

7 Vaardigheidsontwikkeling

7.1 Inleiding

Naast de leerstofopbouw en begripsontwikkeling in de verschillende leerstof-domeinen uit hoofdstuk 6 gaat het in dit hoofdstuk om de vaardigheidsontwikkeling. Het aanleren van *procedurele vaardigheden* zoals werken met groot-heden, eenheden, tabellen, diagrammen en formules, werken met meetinstrumen-ten en meten met de computer is in hoofdstuk 2 al aan de orde geweest. In dit hoofdstuk gaat het om de algemene vaardigheden probleemoplossen, onderzoe-ken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming. Deze algemene vaardigheden zijn nauw met het vak natuurkunde (en de andere bètavakken) verweven, en kunnen worden gezien als voor het vak *karakteristieke werkwijzen*. Het ontwik-kelen van algemene vaardigheden of karakteristieke werkwijzen is een zaak van lange adem, en is dan ook – als het goed is – ondergebracht in een aantal *leer-lijnen* over de opeenvolgende leerjaren heen.

Karakteristieke werkwijzen vragen om het maken van een plan van aanpak, het monitoren van de uitvoering, het reflecteren op het resultaat en de werkwijze, en het presenteren van resultaten. Het aanleren van deze metacognitieve vaardig-heden heeft twee accenten. Enerzijds het aanleren van deelvaardigheden zoals vragen stellen, een plan maken, conclusies trekken, reflecteren of rapporteren. Anderzijds het aanleren van de werkwijze als geheel in alle leerjaren, meestal in de vorm van *scaffolding* waarbij de opdracht in de loop van de leerjaren steeds complexer en opener wordt.

De *centrale vraag* voor dit hoofdstuk is: wat zijn – gezien het karakter van bèta-specifieke vaardigheden of karakteristieke werkwijzen als probleemoplos-sen, onderzoeken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming – mogelijke leer-lijnen voor vaardigheidsontwikkeling?

7.2 Probleemoplossen

Hoe kan de leraar een leerling helpen met het leren oplossen van natuurkundige vraagstukken? Een eerste voorwaarde is dat de leerling beschikt over de benodigde kennis en dat hij de essentiële begrippen, relaties, modellen en theorieën beheerst. Of, met andere woorden: dat de leerling een voldoende *kennisbasis* heeft. Daar-naast moet de leerling ook beschikken over een *effectieve probleemaanpak*.

Standaardvraagstukken en problemen

Als het gaat over ‘probleemoplossen’ is het goed vooraf na te denken over de vraag wat nu eigenlijk een ‘probleem’ is. We maken daarbij onderscheid tussen standaardvraagstukken en problemen. Standaardvraagstukken zijn eenvoudige één-stapsvragen die direct de theorie terugvragen, zoals in de voorbeelden van figuur 306. Alle andere vraagstukken noemen we ‘problemen’, zoals in de voorbeelden van figuur 307.

Standaardvraagstukken

- In een stortbak op een hoogte van 2,8 m boven de grond zit 3,00 liter water. Bereken de zwaarte-energie van het water in de stortbak.
- Een lamp van 80 W brandt gedurende 2,0 uur. Hoeveel energie (in J) is er verbruikt?
- Een voorwerp trilt met een trillingstijd van 3,0 s. Bereken de frequentie van de trilling.

- Door een weerstand van $8,0\ \Omega$ loopt een stroom van $5,0\ \text{A}$. Hoe groot is de spanning over de weerstand?
- Een lamp van $40\ \text{W}$ is aangesloten op het stopcontact, dat een spanning van $230\ \text{V}$ levert. Hoe groot is de stroomsterkte door de lamp?
- Een auto met een massa van $900\ \text{kg}$ rijdt met een snelheid van $28\ \text{m/s}$. Bereken de kinetische energie van de auto.
- Een auto rijdt met een snelheid van $100\ \text{km/h}$. Hoe groot is deze snelheid in m/s ?
- Op een voorwerp met een massa van $8,0\ \text{kg}$ wordt een kracht van $5,0\ \text{N}$ uitgeoefend. Hoe groot is daardoor de versnelling van het voorwerp?

Figuur 306 – Voorbeelden van standaardvraagstukken.

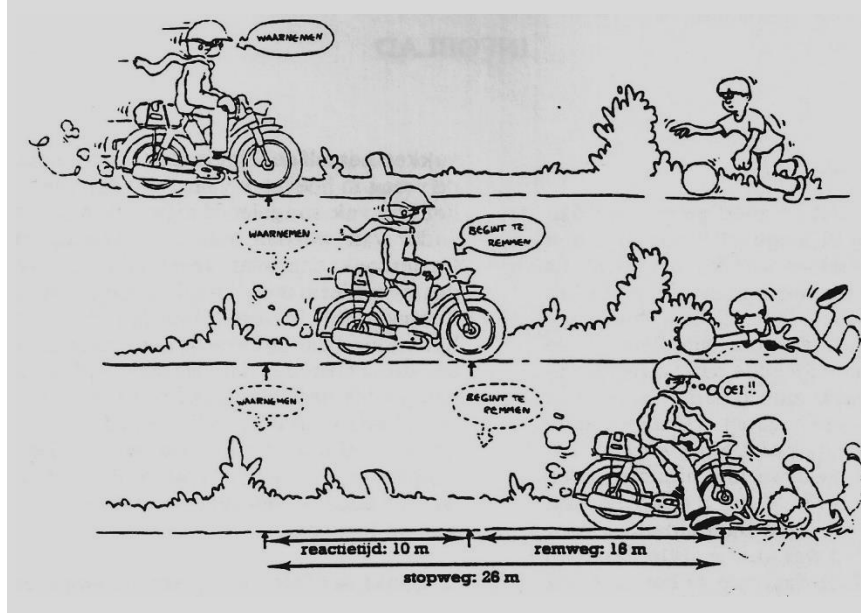
Problemen

Zonnecollector – Een woonhuis heeft op het dak een zonnecollector van $2,0\ \text{m}^2$. Deze zonnecollector voorziet het huis van warm water. Hoeveel water kan per uur met behulp van de zonnecollector verwarmd worden van $20\ ^\circ\text{C}$ tot $60\ ^\circ\text{C}$ als het rendement van de zonnecollector 80% is? De zon levert op zonnige dagen een stralingsintensiteit van $1000\ \text{W/m}^2$.

Remweg – Een auto rijdt met een snelheid van $36\ \text{km/h}$, remt en staat na $3,0\ \text{s}$ stil. Bereken de lengte van de remweg.

Remvertraging – In Nederland moet de remvertraging van een bromfiets op een normaal wegdek minstens $3,86\ \text{m/s}^2$ bedragen. De bromfietser in de figuur hieronder rijdt met een snelheid van $40\ \text{km/h}$.

Ga met een berekening na of de remmen van de bromfiets aan de wettelijke voorschriften voldoen.



Figuur 307 – Voorbeelden van problemen, waarbij een leerling zelf meerdere denkstappen moet zetten.

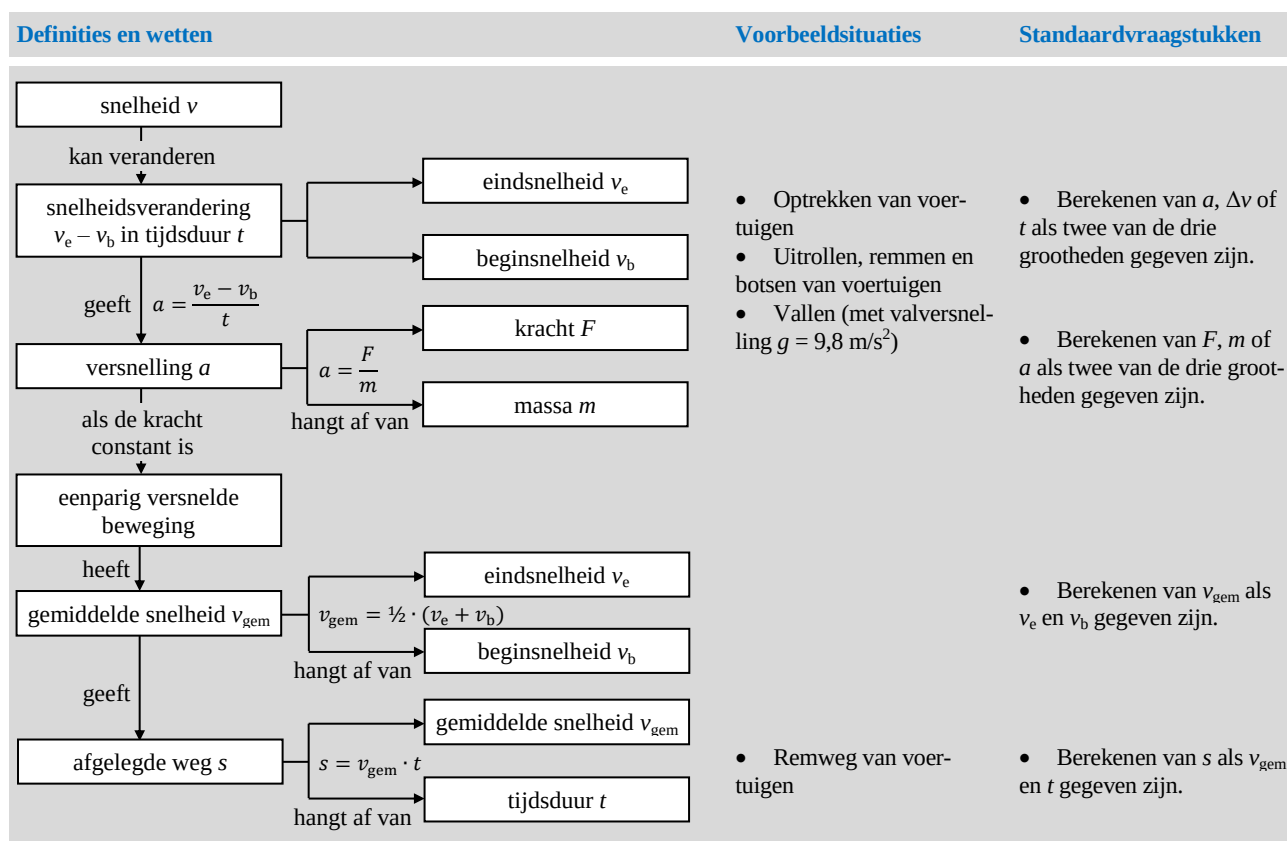
In het vmbo zullen veel opgaven of opgave-onderdelen standaardvraagstukken zijn (zie paragraaf 2.7). Dat geldt ook voor de onderbouw havo-vwo, maar daar komen met het oog op de voorbereiding op de bovenbouw wat vaker opgaven voor die om meer dan één denkstap vragen.

Kennisbasis

Over welke kennisbasis moet een leerling beschikken om een toets- of examen-vraag op te lossen? Allereerst moet hij de benodigde *kennis* hebben, zoals weten wat de brandpuntsafstand van een lens is, welk verband er is tussen spanning en stroomsterkte in een elektrische schakeling, en hoe de traagheidswet luidt. Naast kennis is ook *begrip* nodig: wat is snelheid op een bepaald moment, hoe verloopt beeldvorming door een lens, en wat is het verschil tussen spanning en stroomsterkte? Bij een kennisbasis hoort bovendien een verzameling passende *voorbeeld-*

situaties en een aantal *standaardvraagstukken*. Bij elk onderdeel van de natuurkunde is een aantal van dergelijke vraagstukken aan te wijzen (zie figuur 306). Een leerling moet dergelijke vraagstukken snel kunnen oplossen.

Een kennisbasis voor een bepaald leerstofgebied bestaat dus uit een aantal elementen – definities, wetten, voorbeeldsituaties en standaardvraagstukken – en een netwerk van relaties tussen die elementen, bijvoorbeeld in de vorm van een *concept map* (zie paragraaf 2.3.2) of een *begrippenkaart* zoals in figuur 308. Dat netwerk kan bovendien verbindingen hebben met relevante kennis uit andere delen van het leerstofgebied of zelfs andere leerstofgebieden. De elementen worden meestal ‘kennis’ genoemd, terwijl ‘begrip’ het resultaat is van de kwaliteit van het netwerk en van de mate waarin de leerling daarmee kan omgaan.



Figuur 308 – Gedeelte van de kennisbasis voor het leerstofdomein kracht en beweging.

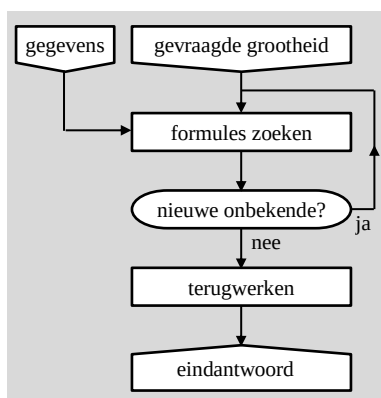
Probleemoplosproces

De leerling moet die kennisbasis kunnen gebruiken om een wat complexer probleem op te lossen: hij moet beschikken over *probleemoplosvaardigheid*. Dat betekent: het kunnen hanteren van een *systematische probleemaanpak* (zie paragraaf 2.7.3) met de volgende vier fasen.

Oriënteren en analyseren – De leerling bestudeert het probleem, ‘vertaalt’ het zo nodig in natuurkundige termen, bedenkt wat de relevante stukken natuurkunde zijn, en maakt een overzicht van het geheel. In die fase zal een leerling de tekst actief lezen, een tekening maken van de probleemsituatie, en de gegevens en het gevraagde op een rij zetten.

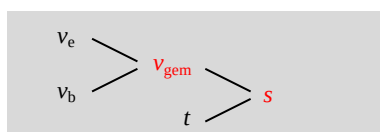
Plannen – De leerling kijkt naar het gevraagde en naar zijn analyse, en gaat na of het een standaardvraagstuk is. Zo niet, dan maakt hij een oplosplan: hoe is het probleem om te werken tot een combinatie van standaardvraagstukken? Een hulpmiddel daarbij is de strategie van ‘werken vanuit het gevraagde’ zoals weergegeven in figuur 309 en de toepassing daarvan bij het oplossen van de voorbeeldopgave in figuur 310.

Uitwerken – Het plan wordt uitgevoerd en het resultaat wordt met het juiste aantal significante cijfers en met de juiste eenheid genoteerd.



Figuur 309 – Stroomschema voor probleemoplossen ‘vanuit het gevraagde’.

Controleren en evalueren – De leerling gaat na of hij antwoord heeft gegeven op de vraag en – zo mogelijk – of dat antwoord redelijk is, gezien praktijkwaarden.



Figuur 311 – Rekenschema.

Probleemoplosstrategie

Hieronder staan de belangrijkste strategische fouten van slechte probleemoplossers.

Oriënteren en analyseren – Het begrijpen van een vraagstuk of opgave:

- ze slaan gegevens over;
- ze beginnen te snel;
- ze hebben geen goed beeld van het probleem.

Plannen – Het maken van een oplosplan:

- ze doen maar wat, werken niet systematisch;
- ze kennen de vakinhoud niet voldoende;
- ze kunnen het probleem en de vakinhoud niet koppelen.

Uitwerken – De uitvoering van het oplosplan:

- ze maken veel reken- en slordigheidsfouten.

Controleren en evalueren – De controle van het resultaat:

- ze controleren hun antwoorden niet.

Figuur 312 – De belangrijkste strategische fouten van slechte probleemoplossers.

Opgave	Een auto rijdt met een snelheid van 36 km/h, remt en staat na 3,0 s stil. Bereken de lengte van de remweg.
Oplossing	
Oriënteren en analyseren	Beginsnelheid: $v_b = 36 \text{ km/h} = 36 \cdot 10^3 / 3600 = 10 \text{ m/s}$ Eindsnelheid: $v_e = 0 \text{ m/s}$ Remtijd: $t = 3,0 \text{ s}$
Plannen	Gevraagd: remweg s . • De remweg is te berekenen met $s = v_{\text{gem}} \cdot t$. De tijdsduur t is gegeven, en de nieuwe onbekende is dan de gemiddelde snelheid v_{gem}. • De gemiddelde snelheid is te berekenen met $v_{\text{gem}} = \frac{1}{2} \cdot (v_e + v_b)$. De eind- en beginsnelheid v_e en v_b zijn beide gegeven, en er is dus geen nieuwe onbekende. • Dus: eerst de gemiddelde snelheid v_{gem} berekenen, en daarmee de remweg s.

