Praktijkboek natuurkundedidactiek

vmbo en onderbouw havo/vwo

Natuurkundelessen ontwerpen

Redactie
Hans Poorthuis, Koos Kortland & Ad Mooldijk

HOGESCHOOL UTRECHT
Instituut Archimedes

Universiteit Utrecht
Freudenthal Instituut

Praktijkboek natuurkundedidactiek – Natuurkundelessen ontwerpen vmbo en onderbouw havo/vwo

Redactie:
Hans Poorthuis, Koos Kortland & Ad Mooldijk

© 2020 Hogeschool Utrecht | Universiteit Utrecht

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de auteurs – met uitzondering van het gebruik van dit materiaal voor onderwijsdoeleinden in de lerarenopleiding.

Hoofdauteur: Hans Poorthuis
Eindredactie en vormgeving: Koos Kortland
Websitebeheer: Ad Mooldijk
Omslagafbeelding: 123rf.com, Andrey Kuzmin

Website: www.natuurkundelessen-ontwerpen.nl

Voorwoord

Het *Praktijkboek natuurkundedidactiek – Natuurkundelessen ontwerpen* is bedoeld voor gebruik bij het onderdeel vakdidactiek in de tweedegraads lerarenopleiding als kennisbasis voor (aanstaande) natuurkundeleraren in het vmbo (voor het vak NaSk 1) en de onderbouw van het havo en vwo. Het biedt daarnaast ondersteuning aan de leraar die daar actief aan de slag wil met het verder ontwikkelen van het eigen onderwijs.

De teksten in dit praktijkboek schrijven niet voor wat een leraar zou moeten doen en hoe, maar geven op praktijkervaringen gebaseerde (en soms wetenschappelijk onderbouwde) informatie, geïllustreerd met inspirerende voorbeelden. De nadruk ligt daarbij op de dagelijkse lespraktijk: praktische, direct in de klas toepasbare vakdidactiek.

Via de aan dit praktijkboek gekoppelde website www.natuurkundelessen-ontwerpen.nl is een verbreding, verdieping en onderbouwing mogelijk door het raadplegen van bronnen voor verdere studie en lesmateriaalvoorbeelden. Deze website geeft ook ondersteuning voor lerarenopleiders bij het gebruik van dit praktijkboek in de vorm van mogelijke en naar eigen inzicht aanpasbare opleidingsactiviteiten.

Bronvermelding

De informatie in dit praktijkboek komt – zoals hierboven al gezegd – niet uit de lucht vallen, maar is enerzijds gebaseerd op ideeën, lesmaterialen, praktijkervaringen en onderzoek van de redactieleden en de auteurs, en anderzijds op tijdschriftartikelen en boeken van andere vakdidactici en onderwijsonderzoekers. Er is – anders dan gebruikelijk, met het oog op de leesbaarheid – voor gekozen om de verwijzingen naar die publicaties niet in de tekst van het praktijkboek op te nemen. Die verwijzingen staan per hoofdstuk op de aan dit praktijkboek gekoppelde website bij ‘bronnen voor verdere studie’.

Vakdidactiek

Onderwijsvernieuwingen voltrekken zich tegenwoordig in een razend tempo. Ook in het natuurkundeonderwijs. De ene vernieuwing is nog niet geïmplementeerd of hij wordt alweer aangevuld of vervangen door een volgende. Steeds lijkt het te gaan om noodzakelijke, beargumenteerde verbeteringen van een kennelijk ongewenste ‘traditionele’ situatie. Daarbij kan het gaan over *scientific literacy*, de concept-contextbenadering en combinaties van vakken tot leergebieden als *science* of natuur en techniek.

Dergelijke discussies vormen een eerste onderdeel van ‘de vakdidactiek’: het *curriculumniveau*. Over de vakken die worden gegeven en de (globale) inhoud daarvan beslist de landelijke overheid, over de uitwerking daarvan tot lesmethodes beslissen de educatieve uitgeverijen. Op dit niveau heb je dus als individuele leraar, opleider of auteur weinig tot niets te zeggen, behalve het uitoefenen van invloed op dit soort beslissingen via de beroepsvereniging NVON, het deelnemen aan de betreffende discussies en het waar mogelijk implementeren van de beoogde onderwijsvernieuwingen in je eigen lessen (en mogelijk daarover rapporteren in vakbladen zoals *NVOX*).

Een tweede, op dat laatste aansluitend en minstens zo belangrijk onderdeel van ‘de vakdidactiek’ is die van de lespraktijk: het op grond van een heldere, uitgesproken onderwijsvisie ontwerpen, uitvoeren en evalueren (en op grond daarvan bijstellen) van vakspecifieke onderwijsleerprocessen in een diversiteit aan leerstofdomeinen binnen het vakgebied, zoals mechanica, energie, optica, elektriciteit en magnetisme, deeltjesfysica en ioniserende straling – al dan niet aan de

hand van de door de vaksectie op school gekozen lesmethode. Daar heb je wel invloed: hoe introduceer je een lessenserie, wat zijn de leerdoelen, welke structuur hebben de lessen, welke al dan niet activerende werkvormen gebruik je, welke rol speelt ICT daarin, hoe zorg je voor de gewenste begripsontwikkeling bij leerlingen gegeven hun eigen denkbeelden en de vakstructuur, hoe ga je na in hoeverre de leerdoelen zijn bereikt en hoe past de lessenserie in de misschien samen met collega's van de andere natuurwetenschappelijke vakken vastgestelde leerlijnen voor algemene vaardigheden als probleemoplossen, onderzoeken en ontwerpen? Dat is dus 'de vakdidactiek' op *lespraktijkniveau*, waarover het in dit praktijkboek vooral zal gaan.

De teksten in dit praktijkboek kunnen de indruk wekken van: "Zo zit het. Doe het zo, dan gaat het goed." Dat kán het geval zijn, maar of het ook zo werkt hangt altijd af van het leerklimaat in de lessen, het karakter van de leerlingen en de relatie tussen de leraar en de klas. Daarnaast kunnen meer toevallige omstandigheden een rol spelen, zoals het uur van de dag, wat er in die klas in de les ervoor gebeurd is en wat er in de les erna zal gaan gebeuren. Los daarvan – en belangrijker – geldt dat bij het ontwerpen, uitvoeren en toetsen van je onderwijs vaak meerdere alternatieven zijn te bedenken, die even goed of beter kunnen blijken uit te vallen. Voor het ontwikkelen van inzicht in die alternatieven is ervaring nodig, maar ook een bepaalde houding: een bereidheid om keuzes te evalueren en ter discussie te stellen. Bedenk daarom altijd: onderwijs maken is geen kwestie van een recept uitvoeren, maar van alternatieven bedenken, daaruit een zo goed mogelijk beredeneerde keuze maken en de gemaakte keuze evalueren.

Leeswijzer

Het eerste hoofdstuk van dit praktijkboek geeft een inleiding op het karakter van het schoolvak natuurkunde in het vmbo en de onderbouw havo/vwo en op wat er van een leraar verwacht wordt bij het vormgeven van vakspecifieke onderwijsleerprocessen.

In hoofdstuk 2 komt eerst de praktijk van het ontwerpen en uitvoeren van veel voorkomende lesonderdelen zoals het aanbieden van leerstof, het stellen van vragen, het uitvoeren van demonstraties en het uitleggen van opgaven aan de orde. Dat wordt in de hoofdstukken 3 en 4 gevolgd door het combineren van deze lesonderdelen tot verschillende soorten lessen (theorieles en practicumles) en lessenseries (cursorische en projectmatige lessenserie) in een aantal varianten. In deze drie hoofdstukken is dus sprake van een opbouw 'van klein naar groot': van lesonderdelen via lessen naar lessenseries. Dat wordt dan in hoofdstuk 5 afgesloten met de toetsing van de kennis en vaardigheden die de leerlingen in een lessenserie hebben opgedaan, met onder andere aandacht voor de constructie van toetsvragen en toetsen en het bewaken van de kwaliteit daarvan.

Daarna geeft hoofdstuk 6 zicht op de mogelijke aanpak van de begripsontwikkeling van leerlingen, zowel in het algemeen (door middel van het reageren op en productief gebruik maken van leerlingdenkbeelden) als meer specifiek bij een aantal onderwerpen uit de verschillende leerstofdomeinen die bij leerlingen vaak tot begripsproblemen leiden. In hoofdstuk 7 komt de mogelijke aanpak van de vaardigheidsontwikkeling van leerlingen op gebieden als probleemoplossen, onderzoeken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming aan de orde.

Hoofdstuk 8 heeft het karakter van een wegwijzer naar de beschikbare hulpmiddelen voor het vormgeven van het natuurkundeonderwijs, zoals leerplanontwikkelingsprojecten, leerboeken en multimediale leermiddelen, examenprogramma's en vmbo-examens, computersoftware en het aanbod van musea, science centers en bedrijven om de 'wereld buiten de school' de les in te halen.

In hoofdstuk 9 staat het verder verbeteren van het eigen onderwijs door het zelf ontwerpen van lesmateriaal centraal. Daarbij wordt aandacht besteed aan verschillende didactische benaderingen van het vak en het vakonderwijs, zoals de concept-contextbenadering, het onderzoekend, probleemstellend en probleemgeoriënteerd leren, taal en vaktaal, en natuurkundige denk- en werkwijzen. Dat zijn vakdidactische benaderingen die vaak in de op school gebruikte leerboeken (nog) niet zijn terug te vinden, en daardoor om eigen ontwerpactiviteiten vragen.

Ten slotte staat het laatste hoofdstuk in het teken van (verdere) professionalisering, met een overzicht van beroepsverenigingen en instellingen als bron van inspirerende lesmaterialen en praktijkervaringen van leraren, en een schets van de mogelijkheden voor nascholing. En als allerlaatste: het ontwerpgericht praktijkonderzoek, met een meer onderzoeksmatige benadering van het vakdidactisch ontwerpen uit hoofdstuk 9.

Met deze inhoud geeft dit praktijkboek naar ons idee een redelijk compleet beeld van de natuurkundedidactiek in het vmbo en de onderbouw havo/vwo. Maar dit betekent zeker niet dat er geen verbreding, verdieping en onderbouwing mogelijk is – die is desgewenst te vinden in bijvoorbeeld het *Handboek natuurkundedidactiek* en de daaraan gekoppelde website www.natuurkundedidactiek.nl. En anderzijds betekent dit ook niet dat alles wat in dit praktijkboek staat in de opleiding aan de orde zou moeten komen of direct in de lespraktijk zichtbaar zou moeten zijn. Daarvoor is in de opleiding vaak onvoldoende tijd, en – zelfs als dat niet het geval zou zijn – zou er toch sprake kunnen zijn van een dreigende 'overbelasting' bij de voorbereiding op die lespraktijk. Een deel van dit praktijkboek is daardoor mogelijk meer geschikt om in een later stadium op terug te grijpen – na het opbouwen van voldoende ervaring met het ontwerpen, uitvoeren en evalueren (en op grond daarvan bijstellen) van 'standaardlessen'.

Redactie

Hans Poorthuis – Emeritus natuurkunde-didacticus/lerarenopleider aan het Instituut Archimedes, Hogeschool Utrecht.

Koos Kortland – Emeritus universitair docent/onderzoeker aan het Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht.

Ad Mooldijk – Natuurkunde-didacticus/lerarenopleider aan het Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht.

Dankwoord

De redactie wil hierbij haar dank uitspreken aan de auteurs van het *Handboek natuurkundedidactiek* van wie hun bijdrage aan dat handboek in ingekorte en bewerkte vorm is opgenomen in dit praktijkboek, zoals weergegeven in de bronvermelding bij de inhoudsopgave. Daarnaast dank aan Lesley de Putter voor haar bijdrage over gepersonaliseerd leren in paragraaf 4.2.2, aan Karel Langendonck voor het schrijven van paragraaf 5.2 t/m 5.4 over toetsvraag- en toetsconstructie, en aan de reviewers Erik van Caem, Peter Dekkers, Henk Tober, Mirjam Venneker, Wouter Spaan en Jan van Riswick voor hun commentaar en aanvullingen op de verschillende hoofdstukken-in-ontwikkeling.

Ten slotte een woord van dank aan het Instituut Archimedes van de Hogeschool Utrecht en het Freudenthal Instituut van de Universiteit Utrecht voor het faciliteren van onze werkzaamheden.

Utrecht, april 2020
Hans Poorthuis, Koos Kortland & Ad Mooldijk

Inhoud

1 Beeld van het vak en vakonderwijs 9
1.1 Inleiding 9
1.2 Natuurkunde 9
1.2.1 Karakter en inhoud van het vak 9
1.2.2 Natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze 12
1.3 Leerklimaat 16
1.4 Competent in lesgeven 18
1.5 Afsluiting 20

2 Lesonderdelen 23
2.1 Inleiding 23
2.2 Onderwerp inleiden 23
2.3 Leerstof aanbieden 24
2.3.1 Begrippen en regels 24
2.3.2 Concept maps 31
2.3.3 Vaardigheden 33
2.4 Vragen stellen 35
2.4.1 Checkvragen 35
2.4.2 Activerende vragen 40
2.4.3 Onderwijsleergesprek 43
2.5 Demonstraties uitvoeren 47
2.6 Samenwerken 50
2.6.1 Denken-delen-uitwisselen en Experts 50
2.6.2 Samenwerkend leren 51
2.7 Opgaven bespreken 54
2.7.1 Verwerkings- en toepassingsopgaven 54
2.7.2 Rangschikopgaven 55
2.7.3 Rekenopgaven 57
2.8 Afsluiting 59

3 Lessen 61
3.1 Inleiding 61
3.2 Theorieles 61
3.2.1 Leerstofanalyse 61
3.2.2 Opbouw theorieles 65
3.2.3 Huiswerk 68
3.3 Practicumles 71
3.3.1 Practicumdoelen 72
3.3.2 Opbouw practicumles 73
3.3.3 Practicumwerkbladen 75
3.3.4 Practicumverslag 90
3.3.5 Practicumveiligheid 94
3.4 Afsluiting 95

4 Lessenseries 97
4.1 Inleiding 97
4.2 Cursorische lessenserie 97
4.2.1 Opbouw lessenserie 97
4.2.2 Recht doen aan verschillen 106
4.2.3 Studiewijzer 110
4.3 Projectmatige lessenserie 111
4.3.1 Opbouw lessenserie 111
4.3.2 Leren van een project 115

4.3.3 Projectwerk beoordelen 117
4.4 Afsluiting 120

5 Toetsing 121
5.1 Inleiding 121
5.2 Toetsvraagconstructie 121
5.2.1 Open vragen 121
5.2.2 Constructie van open vragen 123
5.2.3 Gesloten vragen 128
5.2.4 Constructie van gesloten vragen 130
5.3 Toetsconstructie 132
5.3.1 Kwaliteitscriteria 132
5.3.2 Toetscyclus 134
5.4 Toetsgereedschap 135
5.4.1 Taxonomieën 135
5.4.2 Toetsmatrijs 138
5.4.3 Toetsanalyse 140
5.5 Toetspraktijk 142
5.6 Afsluiting 144

6 Begripsontwikkeling 147
6.1 Inleiding 147
6.2 Leerlingdenkbeelden 147
6.3 Kracht, evenwicht en beweging 149
6.4 Elektrische schakelingen 159
6.5 Arbeid, warmte en energie 169
6.6 Deeltjesmodel en molecuultheorie 177
6.7 Licht en beeldvorming 181
6.8 Afsluiting 186

7 Vaardigheidsontwikkeling 187
7.1 Inleiding 187
7.2 Probleemoplossen 187
7.3 Onderzoeken 194
7.4 Ontwerpen 204
7.5 Oordeels- en besluitvorming 210
7.6 Afsluiting 215

8 Leerplan en leermiddelen 217
8.1 Inleiding 217
8.2 Leerplan en leerplanontwikkeling 217
8.3 Leerboeken en multimediale leermiddelen 223
8.4 Examenprogramma's en examens 227
8.5 Computersoftware 228
8.6 Musea, science centers en bedrijven 233
8.7 Afsluiting 234

9 Vakdidactisch ontwerpen 237
9.1 Inleiding 237
9.2 Leermiddelen ontwerpen 237
9.3 Concept-contextbenadering 241
9.4 Onderzoekend leren 247
9.5 Probleemstellend leren 250
9.6 Probleemgeoriënteerd leren 255
9.7 Taal en vaktaal 256
9.8 Karakteristieke werk- en denkwijzen 264
9.9 Afsluiting 268

10 Professionalisering 271
10.1 Inleiding 271
10.2 Beroepsverenigingen en instellingen 271
10.3 Nascholing 272
10.4 Ontwerpgericht praktijkonderzoek 273
10.5 Afsluiting 276

Bronvermelding

In de hoofdstukken 2, 4 en 6 t/m 9 is gebruik gemaakt van ingekorte en bewerkte bijdragen aan het in het voorwoord genoemde *Handboek natuurkundedidactiek* van de hand van de volgende auteurs:

- Ad Mooldijk (2.3.2)
- Ed van den Berg (2.4.1)
- Martijn Koops (2.5)
- Wouter Spaan (4.2.1)
- Gerben Bakker (4.2.1)
- Ton van der Valk (6.2 en 7.3)
- Dave van Breukelen (7.4)
- Koos Kortland (7.5)
- Ad Mooldijk & Freek Pols (8.5)
- Anne Land-Zandstra (8.6)
- Koos Kortland & Hans Poorthuis (9.2)
- Lesley de Putter (9.3)
- Henk Pol (9.4)
- Marjolein Vollebregt & Kees Klaassen (9.5 en 9.6)

Achter de auteursnamen staan de paragrafen van het praktijkboek waarin hun bijdrage aan het handboek is verwerkt.

1 Beeld van het vak en vakonderwijs

1.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat allereerst over het karakter en de inhoud van het vak natuurkunde in het vmbo en de onderbouw havo/vwo: wat is dit voor vak, en wat willen we dat leerlingen daarover leren? Daarnaast gaat het in dit hoofdstuk ook om het karakter van het onderwijs in dat vak: hoe willen we dat leerlingen over dat vak leren? Dan gaat het over het leerklimaat bij het vakonderwijs. En ten slotte: wat is daarin de rol van de leraar natuurkunde – hoe geef je als leraar het onderwijsleerproces vorm, en wat moet je daarvoor kunnen?

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: wat is het beeld van het vak en het vakonderwijs dat we aan leerlingen willen overbrengen?

1.2 Natuurkunde

1.2.1 Karakter en inhoud van het vak

In deze paragraaf geven we een globaal beeld van het karakter en de inhoud van het vak natuurkunde zoals dat in leerboeken voor vmbo en onderbouw havo/vwo naar voren komt, en gebruikt kan worden om het vak bij de leerlingen te introduceren. De paragraaf sluit af met de daarmee verbonden algemene doelen van het vak. De in die algemene doelen genoemde 'natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze' komt in de volgende paragraaf aan bod.

Karakter van het vak

De vakken natuurkunde, scheikunde en biologie gaan over de wereld om ons heen. Bij natuur- en scheikunde gaat het daarbij om onderzoek naar natuurverschijnselen en het gedrag van stoffen en materialen, met als doel om die verschijnselen te begrijpen. En die kennis wordt daarna dan weer – in combinatie met het vak techniek – toegepast voor het maken van producten. Zonder natuurkunde, scheikunde en techniek zou de wereld om ons heen er heel anders uitzien. Zo kom je in bijvoorbeeld een school computers, lampen, verwarming, meubilair en vloerbedekking tegen – allemaal producten van natuurkunde, scheikunde en techniek. Dat geldt ook voor veel spullen die je dagelijks gebruikt: van de gel in je haar tot je mobiele telefoon.

Natuurkunde – Je kunt je afvragen waarom de zon iedere dag opkomt, hoe onweer ontstaat en waarom een steen omlaag valt als je hem loslaat. Dit soort vragen heeft te maken met natuurkunde. Natuurkunde probeert de verschijnselen die je om je heen ziet te begrijpen. Hoe ontstaat een regenboog? Waarom komt bij onweer de bliksemflits eerder dan de donder? Hoe kun je zelf elektriciteit maken? Valt een zware bal sneller dan een lichte bal? Waarom is het extra warm als je een zwart T-shirt draagt in de zon? Het gaat bij natuurkunde dus niet om de levende natuur, zoals bij biologie.

Scheikunde – Als je een vlam bij een stuk papier houdt, zie je dat het papier verdwijnt. Het lijkt wel magie. Maar er is geen sprake van het verdwijnen van een stof: het papier verandert in as en rook. Scheikundigen onderzoeken stoffen en hoe ze die kunnen veranderen. Met die kennis ontwikkelen ze nieuwe stoffen en materialen. Ze zoeken antwoord op vragen als: hoe maak je geneesmiddelen, verzorgingsproducten (lipstick, gel, tandpasta), kunststoffen (plastic) en auto-

banden? Maar ook: hoe kun je materialen scheiden en hergebruiken?

Toepassingen – In een ziekenhuis spelen natuur- en scheikunde een grote rol. In leerboeken wordt dit bijvoorbeeld in beeld gebracht zoals weergegeven in figuur 1. Andere toepassingsgebieden naast het ziekenhuis zijn verkeer, sport, het weer, optische instrumenten, verlichting, elektronische instrumenten, geneesmiddelen, moderne materialen enzovoort.

Figuur 1 – Lesmateriaalvoorbeeld: natuur- en scheikunde in het ziekenhuis als één van de vele toepassingsgebieden van het vak. Bron: *Overal* NaSk 2HV (4e editie, pg 8).

Ontdekkingen en uitvindingen – Uitvinders maken dankbaar gebruik van ontdekkingen uit de natuur- en scheikunde. Denk daarbij aan de mobiele telefoon, de computer, het vliegtuig of de elektriciteitscentrale. En de toekomst zal weer nieuwe uitvindingen brengen. De vraag wat de belangrijke ontdekkingen uit de natuur- en scheikunde zijn, wordt in leerboeken beantwoord als in figuur 2 en 3. Dat roept natuurlijk de vraag op of er in de toekomst nog iets valt te ontdekken.

Natuur- en scheikunde en techniek

Natuur- en scheikundigen doen ontdekkingen en bedenken daarvoor een verklaring. Die ontdekkingen en verklaringen kun je gebruiken om nieuwe producten te bedenken en te maken. Het vakgebied techniek gaat over het uitvinden en maken van producten.

Natuurkundigen onderzoeken bijvoorbeeld de werking van elektriciteit en bedenken daar een theorie over. De techniek bedenkt daarna allerlei producten en machines. Eerst de lamp en de elektriciteitscentrale, later ook televisies, computers en mobiele telefoons. Veel van die producten gebruiken natuurkundigen dan weer bij hun onderzoeken.

Figuur 3 – Lesmateriaalvoorbeeld: de relatie tussen natuur- en scheikunde en techniek.

