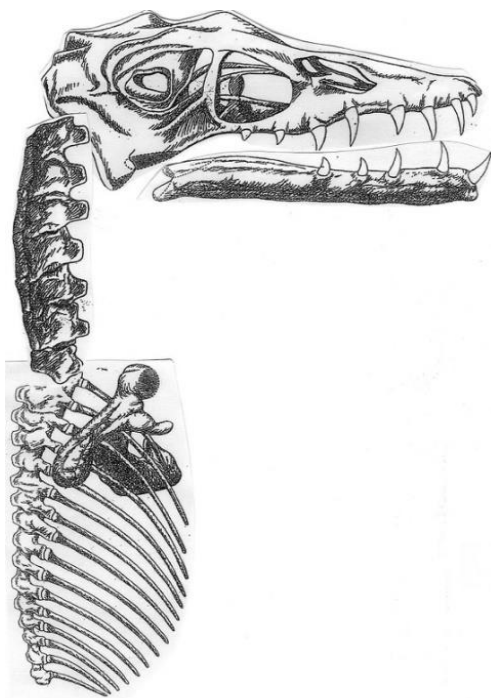
Voorbeeld 2

In de activiteit *bottenbeest* krijgen leerlingen botten (figuur 6.6) die een paleontoloog heeft gevonden. De opdracht is: construeer het oorspronkelijke beest en bedenk of het beest een vlieger, loper of zwemmer was, wat het at en in welke omgeving het geleefd kan hebben.

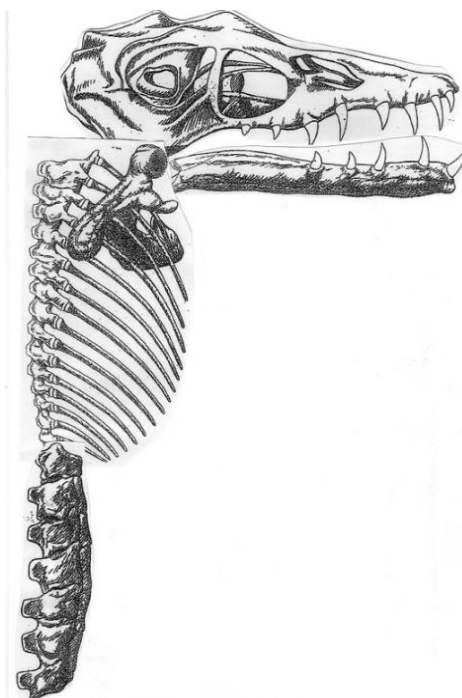


Figuur 6.6 Botten van het bottenbeest, afgedrukt op papier, dan uitgeknipt om het beest te construeren.

Uit de constructies die leerlingen maken, blijkt hun voorkennis. Die ligt letterlijk op tafel. Met kleine aanpassingen is deze activiteit bruikbaar van groep 6 tot de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Bij een observatie bleken leerlingen in groep 6 voor de ordening ook hun eigen botten en die van elkaar te controleren en op basis daarvan hun ordening aan te passen (figuur 6.8). Misschien was de eerste oplossing toch beter, maar dan met de bobbels naar achteren, er moet immers toch een nek zijn? Van het observeren bij dit soort activiteiten kan een docent ontzettend veel leren over de voorkennis en het redeneren van leerlingen. Overigens deden paleontologen er 100 jaar over om dit dier te reconstrueren, maar toen betrof het botten van verschillende dieren door elkaar en misten er botten.



Figuur 6.7 Eerste idee



Figuur 6.8 Idee na voelen van ruggengraat van ander kind.

7. Concept checks natuurkunde

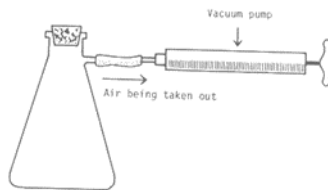
7.1 Teken: hoe ziet lucht eruit?

Het volgende voorbeeld komt uit het werk van Novick en Nussbaum (1980) en laat zien hoe een diagnose van een complex begrip de start kan zijn voor zinvolle klassikale discussie. Na een korte introductie over gassen geeft de docent de volgende opdracht.

Docent: Stel dat je een fles hebt die gevuld is met lucht (zie figuur 7.1). Teken de lucht in de fles.

Nadat leerlingen dit hebben gedaan, volgt de tweede taak.

Docent: Nu wordt met een pompje een deel van de lucht uit de fles gezogen. Daarna wordt de fles weer gesloten. Teken de lucht in de fles nadat er wat lucht uit de fles gezogen is.



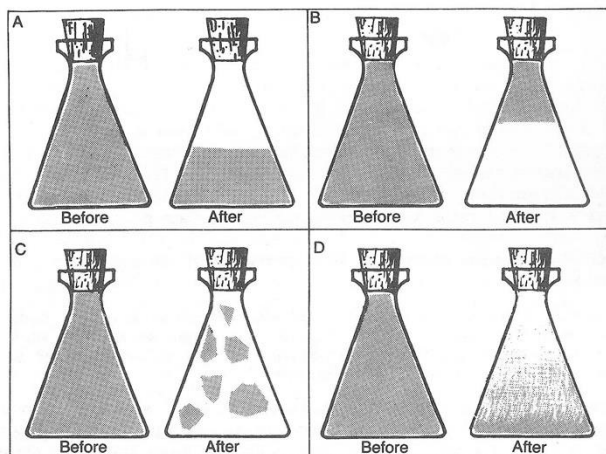
Figuur 7.1 Erlenmeyerfles met zuigslang.

Gedurende het tekenen loopt de docent door de klas en vraagt leerlingen om een toelichting bij hun tekeningen. De docent leert op die manier hoe leerlingen zich gasmoleculen voorstellen. Leerlingen die klaar zijn, bespreken intussen hun tekeningen met elkaar. Deze activiteit wordt plenair voortgezet met tekeningen op het bord en leerlingen die klassikaal hun voorstelling van luchtmoleculen en het effect van het wegzuigen van lucht uitleggen. De tekeningen in figuur 7.2 laten de verschillende manieren zien waarop leerlingen zich gasmoleculen voorstellen. De figuur komt uit een onderzoek met onderbouwleerlingen in diverse landen. De antwoorden zijn best verdedigbaar en logisch, maar ze wijken sterk af van het wetenschappelijke antwoord. Leerlingen zijn zich niet bewust van de enorme snelheden van moleculen waardoor elk gat onmiddellijk wordt opgevuld.