Figuur 310 – Een voorbeeld van probleemoplossen ‘vanuit het gevraagde’ in de planningsfase. Zie ook het in figuur 311 weergegeven rekenschema.

De belangrijkste bronnen van fouten van leerlingen staan in figuur 312. Eén van de belangrijkste verschillen tussen goede en slechte probleemoplossers blijkt dan te liggen in de uitgebreidheid van de eerste fase: slechte probleemoplossers slaan die fase vrijwel over. Die leerlingen zien de oriëntatie en analyse vaak als zonde van de tijd: “Je ziet het of je ziet het niet.” Door het gebrek aan oriëntatie en analyse kennen ze de situatie onvoldoende en weten ze vaak nauwelijks wat er gevraagd wordt. Een ander duidelijk verschil is te vinden in de laatste fase: slechte probleemoplossers slaan die over.

Leerlijn probleemoplossen

De vraag is nu hoe het onderwijs in te richten zodat zoveel mogelijk leerlingen leren hoe een natuurkundig probleem efficiënt aangepakt kan worden. Of, met andere woorden: hoe leert een leerling om zijn kennis en begrip te gebruiken om een natuurkundig probleem terug te brengen tot één of meer standaardvraagstukken – want daar gaat het om bij probleemoplossen.

Kennisbasis – Voor het ontwikkelen van een kwalitatief goede kennisbasis is het maken van een groot aantal opgaven niet voldoende. Het is beter enkele zorgvuldig uitgezochte vraagstukken te gebruiken naast klassendiscussies, demonstratie-experimenten en practicum. Bij de vraagstukken zullen ook kwalitatieve vragen een belangrijke rol spelen. De leraar zal laten zien dat er zo’n kennisbasis bestaat, bijvoorbeeld door het (laten) maken van een samenvatting of van een concept map. Soms horen daar ook tekeningen bij van standaardsituaties zoals bijvoorbeeld de breking van licht op het grensvlak water-lucht. De leraar zal aandacht besteden aan de denkbeelden van de leerlingen, bijvoorbeeld door die tijdens de introductie naar voren te laten komen en zo de leerlingen bewust te maken van het bestaan van dergelijke ideeën. Hij zal een lijst maken van de standaardvraagstukken en er bij de leerlingen op aandringen dat ze die goed moeten kennen.

Probleemoplosproces – Als de nadruk valt op het probleemoplosproces zal de leraar de opgaven niet alleen bespreken, maar ook stap voor stap de aanpak laten zien om leerlingen bewust te maken van het bestaan van zo’n aanpak.

Al eerder is aangegeven dat de fase van oriënteren en analyseren door leerlingen vaak wordt overgeslagen. De leraar kan de uitvoering van die fase laten oefenen door alleen de analyse te laten maken en die na te kijken. Dat kost heel weinig tijd. Ook kan hij leerlingen helpen door de analyse op het bord te maken en hen daarna te vragen het probleem op te lossen, zoals in de in figuur 313 geschetste lespraktijk. In veel gevallen gaat dat oplossen daarna vrij gemakkelijk.

Klassikaal bespreken – Zowel voor het ontwikkelen van een kennisbasis als voor het aanleren van probleemoplosvaardigheden geldt dat het langdurig klassikaal bespreken van opgaven weinig effectief is. Toch wordt hier in de lespraktijk veel

Lespraktijk

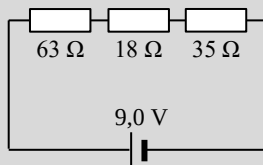
Iedere leraar kent het. Hij vraagt een leerling naar de oplossing van een vraagstuk, en krijgt als antwoord: “Ik kon hem niet.” Dan kan de volgende methode bruikbaar zijn.

- Ga na of veel leerlingen problemen hadden met die opgave, zodat het klassikaal bespreken de moeite waard is.
- Vraag de leerling de opgave voor te lezen. Zeg na elk gegeven: “Stop.” Verwerk de gegevens in een tekening. Vraag dan aan de leerling of hij dat ook gedaan heeft. Bijna zeker zal hij dan zeggen: “Nee.”
- Vraag waar de opgave over gaat: “Wat is er gevraagd?” Zet dat op het bord, en vraag de leerling of hij een oplossing ziet. Zo niet, vraag dan of hij een formule kent waarin het gegeven voorkomt enzovoort. De leerling zal zo de opgave kunnen oplossen.
- Vraag ten slotte waarom hij het nou zelf niet kon.

Figuur 313 – Een klassikale aanpak bij probleemoplossen.

Spanningsverdeling

In de figuur hieronder zie je een serieschakeling van drie weerstanden, aangesloten op een spanningsbron.



Bereken de spanning over elk van de drie weerstanden.

Figuur 314 – Voorbeeld van een opgave over spanningsverdeling.

tijd aan besteed. De druk vanuit de leerlingen om veel, zo niet alles, te bespreken is hoog, en ook voor de leraar is de verleiding groot omdat hij dan het gevoel heeft het leren van de leerlingen onder controle te hebben.

Uitwerkingen gebruiken – Toch willen de meeste leraren en leerlingen zeker weten dat de uitwerkingen goed in het schrift staan. Een alternatief kan dan zijn: gebruik maken van de vraagstukuitwerkingen die de meeste educatieve uitgevers bij hun boeken leveren. De leerlingen kijken dan zelf de opgaven na. Ze zijn er daardoor actiever mee bezig. Het is dan wel aan te bevelen leerlingen eerst hun uitwerkingen te laten vergelijken met die van de andere leerlingen. Pas als ze het niet eens worden, kunnen ze in de uitwerkingenboek kijken. In elke klas zijn er ook wel enkele leerlingen die uit onzekerheid onmiddellijk naar het uitwerkingenboek grijpen, en meteen alle opgaven gaan overschrijven. “Dan weet ik zeker dat het er goed in staat,” zeggen ze dan. De leraar kan in dat geval niet anders doen dan telkens maar weer uitleggen dat hij die behoefte wel begrijpt, maar dat hun aanpak niet effectief is. Een twee-stapsaanpak is wellicht nog effectiever: eerst een *aanwijzing* en dan pas de *uitwerking*. In sommige methodes worden die aanwijzingen zelfs meegeleverd. Soms wordt ook gebruik gemaakt van voorgedrukte probleemoplosformulieren. Daarop staan de verschillende fasen van het oplosproces aangegeven, en wordt de leerling gedwongen die na elkaar te doorlopen. Dat blijkt alleen effect te hebben als het lang achtereen wordt gedaan. Het is een bij de leerlingen weinig populaire aanpak.

Domeinspecifieke oplosstrategieën

Eerder in deze paragraaf zijn twee algemene probleemoplosstrategieën genoemd: een *systematische probleemaanpak* (SPA), en daarbinnen het ‘werken vanuit het gevraagde’. Een voorwaarde voor probleemoplossen met behulp van deze strategieën in een bepaald leerstofdomein is een voldoende *kennisbasis*. Voor succesvol probleemoplossen zijn echter vaak ook domeinspecifieke, aan die kennisbasis gekoppelde oplosstrategieën nodig. Daarbij gaat het vooral om een invulling van de fase van oriënteren en analyseren en de fase van plannen in de systematische probleemaanpak. Een voorbeeld van zo’n domeinspecifieke oplosstrategie is die van figuur 310 over het berekenen van de remweg: bereken eerst de gemiddelde snelheid tijdens het remmen, en daarmee de remweg.

Hieronder staan voorbeelden van domeinspecifieke oplosstrategieën rond elektrische schakelingen. Bij de behandeling van het betreffende leerstofdomein kunnen die oplosstrategieën naar aanleiding van concrete ervaringen van leerlingen expliciet worden gemaakt.

Serieschakeling – Een veel voorkomend probleem bij de serieschakeling is het berekenen van de spanningsverdeling over de weerstanden in een opgave als die van figuur 314.

Analyseren – De kenmerken van een serieschakeling zijn: de stroomsterkte in elk van de weerstanden is gelijk, de spanning van de spanningsbron verdeelt zich over de weerstanden.

Plannen – Voor het berekenen van de spanningsverdeling over de in serie geschakelde weerstanden zijn drie stappen nodig:

- Bereken de vervangingsweerstand: $R_v = R_1 + R_2 + \dots$

- Bereken met die vervangingsweerstand de stroomsterkte in de schakeling:

$$I = U/R_v$$

- Bereken met die stroomsterkte de spanningen over elk van de weerstanden: $U_1 = I \cdot R_1$, $U_2 = I \cdot R_2$, ...

Controleren – Ga in de volgende stap na of de berekende spanningsverdeling over de in serie geschakelde weerstanden juist is.

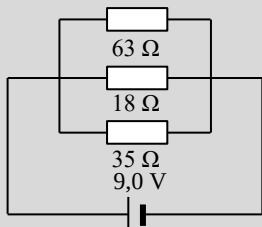
- Controleer of de som van de berekende spanningen U_1 , U_2 , ... gelijk is aan de spanning U van de spanningsbron, want in een serieschakeling geldt:

$$U = U_1 + U_2 + \dots$$

Parallelschakeling – Een veel voorkomend probleem bij de parallelschakeling is het berekenen van de stroomverdeling over de weerstanden in een opgave als die van figuur 315.

Stroomverdeling

In de figuur hieronder zie je een parallelschakeling van drie weerstanden, aangesloten op een spanningsbron.



Bereken de stroomsterkte in elk van de drie weerstanden.

Figuur 315 – Voorbeeld van een opgave over stroomverdeling.

Analyseren – De kenmerken van een parallelschakeling zijn: de spanning over elk van de weerstanden is gelijk, de stroom die de spanningsbron levert verdeelt zich over de weerstanden.

Plannen – Voor het berekenen van de stroomverdeling over de parallel geschakelde weerstanden is maar één stap nodig:

- Bereken de stroomsterkte in elk van de weerstanden: $I_1 = U/R_1$, $I_2 = U/R_2$, ...

Controleren – Ga in de volgende drie stappen na of de berekende stroomverdeling over de parallel geschakelde weerstanden juist is.

- Bereken de vervangingsweerstand: $1/R_v = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$
- Bereken met die vervangingsweerstand de stroomsterkte die de spanningsbron levert: $I = U/R_v$
- Controleer of de som van de berekende stroomsterktes I_1 , I_2 , ... gelijk is aan de stroomsterkte I die de spanningsbron levert, want in een parallelschakeling geldt: $I = I_1 + I_2 + \dots$

Combinatieschakeling – Rekenen aan combinatieschakelingen is voor veel leerlingen lastig. Naast de wet van Ohm ($U = I \cdot R$) moet een keuze gemaakt worden uit de in figuur 316 weergegeven regels voor de serie- en parallelschakeling. Vaak is het voor leerlingen moeilijk om te zien waar je moet beginnen, en om tijdens de berekeningen overzicht te houden. Er zijn twee hulpmiddelen om tijdens het oplossen van een opgave als die van figuur 317 overzicht te houden: het bijhouden van de gegevens en het resultaat van de berekeningen in een tekening zoals figuur 318 of een tabel zoals figuur 319.

Analyseren – Bij de opgave van figuur 317 is – met de regels voor serie- en parallelschakeling in het achterhoofd – eigenlijk ook sprake van ‘verborgen gegevens’: de stroomsterkte in weerstand R_3 volgt direct uit de twee gegeven stroomsterktes ($I_3 = I - I_2 = 0,120$ A), en de spanning over de weerstanden R_2 en R_3 volgt direct uit de twee gegeven spanningen ($U_2 = U_3 = U - U_1 = 3,0$ V).

Plannen – Na de analysefase is zowel de spanning over als de stroomsterkte in elk van de drie weerstanden bekend, zodat de gevraagde weerstandswaarden eenvoudig met $R = U/I$ te berekenen zijn. Dit illustreert het belang van een ‘diepgaande’ analyse van het probleem met de bestaande kennis over de eigenschappen van de serie- en parallelschakeling.

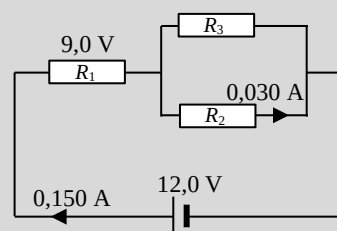
	Serieschakeling	Parallelschakeling
Spanningsregel	$U_{\text{bron}} = U_1 + U_2$	$U_{\text{bron}} = U_1 = U_2$
Stroomregel	$I_{\text{bron}} = I_1 = I_2$	$I_{\text{bron}} = I_1 + I_2$
Weerstandregel	$R_{\text{tot}} = R_1 + R_2$	$1/R_{\text{tot}} = 1/R_1 + 1/R_2$

Figuur 316 – De spannings-, stroom- en weerstandsregel in serie- en parallelschakelingen.

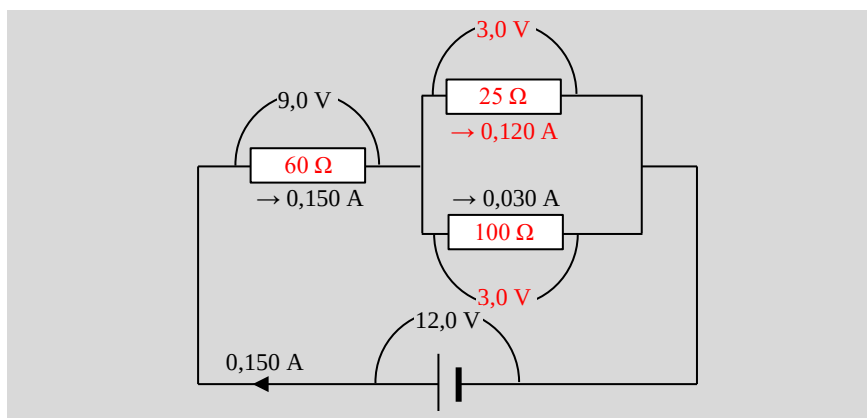
Combinatieschakeling

In de figuur hiernaast zie je een combinatieschakeling met enkele gegevens over de spanning en de stroomsterkte: de spanningsbron heeft een spanning $U = 12,0$ V en levert een stroomsterkte $I = 0,150$ A, over de weerstand R_1 staat een spanning $U_1 = 9,0$ V, en in de weerstand R_2 is de stroomsterkte $I_2 = 0,030$ A.

Bereken de waarde van elk van de drie weerstanden in deze schakeling.



Figuur 317 – Voorbeeld van een voor veel leerlingen lastige combinatieschakeling.



Figuur 318 – Kenmerken van de tekening zijn: a) de spanning met twee boogjes over de weerstand, b) de stroom met een pijl naast de weerstand, en c) de weerstandswaarde geplaatst in de weerstand.

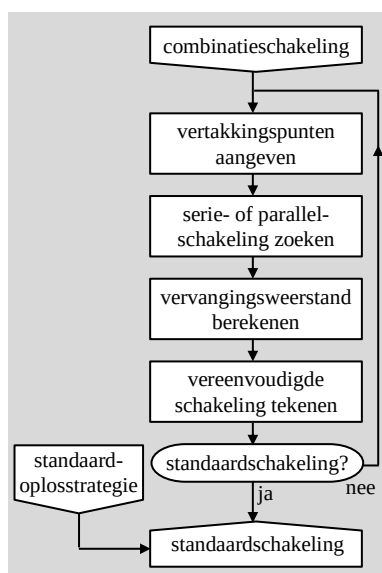
	U (V)	I (A)	R (Ω)	
Bron	12,0	0,150	80	$\leftarrow U_{\text{bron}} = I_{\text{bron}} \cdot R_{\text{tot}}$
R_1	9,0	0,150	60	$\leftarrow U_1 = I_1 \cdot R_1$
R_2	3,0	0,030	100	$\leftarrow U_2 = I_2 \cdot R_2$
R_3	3,0	0,120	25	$\leftarrow U_3 = I_3 \cdot R_3$
$R_2 + R_3$	3,0	0,150	20	$\leftarrow U_{2,3} = I_{2+3} \cdot R_{2+3}$
	U -regel $\uparrow$	I -regel $\uparrow$	R -regel $\uparrow$	

Figuur 319 – Kenmerken van de tabel zijn: a) in de kolommen de spanning, stroom en weerstand van de bron en de aparte weerstanden, b) de U -, I - en R -regels gelden voor de kolommen, en c) de wet van Ohm geldt voor de rijen.