Ontdekkingen en uitvindingen

Isaac Newton is één van de belangrijkste natuurkundigen uit de geschiedenis. Hij deed rond 1700 belangrijke ontdekkingen over de zwaartekracht. Door de zwaartekracht vallen voorwerpen omlaag. Newton bedacht een theorie over de zwaartekracht. Met een theorie kun je verschijnselen begrijpen. Zonder Newtons theorie over de zwaartekracht zou de ruimtevaart niet zijn ontstaan. Dan zouden er ook geen satellieten in een baan om de aarde draaien. En die zijn nodig voor televisie-uitzendingen, navigatieapparaten, weersvoorspellingen en telefoongesprekken.

Een andere belangrijke natuurkundige is **Albert Einstein**. In de eerste helft van de vorige eeuw ontdekte hij belangrijke eigenschappen van de allerkleinste deeltjes waaruit stoffen zijn opgebouwd. Zonder zijn theorieën zou de laser niet zijn ontstaan. Dan zouden er ook geen cd- en dvd-spelers zijn. En zonder de theorieën van Albert Einstein was er ook geen gebruik van kernenergie en kernstraling. Ziekenhuizen gebruiken kernstraling bijvoorbeeld voor het bestralen van tumoren.

In de tweede helft van de negentiende eeuw bedacht de scheikundige **Dmitri Mendelejev** een theorie waarmee hij de eigenschappen kon voorspellen van stoffen die men toen nog helemaal niet kende. Later bleek dat zijn voorspellingen heel goed klopten. Door het werk van Mendelejev kunnen scheikundigen nu voorspellen wat er gebeurt als je twee stoffen bij elkaar doet. Ze kunnen dan vooraf zeggen of er explosiegevaar is of niet.

Figuur 2 – Lesmateriaalvoorbeeld: natuur- en scheikunde als bron van uitvindingen.

Het kan erop lijken dat op het gebied van de natuur- en scheikunde het meeste bekend is. Toch zijn er nog veel onbeantwoorde vragen, zoals: hoe kun je aardbevingen voorspellen, zijn wij alleen in de ruimte, hoe kun je een orkaan tegenhouden, hoe kun je de wereld voorzien van energie zonder het milieu te bederven, hoe werkt de zwaartekracht precies en kun je met een machine de zwaartekracht groter of kleiner maken?

Inhoud van het vak

In dit praktijkboek beperken we ons verder tot het vak natuurkunde. De vakgebonden leerdoelen voor natuurkunde kun je verdelen in drie domeinen: *begrippen en regels*, *vaardigheden* en een *planmatige werkwijze*.

Begrippen en regels – Verschijnselen uit de wereld om ons heen zijn te begrijpen met behulp van natuurkundige begrippen en regels: zie de tabel van figuur 4 voor een aantal voorbeelden. In leerboeken worden die begrippen en regels steeds vaker gekoppeld aan praktijkcontexten ontleend aan het dagelijks leven, beroepen en natuurverschijnselen, zowel bij de introductie van die begrippen en regels als bij de toepassing ervan in opgaven en eindopdrachten.

Leerstofdomein	Voorbeeld van een begrip of regel	Voorbeeld van een verschijnsel	Praktijkcontext
Mechanica	$F = m \cdot a$	Een vrachtwagen trekt moeilijker op dan een personenauto.	Sport Verkeer Werktuigen en constructies
Optica	Licht plant zich rechtlijnig voort.	Een spot geeft een lichtbundel.	Verlichting Optische instrumenten
Stoffen	Een stof bestaat uit moleculen.	Uit wolken valt regen. Water wordt ijzel.	Waterkringloop
Elektriciteit	$U = I \cdot R$ $P = U \cdot I$	Bij kortsluiting slaat de zekering door.	Elektrische huisinstallatie Automaten
Heelal	De onderlinge stand van aarde, maan en zon bepaalt de maanfase.	De maan doorloopt fasen van nieuw, half tot heel en via half weer nieuw.	Sterrenhemel
Weer en klimaat	Drukverschillen in de atmosfeer veroorzaken wind.	De wind varieert van richting en in kracht.	Weer

Figuur 4 – Voorbeelden van begrippen en regels in een aantal leerstofdomeinen.

Vaardigheden – Voor het onderzoeken van verschijnselen zijn vaardigheden nodig, zoals experimentele vaardigheden (opstelling bouwen, meetinstrumenten en practicumapparatuur bedienen, waarnemingen en metingen vastleggen en bewerken), presentatievaardigheden (rapporteren over het onderzoek) en wiskundige vaardigheden (werken met verhoudingstabellen, formules en diagrammen).

Na de zeventiende eeuw is veel vooruitgang geboekt in de wetenschap doordat men steeds meer en beter ging *meten*. Verschijnselen waaraan gemeten was, konden nu vergeleken worden met theorieën waaraan gerekend was. De motivatie om betere theorieën te maken werd hierdoor versterkt. Het lesmateriaalvoorbeeld van figuur 5 laat zien hoe de experimentele vaardigheid ‘meten’ in een leerboek kan voorkomen.

Planmatige werkwijze – Voor het oplossen van problemen en onderzoeken van verschijnselen is planmatig werken nodig. Bij het oplossen van een natuurkundig probleem met bekende begrippen, regels en formules betekent dat: oriënteren en analyseren (lezen, gegevens ordenen, tekening maken, symbolen hanteren en voorkennis zoals formules in kaart brengen), plan van aanpak bedenken, uitwerken, controleren en evalueren. En bij het doen van een natuurkundig onderzoek komt dat planmatig werken neer op: na verkennen van de situatie een onderzoeksvraag bedenken, een plan van aanpak maken, eerlijk experimenteren, rekening houden met onafhankelijke en afhankelijke variabelen, conclusie trekken en delen van de onderzoeksresultaten (zodat anderen later kunnen controleren of het

Meten

Petra geeft haar vriendin een beschrijving van een van de jongens in haar klas: blauwe ogen, kort blond haar en ongeveer 1 meter 80 lang. Petra heeft zijn *lengte* natuurlijk niet gemeten. Ze heeft goed gekeken en bedacht wat de lengte ongeveer is. Dat noem je *schatten*. Bij schatten is de precieze lengte niet belangrijk, het gaat om een maat die ongeveer klopt. Als je precies wilt weten hoe lang iemand is, dan moet je zijn lengte *meten*. Je kiest dan een geschikt *meetinstrument*. In dit geval zou dat een lange liniaal of een rolmaat zijn. Je vindt dan de lengte in centimeter (cm) of in meter (m).

Figuur 5 – Lesmateriaalvoorbeeld: de experimentele vaardigheid ‘meten’.

wel klopt). Het lesmateriaalvoorbeeld van figuur 6 geeft daarvan een beeld.

Onderzoeken

Valt een zware bal sneller dan een lichte bal? Je hebt misschien wel een idee welke bal het snelst valt. Dat idee noem je een *voorspelling*. Om te controleren of je voorspelling klopt, doe je een *experiment*: je laat een zware en een lichte bal vallen en meet de valtijd. In de lessen natuurkunde doe je experimenten om de theorie beter te begrijpen, om te oefenen met meetinstrumenten of een nieuw verschijnsel te onderzoeken.

Bij ieder experiment begin je met het *waarnemen van een verschijnsel*. Je bedenkt over het verschijnsel een *onderzoeksvraag*. In dit geval is de onderzoeksvraag: valt een zware bal sneller dan een lichte bal? Je voorspelling controleer je met behulp van een experiment. Als je het experiment hebt uitgevoerd, weet je het antwoord op de onderzoeksvraag. Dat antwoord noem je de *conclusie* van het experiment.

Bij het experiment moet je er voor zorgen dat je zo eerlijk mogelijk vergelijkt. In dit voorbeeld wil je onderzoeken of de massa verschil maakt. Dan verander je alleen de massa van de bal. De hoogte waarover de bal valt en de grootte van de bal moet je hetzelfde houden.

Figuur 6 – Lesmateriaalvoorbeeld: planmatig werken bij het onderzoeken van een verschijnsel.

Algemene doelen van het vak

Het schoolvak natuurkunde dient samen met de andere bètavakken drie algemene doelen voor leerlingen.

- Kennis hebben van de basisprincipes en begrippen van het natuurwetenschappelijk denken en van de natuurwetenschappelijke methode, inclusief technisch ontwerpen – en deze kennis kunnen toepassen.
- Een beeld krijgen van de opleidingen en beroepen waartoe natuurwetenschap en techniek toegang geven.
- Zicht hebben op de functie van natuurwetenschap en techniek in de hedendaagse maatschappij en op de wisselwerking tussen onderzoek en toepassing.

Een deel van de leerlingen gaat verder in de verschillende technische richtingen, een ander deel niet. Daarom heeft het onderwijs in de natuurkunde twee onderscheiden doelgroepen: leerlingen die de natuurkunde nodig hebben voor een vervolgopleiding of een beroep, en leerlingen die natuurkunde hebben als eindonderwijs.

Gemeenschappelijk voor beide doelgroepen is de vormende waarde van het vak. De leerlingen krijgen inzicht in de materiële werkelijkheid. Ze raken vertrouwd met natuurwetenschappelijk denken. Ze beheersen onderzoeksvaardigheden en probleemoplossende vaardigheden die logisch en kritisch denken inhouden. Deze vormende waarde is voor het individu van belang om te kunnen meedoen in een technische samenleving. Maar ook de samenleving heeft behoefte aan mensen die het natuurwetenschappelijk denken begrijpen, die waardering hebben voor wat met wetenschap en techniek bereikt werd en wordt, maar die ook de beperkingen en de negatieve kanten daarvan inzien.

Voor alle technische beroepen en opleidingen is natuurkunde noodzakelijk. Voor beroepen en opleidingen in de gezondheidszorg is natuur- en scheikunde vaak aan te bevelen.

1.2.2 Natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze

In de algemene doelen van het vak natuurkunde is de ‘natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze’ een belangrijk onderdeel. Maar wat is dat: natuurwetenschappelijk denken en werken?

Producten van natuurwetenschap en techniek

In de loop van de vorige eeuw zijn de producten van natuurwetenschap en techniek een steeds grotere rol in onze samenleving gaan spelen. Zo’n honderd jaar geleden had men nog nooit van televisie gehoord, laat staan van computers. Kleding was gemaakt van ruwe plantaardige of dierlijke vezels die je met de hand

moest wassen. En het eten was al even ‘natuurlijk’: in de sla zaten nog slakken, en rauw vlees had nog een bruine kleur. Niemand klaagde, want men wist niet beter. Dat er toch zo veel in zo’n betrekkelijk korte tijd veranderd is, danken we aan wetenschappers en technici, die door hun speciale manier van denken en werken, en door hun creativiteit en doorzettingsvermogen onze samenleving met de opbrengsten van hun werk hebben verrijkt.

Toch ziet niet iedereen die opbrengst van het natuurwetenschappelijk denken alleen maar als een verrijking. Verregaande industrialisatie en intensivering van de landbouw hebben welvaart gebracht aan velen, maar de talloze mensen in de Derde Wereld hebben er nauwelijks van kunnen profiteren. Bovendien wordt door deze ontwikkeling het wereldwijde milieu ernstig bedreigd en leidt onvrede vaak tot conflicten die worden beslecht met steeds geavanceerder wapentuig. Natuurwetenschappelijke producten dienen niet altijd vrede en vooruitgang.

Behalve nieuwe producten hebben de natuurwetenschappen ook nieuwe denkbeelden opgeleverd. Opvattingen over het ontstaan van de mens, het leven en het heelal, maar ook ideeën over gezondheid, leergedrag en verwantschap zijn door de natuurwetenschappen sterk beïnvloed. Veel mensen denken nu anders over de almacht van God en de schepping van de wereld. Juist omdat de producten en ideeën van het natuurwetenschappelijk denken een enorme invloed op onze samenleving hebben, is het interessant om na te gaan hoe dit proces – in al zijn aspecten – in zijn werk gaat. Daarmee houden zowel natuur- als maatschappijwetenschappers zich bezig, naast filosofen en schrijvers. Natuurwetenschappelijk denken is een belangrijk vormend doel van het natuurkundeonderwijs. Het wordt ook wel aangeduid als logisch of kritisch denken.

Zonsverduistering

In het stripboek *Kuifje en de Zonnetempel* worden Kuifje en zijn vrienden Haddock en Zonnebloem gevangen genomen door Inca’s en zullen levend worden verbrand. Kuifje weet echter dat er een zonsverduistering zal zijn, en speldt de Inca’s op de mouw dat de Zon de executies verbiedt.

Figuur 7 – Zonsverduistering als natuurwetenschappelijk of mythologisch verschijnsel.

Wereldbeelden

Het voorbeeld van figuur 7 laat zien dat je een gebeurtenis als een zonsverduistering heel anders interpreteert vanuit een natuurwetenschappelijke denkwijze als vanuit een animistische. De natuurwetenschappen ontmythologiseren de natuur, die daarvoor bevolkt werd door meestal boze geesten.

Bijbelboek Jozua 10: 12-13

Toen sprak Jozua tot de Here ten dage, waarop de Here de Amorieten aan de Israelieten overleverde, en hij zeide in tegenwoordigheid van Israel: Zon, sta stil te Gibeon en gij, maan, in het dal van Ajjalon! En de zon stond stil en de maan bleef staan, totdat het volk zich op zijn vijand gewroken had. Is dit niet geschreven in het Boek des Oprechten? De zon nu bleef staan midden aan de hemel en haastte zich niet onder te gaan omstreeks een volle dag.

Heliocentrisch wereldbeeld

De alom geaccepteerde theorie vanuit de natuurwetenschappen is dat de zon stil staat en dat de aarde daar omheen draait, evenals de andere planeten in ons zonnestelsel: een *heliocentrisch* wereldbeeld.

Figuur 8 – Geocentrisch en heliocentrisch wereldbeeld.

Bijbelboek Genesis 1: 1-3

In den beginne schiep God de hemel en de aarde. De aarde nu was woest en ledig, en duisternis lag op de vloed, en de Geest Gods zweefde over de wateren. En God zeide: Er zij licht; en er was licht.

Oerknaltheorie

De *oerknal* of *big bang* is de populaire benaming van de kosmologische theorie die op basis van de algemene relativiteitstheorie veronderstelt dat 13,7 miljard jaar geleden het heelal ontstond uit een enorm heet punt (zo’n 10^{28} K) met een oneindig grote dichtheid, ofwel een *singulariteit*. Tegelijkertijd met de oerknal zouden *ruimte en tijd* zijn ontstaan.

Figuur 9 – Theologische en natuurwetenschappelijke verklaring.

Voor orthodoxe gelovigen levert de situatie uit figuur 8 geen probleem. Bij God

is immers alles mogelijk. Maar het bovenstaande citaat uit het Bijbelboek Jozua is ook gebruikt om te bewijzen dat de aarde stil staat en de zon beweegt als ondersteuning van een *geocentrisch* wereldbeeld. Dit wijst op de onjuistheid van letterlijke Bijbelteksten. Gelovigen die meer kijken naar de *betekenis* van die teksten en niet naar wat er letterlijk staat, hebben ook weinig problemen met de tekst. Zij geloven niet in een almachtige God die eigenmachtig natuurverschijnselen beïnvloedt.

Een orthodoxe gelovige leest het verhaal van de schepping in het Bijbelboek Genesis in figuur 9 als een historische gebeurtenis. In de natuurwetenschappen zijn *evolutie* en *big bang* de geaccepteerde theorieën. In strikte zin sluiten de twee bovenstaande visies elkaar uit, tenzij je als gelovige weer kijkt naar de betekenis van de Bijbelteksten. Het scheppingsverhaal geeft dan aan welke opdracht mensen in hun leven hebben, omdat ze goed en kwaad kunnen onderscheiden. Over het algemeen beschrijven de natuurwetenschappen hoe en waardoor iets gebeurt. De gelovige beschrijft met welke betekenis iets gebeurt: het waartoe.

Proces van natuurwetenschappelijk onderzoek

De natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze levert ideeën over hoe de wereld om ons heen in elkaar zit. Maar hoe verloopt dat proces dan?

Uranus

Volgens de gebruikelijke visie is Uranus op 13 maart 1781 ontdekt door de astronoom William Herschel. In zijn astronomische journaal van die dag is de ontdekking netjes geboekstaafd: “In the quartile near Zeta Tauri … is a curious either nebulous star or perhaps a comet.” Het waargenomen object in kwestie was ongetwijfeld de planeet Uranus. Maar is het reëel om hier te spreken van de ontdekking van de planeet Uranus? Tussen 1690 en 1781 was hetzelfde object al meer dan tien keer waargenomen en geregistreerd door astronomen, die het allen voor een ster aanzagen. Het enige punt waarin Herschel met hen verschilt, is zijn suggestie dat het, gezien de opvallende omvang, hier mogelijk om een komeet gaat.

Twee aanvullende waarnemingen op 17 en 19 maart bevestigen zijn vermoeden dat het waargenomen object zich verplaatst ten opzichte van de omringende sterren. Dan worden astronomen door heel Europa door hem op de hoogte gebracht van de ontdekking van deze nieuwe komeet. De wiskundigen onder hen zetten zich vervolgens aan de moeilijke taak om aan de hand van de schaarse waarnemingen de baan van de komeet te berekenen. Pas na een aantal maanden, nadat alle resultaten onverenigbaar blijken met de waargenomen posities, suggereert de astronoom Lexell dat het nieuwe object wel eens een planeet zou kunnen zijn. Nadat aanvullende berekeningen, gebaseerd op de aanname van een planeetbaan, wél blijken te sporen met de observaties wordt deze suggestie algemeen geaccepteerd.

In tegenstelling tot veel van zijn vakgenoten dacht Herschel zelf in de eerste maanden van 1782 nog steeds aan een komeet. Daarvoor had hij empirische argumenten. Volgens zijn in het voorafgaande jaar verrichte waarnemingen naderde het object de aarde, terwijl een planeet zich in die periode juist van de aarde zou hebben moeten verwijderen. Achteraf weten we dat dat laatste in werkelijkheid ook het geval was. Waarom constateerde Herschel dan een toenemende diameter, terwijl de planeet zich juist van de aarde af bewoog? Dat zullen we wel nooit achterhalen. Er zijn altijd grenzen aan de nauwkeurigheid van waarnemingen, en in de buurt van die grenzen willen verwachtingen nog wel eens automatisch bewaarheid worden. Maar uiteindelijk ging ook Herschel overstag door het toenemend gewicht van de argumenten die pleitten voor de planeethypothese.

Figuur 10 – De ontdekking van de planeet Uranus.

Het verhaal van de ontdekking van de planeet Uranus in figuur 10 illustreert een aantal aspecten van de denk- en werkwijze in de natuurwetenschappen.

- Ontdekkingen zijn vaak het resultaat van het werk van veel mensen over een langere tijd, die op elkaars ideeën en waarnemingen voortbouwen.
- Om verschijnselen nauwkeurig waar te nemen zijn precieze meetinstrumenten nodig.
- De waarnemingen worden beschreven met modellen (in dit geval een model van de beweging van kometen en planeten in ons zonnestelsel) en wiskundige middelen.

- Er zijn vaak meerdere hypotheses om het verschijnsel te begrijpen. Dat leidt tot discussie onder natuurwetenschappers. Uiteindelijk blijft de hypothese die de waarnemingen het beste beschrijft en verklaart over.

Eén van deze aspecten is het gebruik van meetinstrumenten. En daar komt de *techniek* bij kijken, zoals in het voorbeeld van figuur 11. Anthony van Leeuwenhoek en later Robert Hooke konden baanbrekend natuurwetenschappelijk werk verrichten doordat zij beschikten over bijzonder sterke lenzen voor gebruik in een microscoop. Het was de techniek van het slijpen van lenzen die ontdekkingen aan kleine voorwerpen en dieren mogelijk maakte. En diezelfde techniek leverde ook de telescoop voor het doen van astronomisch onderzoek. Vaak levert een nieuwe techniek de instrumenten voor nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen.

Meestal zijn natuurwetenschappers gericht op zoek naar nieuwe wetenschappelijke kennis. Maar het komt ook voor dat ze iets vinden waar ze niet naar op zoek waren, zoals blijkt uit het voorbeeld van figuur 12.

Microscoop

De ontwikkeling van de vroegste microscoop is onduidelijk, maar aan het begin van de zeventiende eeuw kende de Republiek in Middelburg twee vermaarde lenzenmakers die verbonden worden met de uitvinding van microscoop en telescoop: Hans Lippershey (1570-1619) en Sacharias Jansen (1585-1632). Hierdoor had de lakenhandelaar Anthony van Leeuwenhoek de beschikking over lenzen en loepen voor de controle van stoffen. In 1648 kreeg hij voor het eerst een vergrootglas in handen: een loep voor de textielhandel met een vergrotende kracht van 3: een dradenteller.

De Nederlander Jan Swammerdam (1637-1680) en de Engelsman Robert Hooke (1635-1703) gebruikten in die tijd al een samengestelde microscoop met oculair en objectief, maar de vergrotende kracht van deze apparaten viel in het niet bij de sterke sterke lenzen die Van Leeuwenhoek zou maken. Zo had de samengestelde microscoop van Hooke een vergroting van slechts 30 x, terwijl dat bij de enkelvoudige microscoop van Van Leeuwenhoek kon oplopen tot 480 x.

Het microscopisch natuurwetenschappelijk onderzoek door Hooke leidde in september 1664 tot een baanbrekend boek met een gedetailleerde beschrijving van onder meer een plantencel, een vliegenoog en een vlo.

Figuur 11 – De rol van de techniek in de natuurwetenschappen.

Radioactiviteit

Henri Becquerel deed onderzoek aan fluorescentie. Dat is het verschijnsel dat stoffen nagloeien als ze aan zonlicht zijn blootgesteld. Becquerel dacht dat de net ontdekte röntgenstraling hiervoor een verklaring kon zijn. Als zijn hypothese zou kloppen, zou de fluorescerende stof ook sporen moeten nalaten op een fotografische plaat. Becquerel nam als fluorescerende stof een kristal uraniumzout. In het laboratorium stelde hij dit kristal enige tijd bloot aan het zonlicht en legde het vervolgens op een fotografische plaat. De plaat bleek na ontwikkeling inderdaad gezwart te zijn.

Zijn echte ontdekking deed Becquerel pas nadat hij zijn proefopstelling al had opgeruimd en opgeborgen: ook als het uraniumzout niet in de zon had gelegen, liet het sporen achter op de fotografische plaat.

De verklaring van Becquerel was dat het uraniumzout spontaan een onzichtbare en doordringende straling uitzendt die anders lijkt te zijn dan röntgenstraling. Na verder onderzoek door Marie Curie-Sklodowska en Pierre Curie werd dit verschijnsel *radioactiviteit* genoemd.

Figuur 12 – De toevallige ontdekking van radioactiviteit.