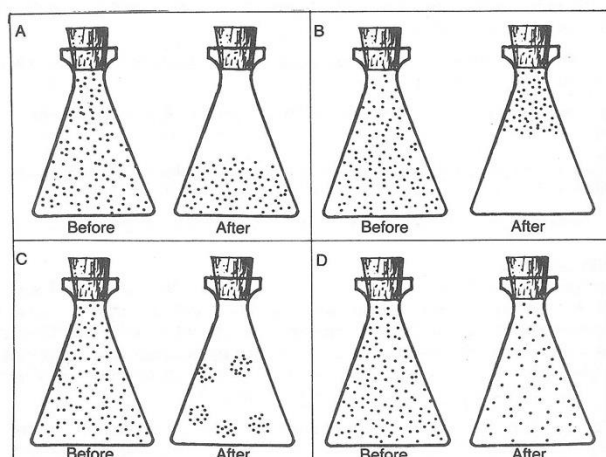
De docent analyseert de verschillende denkbeelden van de leerlingen aan de hand van de volgende vragen:

- Is materie continu of bestaat materie uit deeltjes?
- Wat is er tussen de deeltjes?
- Zijn de deeltjes in een gas geordend, of in een chaotische toestand?
- Hoe kun je de willekeurige beweging van gasdeeltjes weergeven?
- Hoe komt het dat deeltjes zich onmiddellijk verspreiden over lege ruimte?

De bovenste acht tekeningen zijn getekend door leerlingen die materie als continu lijken te beschouwen, terwijl de onderste acht tekeningen een duidelijk deeltjeskarakter laten zien.



a. First page: a continuous representation of air structure



b. Second page: a particulate representation of air structure

Figuur 7.2 Gasen en atomen volgens leerlingen

(Bron: Nussbaum, 1985)

Uiteraard moet de docent niet alleen weten hoe hij met deze tekeningen snel denkbeelden van leerlingen kan verzamelen. Hij moet ook verschillende manieren paraat hebben om gasdeeltjes te visualiseren. Een analogie kan zijn: de overeenkomsten en verschillen tussen gasdeeltjes in een fles en mensen in een grote disco. Als de leerlingen deze vraag in kleine groepjes bespreken, kan de docent meeluisteren. Hij kan vervolgens wat hij gehoord heeft, gebruiken om plenair te reageren op de denkbeelden van de leerlingen. De feedback werkt twee kanten op: de docent ziet hoe zijn les overkomt en kan snel reageren op de gedachten van de leerlingen, de leerlingen leren dat ze heel verschillende ideeën hebben en krijgen daar snel feedback op van medeleerlingen en van de docent.

Vakdidactiek: De deeltjes bewegen zo snel, honderden meters per seconde, en er zijn er zoveel van, dat elk gat onmiddellijk wordt opgevuld. Nussbaum en Novick (1982), Nussbaum (1985), en Vollebregt (1998) geven veel informatie over denkbeelden die leerlingen hebben over deeltjes en zij bieden passende klassenactiviteiten aan. Simulaties zoals PhET (<https://phet.colorado.edu/nl>) zijn nuttig voor visualisatie. Liems demonstratieboek (1987) heeft veel experimenten om lucht te onderzoeken met simpele proeven.

7.2 Diagnose, remediëring en inslijpen: krachten

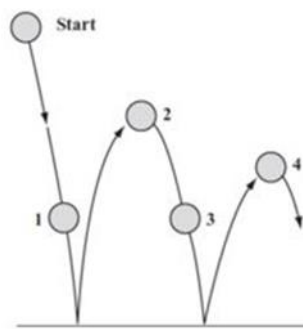
In dit voorbeeld staan hardnekkige misvattingen over krachten centraal. Dergelijke misvattingen zijn wijd verspreid onder leerlingen en lopen verrassend parallel met de geschiedenis van de natuurkunde van Aristoteles tot aan Newton. De gekozen onderwijsaanpak wil enerzijds die misvattingen diagnosticeren en ter discussie stellen en anderzijds de toepassing van juist begrip inslijpen door te oefenen met feedback. De krachtendiagrammen van Court (1999) hieronder zijn een uitwerking van deze aanpak.

Vakdidactiek: Leerlingen, en fysici voor Newton, halen voortdurend kracht en impuls door elkaar. Soms doen zelfs technici en natuurwetenschappers die beter moeten weten, dat ook. De juiste definities zijn:

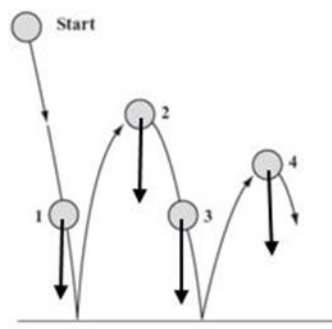
Een **kracht** is een interactie tussen twee objecten (kracht van voet op bal, voet en *bal* zijn de objecten).

Een **impuls** (mv) is de eigenschap van een object dat beweegt met een bepaalde massa m , een snelheid v , in een bepaalde richting.

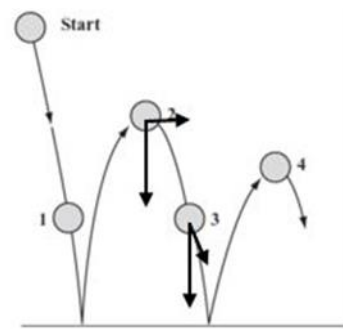
Het verschil wordt duidelijk in de volgende vraag: *Teken de krachten op een basketbal die stuitend wordt weggegooid in figuur 7.3 op de aangegeven posities.*



Figuur 7.3. Een basketbal stuitert op de vloer. Teken de krachten op de bal in posities 1,2,3 en 4



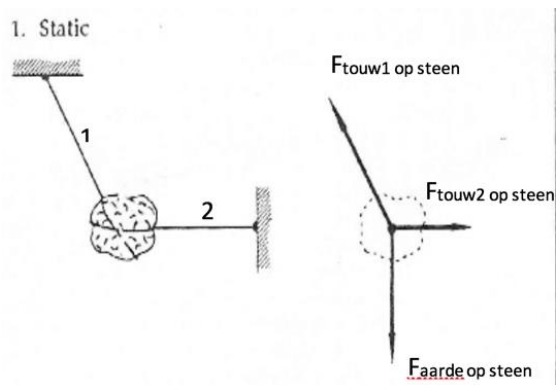
Figuur 7.3b Correcte oplossing, alleen de zwaartekracht van de aarde op de bal. Als luchtweerstand niet verwaarloosd wordt, dan is er ook een kleine pijl tegengesteld aan de bewegingsrichting



Figuur 7.3c Zeer populaire foute oplossing. Leerlingen (inclusief natuurkundestudenten) tekenen ook een kracht in de richting van de beweging, of tekenen zelfs alleen een pijl in de richting van de beweging.