Een derde hulpmiddel bij het oplossen van opgaven over combinatieschakelingen is het vereenvoudigen van de schakeling tot een *standaardschakeling* waarvan de eigenschappen bekend zijn: een serie- of parallelschakeling.

Voor opgaven zoals die in figuur 320 en 321 ‘werkt’ deze oplosmethode in de fasen analyseren en plannen volgens het stroomschema van figuur 322 op de volgende manier:

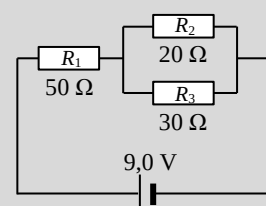
- Teken de gegeven *combinatieschakeling*.
- Geef in die tekening de *vertakkingspunten* aan: de punten waar de stroom zich splitst in twee (of meer) stromen en de punten waar twee (of meer) stromen weer bij elkaar komen.
- Zoek tussen twee vertakkingspunten naar een *serieschakeling* of een *parallelschakeling*.
- Bereken de *vervangingsweerstand* van de gevonden serie- of parallelschakeling.
- Teken met behulp van deze vervangingsweerstand de *vereenvoudigde schakeling*.
- Ga na of deze vereenvoudigde schakeling een *standaardschakeling* is. Zo ja, dan kun je deze schakeling verder doorrekenen (afhankelijk van wat er gegeven en gevraagd is). Zo nee, laat dan het stroomschema nog een keer los op de vereenvoudigde schakeling, tot er uiteindelijk wél een standaard-schakeling ontstaat.



Figuur 322 – Stroomschema voor het vereenvoudigen van een combinatieschakeling tot een standaard-schakeling.

Combinatieschakeling

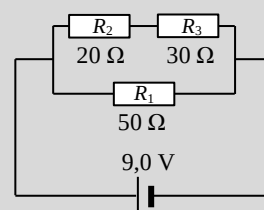
In de figuur hiernaast zie je een schakeling van drie weerstanden, aangesloten op een spanningsbron. Bereken de stroomsterkte in de weerstanden R_2 en R_3 .



Figuur 320 – Voorbeeld van een combinatieschakeling die te vereenvoudigen is tot een standaard serieschakeling.

Combinatieschakeling

In de figuur hiernaast zie je een schakeling van drie weerstanden, aangesloten op een spanningsbron. Bereken de spanning over de weerstanden R_2 en R_3 .



Figuur 321 – Voorbeeld van een combinatieschakeling die te vereenvoudigen is tot een standaard parallelschakeling.

De verschillende manieren van probleemaanpak bij de opgaven van figuur 317, 320 en 321 kunnen gezien worden als domeinspecifieke oplosstrategieën, in dit geval voor het aanpakken van combinatieschakelingen.

Het naar aanleiding van concrete ervaringen van leerlingen expliciet maken van domeinspecifieke oplosstrategieën in de verschillende leerstofdomeinen is een derde onderdeel van een leerlijn probleemoplossen – naast het ontwikkelen van een voldoende kennisbasis en een systematische probleemaanpak.

7.3 Onderzoeken

Leren onderzoeken is een van de vaardigheidsdoelen in het natuurkundeonderwijs. Daarin speelt het onderzoekspracticum – naast het vaardigheids- en begripspracticum (zie hoofdstuk 3) – een belangrijke rol. In deze paragraaf gaan we verder in op dat onderzoekspracticum: welke stappen doorlopen de leerlingen bij experimenteel onderzoek, welke vaardigheden moeten leerlingen voor het doen van experimenteel onderzoek verwerven, en hoe stimuleer je dat door middel van de vormgeving van de werkbladen voor onderzoekspractica. We sluiten de paragraaf af met een aantal opmerkingen over en ideeën voor een leerlijn onderzoeken.

Onderzoeksproces

Het proces van experimenteel onderzoek doen wordt ook wel de *onderzoekscyclus* genoemd. Daarbij doorlopen de leerlingen de volgende zes stappen.

Oriënteren op het onderzoek – Het doel van de oriëntatie is dat de leerlingen meer over de gegeven of te kiezen probleemstelling te weten komen. Wat houdt de probleemstelling in en wat is het belang ervan? Wat weet de leerling er al van? Wat is er al over bekend aan feiten, onderzoeksmethoden en theorie? Wat valt er voor de leerling aan te onderzoeken?

Onderzoeksvraag formuleren – Het doel van deze stap is het onderzoek in te perken en te richten op een *onderzoekbare* vraag die nieuwe kennis oplevert. Soms is het op grond van theorie mogelijk om een hypothese bij de onderzoeksvraag te formuleren.

Onderzoeksmethode vaststellen – Bij deze stap kiezen de leerlingen een onderzoeksoptzet en werken die uit. Ze bepalen hoe het object waaraan ze gaan meten eruit moet zien, welke meetapparatuur ze gaan gebruiken, wat ze precies gaan meten en hoeveel metingen ze gaan doen. Ook bedenken ze hoe de meetgegevens verwerkt en geanalyseerd gaan worden, als stap naar de beantwoording van de onderzoeksvraag.

Onderzoek plannen en uitvoeren – De leerlingen maken een planning voor het verzamelen van de meetgegevens. Vervolgens verzamelen ze hun onderzoeksgegevens volgens dat plan.

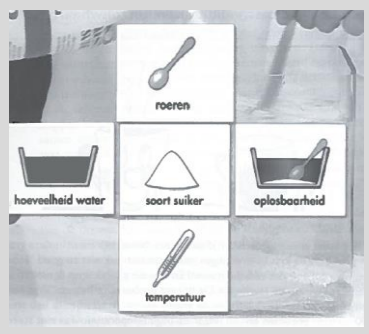
Gegevens verwerken – De leerlingen verwerken en analyseren de meetgegevens volgens de opzet van het onderzoek.

Conclusies trekken – Bij deze stap beantwoorden de leerlingen hun onderzoeksvraag en/of bevestigen of verwerpen ze hun hypothese. Daarnaast formuleren ze wat het onderzoek nog meer heeft opgeleverd. Ten slotte evalueren ze het onderzoek: ze reflecteren op de kwaliteit ervan en vergelijken hun resultaten met de

Lespraktijk

Een leraar vertelt van de thee die hij die ochtend heeft gedronken. De suiker in de thee lost snel op, zeker als je roert. De leerlingen krijgen als vraag: waardoor lost suiker sneller op? Leerlingen schrijven in een werkplan op wat zij gaan onderzoeken en hoe zij het onderzoek eerlijk doen. Daarna proberen ze hun idee uit. Op de demotafel staan verschillende soorten suiker, een waterkoker, plastic bekertjes en lepeltjes.

In de nabespreking wordt samengevat dat de snelheid van oplossen afhangt van de temperatuur van het water, de grofheid van de suiker, en wel of niet roeren. En dat de hoeveelheid water geen invloed heeft.



Figuur 323 – Voorbeeld van een onderzoekspracticum.

Onderzoekscyclus

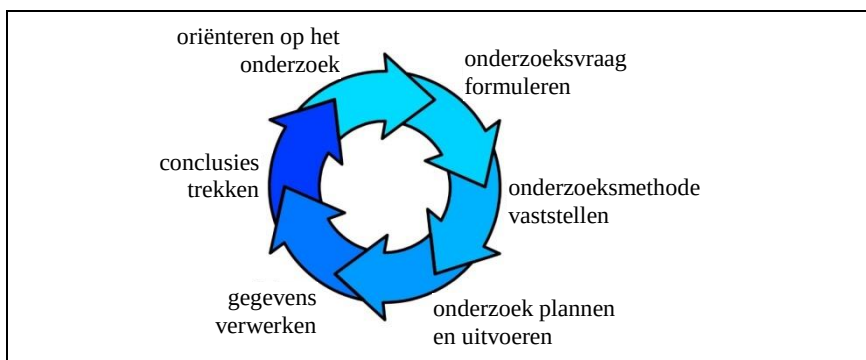
Bij het geschetste verloop van het onderzoeksproces zijn wel enkele kanttekeningen te plaatsen.

De onderzoekscyclus is een bekend model voor onderzoek, maar komt in feite zelden als zodanig voor. De verschillende stappen worden niet altijd in dezelfde volgorde doorlopen en het kan voorkomen dat het in een bepaalde fase van het onderzoek nodig is om terug te komen op een eerdere stap, bijvoorbeeld omdat het bij het verwerken van meetresultaten toch nodig blijkt om de onderzoeksvraag bij te stellen.

Ondanks zijn naam heeft de onderzoekscyclus eigenlijk geen cyclisch karakter. Je kunt hooguit spreken van een spiraalvormig karakter als een onderzoek een nieuwe onderzoeksvraag oplevert die vervolgens onderzocht wordt, waarbij specifieke opbrengsten van de eerste cyclus meegenomen worden om het onderzoek in de volgende cyclus beter uit te voeren. De aard van de oriëntatie van de tweede cyclus is dan ook heel anders: in veel gevallen zal de eerste cyclus de oriëntatie van de tweede cyclus vormen. Maar het komt weinig voor dat leerlingen een tweede cyclus doorlopen of voortbouwen op het onderzoek van een andere groep leerlingen.

Figuur 325 – Kanttekeningen bij de onderzoekscyclus.

theorie en de literatuur. Daarbij formuleren ze aanbevelingen voor verder onderzoek en mogelijke nieuwe onderzoeksvragen.



Figuur 324 – De onderzoekscyclus.

Het onderzoek wordt afgesloten met een tweetal niet in de onderzoekscyclus opgenomen stappen: het *rapporteren* over en *reflecteren* op het onderzoek.

De leerlingen communiceren de opzet, resultaten en conclusies van hun onderzoek op de een of andere manier (schriftelijk verslag, mondelinge presentatie, filmpje op internet) voor een bepaalde doelgroep (klasgenoten, ouders, leraren). De rapportage kan drie doelen hebben: een kritische discussie met ‘medeonderzoekers’ (klasgenoten), bekendheid geven aan de resultaten zodat die door anderen gebruikt kunnen worden, en aan de leraar ter beoordeling laten zien wat er gepresteerd is.

Bij de reflectie op het onderzoek staat allereerst het terugkijken op het proces centraal: wat ging goed, en wat was voor verbetering vatbaar? Ten tweede moet op basis hiervan gekeken worden naar de toekomst: welke voornemens zijn er voor een volgende onderzoekstaak?

Bij het geschetste verloop van het onderzoeksproces zijn overigens wel wat kanttekeningen te plaatsen, met name over het cyclische karakter van de onderzoekscyclus (zie figuur 325).

Cyclus zooming

Bij het leren onderzoeken kunnen de verschillende stappen van de onderzoekscyclus apart worden geoefend, bijvoorbeeld met onderwijsleeractiviteiten als die van figuur 326 t/m 328 over het formuleren van een onderzoeksvraag, het vaststellen van een onderzoeksmethode en het beoordelen van de betrouwbaarheid van meetgegevens. Dat oefenen met het uitvoeren van deelaspecten van onderzoeken wordt *cyclus zooming* genoemd.

Isolatiematerialen

Opdracht

Hieronder staat een onderzoeksvraag. Bespreek met je buurman of buurvrouw wat jullie aan deze vraag niet goed vinden. Bijvoorbeeld: hij is onduidelijk, het zijn meer vragen tegelijk, het is slecht Nederlands, hij is niet te onderzoeken, enzovoort. Geef ook aan wat nog ontbreekt (bijvoorbeeld het definiëren van een grootheid). Formuleer een betere vraag.

Geef dit vel door aan de groep naast je. Deze groep geeft commentaar op jullie verbeterde vraag. Ook zij maken een nieuwe vraag. Dat geheel doen we nog een keer. Tot slot wordt de vraag in de klas besproken.

Ronde 1

Onderzoeksvraag: <i>Welke stoffen isoleren goed?</i>
Commentaar:
Nieuwe vraag:

Stuiterende tennisballen

Een speelgoedfabrikant maakt diverse typen tennisballen. De ballen worden getest op hoe hoog ze stuiteren voordat ze goedgekeurd worden voor verkoop. Enkele leerlingen testen de tennisballen in school om uit te vinden hoe hoog ze stuiten.

Dit is wat van je verwacht wordt:

Beschrijf hoe je uitvindt welk type bal het beste stuitert.

Denk eraan dat je in ieder geval iets zegt over:

- welke voorwerpen/instrumenten je wilt gebruiken;
- welke variabelen je wilt meten;
- hoe je ze wilt meten;
- wat je moet doen om ervoor te zorgen dat het een eerlijk experiment is;
- hoe je je resultaten gaat uitwerken.

Beschrijving:

Figuur 327 – Onderwijsleeractiviteit voor het oefenen in het vaststellen van een onderzoeksmethode.

Ronde 2

Commentaar:

Nieuwe vraag:

Ronde 3

Commentaar:

Definitieve vraag:

Figuur 326 – Onderwijsleeractiviteit voor het oefenen in het formuleren van een onderzoeksvraag.

Suiker oplossen in water

Hieronder staat een onderzoek beschreven: het oplossen van suiker in water. Naar aanleiding van het onderzoek worden vier vragen gesteld. Zoek met je buurman of vrouw een antwoord op de vragen, waar je het beide mee eens bent.

Een groep leerlingen doet een onderzoek naar de snelheid waarmee suiker in water oplost. Ze doen de volgende metingen:

- Ze nemen de tijd op waarin suiker oplost in water (de oplosttijd).
- Ze gebruiken 5 gram witte kristalsuiker.
- Ze gebruiken 100 ml water van 80 °C.
- Ze roeren de gehele tijd met een glasstaafje.

Vraag 1

Enkele meisjes hebben elk de tijd gemeten waarin de suiker oplost:

	tijd die nodig is voor het oplossen
Adelheid	35 s
Brenda	28 s
Carla	31,5 s
Denise	38 s

Schrijf hieronder op wat volgens jou de reden is dat de meisjes allemaal verschillende resultaten hebben.

Geef de drie belangrijkste redenen:

- 1)
- 2)
- 3)

Vraag 2

Karel, Leo en Mark vormen samen een groep. Ze hebben als groep de oplosttijd gemeten. Ze vonden een tijd van 32 s. Er ontstaat een discussie.

Karel zegt: *Kom, we doen het nog een keer!*

Leo zegt: *Waarom? We hebben toch al een resultaat.*

Mark zegt: *Ik vind dat we het nog een paar keer moeten doen.*

Met wie ben jij het eens? Leg ook uit waarom.

Leo besluit mee te doen met de anderen en ze herhalen hetzelfde experiment. Ze vinden een ander resultaat dan de eerste keer.

Eerste keer 32 s

Tweede keer 34 s

Karel zegt: *Kijk, nu zitten we mooi in de puree. Maar goed, we nemen wel de waarde van 34 seconden.*

Leo zegt: *Nee, we doen het nog een laatste keer.*
 Mark zegt: *Drie keer is niet genoeg. We moeten het nog vaker doen.*

Met wie ben jij het eens? Leg ook uit waarom

Vraag 3

Mark herhaalt de metingen tot hij er vijf heeft. Hieronder staan de resultaten.

	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4	meting 5
oplostijd	32 s	34 s	31 s	52 s	31 s

Wat moet Mark opschrijven als zijn definitieve resultaat? Welke waarde vindt hij voor de oplostijd van de hoeveelheid suiker? Geef aan hoe je aan het antwoord bent gekomen en waarom je dit antwoord geeft.

Vraag 4

Ans en Bea herhalen hun metingen ook vijf keer. Hieronder staan de resultaten van elk meisje.

	1	2	3	4	5	gemiddelde
Ans: oplostijd (s)	27	29	27	28	29	28
Bea: oplostijd (s)	30	24	33	31	22	28

Ans zegt: *Die van mij zijn beter. Ze liggen allemaal tussen 27 en 29. Die van jou tussen 22 en 33.*

Bea zegt: *Die van mij zijn even goed. Mijn gemiddelde is ook 28.*

Welke resultaten vertrouw je meer? Of vind je ze allebei hetzelfde? Verklaar je antwoord.