In de natuurwetenschap gaat het niet alleen om *fundamenteel onderzoek*, gericht op het begrijpen van verschijnselen zoals radioactiviteit in het voorbeeld van figuur 12. Er wordt ook onderzoek gedaan naar nieuwe of verbeterde producten waar in de samenleving vraag naar is – zoals de zonnecellen uit figuur 13 die het gebruik van de zon als duurzame energiebron beter mogelijk maken, en daarmee het opraken van brandstoffen en verstoring van ons leefklimaat tegengaan. Dergelijk *toegepast onderzoek* wordt vaak verricht in samenwerking tussen de technische universiteiten en de industrie.

Zonnecellen

Onderzoekers van het FOM-instituut AMOLF hebben met collega's van Philips Research een nieuw type antireflectie-coating ontwikkeld. Met een structuur van silicium nanodeeltjes kan de reflectie van een plak silicium, het basismateriaal voor zonnecellen, worden verlaagd van veertig naar één procent. Hiermee wordt het rendement van zonnecellen aanzienlijk verhoogd.

Figuur 13 – Een voorbeeld van toegepast onderzoek.

Kernwapens

Het eerste kernwapen dat in oorlogstijd werd ingezet was de uraniumbom *Little Boy*, die tijdens de Tweede Wereldoorlog door de Verenigde Staten op 6 augustus 1945 boven de Japanse stad Hiroshima tot ontploffing werd gebracht. De bom had een explosieve kracht die overeenkwam met zo'n 15 kiloton TNT en maakte 78.000 directe slachtoffers. Door de na-effecten als gevolg van de ioniserende straling liep het dodental uiteindelijk op tot ongeveer 140.000 eind 1945. Op 9 augustus 1945 werd Nagasaki aangevallen met de plutoniumbom *Fat Man*. De explosieve kracht van deze tweede bom was groter: 21 kiloton TNT. Er vielen 27.000 directe doden. Dat was minder dan bij de eerste bom, doordat de bom wegens te veel bewolking niet boven het oorspronkelijk geplande punt was afgeworpen. Het dodental in deze stad liep uiteindelijk op tot zeker 70.000 eind 1945.

Bij beide explosies kwam ook een grote hoeveelheid radioactiviteit vrij, die nog tot lang na de Tweede Wereldoorlog stralingsziekten veroorzaakte, waardoor vele doden zijn gevallen. Volgens opgave van de Japanse autoriteiten, die ook de slachtoffers registreerden die jaren later vielen door bijvoorbeeld kanker als gevolg van straling, kostten de bommen aan totaal ruim 240.000 mensen het leven.

Figuur 14 – Natuurwetenschappelijk denken is ook nadenken over de mogelijke gevolgen van wetenschappelijk onderzoek.

Wetenschap in dienst van de oorlog heeft verregaande gevolgen voor de slachtoffers. Het gebruik van (kern)wapens zoals in figuur 14 is een moeilijke politieke beslissing. Hier hadden natuurwetenschappers bewust meegewerkt aan de eerste atoombommen. Maar vaak kunnen wetenschappers niet voorzien wat er met hun vindingen gebeurt als ze in handen van anderen vallen.

Leren van leerlingen

In het natuurkundeonderwijs leren leerlingen onderdelen van deze natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze. Voorbeelden daarvan zijn dat er een verschil is tussen feiten en meningen, dat natuurwetenschappelijke theorieën waar zijn tot het tegendeel blijkt (natuurwetenschap is altijd werk in uitvoering, dus in ontwikkeling), dat experimentele bewijzen boven theoretische argumenten gaan, en ten slotte dat niet alles wat geschreven staat waar is.

Ook kan het natuurkundeonderwijs bijdragen aan een *onderzoekende houding*. Zo'n houding van leerlingen wordt gekenmerkt door het echt willen weten van het antwoord op openstaande vragen, het zien van aanleidingen voor onderzoek, het kennen van de middelen voor het doen van onderzoek en het volgen van een onderzoekende werkwijze bij het uitvoeren van dat onderzoek.

Daarnaast kent de leerling de maatschappelijke betekenis van de natuurkunde: hij of zij kan argumenteren over vraagstukken rond duurzaamheid, veiligheid en relevant gebruik van technologie – en kan zuinig en voorzichtig omgaan met materialen en apparatuur.

Veilig leerklimaat

Om een veilig leerklimaat te karakteriseren wordt vaak gebruik gemaakt van de drie pedagogische basisbehoeften: *autonomie*, *relatie* en *competentie*.

Autonomie betekent dat de leerling zelfstandig mag werken en eigen keuzes kan maken.

Relatie betekent dat de leerling zich verbonden voelt met medeleerlingen en leerkrachten.

Competentie betekent dat de leerling zich zelf kent als het gaat om het leveren van prestaties naar vermogen.

Deze drie basisbehoeften zijn zowel voorwaarde als doel van een veilig leerklimaat.

Figuur 15 – Karakterisering van een veilig leerklimaat.

1.3 Leerklimaat

Niet alleen het karakter en de inhoud van het vak natuurkunde, maar ook het leerklimaat in de lessen is van grote invloed op de motivatie en de leerprestaties van de leerlingen.

Een *veilig* leerklimaat is voorwaarde om te kunnen leren. Leren kan pas echt plaatsvinden als aan de basisbehoeften van leerlingen wordt tegemoet gekomen. Deze basisbehoeften zijn: *autonomie*, *relatie* en *competentie* (zie figuur 15).

Een andere voorwaarde om te kunnen leren is een *krachtig* leerklimaat. Daarmee wordt bedoeld dat de voorwaarden aanwezig zijn dat leerlingen effectief kunnen leren. Opvattingen over dat leren zijn de laatste decennia gewijzigd door de opkomst van het *constructivisme* (zie figuur 16).

Constructivisme

Geen enkele leerling komt als een onbeschreven blad de natuurkundeles binnen, en de kennis en vaardigheden die een leerling al heeft bepalen in hoge mate het leerproces. In de leertheorie van het *constructivisme* wordt ervan uitgegaan dat kennis niet kan worden overgedragen, maar dat elke leerling zelf steeds weer kennis construeert op basis van zijn of haar bestaande kennis. Leren is dan een proces waarin de leerling actief bezig is met het integreren van nieuwe ervaringen en informatie in wat hij of zij al weet.

Het onderwijs moet leerlingen stimuleren om zelf na te denken, en de daaruit voortkomende ideeën van leerlingen waarderen en productief gebruiken voor hun verdere kennis- en vaardigheidsontwikkeling.

Figuur 16 – Karakterisering van het constructivisme in het onderwijs.

Cursorische en projectmatige aanpak

Verschillen in onderwijsvisie hangen vaak samen met accentverschillen die worden gehanteerd in de leerdoelen voor de leerlingen. Het maakt nogal wat uit of je het accent legt bij het aanleren van kennis en vaardigheden of dat je graag wilt dat natuurkundige kennis en vaardigheden worden gebruikt om betekenisvolle situaties te begrijpen en te onderzoeken.

Bij het aanleren van kennis en vaardigheden wordt vaak gebruik gemaakt van een *cursorische* aanpak. De tekst en de opdrachten in het leerboek zijn de leidraad voor het leren. De leraar legt uit en doet voor. Verwerking van de leerstof vindt plaats na het aanbod daarvan.

Bij het gebruiken van kennis en vaardigheden in een betekenisvolle situatie wordt vaak gebruik gemaakt van een *projectmatige* aanpak. Er wordt gewerkt aan een grote eindopdracht. Daarvoor maken de leerlingen een plan van aanpak. De leraar is dan vaak coach.

Cursorische aanpak	Projectmatige aanpak
Kennis en vaardigheden leren	Werkwijze leren
Verwerven en oefenen	Toepassen en onderzoeken
Tekst en opgaven	Eindopdracht en bronnen
Geleid	Begeleid
Studiewijzer	Eindopdracht en deelopdrachten

Figuur 17 – Kenmerken van een cursorische en een projectmatige aanpak.

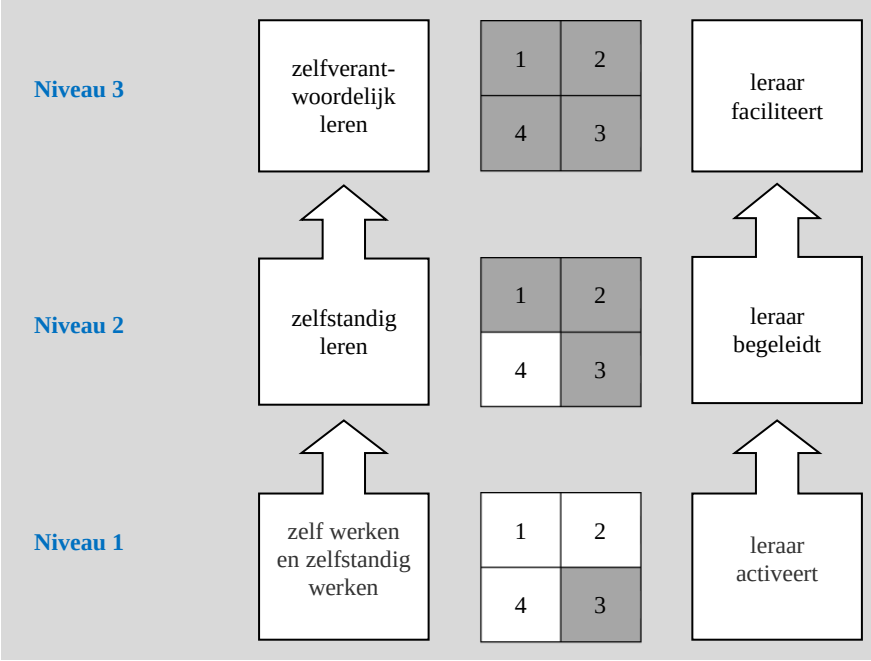
De indeling in een cursorische en een projectmatige aanpak zoals samengevat in figuur 17 is bruikbaar in de lespraktijk, maar er zijn vele varianten, tussenvormen en combinaties mogelijk – zoals in hoofdstuk 4 over lessenseries zal blijken.

Actief leren

De term *actief leren* wordt in heel verschillende betekenissen gebruikt. Wij gebruiken deze term voor die vormen van leren waarbij er veel activiteit bij de leerlingen ligt. Daarbij staat actief leren tegenover *passief leren*, waarbij de meeste activiteit ligt bij de leraar die het aanbod verzorgt. Binnen actief leren kunnen we een nader onderscheid maken naar de samenwerkingsvorm en naar de verantwoordelijkheid voor het leren.

Bij het onderscheid naar *samenwerkingsvorm* gaat het om *individueel werken* en *samenwerken*. Samenwerken heeft als voordeel dat er interactie tussen de leerlingen mogelijk is. De activiteit van iedere leerling wordt bevorderd als de samenwerkingsvorm voldoet aan de kenmerken van samenwerkend leren (zie verder paragraaf 2.6).

De mate van verantwoordelijkheid die een leerling heeft voor zijn of haar eigen leerproces kan worden uitgedrukt in mate waarin leerlingen de leerfuncties van de leraar overnemen. Hierin zijn drie niveaus te onderscheiden: *zelf werken en zelfstandig werken* (niveau 1), *zelfstandig leren* (niveau 2) en *zelfverantwoordelijk leren* (niveau 3). Op elk niveau wordt meer verantwoordelijkheid van de leerling verwacht ten aanzien van de vier fasen die in het onderwijsleerproces kunnen worden onderscheiden: oriënteren, plannen, uitvoeren en evalueren. Het schema en de toelichting van figuur 18 en 19 brengen dit in beeld.



Figuur 18 – De drie niveaus van verantwoordelijkheid voor het leren van de leerlingen.

Toelichting

De nummers in figuur 18 geven de fasen in het onderwijsleerproces: oriëntatie (1), planning (2), uitvoering (3) en evaluatie (4).

De donkergrijze markering van een fase in figuur 18 betekent dat de leerlingen in hoge mate verantwoordelijk zijn voor het uitvoeren van de leeractiviteiten in deze fase.

Figuur 19 – Betekenis van de nummers en de markering in het schema van de verschillende niveaus van verantwoordelijkheid voor het leren van leerlingen.

Zelf werken en zelfstandig werken – Op het eerste niveau van *zelf werken en zelfstandig werken* nemen de leerlingen voornamelijk de verantwoordelijkheid voor activiteiten in de uitvoeringsfase van het onderwijsleerproces. De leraar heeft een activerende rol en draagt primair verantwoordelijkheid voor de leeractiviteiten in de oriëntatiefase, de planningsfase en de evaluatiefase.

Zelfstandig leren – Op het tweede niveau van *zelfstandig leren* nemen leerlingen ook de verantwoordelijkheid voor leeractiviteiten in de oriëntatiefase en planningsfase. Nu is het de taak van de leraar om de leerlingen te begeleiden wanneer zij activiteiten ondernemen in de drie genoemde fasen, en ligt de verantwoordelijkheid voor de evaluatie primair bij hem of haar.

Zelfverantwoordelijk leren – Op het derde niveau van *zelfverantwoordelijk*

leren hebben de leerlingen de volledige verantwoordelijkheid voor het leerproces. De leraar vervult daarbij een faciliterende rol.

Leervaardigheden

We vinden het tegenwoordig heel belangrijk dat mensen niet alleen iets leren, maar ook dat ze zich leervaardigheden eigen maken waardoor ze zelfstandig kunnen leren en daar zelf de verantwoordelijkheid voor nemen (niveau 2 en 3 in het schema van figuur 18): 'leren leren'. Dat heeft te maken met moderne maatschappelijke ontwikkelingen waarin veranderingen zich snel veel sneller voltrekken dan vroeger het geval was. De technologische ontwikkeling gaat in een hoog tempo, en dit heeft veel invloed op de manier waarop mensen hun werk verrichten. Voor de meeste mensen betekent dit dat ze een heel leven lang moeten blijven leren om hun werk te kunnen blijven doen. Je kunt hierbij denken aan leren omgaan met nieuwe apparaten en nieuwe software, aan leren werken volgens nieuwe procedures enzovoort.

1.4 Competent in lesgeven

Na het in de voorgaande paragrafen geschetste beeld van het vak en vakonderwijs is het nu de vraag wat je allemaal moet weten en kunnen als leraar natuurkunde in het vmbo en de onderbouw havo/vwo.

Lespraktijk

Een leraar natuurkunde heeft de leerlingen uit zijn derde klas gevraagd enkele kenmerken op te schrijven van een goede leraar en van een slechte leraar, zowel in het algemeen als voor zijn eigen vakgebied. Als resultaat krijgt hij het volgende overzicht.

	Een goede leraar:	Een slechte leraar:
Algemeen	heeft orde kan goed uitleggen is vriendelijk	is heel streng kan boos uitvallen heeft voorkeuren kan niet uitleggen
Natuurkunde	gebruikt veel voorbeelden blijft geduldig als ik het niet snap doet ook practicum	vindt alles logisch vindt me dom

Figuur 20 – Kenmerken van goede en slechte leraren volgens leerlingen.

De in figuur 20 weergegeven leerlingreacties geven een eerste, nog onvolledig beeld van wat er van een leraar natuurkunde wordt verwacht als het gaat om het vak: goed kunnen uitleggen, veel voorbeelden gebruiken en practicum doen.

Het samenwerkingsorgaan *Beroepsregister Leraren* heeft een uitgebreide beschrijving gemaakt van de bekwaamheden waarover een leraar moet beschikken. Hieruit geven we in figuur 21 alleen de algemene omschrijving van de vakdidactische competentie weer. Het volledige beeld in de vorm van een gedetailleerde beschrijving van die vakdidactische competentie is te vinden op de website van dit praktijkboek.

De kerncompetentie van de leraar natuurkunde is 'kunnen lesgeven'. Of, meer uitgebreid: het op grond van een heldere, expliciete *onderwijsvisie* kunnen *ontwerpen*, *uitvoeren* en *evalueren* (en op grond daarvan bijstellen) van vakspecifieke *onderwijsleerprocessen* in een diversiteit aan leerstof- en vaardigheidsdomeinen binnen het vakgebied – al dan niet aan de hand van het door de vaksectie op school gekozen leerboek.

Vakdidactische competentie

De leraar die competent is in de natuurkundedidactiek, helpt de leerlingen/deelnemers zich de leerinhouden van de natuurkunde eigen te maken. De leraar maakt hen vertrouwd met de manier waarop de natuurkunde in het dagelijkse leven en in het werk gebruikt wordt. Hij helpt de leerlingen te zien welke betekenis natuurkunde heeft voor de persoonlijke vorming. Ook helpt de leraar de leerlingen zicht te krijgen op wat zij in de samenleving en in de wereld van het werken kunnen verwachten.

Figuur 21 – Algemene omschrijving van de vakdidactische competentie van een leraar.

Onderwijsleerproces

Lessituaties variëren van school tot school, van vak tot vak, van leraar tot leraar, van klas tot klas en van lesuur tot lesuur. Een leraar maakt voor iedere les eigen

keuzes voor de opzet van zijn les. Of, met andere woorden: van het onderwijsleerproces. Een eenvoudig model van dat onderwijsleerproces staat in figuur 22. De betekenis van de verschillende begrippen in dit model is weergegeven in figuur 23.

Beginsituatie – Het leren heeft als startpunt de *beginsituatie* van de leerling. Leraren sluiten aan bij die beginsituatie. Dat aansluiten bij de beginsituatie van de leerlingen kan betrekking hebben op hun voorkennis, vaardigheden, motivatie en belevingswereld. Niet aansluiten bij de beginsituatie heeft als risico dat de motivatie daalt en dat nieuwe leerstof geen ankerpunten heeft.

Een belangrijk aspect van de beginsituatie van de leerling is zijn of haar voorkennis, opgedaan in het dagelijks leven en in het voorafgaande onderwijs. Leerlingen gebruiken dan wel vaktermen in hun redeneringen, maar de betekenis die ze aan die vaktermen toekennen verschilt vaak van de geaccepteerde natuurwetenschappelijke betekenis. Als deze *leerlingdenkbeelden* over begrippen, relaties, theorieën en modellen in het onderwijs geen expliciete aandacht krijgen en niet ter discussie worden gesteld of productief worden ingezet bij de begripsontwikkeling van de leerlingen, is er een grote kans op het opduiken van begripsproblemen tijdens en na het onderwijsleerproces (zie hoofdstuk 6).

Doelsituatie – Het onderwijsleerproces leidt de leerlingen naar een *doelsituatie*. Leerdoelen kunnen betrekking hebben op kennis, inzicht, vaardigheden en houding. Leraren dagen leerlingen uit die haalbare eindsituatie te bereiken. Uitdagen kan leiden tot afhaken: “Ik kan het toch niet” of “Dat is me teveel werk.” Maar uitdagen kan ook leiden tot motivatie: “Dat wil ik kunnen.” Daarbij moet ervoor worden gezorgd dat de afstand tussen begin- en doelsituatie niet te klein (geen uitdaging), maar ook niet te groot is (geen succesverwachting). Deze afstand verschilt sterk voor vmbo-, havo- en vwo-leerlingen.

Evaluatie – Door te *evalueren* gaat een leraar na of het leren succes heeft gehad. Dat evalueren vindt niet alleen plaats aan het eind van het onderwijsleerproces door *summatieve toetsing* in de vorm van bijvoorbeeld een toets (zie hoofdstuk 5), maar ook tijdens het leren door *formatieve toetsing* in de vorm van bijvoorbeeld checkvragen en snelle feedback (zie paragraaf 2.4.1).

Toelichting

Beginsituatie – De kenmerken van de leerlingen voorafgaand aan het leren.

Doelsituatie – De beoogde kenmerken van de leerlingen na het leren.

Onderwijsleerproces – De leeractiviteiten die de leerling onderneemt in combinatie met de onderwijsactiviteiten die de leraar aanbiedt.

Leerstof – De aan te leren kennis en vaardigheden.

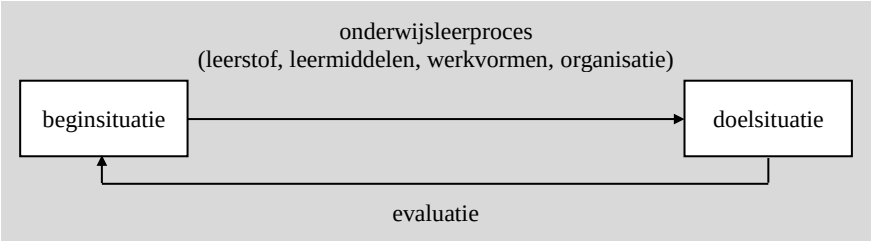
Leermiddelen – Middelen om het leren te ondersteunen.

Werkvormen – Werkwijzen van de leraar om het leren vorm te geven.

Organisatie – Indeling van tijd, ruimte, leerlingen en middelen.

Evaluatie – Het zicht houden op de voortgang van het leren.

Figuur 23 – Betekenis van de begrippen in het model van het onderwijsleerproces.



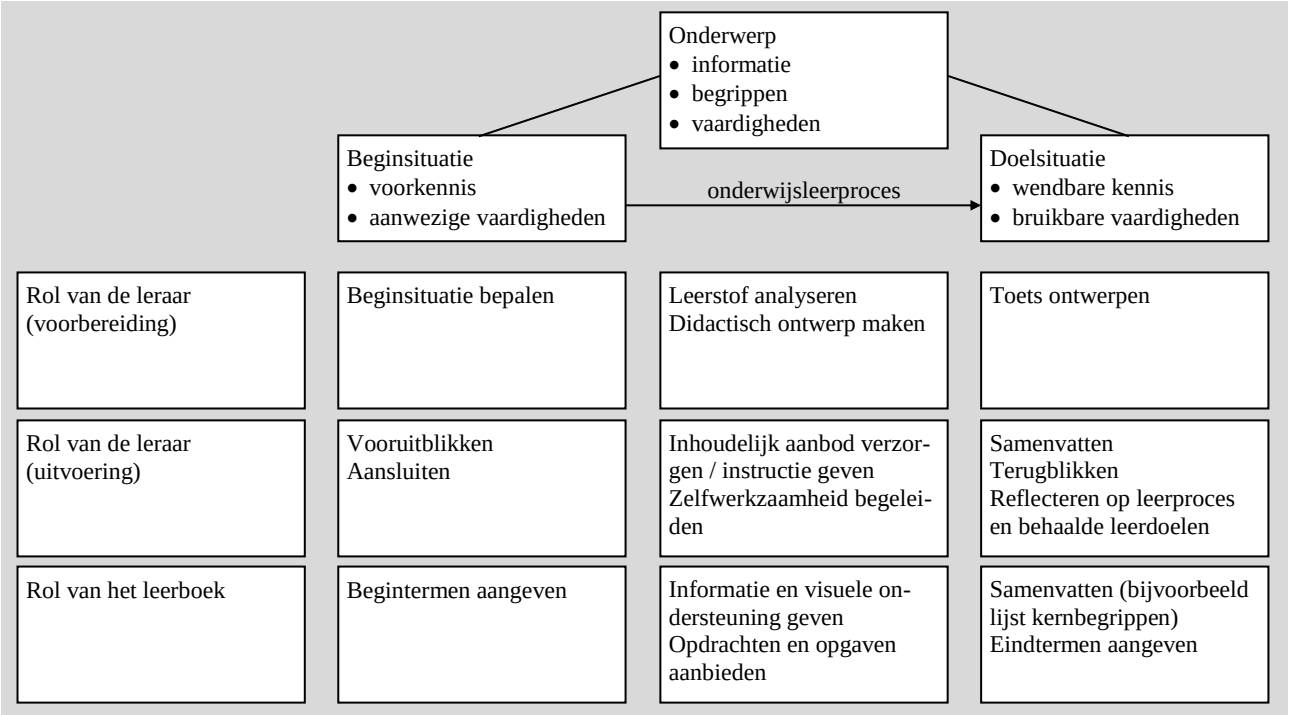
Figuur 22 – Model van het onderwijsleerproces.