De enige kracht op de bal is de zwaartekracht van de aarde ($F_{\text{aarde op bal}}$) en dat is een pijl loodrecht naar beneden. De meeste leerlingen, en zelfs veel tweede- en derdejaars studenten natuurkunde, tekenen ook een kracht in de richting van de beweging van de basketbal. Maar daar is geen oorzaak voor, ze tekenen de *impuls* van de bal, niet de *kracht* op de bal. Het kostte Newton jaren om onderscheid te maken tussen die twee begrippen en dat onderscheid luidde een grote stap voorwaarts in.

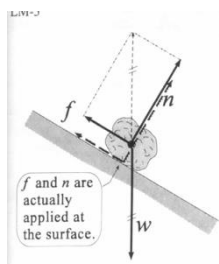
Klassikaal: We ontwikkelen eerst een handige representatie van krachten (figuur 7.4) die we vervolgens gebruiken in diagnose en oefening. Krachten kunnen worden weergegeven door een pijl die de grootte en richting van de kracht representeert. De krachten krijgen een label dat de oorzaak en het object van de kracht laat zien. In figuur 7.4 werken er drie krachten op de steen: $F_{\text{touw1 op steen}}$, $F_{\text{touw2 op steen}}$, en $F_{\text{aarde op steen}}$. We labelen die krachten op deze duidelijke manier opdat er geen verwarring is tussen oorzaak en object. Newtons reactiekracht van $F_{\text{touw1 op steen}}$ is $F_{\text{steen op touw1}}$ en die werkt dus op een ander object.



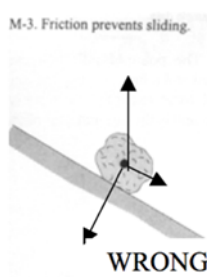
Figuur 7.4 Voorbeeld krachten tekenen.



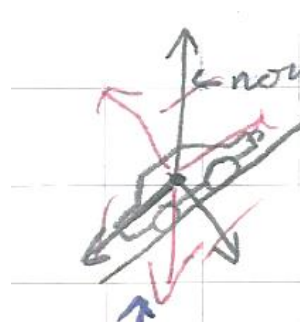
Figuur 7.5 De steen ligt stil, teken de krachten op de steen.



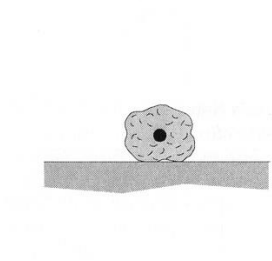
Figuur 7.6 De juiste oplossing, maar oorzaak en object moeten nog worden aangegeven.



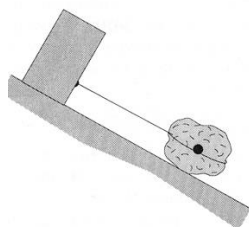
Figuur 7.7 Een populaire foute oplossing.



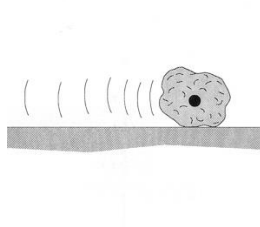
Figuur 7.8 Leerling diagram in zwart en correcties van de docent in rood



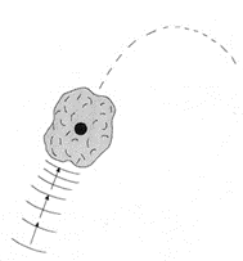
Figuur 7.9 Steen ligt stil.



Figuur 7.10 Steen ligt stil op helling.



Figuur 7.11 Steen met snelheid wordt geremd door wrijving.



Figuur 7.12 Steen wordt omhoog gegooid en is net los van de hand.

Individueel: Leerlingen krijgen een werkblad met tekeningen van situaties (bijvoorbeeld figuren 7.5-7.12) en moeten de krachten op het voorwerp tekenen. Het handigst is steeds een of twee opgaven aan te bieden en dan feedback te geven. Dan krijgt de leerling de kans om zich te verbeteren, want na elke feedbackronde kan hij laten zien dat hij het nu snapt. Figuur 7.5 toont een steen die op een hellend vlak ligt. Wrijving voorkomt dat de steen naar beneden glijdt. De docent gaat rond en herkent populaire fouten en geeft na elke een of twee opgaven plenair feedback. Toch is het ook hier belangrijk af en toe een leerling kort (1/2 minuut) individueel te ondervragen over afwijkende oplossingen. Zulke korte interviews zijn de beste oefening voor de latere plenaire bespreking.

Klassikaal: Twee krachtendiagrammen worden besproken, waarna de leerlingen weer individueel doorgaan met de oefeningen. Eerst statische situaties, dan dynamische met constante snelheid, dan dynamische met versnelling en ten slotte allerlei situaties door elkaar. Volg de methode van een serie *concept checks* in hoofdstuk 1 met steeds een of twee opgaven en dan klassikale feedback.

Tip: Knip de opgaven in strookjes en niet ze in een 'boekje'. Daarmee voorkom je dat leerlingen vooruitwerken, steeds dezelfde fout blijven maken en niet profiteren van de klassikale feedback.

Meer nuttige details over krachten tekenen en enkele vuistregels zijn te vinden in Van den Berg en Emmett (2007). Achtergronden bij typische misvattingen over krachten zijn gemakkelijk te vinden op internet. De krachtendiagrammen komen meestal aan de orde bij het onderwerp mechanica, maar kom er bij andere onderwerpen regelmatig op terug, want misvattingen over krachten zijn zeer hardnekkig.

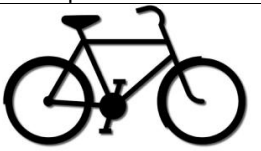
Algemene didactiek: Via diagrammen kun je als docent snel inzicht krijgen in ideeën van leerlingen. Soms moet je daarbij creatief een format vinden en inoefenen (zoals bij de *fortune lines* in hoofdstuk 2 en de suikeroplossing in hoofdstuk 8) en vervolgens kun je dat format gebruiken voor diagnose van leerproblemen. In de krachtenoefening hiervoor worden net als eerder bij de grammaticaoefeningen, niet alle opgaven van een werkblad tegelijk aangeboden. Steeds worden enkele opgaven afgewisseld met directe klassikale terugkoppeling. Onderweg kunnen leerlingen fouten corrigeren en aan het eind hebben zij en docenten het idee iets geleerd te hebben!