Figuur 329 – De vuurtornado in een draaiende prullenbak (boven) en wat spullen die bruikbaar kunnen zijn bij het onderzoeken van de suggesties van leerlingen (onder). Bron: Showdefysica 2 (pg. 48).

Figuur 328 – Onderwijsleeractiviteit voor het oefenen in het beoordelen van de betrouwbaarheid van meetgegevens.

Een andere manier om cyclus zooming vorm te geven is het gebruik van demonstraties. Een (spectaculair) voorbeeld is de in figuur 329 weergegeven vuurtornado, die je veilig kunt maken met een draaiplateau, een prullenbak en een vuurvast bakje met in spiritus gedrenkte watten. Je kunt starten met een filmpje van een levensechte vuurtornado of *fire whirl* bij bosbranden in warme droge gebieden. Daarna laat je de vuurtornado in het klein zien, en vraag je de leerlingen wat je hier allemaal aan kunt onderzoeken. Ze zullen veel suggesties hebben: zonder prullenbak, andere draaisnelheid, hogere prullenbak, afgesloten gaatjes enzovoort. Daarna vraag je hen om zo'n suggestie te formuleren als onderzoeksvraag en een onderzoeksmethode te bedenken om die vraag te beantwoorden. Na het uitvoeren van zoveel mogelijk suggesties kun je aandacht besteden aan de vraag of je wel helemaal eerlijk hebt gemeten. Vermoedelijk had de hogere prullenbak ook een grotere diameter of een andere vorm gaatjes. Afhankelijk van de klas kun je dan ook nog de vraag stellen 'of dat erg is'. Als een wetenschapper een nieuw verschijnsel ontdekt en daar grip op probeert te krijgen, dan zijn metingen die niet helemaal eerlijk zijn niet zo'n probleem.

Het gebruik van een demonstratie om aandacht te besteden aan onderzoeksvaardigheden heeft als voordelen dat jij als leraar (hoogstwaarschijnlijk) een stuk handiger en sneller bent in het hanteren van de spullen, en dat jij goed kan kiezen waarop je de nadruk legt.

Onderzoekspracticum

Na of naast het oefenen met het uitvoeren van deelaspecten van onderzoeken

door cyclus zooming kunnen de leerlingen ook de volledige onderzoekscyclus doorlopen in een *onderzoekspracticum*.

Voorbeelden van een onderzoekspracticum zijn: snelheid van oplossen van suiker (zie de in figuur 323 weergegeven lespraktijk), buigzaamheid van staafjes, geleidbaarheid van materialen, sterkte van draden, brandbaarheid van textiel-garens, waterdoorlatendheid van stoffen enzovoort. Het bijbehorende leerdoel is: verschijnselen eerlijk kunnen onderzoeken.

De verschillende stappen van de onderzoekscyclus zullen meer of minder expliciet zichtbaar zijn in de werkbladen voor een onderzoekspracticum, zoals die van figuur 330 en 331.

Practicumwerkblad Suiker oplossen Oprachtenblad



Benodigdheden

- Soorten suiker (kandij, klontje, kristal, poeder)
- Bekertjes met warm en koud water

Suiker in een heet kopje thee lost snel op. Het gaat nog sneller als je roert.

Onderzoeksvraag

Welke soort suiker lost het snelst op? Welke variabelen zijn van invloed?

Opstelling en werkwijze

Je bekijkt welke soort suiker het snelst oplost. Dan probeer je uit hoe je het oplossen kunt versnellen. Vervolgens toon je voor twee variabelen het verband aan.

Voorspelling

- 1 Welke soort suiker lost het snelste op, denk je? Licht toe.

Onderzoek

Verkennen

- 2 Doe van iedere soort suiker een schepje in een bekertje halfvol water. Kijk wat er gebeurt.
- 3 Probeer uit of je het oplossen kan versnellen.
- 4 Noteer je waarnemingen.

Zoeken naar verbanden

- 5 Maak een werkplan om het verband tussen twee grootheden te onderzoeken. Laat dit werkplan zien aan je leraar, en voer het werkplan daarna pas uit. Zorg ervoor dat in je werkplan het volgende staat:
 - de twee grootheden waarvan je het verband wilt onderzoeken,
 - een voorspelling van het verband dat je verwacht,
 - een tekening van je opstelling,
 - hoe je zorgt voor een eerlijk experiment.

Inzicht

- 6 Waar let je op als je een verband wilt aantonen?
- 7 Welke grootheden zijn instelbaar en welke afhankelijk?

Practicumwerkblad Suiker oplossen Verslagblad

Namen

Voorspelling

- 1 De soorten suiker geordend van langzaam naar snel oplossen:

langzaam					Snel
----------	--	--	--	--	------

want

Onderzoeksresultaten

	Volgorde	Bij het oplossen viel me op:
kandij		
poeder		

klontje		
kristal		

Ik kon het oplossen versnellen door

Werkplan

Ik wil het verband aantonen tussen en

Ik voorspel het volgende verband:

De opstelling ziet er zo uit:

Om het verband eerlijk aan te tonen let ik op

Akkoord leraar: ja / nee

Onderzoeksresultaten

Je kunt nu

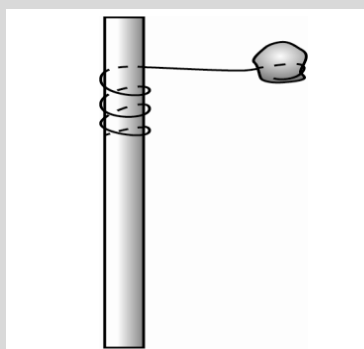
- Enkele variabelen noemen die van invloed zijn op de snelheid van oplossen van suiker in water.
- Voor een verband beschrijven hoe je dit eerlijk aantoonst.

Inzicht

- 6 Als je een verband wilt aantonen let je op
- 7 Instelbare grootheden zijn
- Afhankelijke grootheden zijn

Figuur 330 – Opdrachten- en verslagblad voor het onderzoekspracticum *Suiker oplossen*.

Practicumwerkblad De specht Opdrachten- en verslagblad



Benodigdheden

Delen met de andere groepen:

- Kniptang
- Cilinder met een iets grotere diameter dan het statief

Elke groep:

- IJzerdraad (ca. 20 cm)
- Klei (ca. een espressokopje vol)
- Statief

Vanmiddag gaan we in het technieklokaal een specht maken: een speelgoedvogeltje dat langzaam van een paaltje naar beneden glijdt. Eerst gaan we de werking van de specht onderzoeken, zodat we straks een mooi exemplaar kunnen maken, dat niet te snel naar beneden stuitert, maar ook niet gewoon op een plaats blijft hangen.

Deel 1: Een model maken

Werkwijze

- 1 Wikkel het stuk ijzerdraad drie keer om het buisje.
- 2 Maak van het uitstekende deel een lus, en ...
- 3 Klem daar de klei in vast.

Als het goed is kun je jouw model nu langzaam langs het statief naar beneden laten stuiten. Als het niet werkt, moet je je ontwerp aanpassen.

Schrijf hier op welke aanpassingen nodig waren.

Hoe komt het nou dat jouw model van de 'specht' niet in een keer naar beneden stuitert? Kijk goed naar de beweging.

Schrijf hier op wat je ziet gebeuren.



Deel 2: Onderzoek

Oriëntatie

We gaan nu onderzoeken hoe we de specht zo mooi mogelijk naar beneden kunnen laten gaan. Daarvoor gaan we iets veranderen, en kijken wat er gebeurt. Vul in het schema van onafhankelijke variabelen in: *wat we kunnen veranderen aan het model?* Er zijn al twee voorbeelden gegeven.

Onafhankelijke variabelen: wat we kunnen veranderen		
Het aantal wikkelingen	De hoeveelheid klei	

Dat *wat we gaan meten* noemen we de afhankelijke variabele. Deze is afhankelijk van hoe we een van de dingen hierboven veranderen.

Afhankelijke variabele: wat we gaan meten
Hoe lang het duurt voor de specht beneden is.

Omcirkel nu één van de onafhankelijke variabelen. Alleen die gaan we onderzoeken. De andere variabelen houden we hetzelfde.

Voorspelling

Wat denk je dat er gaat gebeuren? Schrijf hier je voorspelling op.

Ik denk dat als we de groter / kleiner maken, dat het dan langer / korter duurt voor de specht beneden is, omdat
--

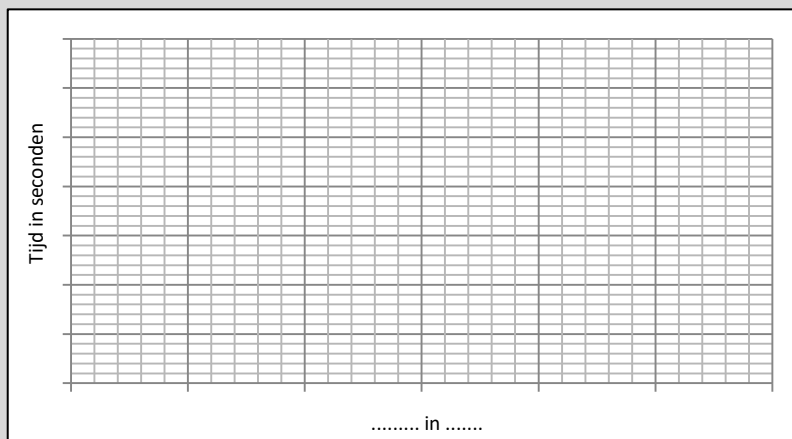
Uitvoering

Vul je onafhankelijke variabele en de eenheid in de tweede kolom in. Kies dan vijf waarden om aan te meten.

Variabele	...	Tijd
Eenheid	...	Seconde
1		
2		
3		
4		
5		

Verwerking

Maak een grafiek van je metingen. Zet de naam van de onafhankelijke variabele langs de horizontale as. Kies een handige schaalverdeling en zet deze langs de as. Zet je meetpunten in het diagram. En trek een vloeiende lijn door de punten.



Benodigdheden

- Stopwatch



Conclusie

We zien dat als we de **groter / kleiner** maken, dat het dan **langer / korter** duurt voor de specht beneden is.
Dit komt overeen / is in tegenspraak met onze verwachting.

Figuur 331 – Opdrachten- en verslagblad voor het onderzoekspracticum *De specht*.

Consumentenonderzoek

Een leuke vorm voor een onderzoekspracticum is het consumentenonderzoek. Een onderdeel daarvan is het onderzoek van materialen. Voorbeelden daarvan staan in figuur 334. Een consumentenonderzoek heeft als karakteristieke onderzoeksvragen: wat is de beste (vergelijk soorten op een kenmerk), en waar ligt dat aan (kies een variabele en kijk of die effect heeft). Ook hier gaat het om variabelen instellen, constant houden en meten.

Figuur 333 – Het consumentenonderzoek als speciale vorm van een onderzoekspracticum.

Onderzoekspractica

- Suiker lost op in warm water. Welke soort suiker lost het snelste op? Welke variabelen zijn van invloed? Nodig: diverse soorten suiker, warm en koud water.
- Het plastic van een plastic tas moet sterk zijn. Wat is het sterkste plastic? Welke variabelen zijn van invloed? Nodig: diverse soorten plastics, schaar, gewichtjes en statief.
- Een gevouwen kladpapiertje kun je rechtop in water zetten. Welk papier zuigt het beste op? Welke variabelen zijn van invloed? Nodig: diverse soorten papier, schaar, schoteltje water en olie.
- Een staafje kun je in een statief klemmen. Door een gewichtje aan het uiteinde buigt het staafje door. Welke staafje buigt het minst door? Welke variabelen zijn van invloed? Nodig: diverse staafjes qua materiaal, dikte, vorm, doorsnede en lengte.

Figuur 334 – Voorbeelden van onderzoek aan materialen.

Een onderzoek start met een vraag die je jezelf stelt als je geconfronteerd wordt met een nieuw verschijnsel. In figuur 332 staat een overzicht van soorten vragen, het bijbehorende soort onderzoek en het beoogde resultaat.

Vragen	Onderzoek	Resultaat
wat, hoe, welke	kwalitatief beschrijven	beschrijving
hoeveel	kwantitatief beschrijven	meetresultaat
wat gebeurt er als ...	gevolg van een gerichte verandering onderzoeken	oorzaak-gevolgrelatie
hoe kun je er voor zorgen dat ...	uitproberen om een beoogd effect te bereiken.	oorzaak-gevolgrelatie
wat is het verband tussen ...	variëren van grootheden	relatie tussen grootheden

Figuur 332 – Overzicht van mogelijke onderzoeksvragen.

Wat is nodig voor een succesvol onderzoekspracticum? Allereerst moet de leerling beschikken over voldoende practicumvaardigheden (omgaan met apparatuur, verwerkingsvormen) en over voldoende kennis en inzicht (begrip). Daarnaast moet er sprake zijn van goed gekozen onderzoeksituaties: situaties waarin leerlingen veel inbreng kunnen hebben en veel eigen keuzes kunnen maken. Dus: situaties met veel variabelen, veel mogelijke metingen en diverse verbanden – en natuurlijk ook duidelijk meetbare effecten.

Bij het ontwerpen van het practicumwerkblad moet rekening worden gehouden met de stappen van de onderzoekscyclus. Daarbinnen moet de leerling de gelegenheid krijgen om de startsituatie uitgebreid te verkennen, een duidelijke onderzoeksvraag te formuleren en een werkplan te maken. Dat werkplan wordt dan door de leraar beoordeeld (een *go/no-go* moment). Een mogelijke globale indeling van het practicumwerkblad is dan: inleiding met onderzoeksvraag, benodigdheden en werkwijze, werkplan maken en resultaat vastleggen.

Tussenproducten

De verschillende stappen in het onderzoek kunnen gemarkeerd worden door een *product* dat leerlingen aan het eind van elke stap moeten opleveren. Bij de eerste stap, de oriëntatie op het onderzoek, kan dat een lijst met interessante vragen en (in hogere klassen) een overzicht van relevante theorie of literatuur zijn. Bij de volgende stappen is dat tussenproduct achtereenvolgens de geformuleerde onderzoeksvraag, de beschrijving van de onderzoeksopzet en/of een tekening van de proefopstelling, en een overzicht van alle meetresultaten. Het bekijken van dergelijke producten is handig bij het begeleiden van de leerlingen. Je kunt er als leraar feedback op geven, en er een *go/no-go* beoordeling aan verbinden: is het product goed genoeg om verder te gaan en, zo niet, aangeven wat er dan eerst nog aan verbeterd moet worden.

Figuur 335 – Mogelijke tussenproducten bij het uitvoeren van een onderzoekspracticum als hulpmiddel bij het begeleiden van de leerlingen.

Bij een onderzoekspracticum moeten heel wat keuzes worden gemaakt: wat is het onderwerp van onderzoek, wat is de onderzoeksvraag, hoe zie de opstelling eruit, wat is de onderzoeksmethode, en hoe en aan wie wordt het resultaat gerapporteerd? Bij al deze vragen geldt: wordt dit bepaald door de leerling(en) of wordt dit bepaald door de leraar?

Naarmate de leerlingen zelf meer kunnen bepalen, zal hun betrokkenheid en interesse groter zijn. Maar het formuleren van een goede onderzoeksvraag – een

Lespraktijk

De leraar heeft als onderwerp gekozen: het zoutgehalte van chips. Hij introduceert dit onderwerp bij de leerlingen en inventariseert de vragen die ze hebben over dit onderwerp. De volgende vragen worden genoemd:

- Waarom wordt er zout in chips gedaan?
- Is er zout nodig voor een lekkere smaak van chips?
- Is het zout in chips slecht voor je gezondheid?

Van de tweede vraag wordt een onderzoeksvraag gemaakt: Zijn de lekkerste chips de chips met het meeste zout erin? De leerlingen bedenken als onderzoeksmethode een smaaktest met geblinddoekte leerlingen. De leraar reikt een onderzoeksmethode aan voor het bepalen van het zoutgehalte. Een bekende massa chips wordt intensief gemengd met water. Aangenomen wordt dat het zout uit de chips oplost in het water. De vloeistof wordt gefiltreerd en daarna ingedampt. De massa van de indamprest wordt nu gelijk gesteld aan de massa van het zout in de chips. Met behulp van deze resultaten wordt de onderzoeksvraag beantwoord.