Het is de taak van de leraar om in de voorbereiding de beginsituatie van de leerlingen vast te stellen, de leerstof (begrippen, modellen, theorieën en vaardigheden) te analyseren, een didactisch ontwerp voor de les(sen) te maken, en te zorgen voor evaluatie en toetsing.

Tijdens de uitvoering verschuift de taak van de leraar naar het aansluiten op de beginsituatie en de voortgang van de leerlingen, het vooruitblikken op het (nog volgende) leerproces, het verzorgen van een inhoudelijk aanbod aan *leerstof*, en het terugblikken op het door de leerlingen doorlopen leerproces.

Bij het ontwerpen, uitvoeren en evalueren van het onderwijsleerproces maakt de leraar gebruik van de beschikbare *leermiddelen*: allereerst het leerboek (met tekstuele en visuele informatie, opdrachten, opgaven, samenvattingen enzovoort), maar daarnaast ook PowerPoint-presentaties, demonstraties, practica, simulaties, films en internetbronnen. En die leermiddelen worden dan ingezet in onderwijsleersituaties met een variëteit aan *werkvormen*, onder andere gericht op het actief en zelfstandig leren van de leerlingen.

Het schema van figuur 24 geeft een overzicht van de verschillende rollen van de leraar en het leerboek in het onderwijsleerproces.



Figuur 24 – Overzicht van de verschillende rollen van de leraar en het leerboek in het leerproces.

Vakdidactisch ontwerpen

Het vormgeven van vakspecifieke onderwijsleerprocessen noemen we *vakdidactisch ontwerpen*. Daarbij kan het gaan om het 'eenvoudige' structureren van een les of lessenserie met behulp van het leerboek en het aanvullen daarvan met de op school beschikbare andere leermiddelen. Enkele aandachtspunten daarbij zijn het rekening houden met de motivatie van leerlingen, de variatie en de volgorde van onderwijsleeractiviteiten, de verschillen tussen leerlingen, de mate van activering en zelfstandigheid van leerlingen, een goede werksfeer en het huiswerk. Dat soort lessen noemen we 'standaardlessen' (zie hoofdstuk 2, 3 en 4).

Vakdidactisch ontwerpen kan echter ook meer 'ingrijpend' zijn (en daardoor nog meer tijd en energie vragen) als het leerboek voor een deel wordt losgelaten. Daarbij valt te denken aan het afwisselen van cursorische lessenseries met *projectwerk* (zie hoofdstuk 4), het organiseren van *excursies* naar een bedrijf of instelling (zie hoofdstuk 8), het aanvullen van het leerboek met een (andere) *concept-contextbenadering*, met *onderzoekend*, *probleemstellend* of *probleemgeoriënteerd leren*, met (meer) aandacht voor *taal- en vaktaalontwikkeling* of voor de *natuurwetenschappelijke denk- en werkwijzen* (zie hoofdstuk 9).

1.5 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: wat is het beeld van het vak en het vakonderwijs dat we aan leerlingen willen overbrengen?

Het antwoord op het eerste deel van deze vraag is: het vak probeert – gebruik makend van een natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze – verschijnselen in de wereld om ons heen te begrijpen en levert daarmee onder andere – in combinatie met het vak techniek – de kennis voor de ontwikkeling van producten (stoffen, materialen, apparaten) die we in ons dagelijks leven en in een variëteit aan beroepen gebruiken of waar in de toekomst vraag naar is. Het beeld van het vak dat we aan leerlingen willen overbrengen is er dus één van theorie én toepassingen, van verschijnselen begrijpen én problemen oplossen, van onderzoeken én ontwerpen.

Het vakonderwijs – en dat wordt dan het antwoord op het tweede deel van de centrale vraag – vindt plaats in een voor leerlingen veilig en krachtig leerklimaat,

met voldoende afwisseling tussen verschillende leeractiviteiten (zoals uitleg en verwerking van leerstof, demonstraties en practica) en werkvormen (zoals individueel werk en groepswerk, samenwerkend leren en spelvormen) en gericht op het actief leren van leerlingen – van zelf werken en zelfstandig werken naar zelfstandig leren en misschien zelfs wel uiteindelijk iets van zelfverantwoordelijk leren.

Vanuit een dergelijke visie op het vak en vakonderwijs moet een leraar natuurkunde vakspecifieke onderwijsleerprocessen kunnen ontwerpen, uitvoeren en evalueren (en op grond daarvan bijstellen) in een diversiteit aan leerstof- en vaardigheidsdomeinen. Hij of zij maakt daarbij gebruik van het leerboek, maar zeker ook van andere, al dan niet zelf ontworpen lesmaterialen. De daarvoor benodigde bekwaamheden zijn door de lerarenopleidingen in detail vastgelegd in de *Kennisbasis Natuurkunde* voor de tweedegraadslerarenopleiding die via de website van dit praktijkboek te vinden is. Op hoofdlijnen gaat het in die kennisbasis om inzicht in de volgende vijf vakdidactische domeinen.

De leerling: natuurkunde leren – Inzicht in hoe leerlingen natuurkunde leren en het sturen van het leerproces: natuurkundige begrippen leren, reken- en wiskundige vaardigheden, practicum, aard van de natuurkunde, natuurkundige praktijktoepassingen, motivatie (nut en noodzaak), vaktaal en taalgebruik, de persoon van de leerling.

De leraar: lesgeven in natuurkunde – Inzicht in het vormgeven van het natuurkundeonderwijs voor leerlingen: begrippen aanleren, instrueren en uitleggen, denkwijzen, werkwijzen, begeleiden, praktisch werken, ontwikkelen en arrangeren van lesmateriaal vanuit een eigen onderwijsvisie, vakdidactisch onderzoek.

Het schoolvak: natuurkunde en didactische middelen – Inzicht in de natuurkunde zoals vormgegeven in didactische materialen: het natuurkundecurriculum, verwante vakken, schoolboeken, leermiddelen, examenprogramma's en eindtermen, verder studeren.

De leeromgeving – Inzicht in de inrichting van de leeromgeving voor de leerlingen: theorie- en practicumlokaal, veldwerk en beroepenveld, natuurkundeonderwijs en ict.

Toetsing en evaluatie – Inzicht in toetsen en beoordelen van leerresultaten en evalueren van leerprocessen: ontwerpen en toetsen maken, beoordelen van de leerlingprestatie, analyse en evaluatie.

2 Lesonderdelen

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat over de verschillende onderdelen van een les die steeds weer terugkomen: de introductie van een nieuw (deel)onderwerp, het aanbieden van de leerstof, het stellen van vragen, het (laten) maken en bespreken van opgaven en verschillende werkvormen die daarbij kunnen worden ingezet. Het op een verantwoorde manier vormgeven van deze onderdelen van een theorieles is een eerste invulling van het in hoofdstuk 1 geschetste onderwijsleerproces. Het combineren van deze lesonderdelen tot lessen en lessenseries, en daarin dan ook het lesonderdeel practicum, komt in hoofdstuk 3 en 4 aan de orde.

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: welke lesonderdelen komen regelmatig in de lessen voor, en hoe geef je die op een verantwoorde manier vorm?

2.2 Onderwerp inleiden

Leerboeken zijn meestal ingedeeld in hoofdstukken en hoofdstukken weer in paragrafen. In een paragraaf wordt meestal kennisgemaakt met een nieuw verschijnsel en wordt een nieuw begrip of een nieuwe regel aangeleerd. In de in figuur 25 geschetste lespraktijk gaat het daarbij om de fasen van een stof.

Lespraktijk

Een leraar gaat lesgeven over de fasen van een stof. Hij begint met het inventariseren van de verschijningsvormen van water en deelt deze in drie groepen in:

- IJs: ijsblokjes, kunstijs, hagel, sneeuw, ijzel.
- Water: water uit de kraan, water uit de fles, regen, condens, wolken, rivieren, zee.
- Waterdamp: damp boven kokend water, broeierig weer.

Hij stelt als richtvraag: “Welke verschijningsvormen heeft een stof en hoe deel je die verschijningsvormen in?”
Als vervolg laat hij twee proeven zien:

- Wat jood in een reageerbuis wordt verhit en daarna weer afgekoeld.
- Water in een fluitketel kookt en vormt druppels op een glazen plaatje.

Uiteindelijk ontstaat de volgende tabel:

	Vaste stof	Vloeistof	Gas
Vorm	Een eigen vorm	Geen eigen vorm, want vloeit uit	Geen eigen vorm, want verspreidt zich
Volume	Een eigen volume	Een eigen volume	Geen eigen volume, want vult de ruimte

Figuur 25 – Het inleiden van een nieuw (deel)onderwerp.

De leraar verzorgt meestal een korte inleiding op de paragraaf. In die inleiding worden de leerlingen gemotiveerd voor de inhoud. Daarbij kan het helpen als de inhoud vanuit een betekenisvolle context wordt aangeboden, bijvoorbeeld door het gebruik van situaties uit het dagelijks leven. De leerlingen krijgen hierdoor zicht op het onderwerp en het belang ervan. Er kan daarbij ook een leerbehoefte ontstaan door het presenteren van een *instapprobleem*, zoals in de voorbeelden van figuur 26.

De inleiding wordt afgesloten met een *richtvraag* waarop de komende les of paragraaf het antwoord gaat geven. Deze richtvraag bevat geen nieuwe en onbekende begrippen. De leerlingen krijgen daardoor een motivatie voor het vervolg van de les.

Instapproblemen

Dagelijks leven – De leraar bespreekt met de leerlingen hun ervaringen bij het fietsen. Met een kleine kracht is er een lage snelheid, met een grote kracht een grote snelheid – en als je stopt met trappen stopt de fiets ook. De richtvraag is: "Welke krachten spelen een rol en hoe werken die samen?"

Demonstratieproef – Als model van een elektriciteitscentrale laat een leraar zien dat kokend water een schoepenrad in beweging kan brengen, waardoor een lampje gaat branden. De richtvraag is: "Welke omzettingen van energie zie je?" Daarna wordt de proefopstelling vergeleken met een elektriciteitscentrale.

Practicumproef – Leerlingen krijgen een kaars en een bolle lens. De (onderzoeks)vraag is: "Wie kan de grootste kaars afbeelden?" Daarna is er een gesprek over beeldvorming.

Discussieposter – De leraar laat een discussieposter of *concept cartoon* zien, zoals die van figuur 27. Op deze poster staan drie leerlingen rond een elektrische schakeling. In de tekstballonnen staan opmerkingen over die situatie. De vraag is: "Wat vind je van deze uitspraken?" Na het gesprek hierover laat de leraar de proef zien.

Figuur 26 – Voorbeelden van instapproblemen bij het inleiden van een nieuw (deel)onderwerp.

Figuur 27 – Voorbeeld van een discussieposter in de vorm van een *concept cartoon*.

2.3 Leerstof aanbieden

Bij het aanbieden van leerstof beperken we ons in deze paragraaf tot het uitleggen van begrippen en regels (of, met andere woorden: 'de theorie') in combinatie met aandacht voor de rol van praktijkvoorbeelden, de fasen bij begripsleren en de verschillende communicatieniveaus. Daarna bespreken we het door de leerlingen laten maken van een *concept map*, als hulpmiddel om hun begripsontwikkeling in kaart te brengen. Ten slotte gaan we in op het aanleren van vaardigheden.

2.3.1 Begrippen en regels

Lespraktijk

Een leraar behandelt het onderwerp kracht met als richtvraag: "Hoe weet je of er een kracht aan het werk is?" Hij bespreekt een groot aantal voorbeeldsituaties uit de sport. Na verloop van tijd zijn er verschillende kenmerken van een kracht genoemd: de werking, de wisselwerking en het tekenen als pijl. Dit vat hij samen in een begripskaart (zie figuur 29). Hij sluit af met de opmerking dat we nu nog niet weten wat een kracht is, maar wel wat een kracht doet.

Figuur 28 – Voorbeeld van het uitleggen van een begrip.

Veel natuurkundige begrippen zijn moeilijk te omschrijven in een definitie. Daarom is de vraag "Wat is …?" meestal weinig productief. Het begrip laat zich beter kennen door voorbeeldsituaties, door kenmerken en door de relatie met andere begrippen. Je kunt dat weergeven in een *begripskaart*, zoals de leraar in de praktijksituatie van figuur 28 doet. Naarmate leerlingen het begrip beter kennen, breidt de begripskaart zich uit. Vaak helpt het weergeven in beelden.

Kracht

Voorbeeldsituaties:
- voetballer schiet een bal weg;
- atleet tilt een zwaar gewicht;
- boogschutter spant de boog en de pijl schiet weg.

Een kracht kan de volgende werking hebben:
- de vorm veranderen;
- de beweging veranderen (richting en grootte);
- iets op zijn plaats houden.

Voor een kracht is nodig:
- de wisselwerking tussen twee personen of voorwerpen.

Een kracht kan worden weergegeven door een pijl:
- met grootte en richting;
- met aangrijpingspunt;
- op schaal.

Figuur 29 – Voorbeeld van een begripskaart.

Praktijkvoorbeelden

Voor het aanleren van abstracte begrippen gebruik je vaak voorbeeldsituaties. In de in figuur 30 geschetste lespraktijk is dat een aan het dagelijks leven ontleende schemerlamp en een aan het laboratorium ontleende schakeling, zoals weergegeven in het *drieluik* van figuur 31. Voorbeeldsituaties uit het dagelijks leven noemen we *praktijksituaties*. Als voorbeelden speciaal gemaakt zijn voor het onderwijs – zoals veel practicumproeven – noemen we ze *laboratoriumsituaties*.

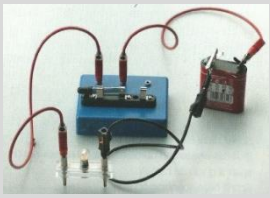
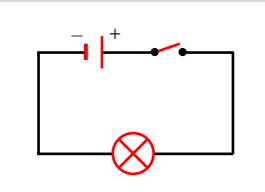
Laboratoriumsituaties zijn meestal minder complex en beter te begrijpen dan praktijksituaties.

Het gebruik van praktijksituaties heeft belangrijke voordelen. Met behulp van praktijksituaties leren leerlingen de vakinhoud te gebruiken bij het begrijpen van alledaagse situaties. De op school geleerde natuurkunde krijgt dan ook buiten school betekenis.

Lespraktijk

Een leraar wil het begrip 'stroomkring' aanleren. Hij start met een schemerlamp en bespreekt onder welke voorwaarden de schemerlamp brandt. Daarna laat hij een practicumopstelling zien en vergelijkt deze met de schemerlamp. Met behulp van een schakelschema legt hij uit dat er een geleidende verbinding nodig is van de ene naar de andere kant van de voeding, met daarin opgenomen de lamp. Dat noemt hij een stroomkring.

Figuur 30 – Het gebruik van een voorbeeldsituatie uit het dagelijks leven bij het uitleggen van een begrip.

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Je kunt de schemerlamp aan en uit zetten met de snoerschakelaar.	Voor een werkende schakeling zijn nodig: een spanningsbron, een lampje, snoeren en een schakelaar. Alle onderdelen zijn met beide kanten opgenomen in de schakeling.	Voor een werkende schakeling is een stroomkring nodig. De schakelaar kan die stroomkring maken en onderbreken.

Figuur 31 – Het drieluik 'De stroomkring van een schemerlamp'.

Praktijksituaties

Elektrische schakelingen: elektrische huisinstallatie, zaklamp.

Licht en beeld: schijnwerper, fotocamera, beamer, contactlens.

Geluid: muziekinstrumenten (gitaar, saxofoon, drum).

Kracht en beweging: voertuigen, hardlopen, parachutespringen, boogschieten.

Kracht en evenwicht: hefboom, slagboom, balans.

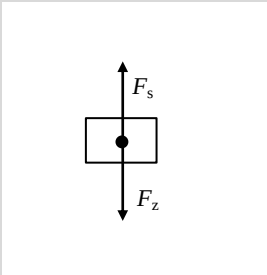
Figuur 32 – Voorbeelden van praktijksituaties in verschillende leerstofdomeinen.

In alle leerstofdomeinen van de natuurkunde wordt gebruikt gemaakt van praktijksituaties, zoals weergegeven in figuur 32. In leerboeken staan ze vaak als illustraties in de vorm van foto's. Met de nieuw aangeleerde vakinhoud zijn deze praktijksituaties beter te begrijpen.

Vaak wordt gedacht dat praktijksituaties de vakinhoud begrijpelijker maken. Dat is lang niet altijd het geval. Praktijksituaties zijn vaak complex en ingewikkeld, en vragen juist een groter begrip. Het gebruik van eenvoudige geschematiseerde voorbeelden is echter noodzakelijk voor begripsvorming.

Ook wordt gedacht dat praktijksituaties motiverend zijn voor het leren. Dat is echter alleen het geval als de praktijksituaties zo gekozen zijn dat deze de leerlingen aanspreken. Voor contexten uit de beroepspraktijk of het bedrijfsleven is dat lang niet altijd het geval. Voor leerlingen herkenbare situaties uit het 'dagelijks' leven spreken hen meer aan, zeker in de eerste leerjaren.

In de combinatie van een praktijksituatie en een laboratoriumsituatie geeft de praktijksituatie herkenbaarheid en betekenis, en laat de laboratoriumsituatie zich begrijpen met de aangeboden theorie. Of, met andere woorden: de laboratoriumsituatie vormt een duidelijke brug tussen de praktijksituatie en de theorie – zie als voorbeelden daarvan de drieluiken van figuur 33, 34 en 35.

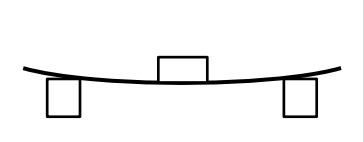
Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Na een val hangt de bergbeklimmer gelukkig nog aan het touw. Het touw is strak gespannen en uitgerekt.	Bij een gewicht rekt het elastiek uit, totdat de veerkracht even groot is als de zwaartekracht op het gewicht.	Op een voorwerp dat stil hangt aan een touw of elastiek geldt dat de zwaartekracht en de spankracht op het voorwerp even groot zijn.

Figuur 33 – Het drieluik 'De bergbeklimmer en de spankracht'.

Praktijksituatie

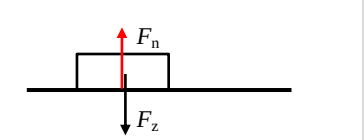
Een koffer ligt op tafel en zakt er niet doorheen.

Laboratoriumsituatie



Door het gewicht van het voorwerp buigt de lat door totdat er evenwicht is.

Theoriesituatie



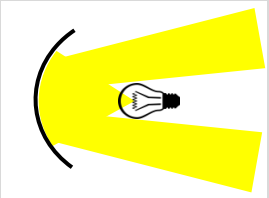
Op het voorwerp werken de zwaartekracht F_z en de normaalkracht F_n. Die twee krachten zijn even groot.

Figuur 37 – Het drieluik ‘Een ondersteunend vlak en de normaalkracht’.

Praktijksituatie

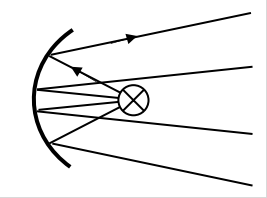
De lamphouder weerkaatst het achterwaartse licht naar voren.

Laboratoriumsituatie



De holle spiegel achter de lamp convergeert de divergente lichtbundel.

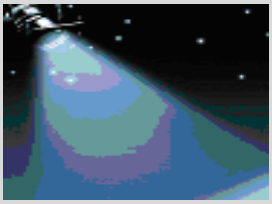
Theoriesituatie



Een lichtstraal weerkaatst volgens hoek van inval = hoek van terugkaatsing

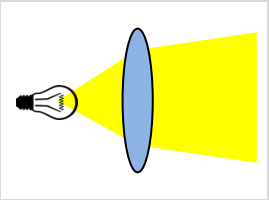
Figuur 34 – Het drieluik ‘Een lamphouder en de convergerende spiegel’.

Praktijksituatie



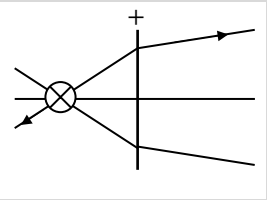
De schijnwerper geeft een gerichte lichtbundel.

Laboratoriumsituatie



De bolle lens convergeert de divergente lichtbundel.

Theoriesituatie



De bolle lens breekt de lichtstraal naar het midden van de lens.

Figuur 35 – Het drieluik ‘De schijnwerper en de convergerende lens’.

Voor het begrijpen van een praktijksituatie kan een laboratoriumsituatie erg behulpzaam zijn. De laboratoriumsituatie is eenvoudiger, inzichtelijker en zichtbaarder, en is bovendien te manipuleren. Een mooi voorbeeld is de normaalkracht in de lespraktijk van figuur 36.

Lespraktijk

Een leraar behandelt de normaalkracht in de tweede klas. Hij legt zijn koffertje op tafel en vraagt de klas waarom het koffertje niet naar beneden valt. De leerlingen vinden dit maar een rare vraag. De tafel zit er toch tussen! En als de tafel er niet is? Nou, dan valt het naar beneden. “Aha,” zegt de leraar. “Dan moet er wel een kracht omhoog geweest zijn. Die noemen we de normaalkracht.”

Een andere leraar legt zijn koffertje op tafel en zegt dat de les gaat over het koffertje en de krachten die er op werken. Maar eerst laat hij een laboratoriumopstelling zien van een buigzame lat die aan de uiteinden steunt op twee kistjes (zie het drieluik van figuur 37). Op de lat ligt een flink gewicht. De lat is een heel stuk doorgebogen. Op de vraag welke krachten er werken, komen antwoorden als zwaartekracht en veerkracht. Situaties worden besproken met een kleiner gewicht en met een krachtmeter die het gewicht iets omhoog trekt. De les wordt afgesloten met de conclusie dat er op het gewicht twee krachten werken: de zwaartekracht en de veerkracht van de plank. Daarna wordt het verband gelegd met het koffertje op tafel.