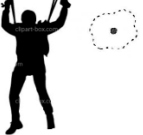
Paul Stoop en Martijn Steenbakkers van het Ignatius Gymnasium in Amsterdam ontwikkelden een *concept check* (figuur 7.13) die gebruikt kan worden voor (fiets) en na (parachute) een oefening over krachten. De vragen over de fiets worden gesteld aan het begin van de activiteit. Als er veel fouten zijn gemaakt, volgt remediëring met oefeningen. Ten slotte volgen de vragen over de parachute en kan worden vastgesteld of de remediëring effect heeft gehad of niet.

Voorbeeld

Teken **netto** kracht in de volgende situaties:

1. Check: fiets
 - a. Je fietst weg bij een stoplicht,
 - b. Daarna rijd je met een constante snelheid
 - c. Je remt af.
2. Check: Een parachutist
 - a. Is net gesprongen, parachute is nog niet open.
 - b. De parachute is net geopend
 - c. Is klaar voor de landing

Een fiets trekt op na een stoplicht. Teken de NETTO kracht op de fiets.	De fiets bereikt constante snelheid. Teken de NETTO kracht op de fiets.	De fiets remt af. Teken de NETTO kracht op de fiets.
		

Een parachutist springt uit een vliegtuig. Teken de NETTO kracht op de parachutist.	De parachute gaat open en de parachutist wordt afgeremd. Teken de NETTO kracht op de parachutist.	De parachutist zweeft met een constante snelheid naar beneden. Teken de NETTO kracht op de parachutist.
		

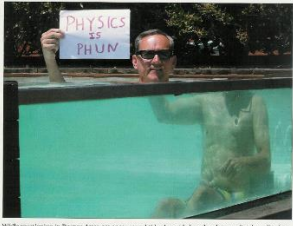
Figuur 7.13 Dubbele concept check, de fiets voor een oefening en uitleg met krachten, de parachute na de oefening.

7.3 Geometrische optica

De geometrische optica met al zijn diagrammen biedt veel gelegenheid voor diagnose met onmiddellijke feedback. Figuur 7.14 laat een opgave zien. De docent kan in een seconde zien of het antwoord correct is of welke fout wordt gemaakt en hij kan in een halve minuut meer dan de helft van de leerlingen controleren en dan beslissen of klassikale feedback nodig is. Opgaven als deze kunnen apart als formatief evaluatiemoment worden gegeven, maar ze kunnen ook worden ingebouwd in een gewone serie opgaven. Wanneer de meeste leerlingen hier voorbij zijn, kan de docent even rondlopen en diagnosticeren.

Concept check over breking

Photo of the Month



Opdracht: Schets de gang van de lichtstralen van de romp van de man (geel) naar het oog



oog

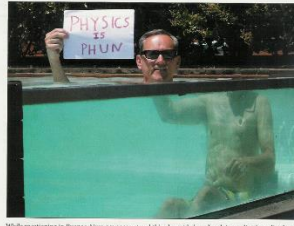
While vacationing in Buenos Aires, we encountered this glass-sided pool and immediately realized we had a terrific physics moment. The location of the man's torso below water appears to dramatically shift due to the refraction of light passing from water to glass to air.

Bruce Hingwerth
2010 Kutztown University
Physics 101, 12, 10010
halingwerth@kutztown.edu

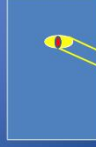
Figuur 7.14 Een opgave

Concept check over breking

Photo of the Month



Opdracht: Schets de gang van de lichtstralen van de romp van de man (geel) naar het oog



oog

While vacationing in Buenos Aires, we encountered this glass-sided pool and immediately realized we had a terrific physics moment. The location of the man's torso below water appears to dramatically shift due to the refraction of light passing from water to glass to air.

Bruce Hingwerth
2010 Kutztown University
Physics 101, 12, 10010
halingwerth@kutztown.edu

Figuur 7.15 Een oplossing

Veel leerlingen blijken het beeld op de spiegel te tekenen in plaats van erachter.

8. Concept checks scheikunde

8.1 Inoefenen van een vaardigheid

Formatieve evaluatie met directe feedback kan ook gebruikt worden om een vaardigheid in te slijpen. Een voorbeeld van zo'n vaardigheid is het kloppend maken van chemische reactievergelijkingen. Daarbij gaat het erom dat er links en rechts steeds evenveel atomen van dezelfde soort staan, bijvoorbeeld links en rechts $2 \times \text{C}$ (koolstof) en $4 \times \text{O}$ (zuurstof) in opgave 1 van figuur 8.1. In scheikundige reacties geldt het behoud van atomen. Atomen kunnen van partner wisselen, maar kunnen niet veranderen in een ander element. Dat kan alleen in geval van radioactiviteit, maar dat zijn natuurkundige reacties.

Een opmerking vooraf: Laat in de lay-out voldoende ruimte over om coëfficiënten groot in te vullen, zodat de docent die snel kan herkennen in de antwoorden van leerlingen.

1. $\text{CO(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO}_2\text{(g)}$
2. $\text{N}_2\text{O}_5\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{HNO}_3\text{(aq)}$
3. $\text{PCl}_5\text{(l)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4\text{(aq)} + \text{HCl(aq)}$
4. $\text{CH}_4\text{(g)} + \text{Br}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CBr}_4\text{(l)} + \text{HBr(g)}$
5. $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{(l)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)}$

Met als bedoelde antwoorden:

1. $2\text{CO(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{CO}_2\text{(g)}$
2. $\text{N}_2\text{O}_5\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow 2\text{HNO}_3\text{(aq)}$
3. $\text{PCl}_5\text{(l)} + 4\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4\text{(aq)} + 5\text{HCl(aq)}$
4. $\text{CH}_4\text{(g)} + 4\text{Br}_2\text{(g)} \rightarrow \text{CBr}_4\text{(l)} + 4\text{HBr(g)}$
5. $2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{(l)} + 13\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 10\text{CO}_2\text{(g)} + 10\text{H}_2\text{O(l)}$

Figuur 8.1 Kloppend maken van scheikunde reactievergelijkingen.

Bron: H. Westbroek, VU Amsterdam

Vakdidactiek: Bij het oefenen met chemische reactievergelijkingen is het ook belangrijk om de opgaven niet in één keer als werkblad achter elkaar te doen. Laat de opgaven één voor één beantwoorden of gegroepeerd in groepjes van twee of drie opgaven met tussentijdse feedback. De opgaven kunnen op het bord of scherm worden getoond, met na elke één of twee opgaven feedback, totdat de meeste leerlingen geen fouten meer maken. De resterende leerlingen kunnen assistentie krijgen via *peer teaching* of door individuele uitleg van de docent nadat de andere leerlingen aan een grotere opdracht zijn gezet.