Figuur 336 – Voorbeeld van het bieden van ondersteuning door de leraar bij bepaalde stappen in het onderzoeksproces.

vraag waarop je antwoord krijgt door het doen van een proef – is nog niet zo eenvoudig. En het kiezen van een opstelling en een onderzoeksmethode is vaak heel lastig voor leerlingen, want: welke spullen zijn beschikbaar en wat heb je nodig? De leraar moet leerlingen helpen om een vraag, een opstelling en een methode te kiezen, door ze zoveel mogelijk aan het denken te zetten en ze zo min mogelijk voor te zeggen. Maar vaak is het nodig als leraar enkele aspecten zelf vast te leggen, zoals in de in figuur 336 geschetste lespraktijk.

In de loop van een leerjaar en over de leerjaren heen kan deze hulp geleidelijk worden ‘afgebouwd’. Of, met andere woorden: kunnen de opeenvolgende onderzoekspractica een steeds meer open karakter krijgen. Dat draagt bij aan het ontwikkelen van de zelfstandigheid van leerlingen bij onderzoek doen.

Rapporteren is zinvol als de toehoorders geïnteresseerd zijn in en belang hebben bij het resultaat van het onderzoek. Dat is bijvoorbeeld het geval als de onderzoekstaken zijn verdeeld. In het voorbeeld van figuur 336 kan elke groep leerlingen werken met een andere soort chips. Als een groep zelf naturel chips heeft onderzocht, zullen zij willen weten wat de resultaten zijn van een groep die paprikachips heeft onderzocht.

Vormen van rapportage bij taakverdeling zijn het presenteren van resultaten in een klassikale werkbepreking, het verzamelen van resultaten in een door de gehele klas gebruikte tabel, en het formuleren van een gezamenlijke conclusie. Als de resultaten interessant genoeg zijn voor bijvoorbeeld andere leerlingen of leraren op school of voor ouders, kan worden gerapporteerd in de vorm van een poster of folder.

Onderzoekskwaliteit

De kwaliteit van leerlingonderzoek wordt bepaald door de mate waarin aandacht wordt besteed aan *validiteit*, *betrouwbaarheid* en *nauwkeurigheid*. Leerlingonderzoek heeft kwaliteit als de leerlingen begrijpen hoe ze (hun) resultaten met empirisch bewijs moeten onderbouwen. Het probleem is dat begrippen als validiteit en betrouwbaarheid voor leerlingen nogal abstract zijn. Eerlijk meten is weliswaar een wat te beperkte interpretatie van validiteit, maar in eerste instantie wel bruikbaar en voor leerlingen voldoende duidelijk. Je kunt verder met de leerlingen nagaan wat er gedaan is om te komen tot een zo betrouwbaar mogelijk antwoord op de (onderzoekbare) onderzoeksvraag.

Mede gelet op de kwaliteit van leerlingonderzoek geeft figuur 337 een overzicht van de kennis en vaardigheden waarover leerlingen moeten (gaan) beschikken als het gaat om het uitvoeren van onderzoekspractica – en uiteindelijk het sector- of profielwerkstuk. Om leerlingen te helpen die kennis en vaardigheden te verwerven, kunnen de bijbehorende reflectievragen zoals weergegeven in figuur 337 een rol spelen. Laat leerlingen regelmatig hun eigen onderzoek evalueren door hen deze vragen te laten beantwoorden, en door feedback te geven op hun antwoorden.

Kennis en vaardigheden

Voorbereiding

- Begrijpen wat een duidelijke onderzoeksvraag is en hoe een dergelijke vraag is op te stellen.
- Begrijpen wat een variabele is, welke variabele moet worden gevarieerd, welke variabele moet worden gemeten en welke variabele(n) constant moet(en) worden gehouden.
- De relatie begrijpen tussen de keuze van het meetinstrument en wat je wilt gaan meten met betrekking tot de schaalkeuze, het meetgebied, de spreiding en de nauwkeurigheid.
- Begrijpen wat een geschikte opstelling is en hoe je een geschikte opstelling bouwt voor wat je wilt gaan meten.

Uitvoering

- Begrijpen dat het herhalen van metingen noodzakelijk is voor de betrouwbaarheid.
- Begrijpen hoe je uit je metingen het gemiddelde bepaalt.

Reflectievragen

- Is je onderzoeksvraag duidelijk geformuleerd? Heb je alle begrippen in de onderzoeksvraag duidelijk omschreven?
- Welke variabelen ga je variëren en welke ga je meten? Welke variabelen moeten constant worden gehouden?
- Is het meetinstrument dat je wilt gebruiken wel geschikt voor wat je wilt meten?
- Is de opstelling die je wilt gebruiken wel geschikt voor wat je wilt gaan meten?
- Zijn de metingen die je gedaan hebt herhaalbaar? En komt er dan ongeveer hetzelfde uit?
- Heb je je metingen een paar keer herhaald voor het bepalen van het gemiddelde?

Afsluiting

- Begrijpen dat er een relatie bestaat tussen de onderzoeksgegevens en het type grafiek, en hoe je het juiste type grafiek kunt kiezen bij de onderzoeksgegevens.
- Begrijpen wat een goede conclusie is en hoe je die uit je metingen kunt trekken.
- Begrijpen dat de resultaten slechts in een beperkt gebied geldig zijn.

Evaluatie

- Begrijpen wat een valide onderzoek is en wat de relatie is met de wijze waarop het onderzoek is opgezet.
- Begrijpen wat een betrouwbaar onderzoek is en wat de relatie is met de wijze waarop de metingen zijn gedaan.

- Heb je het goede type grafiek gekozen?
- Heb je de goede conclusie getrokken?
- Heb je aangegeven binnen welk gebied je onderzoeksresultaten geldig zijn?

- Hoe zeker ben je van het antwoord op je onderzoeksvraag?
- Hoe betrouwbaar is dat antwoord?

Figuur 337 – De voor het doen van onderzoek benodigde kennis en vaardigheden van de leerlingen en de bijbehorende reflectievragen voor het evalueren van een leerlingonderzoek.

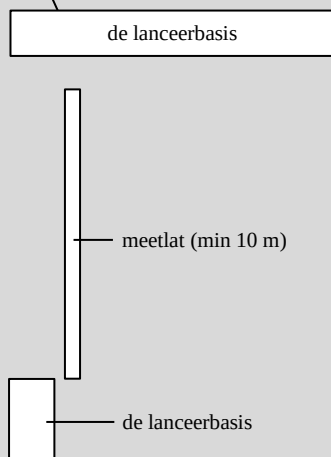
Een van de manieren om te oefenen met het evalueren van een leerlingonderzoek is een bestaand of fictief verslag te nemen en daarover met de klas te praten aan de hand van de reflectievragen van figuur 337. Een voorbeeld van zo'n verslag is dat van figuur 338 over een elastiekjesonderzoek. Bij het bespreken van zo'n verslag gaat het zowel om de sterke als de zwakke punten.

Onderzoeksvraag

Hypothese

Werkwijze

Opstelling



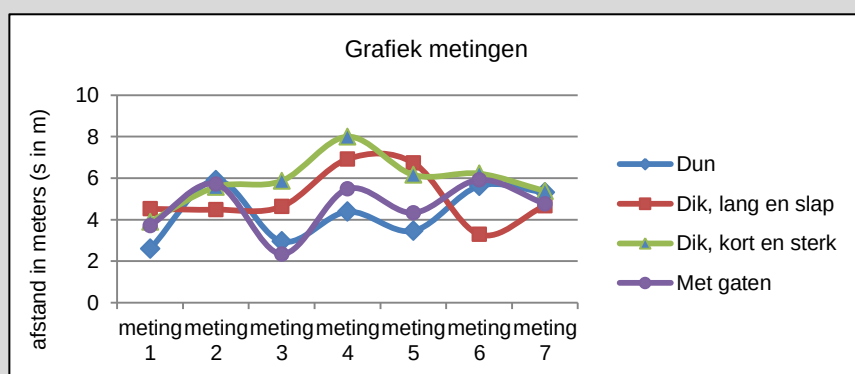
Wat is het verband tussen de kracht waarmee je aan het elastiek trekt en de afstand die het wegschiet?

Wij denken: "Hoe harder je trekt, hoe verder het elastiek wegschiet."

Eerst sorteert iemand de elastieken in verschillende categorieën. Dan spant Ties of Kaluen een elastiek, dan meten zij de kracht op (in kilogram). Daarna schieten zij het elastiek af en meten Bas en Tom de afstand.

Metingen

	dun elastiek	dik, lang en slap elastiek	dik, kort en sterk elastiek	met gaten
kracht	0,5 kg	1,25 kg	1,5 kg	1 kg
meting 1	2,59 m	4,52	3,9	3,71
meting 2	5,90 m	4,48	5,58	5,72
meting 3	2,95 m	4,63	5,87	2,34
meting 4	4,38 m	6,92	8,0	5,48
meting 5	3,46 m	6,74	6,16	4,33
meting 6	5,62 m	3,29	6,22	5,92
meting 7	5,32 m	4,67	5,38	4,76
gemiddelde	4,32 m	5,03	5,87	4,53



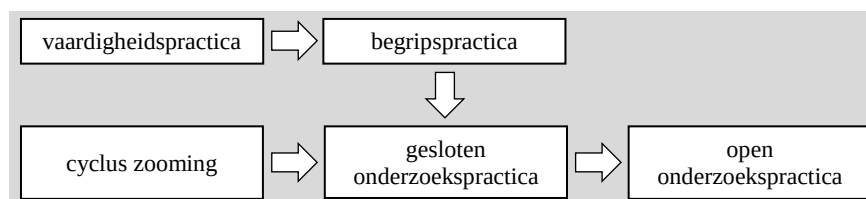
Conclusie

De afstand loopt op naarmate de kracht toeneemt. Uit het verband kan ik niet komen maar het verschil wordt steeds groter. Maar het is heel moeilijk om het eerlijk te vergelijken. Daarvoor hebben we eigenlijk nog te weinig metingen, omdat ieder schot net even iets anders is. Zeker met de elastieken met gaten is het schieten heel moeilijk.

Figuur 338 – Voorbeeld van een practicumverslag voor een discussie over de kwaliteit van onderzoek.

Leerlijn onderzoeken

Een mogelijke globale *leerlijn onderzoeken* kan nu schematisch worden weergegeven zoals in figuur 339.



Figuur 339 – Een mogelijke globale leerlijn onderzoeken.

Bij de in figuur 339 geschetste leerlijn gaan we ervan uit dat begripspractica (per leerstofdomein) vooraf gaan aan onderzoekspractica, zodat leerlingen de voor een onderzoekspracticum benodigde leerstof beheersen. Op een vergelijkbare manier zijn vaardigheidspractica voorwaardelijk voor begripspractica, zodat leerlingen bij een begripspracticum niet gehinderd worden door een onvoldoende beheersing van de noodzakelijke practicumvaardigheden. De aan de – in eerste instantie gesloten en daarna (meer) open – onderzoekspractica voorafgaande cyclus zooming heeft een vergelijkbare voorbereidende functie: bij het volledig doorlopen van de onderzoekscyclus worden leerlingen daardoor niet (of in elk geval minder) gehinderd door een onvoldoende beheersing van de afzonderlijke stappen in de onderzoekscyclus.

De geschetste leerlijn onderzoeken heeft nadrukkelijk een *globaal* karakter. In de concrete invulling daarvan zijn zeker ‘afwijkingen’ van de gesuggereerde volgorde mogelijk. Een voorbeeld daarvan is het elastiekjesonderzoek waarvan in figuur 338 verslag wordt gedaan. Voor een onderzoek naar het wegschieten van een voorwerp met een elastiek is wel de vaardigheid van het kunnen meten van een kracht met een veerunster nodig, maar het onderzoek vraagt verder weinig inhoudelijk begrip. Een voorafgaand begripspracticum lijkt dan ook in dit geval niet nodig.

7.4 Ontwerpen

Naast leren onderzoeken is ook leren ontwerpen een van de vaardigheidsdoelen in het natuurkundeonderwijs. Daarin speelt het ontwerppracticum – naast het vaardigheids-, begrips- en onderzoekspracticum (zie hoofdstuk 3) – een belangrijke rol. In deze paragraaf gaan we verder in op dat ontwerppracticum: welke stappen doorlopen de leerlingen bij ontwerpen, welke vaardigheden moeten ze voor het maken van een ontwerp verwerven, en hoe stimuleer je dat door middel van de vormgeving van de werkbladen voor ontwerppractica. We sluiten de paragraaf af met een aantal opmerkingen over en ideeën voor een leerlijn ontwerpen.

Ontwerpproces

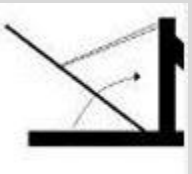
Het proces van ontwerpen wordt ook wel de ‘ontwerpcyclus’ genoemd. Daarbij doorlopen de leerlingen de volgende zes stappen.

Ontwerpprobleem analyseren en beschrijven – De eerste fase van de ontwerpcyclus betreft het *analyseren en beschrijven van het ontwerpprobleem*, waarbij het zaak is om zo goed mogelijk de verschillende deelaspecten van het probleem te exploreren. Daarbij hoort ook een analyse van onder andere de kennis die nodig is om het probleem op te lossen. Deze kennis kan erg breed zijn en tevens bestaan uit ervaringen die zijn opgedaan bij vergelijkbare problemen uit het verleden. Ook moet er goed worden gekeken naar inzichten die nog verworven moeten worden. Daarbij is het belangrijk dat leerlingen samenwerken om tot een bepaalde mate van collectieve kennisopbouw te komen. Daarnaast is het van belang dat de inhoud van de ontwerpstaak aansluit bij de beleavingswereld van de

leerlingen, zodat zij eigenaar worden van het probleem en gesignaleerde behoeften en wensen beter kunnen vertalen in ontwerpeisen. Maatschappelijke thema's zoals duurzaamheid en dienstverlening zijn in die zin goede keuzes.

Programma van eisen opstellen – De tweede fase van de cyclus betreft het *opstellen van het programma van eisen*. Een programma van eisen is een opsomming van toetsbare voorwaarden waaraan het te ontwerpen product moet voldoen. In sommige gevallen is een dergelijke lijst voorhanden. Als dat niet het geval is, moeten leerlingen in staat zijn om deze eisen uit een gegeven context of door overleg met een opdrachtgever af te leiden. De eisen kunnen betrekking hebben op bijvoorbeeld belangrijke functies, eigenschappen en vormgeving van een te ontwerpen product.

(Deel)uitwerkingen bedenken – Tijdens de volgende fase staat het *bedenken van alternatieve (deel)oplossingen* centraal om recht te kunnen doen aan het programma van eisen. Een belangrijke vaardigheid hierbij is het creatief en divergent denken, waarbij er verschillende oplossingen/uitwerkingen worden gezocht voor de (deel)eisen. Een nuttig hulpmiddel daarbij is een *ideeëntabel*. Zo'n tabel (zie figuur 340 voor een voorbeeld) brengt overzichtelijk in kaart welke uitwerkingen er per eis zijn bedacht.

Functie, eis of eigenschap	Uitwerking 1	Uitwerking 2	Uitwerking 3	...
schietmechanisme				
	elastisch materiaal	werparm	holle buis met veer	verend, buigbaar materiaal
mechanische aandrijving schietmechanisme				
	uitrekken elastiek (zoals bij pijl en boog)	werparm met contragewicht	indrukken van een veer (zoals bij flipperkast)	werparm met veer/elastiek
kogelhouder	halve holle (pingpong)bal	netje of stukje stof	kop van een lepel	koker (in geval van buis en veer)

Figuur 340 – Voorbeeld van een ideeëntabel, in dit geval voor een (middeleeuwse) katapult.