Figuur 36 – Het gebruik van een drieluik bij het uitleggen van een begrip.

Het lastige van de normaalkracht is dat je bij het koffertje en de tafel niet ziet dat hij verandert. Door gebruik te maken van de laboratoriumsituatie met een lat wordt de werking van de normaalkracht zichtbaar. Bovendien kan het verschijnsel nu worden onderzocht door dingen uit te proberen. Vergelijkbare lesopzetten zijn te maken voor andere zich aanpassende krachten zoals de spankracht en de wrijvingskracht.

Bij het koppelen van theoriesituaties aan praktijksituaties – al dan niet via laboratoriumsituaties – is sprake van een *concept-contextbenadering* (zie hoofdstuk 9) op kleine schaal: de schaal van een les of lesonderdeel.

Fasen bij begripsleren

De verschillende fasen van de in figuur 38 geschetste lespraktijk vormen een al-

gemene strategie voor het leren van begrippen, die we hieronder verder zullen uitwerken.

Lespraktijk

Oriënteren – De leraar geeft aan dat het onderwerp van deze les warmtetransport is. Warmtetransport is nodig om onze huizen te verwarmen.

Inventariseren – Als voorbeeld van warmtetransport noemt de leraar de centrale verwarming, en laat daarvan een (schematisch) plaatje zien. Geïnventariseerd wordt wat leerlingen al weten. Dit leidt tot: het water wordt in de ketel door de brander verwarmd, het warme water stroomt door de buizen naar de radiator, de radiatoren worden heet en als je voor de radiator zit voel je de warmte. De richtvraag wordt: "Op welke manieren wordt warmte getransporteerd?"

Aanleren – De leraar heeft een drietal proefjes als demonstratie: een stroombuis met water, een straalkachel, en een bekerglas heet water met daarin een metalen en een houten lepel. Daarmee worden drie soorten warmtetransport getoond: straling, stroming en geleiding.
De begrippen en regels worden:

- Straling: warmtetransport zonder tussenstof (zon, straalkachel).
- Stroming: warmtetransport door stroming van hete stof (water, lucht).
- Geleiding: warmtetransport door een stof heen (metalen lepel).

Verwerken – Met de nieuwe begrippen wordt geoefend op vergelijkbare situaties, zoals de centrale verwarming uit de inleiding.

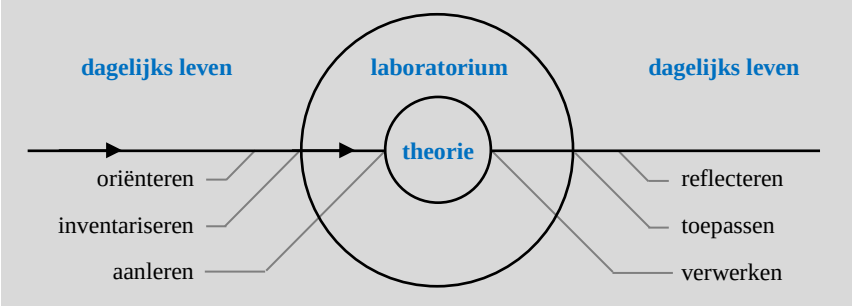
Toepassen – Een belangrijke toepassing komt in een vervolgles. Bij warmte-isolatie ga je warmtetransport tegen. Hoe werkt dat?

Reflecteren – De drie soorten van warmtetransport zijn straling, stroming en geleiding. Dit onderscheid is van belang voor praktijktoepassingen als de warmte-isolatie van bijvoorbeeld woningen.

Figuur 38 – Het gebruik van een fasering bij het uitleggen van een begrip.

Oriënteren – De leerlingen worden gemotiveerd voor de inhoud. Daarbij kan helpen dat de inhoud vanuit een betekenisvolle context wordt aangeboden. Veel situaties uit het dagelijks leven zijn bruikbaar om zicht te krijgen op het onderwerp en het belang van het onderwerp.

Inventariseren – Binnen het onderwerp wordt een instapprobleem geformuleerd. Zo'n instapprobleem heeft meestal de vorm van een praktijksituatie, bijvoorbeeld in de vorm van een foto, een (schematische) tekening (zoals in de in figuur 38 geschetste lespraktijk), een discussieposter of *concept cartoon*, of een rangschikopdracht. Dat leidt enerzijds tot het activeren van de voorkennis, en anderzijds een tot behoefte aan meer kennis. In deze fase wordt een verbinding gelegd met voorkennis en aanwezige denkbeelden. De inventarisatiefase wordt afgesloten met een richtvraag waarop de komende uitleg een antwoord zal gaan geven. Die richtvraag bevat geen nieuwe en nog onbekende begrippen.



Figuur 39 – Model van de in de tekst weergegeven fasering bij het leren van begrippen. De twee cirkels vormen de grens tussen de dagelijkse ervaring, het laboratorium en de theorie. De lijn door de cirkels geeft het leerproces. De snijpunten met de cirkels zijn belangrijke stappen in het leerproces.

Aanleren – Een vereenvoudigde laboratoriumsituatie is minder complex dan de dagelijkse werkelijkheid, en kan in de klas worden gemanipuleerd. Daarom leent een demonstratieproef zich goed om verschijnselen geïsoleerd waar te nemen. Dan wordt nog eens extra duidelijk dat de voorkennis niet toereikend is om een verschijnsel te begrijpen. Daarna worden nieuwe begrippen en nieuwe theorie aangeboden, en omgezet naar nieuwe kennis. In deze fase worden vanuit voorbeelden begrippen opgebouwd en worden vanuit begrippen voorbeelden begrepen.

Verwerken – Leerlingen oefenen in het beschrijven van vergelijkbare situaties in de zojuist geleerde vaktaal. Hierbij hoort oefenen in taal, memoriseren en vaardig worden.

Toepassen – Nadat de regel of het begrip omschreven is, wordt dit toegepast op praktijk- en laboratoriumsituaties om het nieuwe begrip of de nieuwe regels te verwerken. De zojuist verworven kennis wordt wendbaar: de nieuwe begrippen of regels worden gebruikt om nieuwe situaties te begrijpen. Of, met andere woorden: *transfer* wordt mogelijk.

Reflecteren – Leerlingen gaan nu inzien dat ze hun oorspronkelijke ideeën hebben aangepast. Ze krijgen ook zicht op de manier waarop ze tot nieuwe ideeën zijn gekomen.

Het model van figuur 39 en de tabel van figuur 40 geven een samenvatting van de fasen in het leren van begrippen en regels, en de functie van die fasen in het onderwijsleerproces.

Leren van begrippen en regels	Functie in het onderwijsleerproces
Oriënteren	• Zicht krijgen op het onderwerp en het belang van het onderwerp
Inventariseren	• Verbinding leggen met voorkennis en denkbeelden • Krijgen van een leerbehoefte • Krijgen van motivatie voor het vervolg
Aanleren	• Informatie omzetten naar kennis • Vanuit voorbeelden begrippen opbouwen • Vanuit begrippen voorbeelden begrijpen
Verwerken	• Vaktaal ontwikkelen • Memoriseren • Vaardig worden
Toepassen	• Begrippen gebruiken om nieuwe situaties te begrijpen • Begrippen wendbaar maken
Reflecteren	• Leren over leren

Figuur 40 – Fasen in het leren van begrippen en de functie in het onderwijsleerproces.

Bij het aanleren van begrippen en regels (of, met andere woorden: 'de theorie') zijn de volgende drie punten van belang.

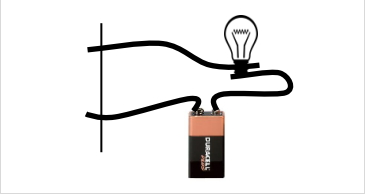
- Je bouwt begrip op vanuit voorbeelden en je begrijpt voorbeelden vanuit begrip. Daarbij maak je onderscheid tussen praktijk- en laboratoriumsituaties.
- Je legt de geleerde begrippen en regels vast in omschrijvingen, kenmerken en relaties.
- Je let op de drie taalniveaus: de taal van het dagelijks leven, van het laboratorium en van de theorie.

In de meeste leerboeken is het gebruikelijk om de leerstof aan te leren via een tekst met plaatjes. Daarna volgt een reeks opgaven ter verwerking van die leerstof. Het is aan de leraar om de uitleg in het leerboek aan te kleden met praktijkvoorbeelden, demonstraties, simulaties, practica en video's. Ter illustratie en inspiratie staat hieronder in figuur 41 en 42 een voorbeeld van hoe je dat als leraar kunt aanpakken.

Praktijksituatie

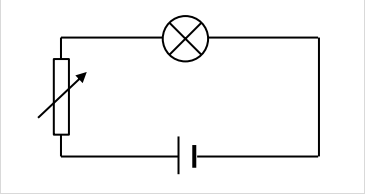
Dimmer met elektronische schakeling.

Laboratoriumsituatie



Schakeling met metaaldraad en lampje.

Theoriesituatie



De variabele weerstand beïnvloedt de stroom door het lampje.

Figuur 42 – Drieluik 'Regelbare spanning en weerstand'.

Lespraktijk

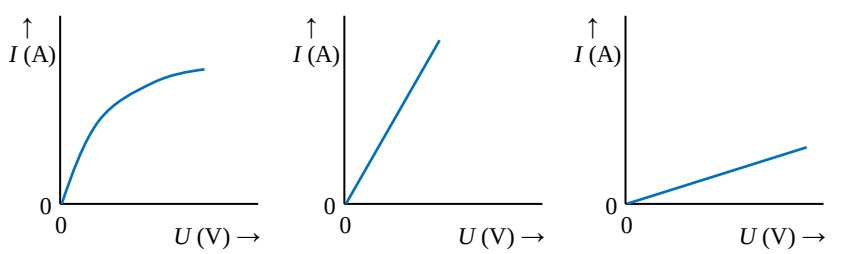
Een leraar wil het begrip weerstand uitleggen met het drieluik van figuur 42. Als instap gebruikt hij een regelbare spanningsbron. Door aan de knop van een dimmer te draaien, gaat een lamp feller en minder fel branden. Er loopt dan meer en minder stroom. Met een dimmer gebeurt dat via een elektronische schakeling.

Je kunt de felheid van een lampje ook variëren door een lange metaaldraad en een lampje te nemen. Hoe langer de draad is, des te minder fel brandt het lampje. Dat kun je als volgt begrijpen. Als de draad langer wordt, voelt de stroom een steeds grotere tegenwerking. De stroomsterkte wordt kleiner en de lamp brandt minder fel. We zeggen: de draad heeft weerstand. De weerstandswaarde meet je met een weerstandsmeter in ohm

(Ω). In plaats van een lange metaaldraad kun je ook een regelbare weerstand nemen.

Begrip: weerstand.
Kenmerk: een weerstand werkt de stroom tegen.
Relaties: $R \leftrightarrow I$.
Voorbeeld: metaaldraad.

Daarna laat de leraar drie grafieken zien: het *U*,*I*-diagram van een fietslampje, een constantaandraad en een koolstofweerstand (of hij laat de leerlingen in een practicum deze drie weerstanden zelf doormeten en de meetresultaten in een grafiek verwerken). Weerstand laat zich definiëren als $R = U/I$, met *R* in ohm (Ω = V/A). De weerstandswaarde is klein als er bij een kleine spanning al een grote stroom loopt, en groot als er bij een grote spanning maar een kleine stroom loopt. Je ziet in de grafiek dat de weerstandswaarde van het gloeilampje varieert, en dat de weerstandswaarde van de constantaandraad en de koolstofweerstand constant is.



fietslampje constantaandraad koolstofweerstand

Begrip: weerstand.
Omschrijving: weerstand werkt de stroom tegen; weerstand is spanning gedeeld door stroomsterkte in ohm (Ω = V/A).
Kenmerk: kleine weerstand ↔ kleine spanning en grote stroom; grote weerstand ↔ grote spanning en kleine stroom.
Relaties: $R \leftrightarrow I$ en $R \leftrightarrow U$.
Voorbeelden: fietslampje, metaaldraad, koolstofweerstand.

Figuur 41 – Voorbeeld van het 'aankleden' van het leerboek bij het leren van begrippen en regels.

Communicatieniveaus

Lespraktijk

Een leraar doet in een les drie heel verschillende uitspraken over ammoniak:

- Ammoniak heeft een onaangenaam prikkelende reuk.
- Ammoniak kleurt rood lakmoes blauw, kleurt een kopersulfaat-oplossing diepblauw, geeft een witte nevel met zoutzuur.
- Ammoniak-moleculen bestaan uit drie waterstofatomen en één stikstofatoom.

De leerlingen vragen wat ze moeten onthouden.

Figuur 43 – Voorbeeld van het communiceren met leerlingen op drie verschillende niveaus.

Bij het spreken over verschijnselen zoals in de in figuur 43 geschetste lespraktijk zijn drie communicatieniveaus te onderscheiden: het dagelijks leven met praktijksituaties, het laboratorium met laboratoriumsituaties, en de theorie met theoriesituaties. Uitspraken van leraren zijn in deze drie communicatieniveaus in te delen: zie de voorbeelden in figuur 44 en 45.

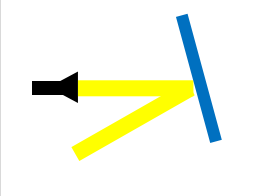
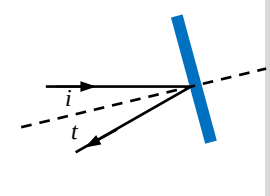
Dagelijks leven	Laboratorium	Theorie
Water is kleurloos. Water is vloeibaar bij kamertemperatuur.	Water heeft een hoge verdampingswarmte.	Watermoleculen hebben een permanente dipool.
Verbranding gaat meestal gepaard met vuurverschijnselen.	Voor een verbranding is zuurstof nodig.	Producten van een volledige verbranding zijn oxides van elementen.
Zilver is grijs-glanzend.	Zilver geleidt de elektrische stroom.	Zilverkristallen hebben een fcc-structuur. Het atoomnummer van zilver is 47.

Figuur 44 – Voorbeelden van uitspraken van leraren op de drie communicatieniveaus.

Lespraktijk

Een leraar geeft les over licht en lichtbundels. Ter ondersteuning maakt hij een drieluik met afbeeldingen die verdeeld zijn per communicatieniveau. Hij start de les met het bespreken van de discobal. Hij laat zien hoe een spiegel een lichtbundel weerkaatst. Daarna biedt hij de regel 'hoek van inval = hoek van terugkaatsing' aan. In het laboratoriumvoorbeeld is dat gemakkelijk in te zien door met de lamp en de spiegel te draaien. De discobal bestaat kennelijk uit veel spiegeltjes met steeds een andere stand.

Drieluik: Discobal en weerkaatsing van licht

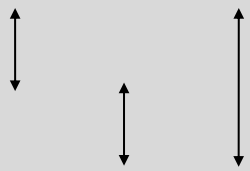
Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Een discobal weerkaatst het licht.	De vlakke spiegel weerkaatst de lichtbundel.	Een lichtstraal weerkaatst volgens hoek van inval = hoek van terugkaatsing

Figuur 45 – De drie communicatieniveaus zijn gekoppeld aan de drie verschillende situaties in een drieluik. Het taalgebruik van de leraar is daaraan aangepast, bijvoorbeeld het gebruik van het woord 'licht' in de praktijksituatie, 'lichtbundel' in de laboratoriumsituatie en 'lichtstraal' in de theoriesituatie.

De uitdaging voor de leraar is het gesprek met de leerlingen te beginnen vanuit hun directe ervaringen uit het dagelijks leven, en in de loop van het gesprek deze ervaringen te verbinden met begrippen en regels uit de theorie. Het leggen van die verbinding vindt niet in één stap plaats. Bij de ontwikkeling van theorie spelen de gerichte en geordende ervaringen met proeven uit het laboratorium een belangrijke rol. Vandaar dat proeven een onmisbare brugfunctie vervullen bij het aanleren en toepassen van begrippen en regels.

De drie communicatieniveaus zijn in eerste instantie niet verbonden. Door onderwijs kunnen verbindingen tussen deze niveaus tot stand komen, zoals weergegeven in figuur 46. Bijvoorbeeld: een dagelijkse ervaring kan beter worden begrepen vanuit begrippen uit de theorie. Het taalgebruik van een leraar past bij een bepaald niveau. Bij overgangen naar een ander niveau moet de leraar zijn taalgebruik aanpassen.

Een belangrijke moeilijkheid in de communicatie met leerlingen is het gebruik van woorden die zowel een dagelijkse als een wetenschappelijke betekenis hebben (zie paragraaf 1.4 en hoofdstuk 6). De leraar mag er niet vanuit gaan dat leerlingen die woorden in een wetenschappelijke betekenis gebruiken. Als de leerling praat vanuit de dagelijkse betekenis van een begrip en de leraar vanuit de wetenschappelijke betekenis, ligt het opduiken van communicatie- en begripsproblemen voor de hand.

Communicatieniveaus	Verbindingen tussen de niveaus
Leefwereldniveau: directe ervaringen uit het dagelijks leven Laboratoriumniveau: gerichte en geordende ervaringen uit het laboratorium Theorieniveau: begrippen en regels uit de theorie (macro en micro)	

Figuur 46 – Verbindingen tussen de drie communicatieniveaus betekenen een overgang in het taalgebruik.

Met de drie communicatieniveaus is ook een onderscheid te maken tussen twee manieren van leren: *verkennend leren* en *verifiërend leren*.

Bij verkennend leren start je vanuit de ervaring uit het dagelijks leven om via de waarnemingen in laboratoriumsituaties te komen tot theoretisch inzicht in de verschijnselen. Bij verifiërend leren start je bij inzicht in de theorie om via het begrijpen van waarnemingen in laboratoriumsituaties te komen tot het begrijpen van ervaringen in het dagelijks leven. Samen vormen verkennend leren en verifiërend leren een leercyclus: ervaren, waarnemen, begrijpen, verifiëren en opnieuw ervaren.

Lesvoorbereiding

Het is belangrijk om de uitleg – al dan niet aan de hand van een drieluik met een praktijk-, laboratorium- en theoriesituatie – goed op te bouwen. Denk daarbij vooral aan je publiek: laat iets leuks zien als opstart, zodat de leerlingen graag willen luisteren naar wat je vertelt, en zorg voor een goede opbouw in je verhaal. Gebruik als spiekbriefje steekwoorden, schema's en plaatjes. Overigens moet hierbij worden aangetekend dat een presentatie van de leraar bij het uitleggen van de theorie weliswaar een gebruikelijke maar niet de enig mogelijke manier van werken is, zoals blijkt uit de in figuur 47 geschetste lespraktijk.

Let bij een presentatie op de volgende vijf punten, waarvan de eerste twee belangrijke basispunten zijn en de laatste drie te maken hebben met een goede lesvoorbereiding.

Houding – Hoe sta je voor de groep? Heb je iets interessants te vertellen, en straal je dat ook uit? Wat doe je met je handen? Heb je oogcontact met de toehoorders? Sta je niet met je rug naar het publiek?

Stem – Is je stem duidelijk te verstaan? Hoe is het tempo? Klinkt het niet monotoon?

Inhoud – Leg je uit in een logische volgorde? Sla je geen denkstappen over? Is je verhaal niet te uitgebreid? Is de uitleg voor iedereen goed te volgen? Klopt het wat je zegt?

Hulpmiddelen – Zijn de hulpmiddelen – waaronder de demonstraties – goed verzorgd en goed gebruikt?

Voorbereiding – Zitten de PowerPoint-presentatie en het verhaal goed in elkaar? Weet je waarover je het hebt? Kun je vragen beantwoorden?

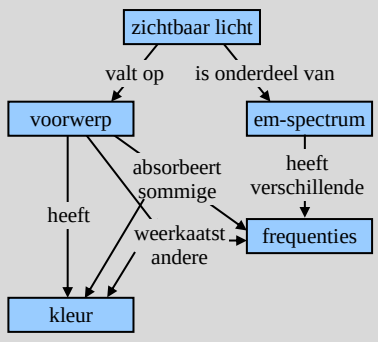
Lespraktijk

Een alternatief voor het uitleggen van theorie in de les is de benadering van *Flipping the Classroom* (zie hoofdstuk 4). Bij deze benadering bestuderen leerlingen voorafgaand aan de les de theorie uit het leerboek, bijvoorbeeld door het bekijken van *kennisclips* op internet. In de les is er daardoor voor de leraar meer ruimte om in te gaan op vragen en begrips-problemen van leerlingen.

Figuur 47 – Een alternatief voor het uitleggen van de theorie in de vorm van een presentatie van de leraar.

2.3.2 Concept maps

Bij het uitleggen en leren van begrippen en regels kan gebruik gemaakt worden van het (laten) maken van *concept maps*. Een voorbeeld van zo'n concept map staat in figuur 48: een concept map over 'licht en kleur'. Licht is een vorm van elektromagnetische straling, waarvan de frequentie de kleur bepaalt. De kleur van een voorwerp in een bepaalde situatie wordt bepaald door welke kleuren licht op het voorwerp vallen en welke kleuren licht het voorwerp absorbeert en terugkaatst. In het schema van figuur 48 staan verschillende begrippen, verbonden door pijlen die met (werk)woorden de relatie tussen de begrippen weergeven. Het schema geeft zo in één oogopslag een overzicht van de bij elkaar behorende begrippen en regels. Bij een begrip met veel verbindingen met andere begrippen kan het schema wel ingewikkelder worden, en is het niet meer direct in één oogopslag te overzien. Het door leerlingen laten maken van zo'n concept map draagt bij aan hun begripsontwikkeling.



Figuur 48 – Een concept map over licht en kleur.

Bij het maken van een concept map is het gebruikelijk om het begrip waar het om gaat centraal te plaatsen. De overkoepelende begrippen worden daar dan boven geplaatst en de onderliggende begrippen eronder, zodat een hiërarchie ontstaat. In figuur 49 staan enkele richtlijnen voor een goede concept map.

Concept map

- De context waarin het begrip wordt gedefinieerd moet bekend zijn. Meestal kan een focusvraag daarbij helpen.
- De vakjes in een concept map mogen maar één of een paar woorden bevatten.
- De verbindingslijnen moeten met één of een paar (werk)woorden de relatie tussen de

begrippen weergeven.

- Het meest algemene begrip moet bovenin, de meer specifieke begrippen komen dan in rangorde lager.
- Onder elk begrip komen maximaal vier onderliggende begrippen.
- Kruisverbanden geven belangrijke relaties weer tussen begrippen in verschillende leerstofdomeinen.
- Een vakje met een bepaald begrip komt maar één keer voor.

Figuur 49 – Enkele richtlijnen voor een goede concept map.

Afhankelijk van de omvang van de mogelijke concept map, kan het voor leerlingen moeilijk zijn om te beginnen en de concept map zelfstandig compleet te maken. Als leraar kun je er dan voor kiezen om de leerlingen een deels ingevulde concept map – een zogenaamde *skeleton concept map* – te geven en hen deze dan verder zelf te laten invullen. Bijvoorbeeld een concept map waarin de relaties zijn weggelaten (of los bijgeleverd) of waarin de relaties zijn aangegeven maar de begrippen nog moeten worden ingevuld.