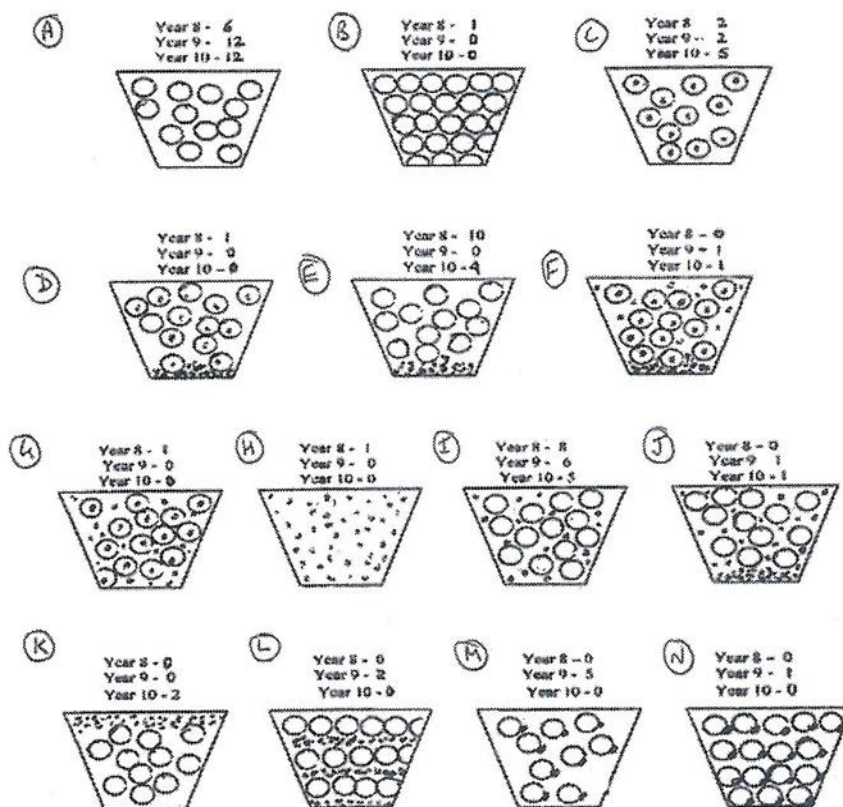
Algemene didactiek: Soortgelijke oefeningen in vaardigheden zijn mogelijk voor allerlei onderwerpen in alle vakken. De tussentijdse feedback is cruciaal om de resultaten, het zelfvertrouwen en de motivatie van leerlingen te verbeteren.

Andere voorbeelden op het gebied van scheikunde zijn:

- 1 structuurformules van moleculen tekenen;
- 2 chemische naamgeving bij gegeven structuurformules en omgekeerd;
- 3 Lewis-structuren tekenen voor de elektronenverdeling;
- 4 elektronenconfiguraties van elementen tekenen;
- 5 opstellen van reactievergelijkingen;
- 6 grafiekopgaven maken rond reactiesnelheden en chemisch evenwicht;
- 7 rekenopgaven uitveren met stoichiometrie met een handige lay-out, of uitwerkingen met een fout erin geven en als opdracht: markeer de fout.

8.2 De kracht van ad hoc weergaven

Een Australische docente wilde weten hoe leerlingen zich een suikeroplossing voorstelden (Loughran et al, 2012, p. 43-44). Ze tekende een diagram met een glas water en suiker die werd toegevoegd. Ze vroeg de leerlingen zich voor te stellen dat ze heel klein waren en dat ze in het glas de water- en suikermoleculen konden zien. Hoe zou dat eruitzien als ze zich voorstelden dat watermoleculen grote cirkels waren en suikermoleculen kleine cirkels? De leerlingen kwamen met tekeningen als in figuur 8.2.



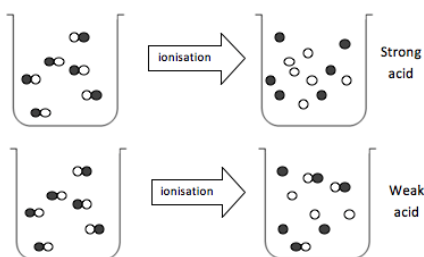
NB. Large circles represent water particles and small circles represent sugar particles.

Figuur 8.2 Leerlingen representeren water- en suikermoleculen met grote en kleine cirkels in een oplossing van suiker en water (Bron: Loughran et al, 2012, p. 44).

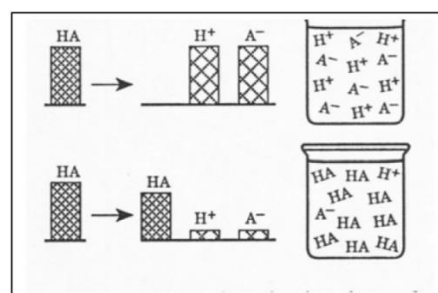
Deze formatieve vraag werd afgenomen in de leerjaren 8, 9 en 10, die corresponderen met onze klas 2 – 4 van het voortgezet onderwijs. Antwoorden werden geclassificeerd in modellen A t/m N. Veel leerlingen tekenden modellen met een duidelijke scheiding van suiker en water, bijvoorbeeld D, E, F, J, K, L terwijl de suiker in een goede oplossing overal zit. De leerlingen hebben dus onverwachte denkbelden, wat nuttig is voor discussies over hoe oplossingen er op atomaire en moleculaire schaal uit zien.

Achteraf vond de docente de keuze voor de weergave in grote en kleine cirkels ongelukkig, ook al omdat suikermoleculen veel groter zijn dan watermoleculen. Het zou handiger geweest zijn als de docent opdracht had gegeven cirkels te tekenen voor water en driehoekjes voor suiker.

Dit soort weergaven zijn ook gebruikt om zwakke en sterke zuren weer te geven (figuren 8.3 en 8.4). Plaatjes in leerboeken kunnen inspireren tot formats waarmee je snel inzicht kunt krijgen in denkbeelden van leerlingen.



Figuur 8.3 Representatie van sterk en zwak zuur.



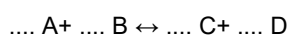
Figuur 8.4 Een andere representatie met ook de concentraties aangegeven.