Ontwerpvoorstel formuleren – De vierde fase betreft het *formuleren van een ontwerpvoorstel* op basis van een optimale combinatie van deelopwerkingen, bijvoorbeeld op basis van de ideeëntabel. Hierbij hoort uiteraard een grondige onderbouwing, waarbij duidelijk de gemaakte afwegingen in kaart worden gebracht. Inzichten die tijdens de vorige fase op basis van divergent denken zijn ontstaan, leiden nu via convergent denken tot een oplossing voor het ontwerp-probleem. Daarbij horen ook ondersteunende tekeningen en schetsen die zichtbaar maken hoe het product er uiteindelijk uit komt te zien. Dit heeft een bijkomend voordeel: het maken van schetsen en tekeningen helpt leerlingen bij het publiekelijk maken van ideeën en inzichten die ten grondslag liggen aan de gekozen oplossing.

Ontwerp realiseren – In de vijfde fase gaat het om het *realiseren van het ontwerp als prototype of model*. Een prototype is een werkende probeerversie of proefversie van het uiteindelijk gewenste product. Ook kan in bepaalde gevallen eerst een op schaal gemaakt model gerealiseerd worden dat nog niet (volledig)

Verkennen

Er zijn verschillende activiteiten waarbij vooral het kennismaken met ontwerpen centraal staat: wat houdt een ontwerper bezig, waarom is ontwerpen belangrijk, wat merken we ervan in het dagelijks leven?

Een eerste explorerende activiteit is het 'omgekeerd ontwerpen', waarbij leerlingen kennismaken met ontwerpen door het analyseren van een bestaand product. De leerling kruipt in de huid van de ontwerper door de film van het ontwerpproces terug te spoelen. Vanuit de analyse van een concreet product wordt zodoende nagedacht over ontwerpbeslissingen en het programma van eisen.

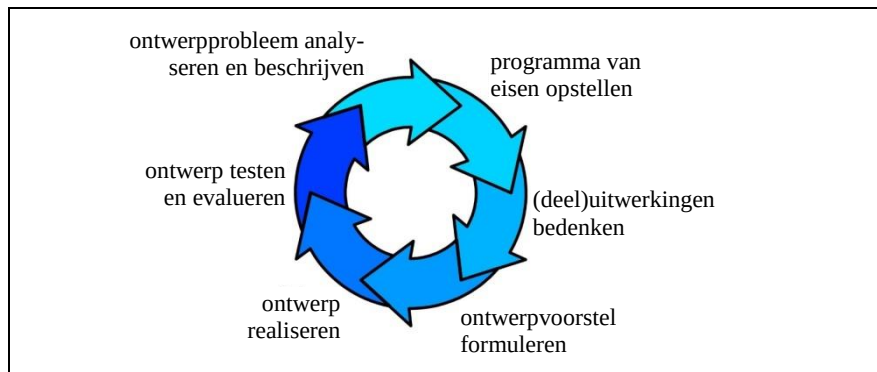
Een tweede explorerende activiteit is het inzetten van 'ontwerpuitdagingen'. Dit zijn kleine taken waarbij leerlingen met een beperkte set spullen een bepaalde prestatie moeten leveren. Daarbij mogen leerlingen (al samenwerkend) veelal op basis van een eigen aanpak de uitdaging aangaan. Op deze manier verkennen leerlingen al doende het werkgebied van een ontwerper. Een bekend voorbeeld is het maken van een zo hoog mogelijke toren van een beperkt aantal marshmallows en (ongekookte) spaghetti'slierten.

Figuur 342 – Voorbeelden van activiteiten gericht op kennismaken met ontwerpen.

werkend is. Een combinatie van beiden behoort ook tot de mogelijkheden, waarbij delen van het ontwerp gemodelleerd en andere delen op werking getest worden, waarna alles tot één geheel wordt samengevoegd. Uiteindelijk leidt deze fase tot een ontwerp dat getest kan worden met betrekking tot de gestelde eisen.

Ontwerp testen en evalueren – In de laatste fase staat het *testen en beoordelen van het ontwerp* centraal, waarbij wordt gekeken in hoeverre het ontwerp aan de eisen voldoet. Het mag duidelijk zijn dat experimenteervaardigheden hier een belangrijke rol kunnen spelen. Het testen en evalueren kan, als niet naar tevredenheid aan alle eisen wordt voldaan, leiden tot verbetervoorstellen. Deze voorstellen kunnen worden verkregen door bepaalde fasen van de ontwerpcyclus te herhalen. Uiteindelijk worden verbeteringen doorgevoerd, waarna het ontwerp weer wordt getest.

Deze in figuur 341 weergegeven ontwerpcyclus maakt duidelijk dat ontwerpen vooral een proces is dat bestaat uit een samenhangende verzameling van vaardigheden met een duidelijke voorkeursvolgorde die helpt om het ontwerpprobleem op een systematische manier aan te pakken. Hierbij moet worden opgemerkt dat er zeker afgeweken mag of zelfs moet worden van de getoonde volgorde. De cyclus maakt alleen duidelijk dat het doorlopen van alle stappen de kans op een succesvol ontwerp groter maakt. Op verschillende momenten zullen bijvoorbeeld stappen uit de cyclus herhaald moeten worden om voortgang te boeken, waardoor ontwerpen een sterk iteratief karakter krijgt. Ook wordt de cyclus vaak meerdere malen doorlopen om het ontwerp te verbeteren/optimaliseren. Ontwerpen kan daarom wellicht beter als een concentrisch proces worden gezien, waarbij men leert door ervaring en herhaling. Zeker gezien de complexiteit van het totale proces is het van belang, net als bij het doen van experimenteel onderzoek, om leerlingen geleidelijk met delen van het proces te laten kennismaken. Dit kan bijvoorbeeld door te oefenen met het opstellen van een programma van eisen. Of door te oefenen met divergent denken: het bedenken van verschillende (deel)oplossingen voor het ontwerpprobleem.



Figuur 341 – De ontwerpcyclus.

Het ontwerpproces wordt afgesloten met een tweetal niet in de ontwerpcyclus opgenomen fasen: het *rapporteren en presenteren* van het eindontwerp en het proces, en het *reflecteren* op het ontwerpproces.

Bij het rapporteren en presenteren is het vooral belangrijk dat inzichtelijk wordt welke afwegingen en beslissingen zijn genomen tijdens het proces ten dienste van de functionaliteit van het ontwerp. Leerlingen moeten laten zien dat ze planmatig en iteratief gewerkt hebben, en beperkt een beroep hebben gedaan op *trial and error*. Hiervoor hoeft niet veel tekst geproduceerd te worden, maar kunnen tabellen – zoals een ideeëntabel – en foto's met onderschrift erg behulpzaam zijn. De presentatie kan frontaal voor de klas plaatsvinden met inzet van ict-middelen. Een andere mogelijkheid is een *gallery walk*, waarbij net als in een museum ieder ontwerp kan worden bekeken en zo mogelijk uitgetoetst. Ontwerpen zouden dan meteen beoordeeld kunnen worden met betrekking tot het programma van eisen.

Bij de reflectie op het ontwerpproces staat allereerst het terugkijken op de procesgang centraal: wat ging goed en wat was voor verbetering vatbaar? Ten

tweede moet op basis hiervan gekeken worden naar de toekomst: welke voornemens zijn er voor een volgende ontwerp taak?

Cyclus zooming

Ontwerpopdrachten zijn onder andere te onderscheiden in de mate waarin de ontwerpcyclus aan bod komt: een deel van die cyclus of de volledige cyclus. Het ontwerp practicum *Fietsslot* van figuur 343 is een voorbeeld van dat eerste: de opdracht is beperkt tot één fase van de ontwerpcyclus. Dan is sprake van *cyclus zooming* – op een vergelijkbare manier als in paragraaf 7.3 bij de leerlijn onderzoeken. In het voorbeeld gaat het om de fase ‘programma van eisen opstellen’, met een vooruitblik naar de fase ‘(deel)uitwerkingen bedenken’.

Fietsslot

Individueel:

- 1 Lees onderstaande tekst aandachtig.

Vorige week donderdagavond kwam ik mijn buurman tegen. Zijn hoofd was rood aangelopen en hij keek niet echt vriendelijk. “Avond buurman, beetje laat vanavond?” vroeg ik voorzichtig. En toen barstte hij los: “Die @#%!&\$\$ hebben mijn fiets weer eens gestolen. Had ik net zo’n super beugelslot gekocht. Was bijna nog meer waard dan mijn fiets. Niet open te krijgen dat ding. Maar hij paste niet om een lantarenpaal of hekje, dus fiets weg en slot weg. Eerst had ik nog zo’n lange kabel. Die kon je mooi overal omheen krijgen. Maar die was wel bijna twee meter lang en moest ik om mijn zadelbuis heen slaan. Dat fietst dus niet echt lekker. Bovendien beschadigde hij mijn lak. Maar goed, dat slot hebben ze dus doorgeknipt! Ik ontwerp zelf wel een slot. Ze mogen het niet door kunnen knippen, ik moet mijn fiets er overal mee aan vast kunnen zetten, het moet mooi opgeborgen kunnen worden, ik wil er geen last van hebben, ik..., ik...”

“Rustig maar buurman, ’t komt allemaal weer goed. Kopje koffie?”

- 2 Beschrijf de opdracht die mijn buurman (die overigens twee linkerhanden heeft) zichzelf stelde. Doe dit aan de hand van een zogenaamd ‘programma van eisen’ (PvE, zie tabel 1). In het PvE beschrijf je wat het slot moet kunnen (de functionele eisen) en waar het aan moet voldoen (zoals concurrerende prijs, er mooi uitzien enzovoort). Verzin zelf ook nog wat deelfuncties en eisen.

Groep:

- 3 Vergelijk jullie antwoorden en stel samen een definitief PvE vast.

Individueel:

- 4 De (hoofd)functie(s) van een product kun je vaak splitsen in een aantal deelfuncties. Maak een tabel met de deelfuncties van het slot en de overige eisen die je er aan stelt (zie tabel 2).

Groep:

- 5 Vergelijk jullie antwoorden en stel samen een definitieve lijst van deelfuncties en eisen vast.

Individueel:

- 6 Hoe zou je kunnen voldoen aan de deelfuncties en overige eisen? Geef in de tabel meerdere deeloplossingen voor alle deelfuncties/eisen.

Tabel 1 – Programma van eisen

1	3
2	4

Tabel 2 – Deelfuncties, eisen en deeloplossingen

Deelfuncties/Eisen	1	2	3	4

Figuur 343 – Voorbeeld van een ontwerpopdracht beperkt tot het opstellen van een programma van eisen met deelfuncties en deeloplossingen. Bron: NVOX 28(5), 206-209.

Ontwerppracticum

Bij het ontwerppracticum *Muizenvalauto* van figuur 344 gaat het om een opdracht waarin de volledige ontwerpcyclus wordt doorlopen. De leerlingen krijgen per tweetal de opdracht een voertuig te maken dat wordt aangedreven door een gespannen muizenval. Het voertuig moet zo ver mogelijk komen. De kosten voor deze opdracht zijn bescheiden: de muizenval kost een paar euro en leerlingen moeten zelf het constructiemateriaal leveren (Lego, Meccano of K'nexx). Verder zijn er geen bijzondere hulpmiddelen nodig.

De opdracht spreekt tot de verbeelding: tien identieke muizenvalen leveren tien verschillende voertuigen met verschillende prestaties op. In figuur 345 zie je één van die tien voertuigen.

De ontwerpopdracht van figuur 344 heeft een enigszins gesloten karakter doordat er een beschrijving van de stappen van het ontwerpproces in is opgenomen. De ontwerpopdracht is gemakkelijk 'om te bouwen' tot een nog meer open opdracht door de beschrijving van het ontwerpproces te schrappen.



Figuur 345 – Eén van de resultaten van het ontwerpproces: de hefboomauto.

Muizenvalauto

Opdracht

Ontwerp een voertuig dat voortbewogen wordt door een muizenval. Streef naar een oplossing die een zo lang mogelijke weg kan afleggen.

Eisen:

- De af te leggen weg van het voertuig is rechtlijnig
- De ondergrond is vlak, hard en effen
- De energie mag alleen overgebracht worden op het horizontale vlak (niet springen, vliegen enzovoort)
- De muizenval is de enige energiebron voor de aandrijving van het voertuig

Bij het ontwerpproces worden de hieronder beschreven stappen doorlopen. Het proces kan cyclisch zijn, bijvoorbeeld na stap 4 terug naar stap 2.

Inleveren

Je levert uiterlijk op ... het volgende in:

- Het ontwerp(verslag) met daarin een omschrijving van de vijf stappen van het ontwerpproces
- Een logboek *per leerling*
- Het prototype

Logboek

Het logboek omvat meer dan alleen per werkzame dag een beschrijving van de activiteiten. Je beschrijft er het gehele ontwerpproces in! Neem er bijvoorbeeld een schrift voor.

Stappen van het ontwerpproces

1 Stel een programma van eisen (PvE) op

Aan welke eisen/wensen moet de oplossing voldoen? Formuleer zo concreet mogelijk. Eisen moeten meetbaar zijn: geef aan hoe je ze zou kunnen meten. Bespreek de eisen met je leraar. Houd rekening met wat op school wel en niet mogelijk is (randvoorwaarden).

2 Beschrijf deelfuncties en bedenk voor elke deelfunctie (deel)oplossingen

Bedenk functies die het product moet vervullen: welke verschillende dingen moet het product allemaal doen? Maak zelf zo'n tabel naar het voorbeeld hieronder.

functies		uitwerkingen			
		1	2	3	4
1					
2					
3					

Laat de functies door je leraar controleren. Na akkoord kun je verder gaan met het bedenken van manieren waarop elke functie vervuld zou kunnen worden. Bedenk zoveel mogelijk uitwerkingen per functie. Geef elke uitwerking weer met een schets en/of enkele trefwoorden. Zet ook die in de tabel. Daarmee maak je ideeën over belangrijke onderdelen duidelijk aan anderen.

Ontwerpopdrachten

Producten voor een ontwerpopdracht kunnen bijvoorbeeld zijn:

- waterraket
- stoel van papier
- brug of toren van spaghetti



- ei-opvanger
- waterspeeltoestel voor de buurt-speeltuin



- zonnepaneel dat zich automatisch naar de zon richt
- auto aangedreven door een opgeblazen ballon

Figuur 346 – Voorbeelden van producten voor een ontwerpopdracht.

3 Formuleer een ontwerpvoorstel

Je gaat nu kiezen. Ga voor alle uitwerkingen na of en in welke mate aan de eisen (PvE) is of kan worden voldaan. Selecteer de meest belovende combinatie van uitwerkingen. Houd rekening met de randvoorwaarden. Schrijf ook op hoe je tests wilt uitvoeren en waarmee. Motiveer je keuzen! NB: Hier zit dus ook een theoretische onderbouwing in!

4 Maak en test het ontwerp

Maak een eerste model (prototype) van het ontwerp. Je schrijft in je logboek wat je achtereenvolgens doet en welke problemen je tegenkomt. Dan volgt de testfase. Die kan heel uitgebreid zijn. Misschien moet je na een test wel besluiten om je model aan te passen of een nieuw model te maken. En daarna dat nieuwe model testen. Laat in deze fase je logboek regelmatig zien. Geef een beschrijving van de testprocedure(s) en de resultaten. Maak eventueel grafieken om metingen inzichtelijker te maken. Noteer ook duidelijk welke veranderingen of verbeteringen je hebt aangebracht om het alsnog te laten werken.

5 Evalueer het ontwerp

Leg kort uit hoe het ontwerp werkt. Bepaal in welke mate het voldoet aan het PvE. Trek op basis van onder andere de testresultaten conclusies. Zet de voordelen en nadelen op een rijtje.

Beoordeling

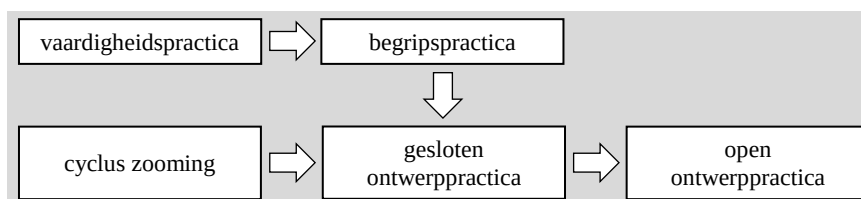
Je wordt beoordeeld op:

- de kwaliteit van elk van de stappen in het ontwerpproces
- de zelfstandigheid bij het ontwerpproces
- de informatieve kwaliteit van je logboek
- de kwaliteit van je metingen
- het natuurkundig gehalte in je ontwerp
- de kwaliteit van je verslag

Figuur 344 – Voorbeeld van een ontwerpopdracht waarbij leerlingen de volledige ontwerpcyclus doorlopen. Bron: NVOX 27(4), 151-155.