Er zijn verschillende werkvormen voor het laten maken van een concept map. Van belang is dat de leerling een actieve rol speelt bij het maken en feedback krijgt op de gemaakte concept map. Dit kan bijvoorbeeld met denken-delen-uitwisselen (zie paragraaf 2.6.1) of een goed geleid onderwijsleergesprek (zie paragraaf 2.4.3). Bij *enriched skeleton concept maps* bijvoorbeeld zijn de begrippen al wel benoemd, maar hoort bij elk begrip een set vragen waarmee leerlingen betekenis aan het begrip moeten geven. Door middel van discussie of andere werkvormen krijgen de verschillende begrippen betekenis, ook in hun onderlinge relatie.

Het maken van een concept map is iets wat leerlingen moeten leren. Er moet dus aandacht zijn voor het doel van een concept map, de opbouw en ook de manier van werken, wellicht in samenspraak met collega's van andere vakken. Een mogelijke aanpak is de volgende. Neem de eerste keer een goed bekend onderwerp. Stel hierbij een goede focusvraag, die richting geeft aan de opbouw en uitgebreidheid van de concept map. Maak een lijstje met de belangrijke begrippen die bij het onderwerp en de focusvraag horen. Plaats de begrippen nu rond elkaar, zo dat je de relaties tussen de begrippen gemakkelijk kunt aangeven. Verbind ten slotte de begrippen die een relatie met elkaar hebben met een pijl en benoem de relatie bij de pijl. Na het voor een eerste keer maken van een concept map, kunnen deels ingevulde concept maps gebruikt worden om leerlingen verder te laten wennen aan de vorm.

Een concept map is nooit (in één keer) af. Meestal moet de concept map nog hertekend worden om hem mooi te maken. Er is goede (gratis) software om concept maps te maken. Deze werken prima bij het ordenen van de begrippen, maar dat geldt ook voor post-its die je gemakkelijk kunt ordenen en verplaatsen.

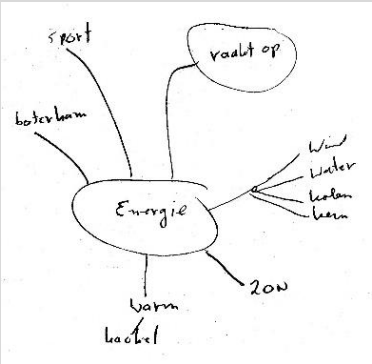
Woordspin en mind map

Om een concept map te kunnen maken, is kennis van het onderwerp en de bijbehorende begrippen en regels vereist. Als introductie voor een nieuw onderwerp is deze dus niet geschikt. Bij zo'n introductie kunnen desgewenst de *woordspin* en de *mind map* van figuur 50 dienst doen.

Alternatieven

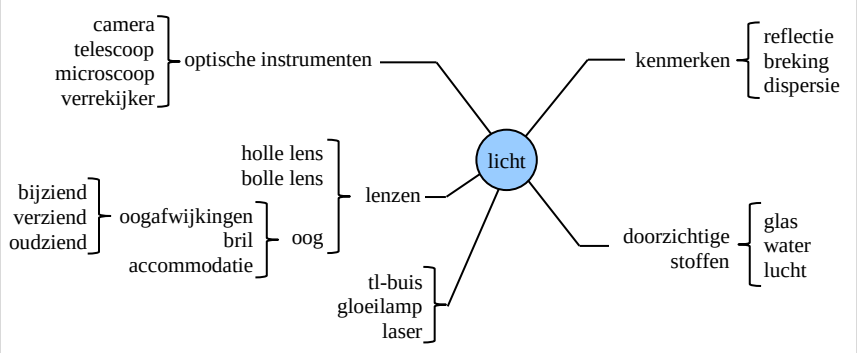
Naast de concept map zijn er nog andere soorten kaarten die in het onderwijs gebruikt worden: de *woordspin* en de *mind map*. Zij hebben elk een wat andere insteek en focus.

Woordspin – Met de woorden "Beste jongens en meisjes, de komende lessen gaan we het over energie hebben. Dat woord kennen jullie allemaal al. Om te weten waar jullie allemaal aan denken bij energie, gaan we het volgende doen…" introduceert de leraar een *woordspin*. Dat is een manier om vooral voorafgaand aan het introduceren van een onderwerp te weten te komen welke associaties een onderwerp of woord bij leerlingen oproept, zowel cognitief als affectief – zie het voorbeeld hieronder. De voorkennis wordt opgeroepen en is ook zichtbaar voor de leraar. Anders dan een concept map past een woordspin dus goed bij het begin van een hoofdstuk, bij het introduceren van het onderwerp.



Een woordspin van leerlingen over energie.

Mind map – Een vorm die dichter bij de concept map ligt, is de *mind map*. De mind map wordt ook wel abusievelijk een concept map genoemd. Het belangrijkste verschil met een woordspin is dat bij een mind map de associaties vooral cognitief van aard zijn. De relaties worden in een mind map niet aangegeven en in een concept map wel. De verschillende begrippen en aandachtsgebieden worden in een mind map wel zo goed mogelijk geordend.



Een mind map over licht als resultaat van een onderwijsleergesprek.

Een mind map is goed te maken in een onderwijsleergesprek bij een onderwerp waarmee leerlingen in het verleden al kennis hebben gemaakt, met als doel om de voorkennis weer op te halen en om aan te geven waar de komende lessen over zullen gaan.

Figuur 50 – Alternatieven voor de concept map: woordspin en mind map.

2.3.3 Vaardigheden

Bij natuurkunde, scheikunde en techniek leert een leerling een groot aantal vaardigheden, zoals:

- meten met een multimeter (stroom, spanning en/of weerstand meten), werken met een oscilloscoop, video-meten, meten met *Coach* en *LoggerPro*, werken met een optische rail, programmeren van een Arduino (natuurkunde);
- werken met een bunsenbrander, pipetteren, titreren (scheikunde);
- zagen, solderen, boren, lijmen (techniek);
- tabellen maken, metingen in een tabel zetten, diagrammen tekenen, rekenen met formules, rekenen met kruistabellen en verhoudingstabellen (ondersteunende wiskunde).

Dit zijn relatief ‘kleine’ vaardigheden, die een onderdeel zijn van vaardigheden als *onderzoeken* en *ontwerpen* die in hoofdstuk 7 aan de orde komen.

Lespraktijk

De leraar vertelt dat je bij scheikunde vaak gebruik maakt van een brander om stoffen te laten reageren. Daarom moet je goed een brander kunnen bedienen. Voor de veiligheid doe je lange haren in een staart.

De leraar wijst de verschillende onderdelen van de brander aan en noemt hun functie. Dan wordt de brander zonder luchttoevoer aangestoken. Er ontstaat een gele vlam. De eigenschappen van die vlam worden verkend. De luchttoevoer wordt open gezet, en er ontstaat een blauwe vlam. Ook nu worden de eigenschappen van die vlam verkend.

De leraar doet voor hoe je suiker in een reageerbuis verhit, waarbij gebruik gemaakt wordt van een reageerbuisknijper. Benadrukt wordt dat je de reageerbuis van je af moet richten en dat je de reageerbuis iets heen en weer schudt. Allerlei waarnemingen worden gedaan. Daarna gaan leerlingen zelf wat water en zout verhitten in een reageerbuis.

Figuur 51 – Voorbeeld van de aanpak bij het leren werken met een bunsenbrander.

In de in figuur 51 geschetste lespraktijk herken je de leerfasen voor het aanleren van een vaardigheid.

Oriënteren – De leraar geeft aan wat de vaardigheid inhoudt en wat de betekenis van de vaardigheid is. Toepassingsgebieden van de vaardigheid en variaties worden verkend.

Voordoen – De leraar doet de vaardigheid stap voor stap voor en benoemt iedere stap die genomen wordt. Een ander mogelijkheid is dat de leerling de handelingen uitvoert onder voortdurende instructie van de leraar.

Nadoen – De leerling probeert de vaardigheid stap voor stap uit in een situatie die lijkt op de situatie die de leraar heeft voorgedaan. De leerling kan het stappenplan benoemen en oefent de handelingen.

Zelf doen – De leerling gebruikt de vaardigheid in andere situaties. Soms zijn die moeilijker, soms alleen anders.

De fasen van voordoen en nadoen kunnen ook worden uitgevoerd aan de hand van een stapsgewijze instructie voor de leerlingen, zoals in figuur 52.

Lespraktijk

Om de leerlingen de vaardigheid van het meten van de stroomsterkte met een analoge stroommeter aan te leren, demonstreert een leraar het meten met een stroommeter gevolgd door een practicum over stroomsterkte meten.

De leraar laat de leerlingen eerst zien welke onderdelen de stroommeter heeft en waarvoor die onderdelen dienen: wijzer met schaalverdelingen voor aflezen, spiegelende achtergrond bij de wijzer om parallax te vermijden, rode en zwarte stekkerbussen van meter en voeding, de betekenis van de zwarte en rode stekkerbussen voor de stroomrichting, en de keuze voor het meetbereik. Daarna laat hij zien hoe je de stroom meet in een schakeling met lampjes, en gebruikt daarbij het volgende stappenplan.

1 Onderbreek de schakeling op de plaats waar je de stroomsterkte wilt meten.
2 Neem de stroommeter met het grootste meetbereik op in de schakeling met behulp van een extra snoer. Let daarbij op de stroomrichting en op het gebruik van de kleuren rood en zwart voor stekkers en stekkerbussen.
3 Schakel zo mogelijk over op een kleiner meetbereik.
4 Lees de stroomsterkte nauwkeurig af. Let daarbij op de keuze van de schaalverdeling en op de parallax.

Daarna gaan de leerlingen zelf stroomsterkte meten in een practicum.

Figuur 52 – Stappenplan voor het meten met een analoge stroommeter.

De tabel van figuur 53 geeft een samenvatting van de fasen in het leren van vaardigheden, en de functie van die fasen in het leerproces. In figuur 54 is de fasering als voorbeeld uitgewerkt voor het aanleren van een specifieke vaardigheid: licht meten met de computer.

Leren van vaardigheden	Functie in het leerproces
Oriënteren	• Zicht krijgen op de vaardigheid en het belang van de vaardigheid. • Krijgen van een leerbehoefte. • Verbinding leggen met voorkennis en aanwezige vaardigheden. • Motivatie krijgen voor het vervolg.
Voordoen	• Zicht krijgen op de handelingen en de volgorde van die handelingen.
Nadoen	• Vaardig worden.
Zelf doen	• Vaardigheid inzetten in nieuwe situaties.

Figuur 53 – Fasen in het aanleren van vaardigheden en de functie in het leerproces.

Fase	Vaardigheid: Licht meten met de computer
Oriënteren • omschrijving • belang en gebruikswaarde	*Meten met de computer* • voor heel snelle metingen • voor heel langzame metingen • gebruikelijk in laboratoria • nauwkeurig (hoge sample-frequentie) • metingen direct verwerken en analyseren

Voordoen • spullen benoemen • opstelling in elkaar zetten • werkwijze voordoen	*Spullen tonen* • sensoren • interface • computer met het programma Coach *Interface en sensor aansluiten* • sensor in interface • interface in computer *Programma Coach instellen* • inloggen docent 0000 • bestand, nieuw, meten, keuze interface, ok • meetwaarde naar linkerbovenvak (via rechtsklikken op sensoricoon en slepen) • diagram naar rechterbovenvak (via rechtsklikken op sensoricoon en slepen) *Meten met Coach* • instellen sample frequentie • instellen meettijdsduur • lichtsensor bij lamp houden • meting starten *Metingen weergeven en analyseren* • grafiek aanpassen • meting analyseren met theorie
Nadoen • oefenen in dezelfde situatie	
Zelf doen • gebruiken in nieuwe situaties	• licht van gloeilamp op wisselspanning meten (korte meettijdsduur, grote sample frequentie) • licht dag en nacht meten (lange meettijdsduur)

Figuur 54 – Voorbeelduitwerking van de fasering voor het aanleren van een specifieke vaardigheid: licht meten met de computer.

2.4 Vragen stellen

Bij het stellen van vragen beperken we ons in deze paragraaf tot het gebruik van checkvragen en het stellen van vragen tijdens de les voor het activeren van het denken van de leerlingen – en in het verlengde van dat laatste: het voeren van een onderwijsleergesprek.

2.4.1 Checkvragen

Als leraar wil je regelmatig bepalen of de leerlingen de leerstof begrepen hebben. Een goed middel hiervoor is het stellen van *checkvragen* om na te gaan wat leerlingen al weten van de leerstof (voorkennis), of ze de zojuist behandelde leerstof begrepen hebben en in hoeverre de bestudeerde leerstof begrepen is. In de laatste twee gevallen heeft het gebruik van checkvragen het karakter van tussentijdse of formatieve toetsing. De checkvragen zijn dan *toetsvragen*. Maar bedenk daarbij wel dat het stellen van checkvragen voor formatieve toetsing alleen 'werkt' als aan het beantwoorden van die vragen geen cijferbeoordeling gekoppeld is.

Bij het maken of bedenken van checkvragen voor formatieve toetsing is het verstandig om eerst *leerdoelen* te formuleren.

Leerdoelen

Ik kan nu:
- energieomzettingen weergeven in een blokschema
- uitleggen wat vermogen is
- berekeningen met energieverbruik (in kWh en J), vermogen en rendement uitvoeren
- berekeningen met verbrandingswarmte uitvoeren
- zeggen wat de wet van behoud van energie inhoudt

Figuur 55 – Voorbeeld van leerdoelen als afsluiting van de opgaven in een leerboek.

Leerdoelen

Uit het voorbeeld van figuur 55 blijkt dat leerdoelen uit twee delen bestaan: een werkwoord dat het gedrag van de leerling beschrijft, en de inhoud waarop het leerdoel betrekking heeft.

Leerdoelen zijn in te delen in de volgende drie categorieën: reproductie, toepassing en inzicht.

Reproductie – Hierbij gaat het om feitenkennis. Reproductie doet een beroep op het geheugen. Het antwoord op de vraag staat vaak letterlijk in de tekst van het leerboek.

Toepassing – Verworven kennis moet worden toegepast in vanuit het voorafgaande onderwijs bekende, vergelijkbare situaties.

Inzicht – Verworven kennis moet worden toegepast in (meer complexe) nieuwe situaties. Dit vraagt meestal meerdere denkstappen.

Bij elk van de drie categorieën horen werkwoorden die je kunt gebruiken in de leerdoelen en de toetsvragen, zoals weergegeven in de tabel van figuur 56.

Reproductie	Toepassing	Inzicht
aangeven	beredeneren	berekenen
benoemen	bepalen	bepalen
beschrijven	berekenen	beredeneren
definiëren	illustreren	oplossen
opsommen	onderscheiden	ontwerpen
herkennen	toelichten	onderzoeken
	interpreteren	relateren
	formuleren	verbanden geven
	samenvatten	verklaren

Figuur 56 – Werkwoorden bij de verschillende soorten leerdoelen.

De categorieën reproductie, toepassing en inzicht geven een globale indeling van leerdoelen en toetsvragen. Om te kunnen bepalen op welk niveau de leerlingen de leerstof beheersen wordt vaak gebruik gemaakt van de meer gedetailleerde indeling van Bloom in de bewerking van Krathwohl-Anderson. Maar die indeling is tamelijk complex, zodat daaruit voor gebruik in de lespraktijk weer vereenvoudigde indelingen zijn afgeleid: RTTI, OBIT en OBTA (zie hoofdstuk 5).

Checkvragen stellen

Mondeling gestelde checkvragen zijn over het algemeen kort, concreet, open en enkelvoudig (geen twee vragen tegelijk). Let daarbij op voldoende variatie in reproductie, toepassing en inzicht. Gebruik niet de vragende maar de stellende vorm, met gebruik van de werkwoorden voor leerdoelen. En vraag niet alleen naar definities, maar ook naar voorbeelden. In figuur 57 staan enkele voorbeelden van hoe je deze checkvragen beter niet kunt stellen, en wat een meer geschikt alternatief is.

Stel de checkvragen aan de hele klas en geef iedereen denktijd en de kans op een beurt. Accepteer geen roepers, maar vraag om vingers. Vraag bij onverstaanbare antwoorden om duidelijker te praten, en bij onduidelijke of onvolledige antwoorden om toelichting of aanvulling. Als een antwoord onjuist is: waardeer de betrokkenheid van de leerling, maar geef aan dat het antwoord fout is. Vraag daarna aan anderen waarom dat zo is. En erken niet alleen een juist antwoord, maar vraag aan anderen waarom dat antwoord goed is.

Checkvragen

Niet: Wat is elektrische energie?
Wel: Geef een voorbeeld van elektrische energie.

Niet: Wat is elektrische energie en hoe bereken je dat?
Wel: Geef de definitie van elektrische energie. Noem de formule waarmee je dat berekent.

Niet: Wat is het rendement van een lamp?
Wel: Noem de aanpak voor het berekenen van het rendement van een lamp.

Figuur 57 – Voorbeelden van checkvragen.

Snelle diagnose en feedback

Lespraktijk

Een leraar deelt een werkblad uit, met daarop onder andere de onderstaande tekening van een fietser. Hij vraagt de leerlingen om de voor- en de achterwaartse kracht op de fietser te tekenen.

Situatie 1: de fietser fietst met een constante snelheid van 15 km/h.

Situatie 2: de fietser versnelt van 15 tot 20 km/h.

Situatie 3: de fietser fietst verder met een constante snelheid van 20 km/h.

De leerlingen tekenen de krachten in de tekening en de leraar loopt rond. Hij bekijkt de

tekeningen en bevraagt zo nu en dan een leerling op de gevolgde gedachtegang. In de nabespreking gebruikt de leraar wat hij gezien en besproken heeft.

Wonderlijk genoeg heeft geen van de leerlingen moeite met het aangrijpingspunt van de voorwaartse kracht. Ze plaatsen dit in het midden van de fietser. Dat is een verstandige keuze, hoewel strikt genomen de voorwaartse kracht de kracht is van het wegdek op het achterwiel (als reactie op de afzetkracht van het achterwiel tegen het wegdek).

Over het aangrijpingspunt van de achterwaartse kracht is veel verschil van inzicht. De onderkant van de wielen is favoriet. Maar hoe zit het dan met de luchtweerstand? De leraar geeft aan dat je het best het midden van de fietser (het zwaartepunt) kunt nemen als aangrijpingspunt.

Een enkele leerling tekent in situatie 1 en 3 de voorwaartse kracht iets groter dan de achterwaartse kracht, omdat de fiets anders stil staat. Dit idee is niet even in kort bestek weg te nemen door de leraar. Een andere leerling tekent situatie 1 en 3 precies gelijk, want volgens hem is de wrijvingskracht in beide situaties hetzelfde. De leraar geeft aan dat dit voor de rolweerstand wel geldt, maar niet voor de luchtweerstand.

Ten slotte laat de leraar de opdracht en de juiste antwoorden zien in een PowerPoint-presentatie.

Situatie 1: de fietser fietst met een constante snelheid van 15 km/h.

Situatie 2: de fietser versnelt van 15 km/h tot 20 km/h.

Situatie 3: de fietser fietst verder met een constante snelheid van 20 km/h.

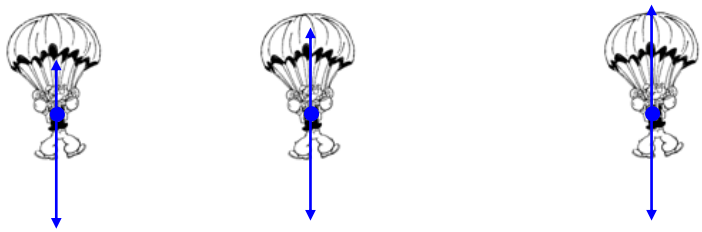
Daarna wijst de leraar op een vergelijkbare tweede tekening op het werkblad, en vraagt de leerlingen om de omlaag en omhoog gerichte kracht op de parachutist te tekenen. Een slimme leerling geeft aan dat situatie 1 geen echte situatie is, want bij $v = 0$ m/s is de parachute altijd nog dicht.

Situatie 1: de parachutist versnelt van 0 tot 10 m/s.

Situatie 2: de parachutist versnelt van 10 tot 20 m/s.

Situatie 3: de parachutist beweegt met een constante snelheid van 20 m/s.

Opmerkelijk genoeg hebben bijna alle leerlingen de pijlen goed getekend, en nu vanuit het midden van de parachutespringer. Een belangrijk inzicht is dat de zwaartekracht steeds even groot is en dat de luchtweerstand toeneemt met de snelheid. De snelheid is constant als de omlaag en omhoog gerichte krachten gelijk zijn.



Situatie 1: de parachutist versnelt van 0 tot 10 m/s.

Situatie 2: de parachutist versnelt van 10 tot 20 m/s.

Situatie 3: de parachutist beweegt met een constante snelheid van 20 m/s.

Figuur 58 – Een voorbeeld van snelle diagnose en feedback.

De in figuur 58 geschetste lespraktijk is een voorbeeld van gebruik van check-

vragen in de vorm van *snelle diagnose en feedback*: de leraar kan vrij snel zien (bij het rondlopen in de klas) wat de leerlingen goed en fout doen, en kan op grond van zijn waarnemingen feedback geven aan individuele leerlingen en/of aan de klas als geheel (in de nabespreking). Het geven en ontvangen van feedback betekent: *terugkoppelen*. De feedback-gever beschrijft wat hij waarneemt en het effect daarvan. De feedback-ontvanger doet er zijn voordeel mee. Feedback is bevestigend (ga zo door) of kritisch (doe dit anders), maar beide zijn opbouwend. Let bij het geven van feedback op de algemene regels daarvoor, zoals weergegeven in figuur 59.

De methode van snelle diagnose en feedback verloopt volgens een vaste procedure:

- Laat de probleemsituatie aan de klas zien (bijvoorbeeld in een PowerPoint-presentatie) en/of geef de leerlingen een werkblad (in het geval dat ze iets moeten tekenen).
- Loop rond en bekijk de antwoorden. Bevraag zo nodig enkele leerlingen, om van hen te leren (welke denkbeelden hebben ze, waarom denken ze dat, en wat is daar natuurkundig gezien goed of fout aan).
- Bespreek de door de leerlingen gegeven antwoorden na, met speciale aandacht voor de geconstateerde begripsproblemen.
- Geef bij veel begripsproblemen een tweede of zelfs derde probleemsituatie, en rond af.