8.3 Begrip meten met grafieken bij chemisch evenwicht

Ook scheikunde kent veel grafieken die het mogelijk maken begrip op allerlei niveaus te meten. Dit voorbeeld gaat over chemisch evenwicht. Bucat en Shand (1996) formuleerden een interessante opdracht voor chemisch evenwicht (figuur 8.6). De opdracht kan iets aangepast worden zodat de docent de antwoorden van leerlingen sneller kan beoordelen. Zie de nieuwe formulering bij figuur 8.5 en het antwoord in figuur 8.6.

De grafiek (figuur 8.5) betreft het volgende chemisch evenwicht: $aA + bB \leftrightarrow cC + dD$

1. Bepaal uit bijgaande grafieken van concentratie versus tijd de waarden van de coëfficiënten a, b, c en d en vul die groot en zichtbaar in in de volgende reactie vergelijking:



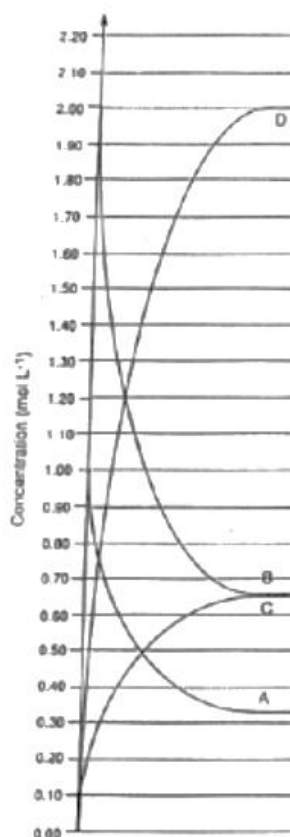
2. Wanneer de reactie in evenwicht is, wordt de helft van D weggehaald. Schets wat er gebeurt met de concentraties van A, B, C en D.

Antwoorden:

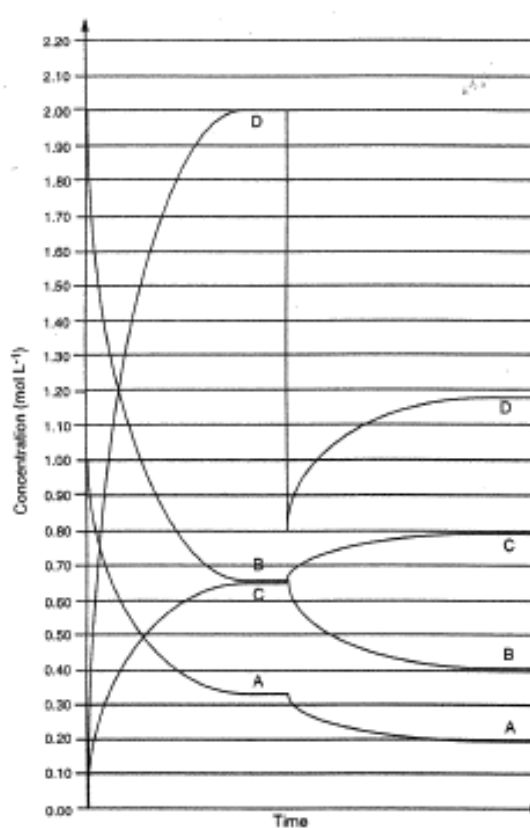
1. Op elk tijdstip is de concentratie van B $2\times$ de concentratie van A. Zie ook figuur 8.6. De concentratie van C gaat van 0 tot $2\times$ de concentratie van A. De concentratie van D gaat van 0 naar $3\times$ die van C en $6\times$ die van A. De uiteindelijk concentratie van D na de ingreep (figuur 8.6) is ook weer $6\times$ die van A.



2. Antwoord: zie figuur 8.6. Wanneer de helft van D wordt weggehaald, dan verschuift het evenwicht in de richting van C en D, naar rechts dus. De concentraties van A en B nemen verder af, de concentraties van C en D nemen toe tot er weer dezelfde verhouding van concentraties bereikt is als bij het eerdere evenwicht.



Figuur 8.5 Concentraties van stoffen A, B, C en D als functie van tijd in een evenwichtsreactie.



Figuur 8.6 De oorspronkelijke opgave van Bucat en Shand: De figuur laat de concentraties van stoffen A, B, C, en D zien als functie van de tijd voor en na het verwijderen van een deel van stof D. Schrijf alle informatie op wat je uit deze grafiek kunt afleiden.

9. Concept checks rekenen/wiskunde

In paragraaf 1.7 introduceerde we al een voorbeelden over aftrekken en lineaire grafieken. Het voorbeeld met grafieken is gemakkelijk te generaliseren naar allerlei andere grafieken zoals trigonometrische, polynomen, exponentiële en logaritmische grafieken. In deze paragraaf geven we twee rekenvoorbeelden en enkele wiskundevoorbeelden.

9.1 Rekenen

Voorbeeld 1

Figuur 9.1 laat twee problemen zien. Het eerste is dat de leerling een fout, maar populair algoritme gebruikt door tellers en noemers afzonderlijk op te tellen. Het tweede probleem is dat de leerling $3/9$ gelijk stelt aan 3. Wat kan de docent nu doen? Nog maar een keer het gelijknamig maken uitleggen en laten oefenen, maar het is ook belangrijk om te werken aan getalbegrip. Dat kan bijvoorbeeld door taartpunten te tekenen die $2/5$ en $1/4$ demonstreren. De oefeningen in optellen en aftrekken van breuken kunnen een voor een gedaan worden of met twee tegelijk. Na een of twee opgaven geeft de docent klassikaal feedback op basis van de fouten die hij heeft waargenomen terwijl hij door de klas liep. Dit gaat door tot er duidelijke verbeteringen zichtbaar zijn. Leerlingen die de vaardigheden al goed beheersen, kunnen verder gaan met andere wiskunde opdrachten of huiswerk.

$$\frac{2}{5} + \frac{1}{4} = \frac{3}{9} \text{ of } 3$$

(3)

Figuur 9.1 Veel voorkomende fout met breuken

Voorbeeld 2

Figuur 9.2 toont vier opgaven die werden gemaakt door een random steekproef van 367 leerlingen uit de tweede klas over de hele breedte van vmbo- tot vwo-niveau. Het resultaat staat in de kolom % correct. Bij de laatste twee opgaven (C en D) trad een probleem op dat typisch is voor opgaven waarin getallen met een ongelijk aantal decimalen worden vergeleken.