Leerlijn ontwerpen

Een mogelijke globale *leerlijn ontwerpen* is – op een vergelijkbare manier als in paragraaf 7.3 bij de leerlijn onderzoeken – weergegeven in figuur 347. En daarbij hoort een vergelijkbare kanttekening: het gaat om een *globale* leerlijn waarin bij de concrete invulling daarvan zeker ‘afwijkingen’ van de gesuggereerde volgorde mogelijk zijn.



Figuur 347 – Een mogelijke globale leerlijn ontwerpen.

Het idee achter de in figuur 347 geschetste leerlijn is dat leerlingen vanuit aanleeropdrachten uiteindelijk in staat zijn om open ontwerppractica met succes te doorlopen. Het tempo waarin dit gebeurt, de mate waarin de complexiteit toeneemt en de mate waarin er ingespeeld wordt op natuurkundige begrippen en regels is, afhankelijk van de achtergrond, context en doelgroep, vrij te kiezen.

Door middel van vaardigheids- en begripspractica kunnen leerlingen eerst ervaring opdoen met kennis en vaardigheden die op een later moment belangrijk zijn tijdens het ontwerpproces. Leerlingen doen bijvoorbeeld kennis op over ontwerpmethodieken, materiaaleigenschappen en het gebruik van materialen en gereedschappen. Naast het opdoen van voor ontwerpen relevante kennis en vaardigheden kan er ook sprake zijn van verkennende activiteiten zoals die van figuur 342.

Een volgende stap in het leerproces heeft betrekking op het inzoomen op één of enkele stappen van de ontwerpcyclus: cyclus zooming. Bepaalde kennis en vaardigheden die tijdens de vaardigheids- en begripspractica aan de orde zijn

gekomen, worden nu samengevoegd ten dienste van het ontwerpen. Het doel is dus om leerlingen ontwerpvaardigheden aan te leren zonder het hele pakket aan vaardigheden ineens aan te bieden. Een mogelijkheid kan zijn om drie soorten opdrachten aan te bieden, waarbij de eerste soort zich richt op het programma van eisen en divergent denken, de tweede soort op het kiezen en realiseren van een geschikte oplossing en de derde soort op het testen en herontwerpen.

Uiteindelijk zouden leerlingen in staat moeten zijn om een (meer) open ontwerpopdracht aan te kunnen. Er kan hierbij gedacht worden aan het door de leerlingen zelf formuleren van een ontwerpopdracht op basis van ideeën die afkomstig zijn uit de directe omgeving of actualiteit, maar het kan ook gaan om een specifieke vraag vanuit het bedrijfsleven om een oplossing te ontwerpen voor een probleem.

7.5 Oordeels- en besluitvorming

Keuzesituaties

- In bad of onder de douche?
- Koken op gas of elektriciteit?
- Geluidswal of snelheidsbeperking?
- Fiets met velg- of trommelremmen?
- Gloeilamp, spaarlamp of led-lamp?
- Rekenmachine op batterij of zonnecel?
- Helm-plicht voor fietsers?
- Zonneboiler voor warm water?
- Ondergrondse CO₂-opslag of duurzame energiebronnen?
- HR-ketel of warmtepomp voor verwarming?
- Maximumsnelheid 130 of 100 km/h op de snelweg?
- Elektrische auto of benzine-auto?



- Statiegeld- of weggooi- overpakkingen?
- Afval weggooien of hergebruiken?

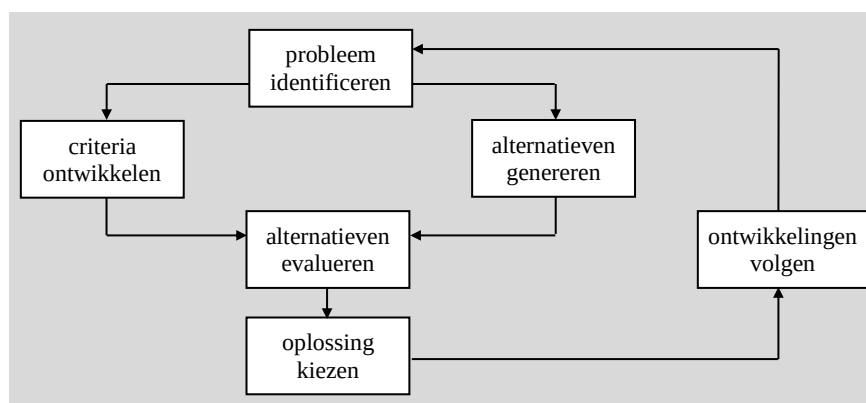
Figuur 348 – Voorbeelden van keuzesituaties.

In het ‘dagelijks leven’ krijgt iedereen regelmatig te maken met keuzesituaties, of het nu gaat om de aanschaf van ‘het beste apparaat’ uit een breed aanbod van merken en types, om de keuze van een energieaanbieder (waarbij het om meer kan gaan dan alleen de laagste prijs) of om het stemmen bij verkiezingen. In een aantal gevallen heeft die keuze natuurwetenschappelijke aspecten. En een doel van natuurkundeonderwijs kan zijn om leerlingen voor te bereiden op het maken van keuzes in dat soort situaties. In de *Kennisbasis natuurwetenschappen en technologie voor de onderbouw* valt dat onder de karakteristieke werkwijze *waarden en oordelen*: “in een waardering of oordeel kennis, waarden en emoties onderscheiden en afwegen daartussen maken.” Die keuzesituaties kunnen gaan over zaken als afvalverwerking, water- en energievoorziening, geluidshinder en verkeersveiligheid: zie de voorbeelden in figuur 348.

In de preambule van het examenprogramma natuur- en scheikunde voor vmbo worden zes algemene onderwijsdoelen genoemd, die voor alle vakken en alle sectoren gelden. En daarin staat dat een leerling het volgende leert: “op een doordachte wijze keuzeproblemen oplossen”, “een eenvoudig bedrijfsmatig, natuurwetenschappelijk of maatschappelijk vraagstuk planmatig onderzoeken” en “op basis van argumenten tot een eigen standpunt komen.” Met andere woorden: oordeels- en besluitvorming, waaraan ook het vak natuur- en scheikunde een bijdrage kan leveren.

Besluitvormingsproces

Besluitvorming is het maken van een beargumenteerde keuze uit alternatieven, waarvoor een oordeel op grond van iemands waarden nodig is. Deze ‘definitie’ van besluitvorming geeft een proces weer. Reflectie op de manier waarop een dergelijk proces in het ideale geval zou moeten verlopen, heeft geleid tot een normatief model voor besluitvorming: een stapsgewijze procedure van probleem identificeren, criteria ontwikkelen, alternatieven genereren, alternatieven evalueren, oplossing kiezen, en ontwikkelingen volgen.



Figuur 349 – Normatief model van een besluitvormingsprocedure.

Besluitvorming in de praktijk

Na het ‘vaststellen’ van het normatieve model van figuur 349 in de jaren 60 van de vorige eeuw heeft onderzoek naar besluitvorming van professionals de volgende ‘afwijkingen’ opgeleverd, die als gevolg van hun herkenbaarheid in het dagelijks leven in de tussentijd niet verdwenen zullen zijn.

- De verschillende stappen in de procedure worden niet van elkaar onderscheiden. Tijdens de stap van het genereren van alternatieven worden de gegenereerde alternatieven direct al geëvalueerd, wat al snel kan leiden tot een zekere mate van vooringenomenheid wat betreft een voorkeur voor of afkeer van een van de alternatieven. Een gevolg van deze vooringenomenheid kan zijn dat de nadelen van een voorkeursalternatief en de voordelen van de (ontijdig) verworpen alternatieven niet meer in het proces worden meegenomen, en dat het verzamelen en verwerken van informatie incompleet en vooringenomen plaatsvindt.
- Criteria voor het evalueren van alternatieven worden niet vooraf geformuleerd, maar in interactie met het evalueren van alternatieven: de alternatieven worden vergeleken en tegen elkaar afgewogen op basis van hun verwachte gevolgen. Of, als er op de een of andere manier criteria worden ontwikkeld, dan doen zij dienst als een minimale verzameling voorwaarden voor een alternatief om ‘goed genoeg’ te zijn. In een dergelijke *satisficing strategy* worden de alternatieven opeenvolgend bekeken, zonder een poging te doen om tot een vergelijkende afweging van voor- en nadelen te komen en – binnen een strategie van *elimination by aspects* als een meer complexe vorm van *satisficing* – zonder een onderscheid te maken tussen meer en minder belangrijke criteria.

Figuur 350 – Afwijkingen van het normatieve model voor besluitvorming.

In dit normatieve model worden de criteria voor het evalueren van alternatieven in een vroeg stadium geformuleerd, in directe relatie met de identificatie van het probleem. In een later stadium worden de gegenereerde alternatieven op deze criteria geëvalueerd, uitlopend op een besluit over wat de beste (of minst slechte) oplossing lijkt. En ten slotte – weergegeven in de stap ‘ontwikkelingen volgen’ in figuur 349 – worden deze criteria gebruikt bij het beoordelen van het effect van de ondernomen actie: heeft de gekozen oplossing in de praktijk de gewenste effecten, en welke nieuwe wetenschappelijke, technische en maatschappelijke ontwikkelingen geven aanleiding tot een gewijzigde probleemsituatie?

In de praktijk verloopt besluitvorming vaak niet langs de lijnen van dit normatieve model: zie de geconstateerde ‘afwijkingen’ in figuur 350. Blijkbaar hebben (ook) professionele besluitvormers moeite met het vooraf ontwikkelen van criteria, met het maken van een onderscheid tussen de verschillende stappen en met het vermijden van voortijdige besluiten – of mogelijk heeft hun gegroeide ervaring geleid tot ‘automatisering’ en verkorting. Het feit dat besluitvorming in de werkelijkheid afwijkt van wat het normatieve model ‘voorschrijft’, betekent niet dat het model onbruikbaar is. Het model kan dienst doen als een schema voor het denken over (oplossingen voor) een nieuw en complex vraagstuk, als een checklist om het over het hoofd zien van belangrijke aspecten te voorkomen, en om het proces in de tijd te structureren – dus, om leerlingen besluitvorming te leren.

Een argument voor gebruik van het normatieve model in het onderwijs is dat het aansluit bij wat veel leerlingen al weten over besluitvorming. Wat het natuurkundeonderwijs daarop voortbouwend aan kan toevoegen is het leerlingen ervaringen laten opdoen met besluitvorming in situaties met natuurwetenschappelijke aspecten, waarbij die ervaringen worden gebruikt om de onderliggende besluitvormingsprocedure expliciet te maken. Die procedure kunnen de leerlingen gaan zien als een nuttig hulpmiddel bij hun besluitvorming over – voor hen nieuwe en complexe – persoonlijke of maatschappelijke vraagstukken. Het zorgvuldig volgen van de procedure dwingt hen om direct opkomende intuïtieve ideeën over het probleem en de (enige) oplossing opzij te zetten, en een (meer) doordachte afweging van verschillende alternatieven te maken.

Een eerste aandachtspunt is het doel van besluitvormingsonderwijs. Dat is in elk geval het leren presenteren van een beargumenteerde mening als resultaat van een gestructureerde, doordachte besluitvorming. Over de vraag of het ondernemen van daarbij passende actie en dus het vertonen van een bepaald soort gewenst gedrag zoals ‘milieuvriendelijk’ of ‘gezond’ daar ook bij hoort, is discussie mogelijk. Heeft het onderwijs hierin een ‘opvoedende’ taak? Of zou het bij besluitvorming in het onderwijs – als het om gedrag gaat – moeten gaan om ‘niet meer dan’ een uitbreiding van het gedragsrepertoire (gedrag dat een leerling *kan* vertonen, als hij of zij dat zou willen) en de kennis waarop dat gedrag kan worden gebaseerd – waarna het de individuele verantwoordelijkheid van de leerling is welk gedrag uit zijn of haar afwegingen volgt?

Een tweede aandachtspunt is het nogal snel gedateerd kunnen raken van persoonlijke of maatschappelijke keuzesituaties. Over een periode van een aantal jaren moet daarom steeds goed worden gekeken in hoeverre het ‘ontwikkelingen volgen’ uit het normatieve besluitvormingsproces van figuur 349 tot een bijstelling van de keuzesituatie en/of de relevante criteria en alternatieven zou moeten leiden. De hierna te bespreken lessenserie *Verpakkingsafval* is daarvan een voorbeeld.

Besluitvorming in keuzesituaties

Er zijn in het curriculum van de onderbouw, mede gezien de formulering van de kerndoelen en het nog ontbreken van examendruk, ruime mogelijkheden voor onderwijs over besluitvorming bij onderwerpen zoals afval, energie, water en geluid. Bij één van deze onderwerpen zou sprake kunnen zijn van het ontwikkelen van een ‘instrument’ dat in die context kan worden gebruikt (of eigenlijk al impliciet gebruikt is) om na te denken over de vraag of men een verstandig besluit heeft genomen. Bij de volgende onderwerpen kan dat instrument dan worden aangepast en gebruikt.

Actualisering

De keuzesituatie rond de twee melkverpakkingen bestaat inmiddels niet meer: melk in een glazen (statiegeld)fles is iets uit het verleden.

Verder is er in de loop van de tijd het een en ander veranderd wat betreft de alternatieven voor het storten en verbranden van verpakingsafval: preventie van verpakkingen, hergebruik van het verpakingsmateriaal (recycling) en hervullen van verpakkingen – niet zozeer wat betreft de alternatieven zelf, maar wel in de praktijk van afvalverwerking met zijn weerslag op de criteria-gerelateerde eigenschappen van verpakkingen en verpakingsmaterialen. Ook de in de lessenserie gegeven informatie hierover is dus inmiddels verouderd.

Bij een actualisering van de lessenserie zou gedacht kunnen worden aan een plastic in plaats van een glazen (statiegeld)fles. Dat is dan wel een fictieve keuzesituatie, want zo'n plastic (statiegeld)fles is – in tegenstelling tot het 'kartonnen' pak – niet 'op de markt'.

Figuur 352 – Een van de valkuilen bij lessenseries rond persoonlijke en maatschappelijke keuzesituaties: gedateerdheid. In het normatieve model van de besluitvormingsprocedure van figuur 349 komt dit tot uitdrukking in de laatste stap: de noodzaak van 'ontwikkelingen volgen'.

Standaard

Inhoud – Volledigheid wat betreft verpakingsalternatieven en milieucriteria, en het gebruik van volledige en juiste eigenschappen van die alternatieven in de vergelijkingen per criterium.

Presentatie – Een duidelijke weergave van de verpakingsalternatieven en milieucriteria, een systematische weergave van de vergelijking van die alternatieven op die criteria, en een expliciete weergave van de keuzes per criterium, de (zo nodig) gemaakte afweging en de uiteindelijke keuze.

Figuur 353 – Inhouds- en presentatiestandaard voor een beargumenteerde mening over een afvalkeuzesituatie.

Een voorbeeld van de manier waarop zo'n 'instrument' kan worden ontwikkeld staat in figuur 351: een lessenserie rond besluitvorming over verpakingsafval in een fles/pak-keuzesituatie – met in figuur 354 en 355 ter illustratie enkele opdrachten uit deze lessenserie. Maar één van de andere eerder genoemde onderwerpen kan net zo goed als een vergelijkbare start worden gekozen.

Verpakingsafval

De keuzesituatie die in de lessenserie *Verpakingsafval: storten, verbranden en hergebruiken* centraal staat als voorbeeld is die van de keuze tussen twee melkverpakkingen: de glazen (statiegeld)fles of het 'kartonnen' pak. Dit illustreert één van de eerder genoemde aandachtspunten: gedateerdheid (zie figuur 352). Ondanks dat is deze lessenserie nog steeds illustratief voor besluitvormingsonderwijs.