Geschikte probleemsituaties voor snelle diagnose en feedback zijn die waarbij het antwoord van de leerlingen voor de leraar snel te zien is: leerlingen moeten iets tekenen (een krachtenplaatje, een grafiek, een stralengang enzovoort) of kort iets opschrijven (een formule, getal, letter enzovoort). Bruikbare vraagvormen bij deze manier van werken zijn dan ook meerkeuzevragen (inclusief concept cartoons) en rangschikvragen. In figuur 60 t/m 63 staan enkele voorbeelden.

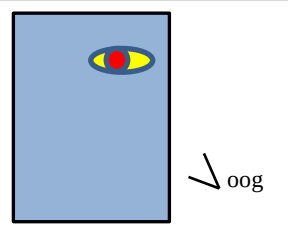
Feedback geven en ontvangen

Algemeen – Veilige sfeer.

Feedback ontvangen – Luisteren en doorvragen, niet verdedigen.

Feedback geven – Richten op gedrag (niet de persoon) en hoofdzaken, beschrijven (niet veroordelen), balans tussen bevestigend en kritisch, ruimte geven.

Figuur 59 – Algemene regels voor het geven en ontvangen van feedback.



In de tekening rechts kijken we van bovenaf op het zwembad van de foto links.
Schets in de tekening de gang van de lichtstralen van het hoofd van de man (rood) én van de romp van de man (geel) naar het oog.

Figuur 60 – Vraagvorm: optisch stralendiagram. Na lessen over breking kan de leraar met deze vraag direct zien of een meerderheid van de leerlingen de principes van breking kan toepassen.

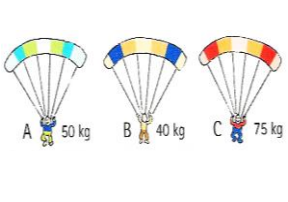
Teken met pijlen de circulatie van lucht rond het vuur.
Schrijf bij de pijlen wat er op die plaats met de lucht gebeurt.

Figuur 61 – Vraagvorm: schets. De getekende luchtcirculatiepijlen kan de leraar in één oogopslag zien. Bij de toelichting op wat er op de betreffende plaats met de lucht gebeurt (bijvoorbeeld: wordt warm en zet uit, dus dichtheid wordt kleiner) is dat lastiger, maar het dwingt leerlingen wél om na te denken over het pijlen tekenen.

Als water kookt, zijn er grote bellen in het water.
Waaruit bestaan die bellen?

A Lucht
B Warmte
C Stoom
D Zuurstof en waterstof

Figuur 62 – Vraagvorm: meerkeuzevraag. In een aantal gevallen (bijvoorbeeld bij het onderwerp ‘elektrische schakelingen’) zijn meerkeuzevragen te koppelen aan demonstratie-experimenten om te laten zien welk antwoordalternatief juist is.



Drie parachutisten A, B en C met (afgezien van de kleur) identieke parachutes hebben elk een constante snelheid bereikt.
Ze bevinden zich op zeker moment op dezelfde hoogte.

a Orden hun snelheid van snelst naar langzaamst.
b Orden de tijd die ze nog nodig hebben om de grond te bereiken van langst naar kortst.

Figuur 63 – Vraagvorm: rangschikvraag. Het antwoord op deze vraag bestaat uit twee reeksen van drie letters die gemakkelijk in één oogopslag te controleren zijn.

Als de vraag lastig is, wordt er door de leerlingen al snel onderling overlegd. En tegen een goede begripsdiscussie kun je als leraar moeilijk bezwaar hebben, behalve als leerlingen nogal automatisch oplossingen van buren overnemen. Je moet als leraar dus bewust kiezen: wil je individuele antwoorden zien voor een goede peiling en eventueel daarna discussie, of wil je die spontane onderlinge discussie?

Reeksen checkvragen

Mondelinge checkvragen worden vaak ‘even snel tussendoor’ aan de klas voorgelegd. Een alternatief is het aanbieden van een gestructureerde reeks van checkvragen. Dat kan als reeks ineens, of het kan één-voor-één met klassikale feedback ertussen. Als het hoofddoel is om leerlingen te betrekken in begripsdiscussies in kleine groepen, geef ze dan de hele reeks. Dat kunnen drie tot vijf vragen zijn, met zo’n tien tot vijftien minuten discussie. Die discussie is noodzakelijk voor het leren hanteren van de begrippen en voor de sociale constructie van begrip. Van zo’n gestructureerde reeks checkvragen is een krachtig stukje onderwijs maken door de vragen klassikaal één-voor-één te stellen in een soort van geprogrammeerde instructie met individuele antwoorden. Per vraag loopt de leraar rond voor diagnose van fouten en gaat vervolgens plenair in op de belangrijkste fouten (feedback). Het grote voordeel is dat je hier met korte plenaire feedback grote verbeteringen kunt bereiken en daarmee zelfvertrouwen en motivatie van leerlingen kunt ontwikkelen. Typische voorbeelden zijn een reeks *x*,*t*-diagrammen, krachtendiagrammen of elektrische schakelingen.

Individuele opdrachten zijn ook te combineren met groepsopdrachten. Een voorbeeld is het stellen van een reeks meerkeuzevragen, met eerst een paar vragen waarbij de leerlingen overleggen in kleine groepen en dan met gekleurde kaarten individueel stemmen (hele klas tegelijk), gevolgd door een vraag die direct individueel moet worden beantwoord. Daarmee kan de leraar controleren wat het leerresultaat is van de voorgaande groepsdiscussies, en bovendien dwingt het alle groepsleden om ook individueel mee te denken.

Ten slotte is er ook de mogelijkheid om checkvragen in te bouwen in het zelfstandig werken van de leerlingen aan opgaven. Uit observaties blijkt dat de leraar in zo’n halve les opgaven maken vaak slechts (nuttig) contact heeft met niet meer dan een paar leerlingen. Met het in die opgaven opnemen van een paar goed zichtbare checkvragen (waaronder in dit geval ook een groot geschreven uitkomst van een berekening) kan de leraar in een snel rondje door de klas zien hoe ver leerlingen zijn en in hoeverre een essentieel element van de opgave begrepen is.

Figuur 64 – Stemmen met gekleurde kaarten over het antwoord op een meerkeuzevraag.

Meerkeuzevragen

Leraren gebruiken *Socrative*, *Plickers* of *Kahoot* voor formatieve toetsing in de vorm van meerkeuzevragen. Daarbij krijg je ideale statistiek en kun je ’s avonds gedetailleerd terugkijken naar wie wat antwoordde. Bij *Socrative* wordt met smartphones gestemd. Bij *Plickers* houden leerlingen een papier omhoog in verschillende standen die A, B, C of D aangeven en is er een unieke 2D-code voor elke leerling. De leraar filmt de codes met een tablet, en dit vertaalt zich automatisch in een kaart die in kleur aangeeft op welke locatie in de klas veel fouten worden gemaakt.

Stel de statistiek zo in dat je als leraar de frequenties van de foute opties te zien krijgt, want juist daarmee bepaal je de volgende stap in het onderwijsleerproces. Vaak let men alleen op het aantal correcte antwoorden.

Figuur 66 – Software voor formatieve toetsing in de vorm van meerkeuzevragen.

Lespraktijk

Een leraar heeft zijn uitleg samen met demonstratie-experimenten tijdens de les opgedeeld in een aantal hoofdpunten. Elk hoofdpunt wordt afgesloten met één of meer meerkeuzevragen.

De meerkeuzevraag wordt aan de leerlingen voorgelegd op een PowerPoint-dia. Ze krijgen kort de tijd om de vraag te lezen, en om individueel over hun antwoord na te denken en dit (eventueel) te noteren (tijdsduur: 2 minuten). Daarna wisselen de leerlingen hun antwoorden in groepen van minimaal drie uit, en proberen elkaar van de juistheid van hun (uiteenlopende) antwoorden te overtuigen (tijdsduur: 2 tot 3 minuten). Daarna kan een leerling individueel besluiten zijn of haar eerdere antwoord te herzien en dit (eventueel) te noteren. Met gekleurde kaarten wordt nu door de leraar gepeild hoe de antwoordalternatieven in de klas als geheel ‘scoren’, gevolgd door een interactieve klassikale discussie over het al dan niet juist zijn van de antwoordalternatieven.

Na op deze manier de opeenvolgende hoofdpunten tijdens het contactuur te hebben ‘afgewerkt’, krijgen de leerlingen op de gebruikelijke manier verwerkingsvragen en oefenopgaven voorgelegd.

Figuur 65 – Formatieve toetsing en feedback met meerkeuzevragen in de les.

Bij het gebruik van de in figuur 66 genoemde software blijft de leraar voor de klas en is de vraagvorm beperkt tot meerkeuzevragen, al dan niet in de vorm van een concept cartoon. Dat is prima, maar toch kun je als leraar de voorkeur geven aan open vragen met antwoorden in de vorm van een schets op papier, een gra-

fiek of een andere snelle vraagvorm zoals een rangschikvraag. Je moet dan de klas in om antwoorden te zien. Je ziet daarbij hooguit resultaten van de helft van de leerlingen, maar dat geeft wel een representatief beeld en kan in een halve minuut. Je komt onverwachte antwoorden tegen die je mist bij meerkeuzevragen. Je kunt ook even een snelle individuele uitleg horen van een leerling over een onverwacht antwoord. Dat is vaak uiterst nuttig als voorbereiding op een klassikale feedback. Een wat meer publieke vorm is het gebruik van witte bordjes met viltstift: de leerlingen schetsen een grafiek of schrijven een vervalvergelijking op. De bordjes kunnen functioneren in een klassendiscussie door leerlingen een concrete vraag te laten stellen over het bordje van een andere leerling.

Werken op papier is veiliger voor leerlingen en kan individueel, en geeft daardoor waarschijnlijk een beter diagnostisch beeld van onder andere de zwakkere leerlingen. Werken op bordjes is meer publiek, wordt gemakkelijk groepswerk in plaats van individueel werk, maar stimuleert de klassendiscussie.

2.4.2 Activerende vragen

Het stellen van vragen maakt een belangrijk deel uit van een les. Goede vragen stimuleren tot nadenken en tot creativiteit. Een goede vraag maakt het eerder geleerde weer bewust en toegankelijk. Een goede vraag helpt aantonen of de instructie begrepen is. Kortom, goede vragen betrekken de leerling actief bij de les.

Het stellen van vragen in de les kan de volgende (combinatie van) functies vervullen:

- activeren van kennis uit het korte- of langetermijngeheugen;
- verhelderen van de (kenmerkende) situatie;
- verhelderen van de taak-(doel)stelling;
- verkrijgen van een zo volledig mogelijk beeld van de gevolgde aanpak;
- verhelderen van de resultaten, zodat die voor iedereen duidelijk zijn en daardoor bespreekbaar worden;
- expliciteren en toegankelijk maken van alledaagse of (voor)wetenschappelijke kennis;
- mogelijk maken van gerichte feedback;
- corrigeren van ongewenst gedrag;
- stimuleren van productief denken;
- formuleren van een nieuwe leertaak.

Activeren

Voor iedere leraar is het een belangrijke vraag: hoe betrek je leerlingen bij de les en hoe activeer je ze?

Bij een aanbiedende werkvorm kun je de betrokkenheid en de activiteit van leerlingen bevorderen door aan te sluiten bij hun belevingswereld, ook niet-verbale leermiddelen zoals afbeeldingen en video te gebruiken, regelmatig checkvragen te stellen en de beurten te spreiden, en aantekeningen te laten maken.

Voor het gesprek gelden de volgende aandachtspunten: vraag naar eigen ervaringen, stel vragen waarbij meerdere inbreng mogelijk is, stel de vraag aan de hele klas, geef denktijd, spreid de beurten (ook over de niet-vingers), speel vragen door, vraag door, ontmoedig roepen, en laat leerlingen op elkaar reageren.

Voor het zelf werken zijn de aandachtspunten: wees duidelijk, geef een eindtijd, loop rond en ga na of het lukt, en spreek leerlingen aan die niet werken.

Figuur 67 – Strategieën voor het activeren van leerlingen in de les.

Soorten vragen

Er zijn verschillende mogelijkheden om vragen in te delen in soorten: open vragen en gesloten vragen, kennisvragen en denkvragen, cognitieve, affectieve en doe-vragen.

Open vragen en gesloten vragen – Vaak wordt een onderscheid gemaakt tussen open en gesloten vragen. Deze indeling heeft betrekking op de speelruimte die de leraar met de vraag geeft aan de leerlingen.

Gesloten vragen beperken de antwoordmogelijkheden. De leraar vraagt naar feiten en verwacht een bepaald antwoord. Hij formuleert de vraag zo dat hij controle uitoefent op de keuzemogelijkheden. Voorbeelden van gesloten vragen zijn ja/nee-vragen (heeft een kracht een richting?), herkenningsvragen (is de luchtweerstand op een geopende parachute een kracht?), alternatiefvragen (is dit een duwkracht of een trekkracht?) en meerkeuzevragen.

Het voordeel van gesloten vragen is dat de leraar snel gegevens kan opvragen. Een nadeel is dat er weinig ruimte is voor een productieve of persoonlijke inbreng van de leerlingen. Veel gesloten vragen reduceren een les tot het reproduceren van informatie.

Open vragen geven de leerlingen denkruimte, stimuleren tot productief denken, tot creativiteit. In tegenstelling tot gesloten vragen staat het goede antwoord of de goede oplossing niet bij voorbaat vast. Bij open vragen zijn antwoorden mogelijk die men vooraf mogelijk niet had voorzien.

Vooral wanneer het gaat om het stimuleren van denkprocessen, of om opinies, waardeoordelen en gevoelens, verdient het aanbeveling om open vragen te

stellen. Enkele voorbeelden van open vragen zijn: “Wat zijn de voordelen en nadelen van het gebruik van een elektrische fiets?”, “Welke gevolgen zou een duo-sprong (met twee parachutisten aan één parachute) hebben voor de daalsnelheid?” en “Hoe zorg je ervoor dat je bij het fietsen zo weinig mogelijk last hebt van luchtweerstand?”

Kennisvragen en denkvragen – Een tweede veel gebruikte indeling betreft het onderscheid tussen kennis- en denkvragen. De indeling in kennis- en denkvragen komt vaak overeen met die in gesloten en open vragen.

Een kennis- of feitenvraag peilt de feitelijke informatie die in het geheugen van de leerling is opgeslagen. Het zijn vragen waarbij voor het beantwoorden alleen nodig is dat men zich bepaalde zaken herinnert: feiten, observaties, definities, formules enzovoort. Deze vragen worden ook vaak lagere-orde-vragen genoemd. Enkele voorbeelden van kennisvragen zijn: “Hoe luidt de definitie van een kracht?”, “Wat verstaat men onder de normaalkracht?” en “Welke soorten kracht ken je?”

Een denkvraag stimuleert tot het oplossen van een probleem. De leerling kan geen rechtstreeks antwoord op de vraag formuleren, en moet op grond van kennis een antwoord construeren. Deze vragen worden ook hogere-orde-vragen genoemd. Enkele voorbeelden van denkvragen zijn: “Welke verklaringen zijn er voor het verschil in de maximumsnelheid waarmee verschillende wielrenners kunnen fietsen?”, “Wat kun je doen om de daalsnelheid bij een parachutesprong kleiner te maken?” en “Vind je dat het dragen van een fietshelm wettelijk verplicht moet worden gesteld?”

Cognitieve, affectieve en doe-vragen – Een derde indeling heeft betrekking op het doel dat de leraar met een vraag heeft: cognitieve vragen peilen begripsmatige kennis, affectieve vragen peilen waardeoordelen, attitudes en emoties, en handelingsvragen verzoeken om een handeling of plan uit te voeren.

De activerende vragen die je als leraar aan de klas, aan een groepje leerlingen of aan individuele leerlingen stelt, hangen af van de benadering van het leren: *overdragend* of *exploratief*. Het onderscheid tussen deze twee benaderingen is de volgorde van ervaring en inzicht. Bij overdragend leren is de volgorde: van inzicht naar ervaring. Dit in tegenstelling tot exploratief leren, waarbij de volgorde is omgekeerd: van ervaring naar inzicht.

Lespraktijk

De leraar introduceert het onderwerp ‘een slagboom in evenwicht’ aan de hand van een spoorboom. Hij laat een foto zien en stelt de vraag: “Hoe weten we of de slagboom in evenwicht is?”

De leraar inventariseert wat de leerlingen al weten uit eigen ervaring, bijvoorbeeld bij een wip. Hij wijst op de verschillende onderdelen: de slagboom, het contragewicht, het draaipunt en de motor. Daarna toont hij een balans waar je links en rechts gewichten aan kunt hangen. Er is evenwicht als het zware gewicht aan de korte arm hangt en het lichte gewicht aan de lange arm. Bij de spoorboom grijpen de krachten aan in het zwaartepunt van het contragewicht en de slagboom. Het contragewicht heeft de korte arm en de slagboom de lange arm. De regel is dan: bij evenwicht is de grote kracht bij de korte arm en de kleine kracht bij de lange arm.

De leraar stelt enkele checkvragen om te kijken of alles begrepen is. Daarna gaan de leerlingen oefenen met enkele opgaven.

Figuur 68 – Een voorbeeld van overdragend leren.

Overdragend leren

Bij *overdragend leren* gaat het om het aanleren van begrippen door voorbeelden en het toepassen van die begrippen op nieuwe situaties, zoals in de in figuur 68 geschetste lespraktijk. Het startpunt van het leren is veelal een leefwereldprobleem dat enerzijds leidt tot het activeren van de voorkennis, en anderzijds tot een behoefte aan meer kennis. De introductie wordt afgesloten met een algemenere *richtvraag* waarop de komende uitleg antwoord gaat geven. De richtvraag bevat geen nieuwe en onbekende begrippen. Bij de uitleg van het nieuwe begrip of regel wordt gebruik gemaakt van gerichte en geordende ervaring vanuit laboratoriumvoorbeelden. Het laboratoriumvoorbeeld dient als brug tussen de dagelijkse ervaring en de theorie. Nadat de regel of het begrip omschreven is, wordt dit toegepast op laboratoriumvoorbeelden om het nieuwe begrip of de nieuwe regel te verwerken. Verwerkte begrippen en regels kunnen worden gebruikt voor het begrijpen van nieuwe leefwereldvoorbeelden.

De tabel van figuur 69 geeft een overzicht van de soorten vragen die passen bij de verschillende fasen van het uitleggen van begrippen en regels.

Fase	Vragen
Oriënteren • instapprobleem (bijvoorbeeld leefwereldvoorbeeld)	
Inventariseren • dagelijkse ervaring met leefwereldvoorbeelden • voorkennis, kennisbehoefte, richtvraag	Stellen van een richtvraag waarop de uitleg antwoord gaat geven

Aanleren • laboratoriumvoorbeelden (als brug) • omschrijving van begrip of regel	Checkvragen of uitleg gevolgd wordt
Verwerken • laboratoriumvoorbeelden (als brug)	Checkvragen of uitleg begrepen is met eenvoudige voorbeelden
Toepassen • toepassen op laboratoriumvoorbeelden • toepassen op leefwereldvoorbeelden	Vragen om toepassing te verhelderen en te verbinden met aangeleerde begrippen of regels

Figuur 69 – Vragen stellen bij overdragend leren.

Exploratief leren

Bij *exploratief leren* zoals in de in figuur 70 geschetste lespraktijk gaat het om het verkennen van de werkelijkheid en het ontdekken van wetmatigheden daarin.

Lespraktijk

Praktijksituatie – De leraar laat een plaatje zien van een wielrenner die over een hobbelige weg rijdt. Hij stelt als vraag: "Hoe zorg je ervoor dat je het minste last hebt van tegenwerkende krachten?" De leerlingen krijgen even de gelegenheid hierover na te denken en te overleggen. De leraar wijst per groepje een leerling aan die rapporteert, een variabele noemt en toelicht. Sommige leerlingen raadplegen Google voor nadere informatie. Bij de inventarisatie komen naar voren: gladde helm, vooroverbuigen, dunne harde banden, gladde weg. De leraar vat dit samen en geeft als aanvulling de begrippen luchtweerstand en rolweerstand, en de factoren waarvan die afhankelijk zijn.

Experimentele opstelling – De leraar laat een hoedje van papier vallen. Het hoedje dwarrelt naar beneden. Hij stelt als vraag: "Hoe kun je het vallen sneller of langzamer laten gaan?" Op het bord inventariseert hij de ideeën van de leerlingen: massa, grootte, vorm, valhoogte, gat. Elke groep leerlingen krijgt een variabele toegewezen. De groepen krijgen 20 minuten de tijd om aan te tonen of hun variabele van invloed is. In de nabespreking wordt geïnventariseerd welke variabelen wel en niet van invloed zijn – en of dat logisch is.

Computersimulatie – De leraar werkt met de klas in het computerlokaal. Hij laat een simulatie zien van beeldvorming door een bolle lens en toont hoe je de simulatie bedient. Dan gaan de leerlingen zelf aan de slag met de simulatie. Na enige tijd bespreekt de leraar de ervaringen met de leerlingen. Hij stelt als vervolgvraag: "Waarvan hangt de grootte van het beeld af?" Op het bord inventariseert hij de ideeën van de leerlingen: grootte van voorwerp, afstand voorwerp tot lens, sterkte van de lens. Elke groep leerlingen gaat aan het werk om dit uit te zoeken. Bij de nabespreking komt naar voren: het beeld is kleiner dan het voorwerp als $v > 2 \cdot f$, het beeld is groter dan het voorwerp als $f < v < 2 \cdot f$ en er is geen beeld als $v < f$.

Figuur 70 – Voorbeelden van exploratief leren.

Het startpunt van het leren is opdoen van eigen ervaringen met een natuurkundig verschijnsel. Dat kan bijvoorbeeld een situatie uit het dagelijks leven zijn, een experimentele opstelling of een computersimulatie. De leerlingen verkennen deze situatie. Vervolgens denken ze na over de kenmerken van het verschijnsel, en proberen ze die kenmerken te begrijpen. Een gerichte vraag kan hierbij helpen. Inzicht in het verkende verschijnsel ontstaat door de gegevens uit de situatie te overdenken met theorie die op het juiste moment wordt aangereikt. De leraar heeft als belangrijke taak het stellen van vragen die het verkennen stimuleren en het op het juiste moment aanreiken van theorie die daarop aansluit.

De onderwijsleersituatie bij exploratief leren heeft de volgende (combinatie van) kenmerken.

- Leersituaties zijn rijk van inhoud en hebben een open vraagstelling. Ze kunnen ontleend zijn aan dagelijkse ervaringen of aan de beroepswereld. Algemene kennis wordt benut om de situatie te begrijpen.
- Er worden verschillende leervaardigheden gevraagd, zoals probleemoplossen, bronnen onderzoeken of experimenteel onderzoeken.
- Er worden vormen van samenwerkend leren gebruikt. Door interactie met het materiaal en met elkaar wordt intensief geleerd.
- De intrinsieke motivatie van leerlingen wordt aangesproken. Daardoor kan

nieuwsgierigheid van het begin omslaan in volharding om de oplossing te vinden dan wel iets onder de knie te krijgen.