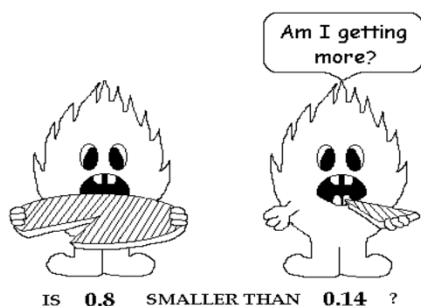
Opgave	Orden de volgende getallen van klein naar groot	% correct	Populaire foute antwoorden	% gekozen
A	6 9 5	97,4		
B	0,3 0,1 0,6	88,0		
C	0,55 0,8 0,14	16,3	I. 0,8 0,14 0,55 II. 0,55 0,14 0,8	68,9 11,2
D	0,438 0,4 0,44	3	I. 0,4 0,44 0,438 II. 0,438 0,44 0,4	84 9

Figuur 9.2 Problemen met ordening van decimale getallen

Bij opgaven als C en D in de internationale TIMSS-toets in Nederland en omringende landen gaf ongeveer 50% van de leerlingen het correcte antwoord.

Als de docent weet dat leerlingen moeite hebben met het ordenen van decimale getallen, dan kan hij dit soort opgaven inbouwen in de les. Hij kan dan nagaan of fouten I en II veel voorkomen of juist niet. Bij de fout I worden de getallen gerangschikt alsof de decimale komma er niet is. Bij fout II wordt de volgorde juist omgedraaid. De fouten I en II zijn systematische fouten, verkeerd ingeslepen algoritmen. De docent kan een verkeerde volgorde in een oogopslag ontdekken. Wat doet hij dan?

Vakdidactiek: Allereerst kan de docent vragen het aantal decimalen in alle getallen gelijk te maken door waar nodig nullen toe te voegen, dus 0,55, 0,14 en 0,80. Dan zijn het allemaal honderdsten ($55/100$, $14/100$, $80/100$) en zullen leerlingen die fout I maakten tot een correcte volgorde komen. Dit is een recept dat slaafs gevolgd kan worden (een algoritme), maar de docent wil natuurlijk dat de leerlingen een beter inzicht in de grootte van getallen krijgen. Dat kan door de getallen als taartpunten te laten tekenen en dan te vergelijken (figuur 9.3). Die taartpunten kunnen trouwens ook worden gebruikt als een snelle vorm van diagnostiek, waarbij de docent in één oogopslag kan zien welke fouten er worden gemaakt. Als de docent bekend is met de typische fouten van leerlingen, dan kan hij het probleem bij de wortel aanpakken en succesvol remediëren.



Figuur 9.3 Decimaal als taartpunt.

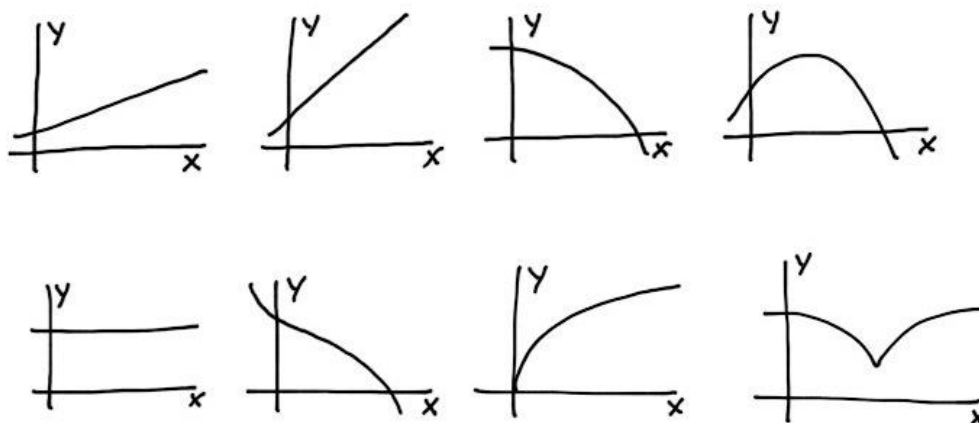
Algemene didactiek: In dit voorbeeld zijn enkele slim gekozen opgaven gebruikt om leerlingen reacties te ontlokken (fase 2), zijn systematische fouten ontdekt in de resultaten (fase 3) en is er een methode bedacht om deze fouten in de klas aan te pakken (fase 4). Een docent die deze fouten kent, kan ook onmiddellijk reageren (fase 2 – 4 in dezelfde les). Door het orderingsformat kan de docent de antwoorden van een leerling in een oogopslag gediagnosticeren als correct of als systematische fout I of II. Als leerlingen groot schrijven kan de diagnose snel plaatsvinden.

9.2 Nagaan of uitleg is overgekomen

Na een uitleg kun je vaak met een enkele vraag (*concept check*) nagaan of de uitleg is overgekomen. Nadat je bijvoorbeeld aan de hand van dalparabolen hebt uitgelegd wat de relatie is tussen de waarde van de discriminant van de vergelijking $f(x) = 0$ en de ligging van de grafiek van f ten opzichte van de x -as, vraag je aan leerlingen om de globale grafiek van een bergparabool te tekenen voor de drie situaties: $D < 0$, $D = 0$ en $D > 0$. De schetsen van leerlingen kun je in een oogopslag controleren terwijl je door de klas loopt.

9.3 Hellingsgrafieken

Om leerlingen te laten begrijpen wat het verband is tussen de grafiek van een functie en die van de bijbehorende hellingsfunctie, schets je grafieken van functies op het bord en vraag je de leerling de grafiek van de hellingsfunctie te schetsen, de afgeleide dus. De elementen die in de voorbeelden kunnen terugkomen zijn, afhankelijk van het niveau en de plaats in het leerproces: lineair stijgend, lineair stijgend maar steiler (of minder steil), lineair dalend, toenemend/afnemend stijgend/dalend, overgangen tussen stijgen en dalen, grafiek van constante functies (lastig!), buigpunten, verticale raaklijnen, knikken in de grafiek.



Figuur 9.4 Hellingsgrafieken.

Bron: Berg, E. van den, & Hoekstra, W. (2014).

Het is ook mogelijk om de vraag om te keren: je geeft de hellingsgrafiek en vraagt de leerlingen dan de grafiek van de oorspronkelijke functie te schetsen.

Deze methode kan ook helpen om de voorkennis te activeren. Laat leerlingen aan de hand van de globale grafiek van een logaritmische functie een globale hellingsgrafiek tekenen. Dit is een eerste aanzet om in te zien dat de afgeleide van de orde $1/x$ is. Hoewel dit op het eerste gezicht een vrij eenvoudige opgave lijkt, werd uit de manier waarop leerlingen hun schetsen maakten en voortdurend corrigeerden, zichtbaar hoe hard ze aan het denken waren en hoe druk ze bezig waren om het begrip hellingsfunctie voor zichzelf opnieuw te construeren. Met name het gedrag van de grafiek voor groter wordende waarden van x leverde de nodige hoofdbrekens op: de grafiek van de gewone functie heeft geen horizontale asymptoot, maar de hellingen gaan wel naar 0. Dit zijn dan de punten die in de plenaire terugkoppeling aandacht moeten krijgen.