In de volgende beschrijving van de lessenserie is het normatieve model van besluitvorming van figuur 349 herkenbaar. Wat in die beschrijving ontbreekt, is de stap van 'alternatieven genereren' – want die alternatieven zijn in de lessenserie (zoals hierboven is aangegeven) gegeven.

Probleem identificeren – In de eerste activiteit van de lessenserie worden de motieven en voorkennis van de leerlingen productief gebruikt om het onderwerp in te perken tot besluitvorming over verpakkingen vanuit milieuoogpunt.

Criteria ontwikkelen – In de tweede activiteit wordt de voorkennis van leerlingen over het afvalvraagstuk productief gebruikt om de twee relevante milieucriteria vast te stellen: uitputting van grondstoffen bij de productie van verpakkingen, en vervuiling van lucht, water en bodem bij het storten en verbranden van verpakingsafval. Om daarna te constateren dat hun voorkennis nog tekort schiet bij het vergelijken van de twee gegeven verpakingsalternatieven op die milieucriteria. Het resultaat is een onderzoeksvraag voor een literatuuronderzoek naar de criteria-gerelateerde eigenschappen van verpakkingen en verpakingsmaterialen (zie figuur 354).

Alternatieven evalueren – Een logisch vervolg is dan in de derde activiteit het zoeken naar een antwoord op deze onderzoeksvraag: kennisuitbreiding.

Oplossing kiezen – Die verworven afvalkennis wordt dan in de vierde activiteit ingezet voor het doel waarvoor ze is verworven: besluitvorming over verpakkingen en het weer-geven van een beargumenteerde mening.

Besluitvormingsprocedure – In de afsluitende vijfde activiteit maken de leerlingen, terugkijkend op hun ervaringen, de besluitvormingsprocedure expliciet en verkennen zij de bruikbaarheid van dit gereedschap voor besluitvorming in keuzesituaties rond andere milieuvraagstukken (zie figuur 355).

In de gegeven onderwijscontext (3-mavo) wordt productief gebruik gemaakt van wat leerlingen al kennen en kunnen. Voor wat betreft de besluitvormingsvaardigheid betekent dit dat de leerlingen niet zozeer moeten leren om beslissingen te nemen, want feitelijk kunnen ze dat al. Het is wél de moeite waard om hen te leren om, in situaties die daar om lijken te vragen, expliciet te reflecteren op de kwaliteit van hun besluitvormingsproces. Om die kwaliteit te verhogen moeten ze niet alleen leren gebruik te maken van nieuwe natuurwetenschappelijke kennis over verpakingsafval en afvalverwerking, maar ook eisen te stellen aan hun afwegingen in de vorm van een in de klas gemeenschappelijk afgesproken 'standaard' voor een 'goed' besluitvormingsproces.

In de lessenserie ontwikkelen en presenteren de leerlingen een beargumenteerde mening over een afvalkeuzesituatie. Gebruikmakend van die presentaties ontstaat in een klassendiscussie de in figuur 353 weergegeven standaard voor een beargumenteerde mening over zo'n situatie. In deze standaard is gebruik gemaakt van een model van het afvalvraagstuk (de 'levensloop' van verpakkingen van grondstof tot afval en de mogelijke kringlopen daarin) en van een model van het besluitvormingsproces uit figuur 349. Beide modellen worden door de leerlingen expliciet gemaakt – het model van het afvalvraagstuk in het begin, en het model van het besluitvormingsproces aan het eind van de lessenserie. Daarmee eindigt deze lessenserie met een instrument voor besluitvorming, dat naar verwachting ook bruikbaar zou kunnen zijn bij andere keuzesituaties.

Figuur 351 – Voorbeeld van het ontwikkelen van een 'instrument' voor besluitvorming.

6 Een beter milieu...

Met een keuze uit verpakingsalternatieven kun je een bijdrage leveren aan een beter milieu. Maar: 'een beter milieu', wat bedoelen we daar eigenlijk mee...

- Bekijk het schema van de levensloop van verpakkingen dat je in opdracht 5 hebt gemaakt: welke twee milieuproblemen kunnen verpakkingen geven? En dus: op welke twee punten zou je moeten letten bij het kiezen uit verpakingsalternatieven?

7 ... begint bij verpakingskeuze

De punten waarop je bij het kiezen uit verpakkingsalternatieven zou moeten letten, noemen we milieucriteria.

- In de tabel van figuur 6 staat een keuzesituatie: melk in een plastic statiegeldfles of in een kartonnen pak. Schrijf in de tabel van welke materialen deze verpakkingen gemaakt zijn. Schrijf daarna de twee milieucriteria in de eerste kolom van de tabel. Vergelijk de twee verpakkingen op het eerste milieucriterium: welke verpakking is op dat criterium 'beter voor het milieu', en waarom? Schrijf dit in de tweede kolom van de tabel. Vergelijk de twee verpakkingen daarna op dezelfde manier op het tweede milieucriterium.

product	melk	
verpakking(alternatieven)	fles	pak
verpakking(materialen)		
		
Milieucriteria	vergelijking	
.....		
.....		
.....		

Figuur 6 – Fles/pak-keuzesituatie.

8 Verpakkingsmaterialen

Bij het vergelijken van verpakkingsalternatieven op de twee milieucriteria heb je gemerkt dat we meer moeten weten over verpakkingsmaterialen. Maar: om welke verpakkingsmaterialen gaat het dan...

- Bekijk de verzameling lege verpakkingen in de klas: van welke materialen zijn die verpakkingen gemaakt? Schrijf de vijf meest gebruikte verpakkingsmaterialen op.
- Kijk in de buurtwinkel, in de supermarkt of in de voorraadkast thuis eens goed rond. Zie je daar nog andere veel gebruikte verpakkingsmaterialen? Dus: andere materialen dan die je hierboven hebt opgeschreven? Zo ja: welke?

9 Onderzoeksvragen

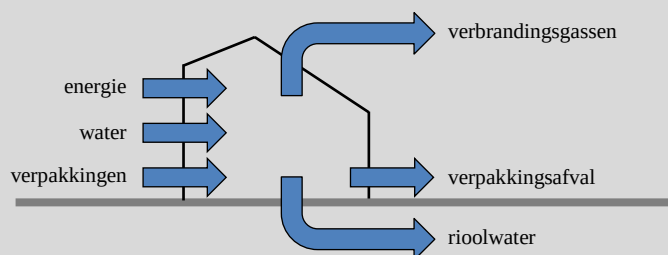
Je kunt met je keuze uit verpakkingsalternatieven een bijdrage leveren aan 'een beter milieu'. Dan moet je die verpakkingsalternatieven vergelijken op de twee milieucriteria. Maar: dan moet je meer weten over de vijf meest gebruikte verpakkingsmaterialen.

- Schrijf op wat je moet gaan uitzoeken over die verpakkingsmaterialen. Of, met andere woorden: wat je onderzoeksvragen zijn.

Figuur 354 – Opdrachten uit de lessenserie *Verpakkingsafval*, waarin leerlingen vaststellen dat hun voorkennis nog tekort schiet bij het vergelijken van verpakkingsalternatieven op milieucriteria in de fles/pak-keuzesituatie en op grond daarvan hun onderzoeksvragen voor een literatuuronderzoek formuleren.

18 Besluitvorming in andere keuzesituaties

In opdracht 17 heb je het besluitvormingsproces over verpakkingen in beeld gebracht. Dat proces is (misschien) ook wel bruikbaar in andere keuzesituaties. Want in opdracht 2 heb je gezien dat er een overeenkomst is tussen het verbruik van energie, water en verpakkingen in huis. In figuur 12 is die overeenkomst nog eens weergegeven.



Figuur 12 – Verbruik van energie, water en verpakkingen in huis. Energie en water komen ergens vandaan, net als verpakkingen. Het zijn grondstoffen die de mens uit het milieu haalt. En bij het verbruik van energie en water ontstaat afval, net als bij verpakkingen. Afval dat uiteindelijk weer in het milieu terecht komt.

- In figuur 13 staan drie keuzesituaties die te maken hebben met het verbruik van water en energie. Kies één van die situaties uit figuur 13. En geef voor de gekozen keuzesituatie antwoord op de volgende drie vragen.
- Wat zijn in deze keuzesituatie de twee *alternatieven*?
 - Op welke *milieucriteria* moet je die alternatieven vergelijken in het besluitvormingsproces, denk je?
 - Welk *soort kennis* heb je nodig om de alternatieven op die milieucriteria te kunnen vergelijken?
- 1 Je wilt je lichaam wassen. Ga je in bad, of stap je onder de douche?
 - 2 De gloeilamp boven je bureau is doorgebrand. Draai je er een nieuwe gloeilamp in, of vervang je de gloeilamp door een spaarlamp?
 - 3 Je moet een nieuwe zakrekenmachine kopen. Van dezelfde rekenmachine zijn twee typen: de ene werkt op een batterij en de andere op een zonnecel. Welk type koop je?

Figuur 13 – Keuzesituaties.

Figuur 355 – Opdrachten uit de lessenserie *Verpakkingsafval*, waarin leerlingen reflecteren op de bruikbaarheid van het doorlopen besluitvormingsproces in andere milieukeuzesituaties.

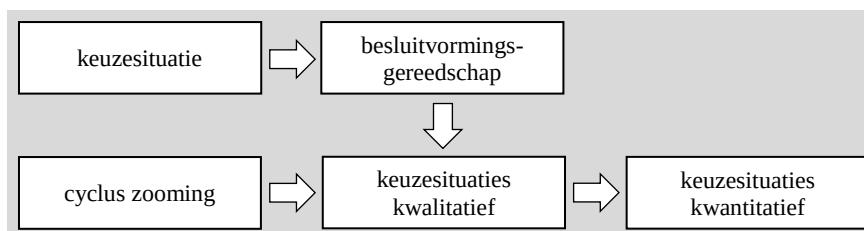
Leerlijn besluitvorming

In de hierboven gepresenteerde lessenserie is het instrument voor besluitvorming ontwikkeld binnen de context van het afvalvraagstuk. Echter, in een reeks van elkaar opvolgende besluitvormingsmodules, dus als een doordachte leerlijn, is dit instrument geleidelijk te de-contextualiseren tot een instrument voor besluitvorming in het algemeen.

Naast verpakkingsafval (of breder: huishoudelijk afval) zouden in andere lessenseries keuzesituaties ten aanzien van water- en energieverbruik aan de orde kunnen worden gesteld, met vergelijkbare milieucriteria maar andere alternatieven. Daarbij valt te denken aan keuzesituaties rond bad of douche, het gebruik van grijs water, het energieverbruik van apparaten en de energievoorziening van een woning (kleinschalig). Of in onderwerpen als geluid (verkeerslawaaï, geluidsniveau bij concerten) of verkeersveiligheid, waarbij heel andere criteria een rol spelen in de besluitvorming. Uiteindelijk kan dan ook de nadruk komen te liggen op besluitvorming als onderwerp op zich. Door reflectie op de ontwikkelde context-afhankelijke standaarden kan een algemene formulering worden afgesproken, ruwweg van de in figuur 356 weergegeven vorm.

Deze standaard heeft een duidelijk context-onafhankelijk karakter. Het is daarmee een algemeen bruikbaar gereedschap voor besluitvorming in voor leerlingen nog complexe situaties. Een gereedschap dat kan helpen bij het reguleren en controleren van de stappen die bij besluitvorming moeten worden gezet. Een belangrijk punt hierbij is dat het instrument in reflectie op de eigen ervaringen van de leerlingen, in het bijzonder op een door hen als problematisch ervaren situatie, kan worden geëxpliciteerd en uitgebreid. Aan zo'n leerlijn zouden ook andere vakken dan natuur- en scheikunde een bijdrage kunnen leveren.

Evenals bij de leerlijnen voor onderzoeken en ontwerpen kan in de leerlijn voor oordeels- en besluitvorming desgewenst gebruik worden gemaakt van cyclus zooming. Daarbij valt te denken aan onderwijsleeractiviteiten rond het identificeren van keuzesituaties, rond het ontwikkelen van criteria en/of het genereren van alternatieven in een bepaalde keuzesituatie, en rond het evalueren van gegeven alternatieven op gegeven criteria.



Figuur 357 – Een mogelijke globale leerlijn oordeels- en besluitvorming.

Bij het ontwikkelen van die leerlijn kunnen de hoofdkenmerken van de in figuur

Standaard

Inhoud – Volledigheid en relevantie wat betreft alternatieven en criteria, en het gebruik van volledige en juiste kwalificaties van die alternatieven in de vergelijkingen per criterium.

Presentatie – Een duidelijke weergave van de alternatieven en criteria, een systematische weergave van de vergelijking van die alternatieven op die criteria, en een expliciete weergave van de keuzes per criterium, de (zo nodig) gemaakte afweging en de uiteindelijke keuze.

Figuur 356 – Inhouds- en presentatiestandaard voor een beargumenteerde mening over een keuzesituatie.

351 geschetste lessenserie als uitgangspunt worden gekozen. Dan gaat het allereerst om het productief gebruik van de bestaande kennis en besluitvormingsvaardigheid van de leerlingen. En in combinatie daarmee gaat het om een leerproces dat ‘heen-en-weer slingert’ tussen kennisuitbreiding en vaardigheidsontwikkeling. Dat zou in vervolgllessenseries niet anders moeten zijn. Daarbij kan dan wel bij elk van die lessenseries productief gebruik worden gemaakt van de zich ontwikkelende kennis over milieu- en gezondheidsvraagstukken en besluitvormingsvaardigheid van de leerlingen. In een ‘tweede ronde’ (in het vierde leerjaar vmbo en in de bovenbouw havo/vwo) zou bovendien een deel van deze keuzesituaties op een meer kwantitatieve manier kunnen worden bekeken.

7.6 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: wat zijn – gezien het karakter van bèta-specifieke vaardigheden of karakteristieke werkwijzen als probleemoplossen, onderzoeken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming – mogelijke leerlijnen voor vaardigheidsontwikkeling?

Een antwoord op deze vraag is de in de paragrafen 7.2 t/m 7.5 geschetste leerlijn, aansluitend bij het proceskarakter van deze algemene vaardigheden of voor het vak karakteristieke werkwijzen. Daarbij moet wel worden aangetekend dat het hier gaat om enerzijds *mogelijke* leerlijnen en anderzijds *globale* leerlijnen. Het eerste betekent dat er andere keuzes mogelijk zijn. Het tweede houdt in dat die globale leerlijnen in de lespraktijk nog domeinspecifiek zullen moeten worden ingevuld in een variëteit aan leerstofdomeinen, bijvoorbeeld met behulp van het leerboek en/of de op de website van dit praktijkboek genoemde bronnen. Maar het kan ook zijn dat die leerlijnen al in het leerboek zijn verwerkt. In dat geval kan de inhoud van dit hoofdstuk helpen bij een kritische beoordeling daarvan. Daarnaast moet met nadruk worden gesteld dat de genoemde vaardigheden niet alleen in het vak natuurkunde een rol spelen, maar ook in de andere bètavakken. Het ontwikkelen van vaardigheidsleerlijnen zou dus een verantwoordelijkheid van de gezamenlijke bètasecties moeten zijn.

Een kenmerk van de geschetste leerlijnen – met name die voor onderzoeken en ontwerpen – is de opbouw van de practica over de leerjaren heen: een start met vaardigheids- en begripspractica (waarbij die vaardigheidspractica een voor onderzoeken en ontwerpen specifieke invulling krijgen), gevolgd door cyclus zooming (gericht op bepaalde onderdelen van de onderzoeks- en ontwerpcyclus) en in eerste instantie gesloten maar later (meer) open onderzoeks- en ontwerp-practica (gericht op het volledig doorlopen van de onderzoeks- en ontwerpcyclus). Dit laatste kun je – net als in paragraaf 6.8 voor begripsontwikkeling – zien als een aanvulling op het in paragraaf 2.8 genoemde vijftal *leerprincipes* uit de leerpsychologie: *opbouwen*.

Opbouwen – Laat de vaardigheidsontwikkeling van de leerlingen plaatsvinden in een zorgvuldig doordachte reeks van vaardigheids-, begrips- en onderzoeks-/ontwerppractica, van voorbereidend via gesloten naar (meer) open over de leerjaren heen – met daarbij de kanttekening dat het mogelijk, en soms zelfs gewenst is om bewust van deze volgordes af te wijken.