9.4 Meetkunde

Leerlingen figuren en grafieken laten tekenen is ook een geschikte manier om begrip te ontwikkelen van karakteristieke eigenschappen van bijvoorbeeld vierhoeken.

Teken achtereenvolgens verschillende soorten vierhoeken (rechthoek, ruit, parallellogram, ...) met hun diagonalen op het bord en vraag leerlingen lijnstukken aan te geven die evenwijdig zijn of even lang of die loodrecht op elkaar staan. Andersom kan ook: vraag leerlingen een vierhoek te tekenen die aan bepaalde eigenschappen voldoet. In alle gevallen zijn de resultaten goed zichtbaar en snel te diagnosticeren.

Literatuur

Baird, J., Northfield, J.R. (1995). *Learning from the PEEL Experience*. Melbourne: Monash University Printing Press. (Classroom procedures to tackle poor learning tendencies by Judy and Ian Mitchell, p. 210 – 268, examples from all subjects).

Bennett, J., Dunlop, L., Knox, K. J., and Whitehouse, M. (2017). *The assessment of chemistry subject knowledge in secondary education: a critical evaluation of the literature: Final report to the Royal Society of Chemistry*, April 2017. York: Department of Education, University of York. <https://eic.rsc.org/download?ac=133161>

Berg, E. van den, & Emmett, K. (2007). Krachtendiagrammen, begripsproblemen en snelle feedback. *NVOX*, 32(8), 354-356.

Berg, E. van den, Higler, B. (2011). Concept cartoons als opstap naar onderzoek op de basisschool. *NVOX*, 36(3), 104-105.

Berg, E. van den, & Hoekstra, W.S. (2014). Onmiddellijke diagnose en feedback in wiskundelessen. *Euclides*, 90(2), 22-25.

Black, P. & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7-74.

Bruijnesteijn, H. (2015). De propalogie – 1. *NVOX*, 40(8), 413.

Bucat, R., Shands, T. (1996). *Thinking Tasks in Chemistry: Teaching for Understanding*. Perth: Chemistry Department, University of Western Australia. ISBN: 0864225466, 9780864225467.

Court, J.E. (1999). Free-Body Diagrams Revisited – I. *The Physics Teacher*, 37(7), 427-433.

Gulikers, J., Baartman, M. (2017). *Doelgericht professionaliseren: formatieve toetspraktijken met effect! Wat DOET de docent in de klas?* Overzichtsstudie uitgevoerd met subsidie van het NRO-PPO, dossiernummer 405-15-722. Wageningen: Universiteit.

Hake, R.R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.

Hewitt, P. (2018). Next time questions. <https://www.arborsci.com/next-time-questions> De next-time-questions concept cartoons verschijnen al meer dan 25 jaar maandelijks in The Physics Teacher en zijn zeer geschikt als uitdagingen voor bovenbouw natuurkunde.

Keeley, P. (2008). *Science Formative Assessment, 75. Practical Strategies for Linking Assessment, Instruction, and Learning*. Corwin Press/NSTA Press. ISBN: 978-1-4129-4180-8.

- Kruit, P., Wu, F., Berg, E van den (2013). Kinderen aan het experimenteren zetten via concept cartoons. *TDBeta*. <http://www.fisme.uu.nl/tdb/article.php?record=561>
- Liem, T. (1987). *Invitations to Science Inquiry*. Chino Hills (California): Liem Inquiry Enterprises.
- Loughran, J., Berry, A., Muthall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge* (2nd edition). Rotterdam: Springer.
- Mazur, E. (1997). *Peer Teaching*. New York: Wiley.
- Naylor, S., Keogh, B. (2000-2018). *Concept cartoons in science education*. Stafford: Millgate House.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1982). Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study. *School Science Review*, 62, 771-778.
- Nussbaum, J., (1985). The particle nature of matter in the gaseous phase. In: R. Driver, E. Guesne, A. Tiberghien: *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Osborne, R., & Cosgrove, M. (1983). Childrens' conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research on Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Scheltens, F., Hemker, B., Vermeulen, J. (2013) *Balans van het reken-wiskundeonderwijs aan het einde van de basisschool 5, uitkomsten van de vijfde peiling in 2011*. Arnhem, CITO: http://www.cito.nl/onderzoek%20en%20wetenschap/deelname_nat_onderzoek/ppon/balansenrapporten .
- Somerset, A.H. (2002). *Why students fail in math, a diagnostic survey of fifteen high schools in Central Visayas, Philippines. Quezon City (Philippines)*. National Institute for Science and Mathematics Education Development.
- Vollebregt, M.J. (1998). *A Problem Posing Approach to Teaching an Initial Particle Model*. Utrecht: CD-β Press.
- Vries, J. d., Havekes, H., Aardema, A., & Rooijen, B. d. (2004). *Actief Historisch Denken. Opdrachten voor Activerend Geschiedenisonderwijs* (Vol. 1). Boxmeer: Stichting Geschiedenis, Staatsinrichting en Educatie.
- Wiliam, D., Leahy, S. (2015). *Embedding Formative Assessment: Practical Techniques for K-12 Classrooms*. Learning Sciences International.
- White, R.T., & Gunstone, R. (1992). *Probing Understanding*. Londen: Falmer Press.

Als landelijk kenniscentrum leerplanontwikkeling richt SLO zich op de ontwikkeling van het curriculum in het primair, speciaal en voortgezet onderwijs in Nederland. We werken met het onderwijsveld aan de doelen, kaders en instrumenten waarmee scholen hun opdracht vanuit een eigen visie kunnen vervullen.

We brengen praktijk, beleid, maatschappelijke ontwikkelingen en onderzoek samen en stellen onze expertise beschikbaar aan onderwijs en overheid, bijvoorbeeld in de vorm van leerplannen, tools, voorbeelddesmaterialen, conferenties en rapporten.



Hoofdlocatie
Piet Heinstraat 12
7511 JE Enschede

Nevenlocatie
Aidadreef 4
3561 GE Utrecht

Postadres
Postbus 2041
7500 CA Enschede

T 053 484 08 40
E info@slo.nl
www.slo.nl

 [company/slo](https://www.linkedin.com/company/slo)
 [SLO_nl](https://twitter.com/SLO_nl)