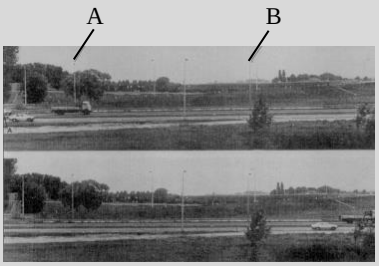
De tabel van figuur 71 geeft een overzicht van de soorten vragen die passen bij de verschillende fasen van exploratief leren.

Fase	Vragen
Verkennen	• Om welke situatie gaat het? (praktijksituatie, verschijnsel, simulatie) • Welke gegevens zijn er? • Welke kenmerken en eigenschappen? • Kun je een tekening maken? • Kun je situatie in eigen woorden weergeven? • Wat kun je verder te weten komen?
Reflecteren	• Kun je de situatie begrijpen? • Welke theorie kun je gebruiken, en welke formules? • Kun je de vraag beantwoorden?
Onderzoeken	• Wat wil je nog te weten komen over de situatie? (uitproberen, boek, bronnen) • Welke verbanden zie je?
Informeren	• Welke aanvullende informatie heb je nodig? (leraar)
Begrijpen	• Wat is het antwoord op de gestelde vragen? • Welk inzicht heb je gekregen over de situatie?

Figuur 71 – Vragen stellen bij exploratief leren.

2.4.3 Onderwijsleergesprek

In een onderwijsleergesprek organiseert de leraar een ordelijke gedachtewisseling met leerlingen over een vakinhoudelijk onderwerp, die leidt tot een conclusie. De leraar stelt het onderwerp vast en leidt het gesprek. De bijdragen van de leerlingen zijn bedoeld om het denkproces weer te geven. In een gesloten onderwijsleergesprek is er alleen interactie tussen de leraar en één leerling tegelijk, in een open onderwijsleergesprek is er ook interactie tussen leerlingen.



Lespraktijk

Een leraar houdt een onderwijsleergesprek over de foto's uit de figuur hiernaast. Al eerder is het begrip snelheid als $v = s/t$ aan bod geweest. De twee foto's zijn 2,0 s na elkaar genomen. De afstand tussen de palen A en B bedraagt 30 m.

De leraar stelt als richtvraag: "Hoe kun je bepalen wat de snelheid is van de personenauto?" In het daarop volgende onderwijsleergesprek komen de volgende aspecten naar voren. Je kunt de schaal van de foto bepalen door op de foto de afstand tussen de palen A en B te meten. Dan kun je meten welke afstand de auto heeft afgelegd. Wel steeds óf aan de achterkant óf aan de voorkant meten. Na omrekenen naar de echte afstand kun je de snelheid berekenen met $v = s/t$.

Samenvattend kun je de snelheid van de personenauto dus bepalen met het volgende stappenplan: bepaal de schaal, meet de afstand op de foto, bereken met de schaal de echte afstand, reken de snelheid uit met $v = s/t$.

Figuur 72 – Vragen stellen in een onderwijsleergesprek.

Uit de in figuur 72 geschetste lespraktijk kun je opmaken dat voor een onderwijsleergesprek over een natuurkundig onderwerp het volgende van belang is: een interessante situatie uit bijvoorbeeld het dagelijks leven, een richtvraag, enkele vervolgvragen en een conclusie. Een richtvraag heeft als kenmerken dat de vraag begrijpelijk is voor leerlingen, maar dat over het antwoord moet worden nagedacht.

De richtvraag en de vervolgvragen hebben de volgende (combinatie van) kenmerken: ze zijn concreet, open en enkelvoudig, ze stimuleren tot nadenken, en ze richten het gesprek naar de conclusie.

In het algemeen is een definitievraag geen goede richtvraag. De richtvraag "Wat

is elektrische energie?" kan alleen worden begrepen als je al weet wat elektrische energie is. Een betere richtvraag is: "Hoe kun je met elektriciteit apparaten laten werken?" De definitie maakt meestal wel deel uit van het antwoord.

Hieronder staan in figuur 73 zes protocollen van lessituaties, waarin D de leraar is en L de leerling(en). De eerste vier onderwijsleergesprekken verlopen stroef, en de laatste twee verlopen vlot.

Elementen

D Wat is een element?
L Een atoom.
D Nee in gewone taal. Wat is in gewone taal een element?
L Het kleinste deeltje van een stof.
D Nee, gewoon. Een element?
L Wat bedoelt u nu eigenlijk?
D Nou, je hebt toch bouwelementen en zo?
L Oh.

Zeewater zuiveren

D Hoe zou je zeewater kunnen zuiveren?
L Door het te absorberen.
D Absorberen? Wat wil je dan precies absorberen?
L Nou, dat zeewater.
D Waaraan wil je het zeewater dan absorberen?
L Ja, dat weet ik niet zo. Maar het kan toch wel?
D Laten we zeggen dat het kan.
L Nou, zie je nou wel.

Zuren

D Wat hebben we de vorige keer gedaan?
L Met zuren gewerkt en zo.
D Ja. En wat nog meer?
L Dat ze van die andere kleurtjes krijgen en zo. Paars of rood.
D Ja. Ik heb in een van deze twee flesjes een zuur zitten en in de andere een base. Hoe kom ik er achter waar het zuur in zit?
L Gewoon proeven of wat troep toevoegen.
D Ja, we gaan wat lakmoes toevoegen. Welke lakmoes?
L Nou ja, die lakmoes uit dat potje.
D Ja, de rode lakmoes als indicator. We voegen voorzichtig wat rode lakmoes toe en het blijft rood. Wat weet je dan?
L Zuur
D Ja, dat was dan het zuur.

Symbolen

D We gaan nu met hoofdstuk 12 beginnen. Dus met symbolen. Nou, waar denk je dan aan als je dat woord ziet?
L Tekens.
D Tekens?
L Ja.
D Wat voor soort?
L Letters.
D Letters?
L Afkortingen.
D Afkortingen? Laten we dat eens opschrijven. We hebben tot nu toe steeds hele woorden gebruikt. Noem eens een heel woord voor een stof, Franklin?
L Aluminium.
D Ja, je leest het op. Ze staan op bladzijde 118. We lopen het rijtje van bladzijde 118 even langs. Wat valt je op aan die symbolen?
L Alleen de eerst twee letters staan er.
D Ja, de eerste letter is een grote letter en de tweede letter is een kleine letter. Bij de vierde zie je goud staan. Je ziet daar nog wat tussen haakjes achter staan. Wat betekent dat: Aurum?
L Het is een Latijnse naam. En daar maak je de afkorting van, dus Au.
D Ja, altijd afkortingen van de Latijnse naam. De hele wereld maakt gebruik van deze

wetenschappelijke taal. Iedereen weet het zo. Als je Au voor goud opschrijft, dan weten ze in Engeland dat jij goud bedoelt. En voor zuurstof gebruiken we O van Oxygenium. Je moet ze nu domweg uit je hoofd leren.

Indampen

D Bij indampen van een keukenzoutoplossing zet je de brander op het laatst uit. Waarom doe je dat?
L1 Anders brandt het zout toch aan.
L2 Anders verbrandt het zout.
L3 Zo kan je energie besparen.
L4 Omdat het in het boek staat.
L5 Anders spettert het in je gezicht.

Lakmoes

D We gaan eens naar de werking van lakmoes kijken. Je doet zoutzuur en rood lakmoes bij elkaar. Wat zie je dan?
L Niet veel. Het blijft gewoon rood.
D Goed. Nu doen we wat rood lakmoes bij een onbekende oplossing. Je ziet dat het lakmoes rood blijft. Bewijst dat rood blijven van het lakmoes nu dat we te maken hebben met een zuur?
L Nee.
D Licht dat eens toe?
L Het kan ook gewoon water zijn. Dan blijft de lakmoes gewoon rood en verandert er dus niks aan de kleur.
D Ja, precies. Wat zegt het rood blijven van lakmoes in een oplossing over de pH van die oplossing?
L Nou, die pH is dan niet hoog.
D Dat is waar, maar zeg het eens wat nauwkeuriger?
L Die pH is dan lager dan 7.
D In orde. Hoe bewijs je dat een oplossing echt een zuur is?
L Door blauw lakmoes te gebruiken. Dat wordt dan rood.
D Prima, bedankt.

Figuur 73 – Lesprotocollen van onderwijsleergesprekken.

Aan deze fragmenten van onderwijsleergesprekken zijn de volgende aandachtspunten te ontlenen.

- Beschrijf eerst de situatie waarover je de vraag stelt.
- Zorg dat de context waarbinnen je de vraag stelt duidelijk is.
- Laat meerdere leerlingen reageren op de startvraag.
- Stel vragen die ruimte laten voor meerdere antwoorden.
- Vraag om toelichting op een antwoord.
- Vermijd het vragend herhalen van een antwoord van een leerling.

Het lesprotocol van figuur 74 hieronder geeft een voorbeeld van een goed geleid onderwijsleergesprek met veel inbreng van de leerlingen.

Stofeigenschappen

D Hoe heb je de stoffen herkend?
L Daar hebben we zintuigen voor.
D Dat is waar, jullie hebben met zintuigen verschillen waargenomen. De vraag is nu nog: welke verschillen?
L Ik heb geroken.
D Ja, sommige stoffen kun je aan de reuk herkennen. Welke heb je zo gevonden?
L Ammonia, tetra en glycerine.
D Glycerine ook?
L O nee, die was zo dikachtig.
D Zo hebben we dus al twee kenmerken: reuk en dikachtigheid of stroperigheid. Wie heeft nog andere kenmerken?
L De smaak.
D Heb je geproefd? Je durft. Je had zeker al een reden om aan te nemen dat het zout en suiker waren?
L Ja, aan de vorm en de grootte van de korrels, de kristallen.
D Ja, de kristalvorm is heel duidelijk. Is grootte ook een kenmerk?

L [aarzelt]
D Heb je wel eens poedersuiker gezien?
L Ja.
D Als je nu die korreltjes onder de loep bekijkt, blijkt dat ze dezelfde vorm hebben als die in het flesje, maar veel kleiner zijn. De grootte is dus niet belangrijk. Wie heeft nog andere kenmerken? Hoe is bijvoorbeeld zwavel herkend?
L Aan de gele kleur. Ik heb nog andere stoffen aan de kleur herkend.
D Welke?
L Lood...
D Nog meer?
L Messing.
D Ja, dat kan. Heeft iemand nog op een andere manier lood herkend?
L Aan de zwaarte.
D Ja, uitstekend. We hebben nu al een heel lijstje kenmerken bij elkaar [heeft ze intussen op het bord geschreven]. Ik heb zo'n vermoeden dat jullie nog minstens één kenmerk gebruikt hebben. Niemand zal waarschijnlijk aan het lood gesnuffeld hebben. Weten jullie een verzamelnaam voor de stoffen waaraan jullie geroken hebben. Deze drie flesjes.
Lln Vloeibare stoffen. Vloeistoffen.
D Ja, en de rest?
L Vaste stoffen.
D Juist. We kunnen dus ook onderscheiden naar de toestand waarin een stof verkeert. We kennen vaste stoffen, vloeistoffen en...?
Lln Gassen.
D Ja, vaste stoffen, vloeistoffen en gassen. Zeg ik het eigenlijk wel goed. Is bijvoorbeeld zwavel altijd een vaste stof?
L Het kan smelten.
D Ja, en onder welke omstandigheden smelt het?
L Als je het gaat verwarmen.
D Juist. Dus waarvan hangt het af of je de vaste dan wel de vloeibare toestand aantreft?
L Van de temperatuur.
D Ja, van de temperatuur. Is er een stof waarvan je alle drie de toestanden kent?
Lln Water.
L Vast water bestaat toch niet?
Lln IJs.
L O ja.
D Ja, water. Hoe noem je de toestanden van water?
L IJs, water en waterdamp.
D Hoe krijgen we ijs uit water?
L Door afkoelen, koud maken.
D En hoe krijg je waterdamp?
L Door te verwarmen, door te koken.
D Is het nodig om het water te verwarmen? Kan het water niet zo maar verdampen?
L1 Nee, water verdampt alleen als je het warmer maakt.
L2 Ja, het water hoeft niet warm te zijn, maar wel de lucht er omheen. De warmte van de lucht laat dan het water verwarmen.
L3 Ja, water verdampt ook als je het gewoon laat staan.
D Jullie horen het: we zijn het niet eens. Er zijn drie veronderstellingen: 1) water verdampt alleen bij verwarming, 2) de omgeving moet warmer zijn dan het water, en 3) water verdampt spontaan. Wat zouden we nu moeten doen om uit te zoeken welke veronderstelling juist is?

Figuur 74 – Lesprotocol van een goed geleid onderwijsleergesprek.

Wil het stellen van vragen vruchten afwerpen, dan moet de leraar wél de juiste strategie hanteren in zijn manier van vragen stellen. Dit geldt ook voor de manier waarop hij op de antwoorden van leerlingen reageert. Daarom is het van belang om het stellen van de juiste vragen tot een onderdeel van de lesvoorbereiding te maken.

Een leraar maakt snel fouten in de manier waarop hij het stellen van vragen in zijn les inbouwt. Veelgemaakte fouten zijn de eigen vragen herhalen, impliciet of expliciet zelf het antwoord op een vraag geven, het antwoord van de leerling herhalen en het antwoord van de leerling ombuigen naar het gewenste antwoord. Verder kan het stelselmatig afkeuren van foutieve of onvolledige antwoorden ertoe leiden dat leerlingen uiteindelijk niet meer de moeite nemen om vanuit zichzelf op een vraag te reageren.

Wanneer het antwoord van een leerling niet bevredigend is, kan de leraar de vraag naar een andere leerling *doorspelen*. Of hij kan, wanneer daarvoor voldoende gelegenheid is tijdens de les, gaan *doorvragen*. Daarmee nodigt hij de leerling uit om, weliswaar langs een omweg, zelf tot een juist of bevredigend antwoord te komen. Onder de doorvraagtechnieken vallen *toespitsen*, *nader verklaren* en *relateren*.

Toespitsen – De leerling geeft een fout of te zwak antwoord of geeft te kennen het antwoord in het geheel niet te weten. De leraar reageert niet afwijzend op dit eerste antwoord, maar grijpt met een nieuwe vraag dan terug naar iets wat de leerling wellicht wel weet en dat in verband staat met het actuele onderwerp (feitelijk bevat de formulering van de vraag een hint). De daarop volgende vragen bouwen voort op het antwoord van de voorgaande vraag, zodat de leerling zelf stapsgewijs het antwoord op de vraag samenstelt.

Nader verklaren – De leerling geeft een onvolledig antwoord. Zonder verder aanwijzingen te geven vraagt de leraar om meer informatie of om een herformulering van het antwoord. Daarmee controleert hij bovendien of de leerling antwoord geeft vanuit een daadwerkelijk begrip of slechts aan het raden is.

Relateren – De leerling wordt gevraagd zijn (goede) antwoord met een ander antwoord in verband te brengen, om hem daarmee te helpen zijn antwoord in een breder perspectief te zien. In tegenstelling tot de eerste twee strategieën, die zich voornamelijk op het geheugen richten, wordt hier een beroep gedaan op de zelfstandige denkactiviteit van de leerling. Op deze wijze wordt de leerling gestimuleerd om met opgedane kennis tot nieuwe begripsvorming te komen.

Voor het leiden van een onderwijsleergesprek gelden de volgende aandachtspunten.

- Stel de vraag aan de hele klas.
- Geef iedereen denktijd en de kans op een beurt.
- Accepteer geen roepers, maar vraag om vingers.
- Gebruik de in figuur 75 weergegeven strategieën voor het reageren op antwoorden van leerlingen.

Reageren op antwoorden

- Onverstaanbaar: vragen om duidelijker te praten.
- Onduidelijk: vragen om toelichting.
- Onvolledig: vragen om aanvulling.
- Fout: betrokkenheid waarderen, maar aangeven dat het antwoord fout is. Toelichting vragen aan anderen waarom dat zo is.
- Goed: andere leerlingen vragen of zij het er mee eens zijn, en waarom wel of niet.
- Fout of gedeeltelijk goed: doorspelen en/of doorvragen.

Figuur 75 – Strategieën voor het reageren op antwoorden.

2.5 Demonstraties uitvoeren

In het natuurkundeonderwijs wordt vaak gebruik gemaakt van demonstratieproeven. Met een demonstratieproef haal je de verschijnselen de klas in. Het waarnemen van die verschijnselen geeft een ervaringsbasis voor verdere begripsvorming.

Een demonstratie kan een verkennend, instruerend, illustratief of explorerend karakter hebben.

Verkennen – Met een demonstratie kun je leerlingen kennis laten maken met een nieuw en onbekend natuurkundig verschijnsel. Het waarnemen van dat verschijnsel levert de ervaringsbasis voor verdere begripsvorming. Een voorbeeld is een magneet die door een aluminium buis valt: dat gaat langzamer dan verwacht.

Instrueren – De leraar doet bij het instrueren van leerlingen een praktische handeling voor. Voorbeelden hiervan zijn het aanleren van praktische vaardigheden als het hanteren van een pipet of buret, en het aflezen van een meetinstrument zoals een multimeter. De leerlingen kijken de kunst af van de leraar en gaan daarna zelf aan de slag. De demonstratie staat in dienst van het aanleren van vaardigheden.

Illustreren – Bij illustreren gebruikt de leraar de demonstratie als ondersteuning van zijn uitleg. Naast zijn verhaal en de notities op het bord zorgt een demonstratie voor afwisseling tijdens de les. De leraar kan tijdens de demonstratie zijn eigen accenten leggen bij bepaalde verschijnselen. Het denken van leerlingen wordt gestimuleerd door ze te laten voorspellen wat er zal gaan gebeuren, en waarom dat het geval zou zijn. Deze manier van werken bij een demonstratie wordt *predict-explain, observe-explain* genoemd (PEOE). De in figuur 76 geschetste lespraktijk is daarvan een voorbeeld. Het door de leerlingen laten uitleg-

Lespraktijk

De leraar plaatst een rood kleurenfilter voor een witte lamp en schijnt rond in het lokaal. De leerlingen krijgen nu een beeld wat er gebeurt als je rood licht op een voorwerp laat vallen. De leraar verwijdert het kleurenfilter en houdt een groene kaart in het licht. Hij vraagt aan de leerlingen welke kleur de groene kaart zal lijken te hebben als die bekeken wordt in het rode licht: groen, zwart, rood of wit. Hij geeft de leerlingen een halve minuut om hun antwoord te bedenken en vraagt dan willekeurig een aantal leerlingen wat zij denken en waarom. Als de gelegenheid zich voordoet, laat hij een korte discussie tussen leerlingen ontstaan. Pas nu laat de leraar zien welke kleur de groene kaart in het rode licht lijkt te hebben. Bij de uitleg verwijst hij naar de verklaringen die de leerlingen eerder hebben gegeven.

Figuur 76 – Voorbeeld van een aanpak met *predict-explain, observe-explain* (PEOE) bij een demonstratie.

gen van hun voorspelling kan overigens ook achterwege blijven, zodat de werkwijze kan worden gekarakteriseerd als *predict, observe-explain* (POE).

Exploreren – Een demonstratie kan ook een explorerend karakter hebben. Daarvoor is nodig dat er meerdere variabelen zijn in de opstelling. Een voorbeeld is een kurk zodanig volgeprikt met spijkertjes dat hij net zweeft in een hoge maatcilinder met water. De onderzoeksvraag is: “Hoe kunnen we het drijven of zinken beïnvloeden?” Het exploratieve gebruik van een demonstratie vereist de bereidheid van de leraar om de door de leerlingen naar voren gebrachte veronderstellingen een kans te geven en zo mogelijk uit te proberen.

Prikkelende demonstraties

Bij het uitvoeren van demonstraties is het de bedoeling de aanwezigen iets te laten meemaken. De uitvoerder moet in staat zijn aandacht te trekken. Afgezien van de aandacht die een leraar ‘gratis’ krijgt bij het ‘mislukken’ van een proef, kan bij het opzetten van een demonstratie bewust geprobeerd worden de toeschouwers te prikkelen. We maken hierbij onderscheid tussen beleving en verwachting.

Het feit dat er een demonstratie wordt uitgevoerd, zorgt op zich al voor een belevenis. Aan een fraai kleurenspectrum op de muur, een takel aan het plafond en een lokaal als camera obscura is meer te beleven dan aan een foto of een tekening.

Intuïtieve verwachtingen van leerlingen ten aanzien van het verloop of resultaat van de demonstratie worden niet altijd vervuld. Het is verstandig voor de uitvoering van de demonstratie de verwachtingen te inventariseren (POE). Een voorbeeld daarvan is het vooraf stellen van de volgende vraag: “Wie kan voorspellen welk touwtje breekt als je snel aan een touwtje rukt dat bevestigd is onderaan een zwaar gewicht dat aan eenzelfde touwtje hangt?”

Vooral bij demonstraties met een illustrerend of exploratief karakter is het belangrijk om van tevoren aan leerlingen een voorspelling te vragen. Een demonstratie waarbij dat achterwege blijft, draagt vaak weinig bij aan het leerrendement. Als het mogelijk is om de leerlingen te laten discussiëren over hun voorspellingen (PEOE), dan is dat nog effectiever. Dit kost echter wel meer tijd. Als de sfeer in de klas veilig is, dan kan het goed werken om de voorspellingen van de leerlingen openbaar te maken. Er kan dan een positieve competitieve sfeer ontstaan, doordat de leerlingen graag het juiste antwoord willen geven. Dat openbaar maken kan bijvoorbeeld door meerkeuzevragen waarbij leerlingen één, twee, drie, vier of vijf vingers opsteken. De ‘klassieke’ demonstratie zonder voorspelling vooraf kan wel motiverend werken, wat minstens zo belangrijk is.

Praktische uitvoering

Voor de uitvoering van een demonstratie geldt een aantal aandachtspunten. Die aandachtspunten kunnen worden samengevat als ‘de vijf V’s’: veilig, vaardig, visueel, verrassend en verhaal.

Veilig – Ga vóór je met de demonstratie begint na hoe je veilig kunt werken met de stoffen en apparatuur die erbij nodig zijn. Zorg ervoor dat de uitvoering van de demonstratie niet gevaarlijk is voor de toeschouwers en de uitvoerders. Voer daarna de demonstratie rustig uit op een ordelijke (liefst verder lege) tafel.

Vaardig – Zorg ervoor dat de demonstratie bij de voorbereiding ten minste éénmaal goed is gelukt. Je weet wanneer de demonstratie mis kan gaan, en welke handelingen je wél en niet moet uitvoeren om dat te voorkomen. Hou verder de mogelijkheid achter de hand om de demonstratie een keer te herhalen.

Visueel – Zorg ervoor dat de spullen, je handelingen en de verschijnselen bij de demonstratie voor alle toeschouwers goed zichtbaar zijn. Gebruik een voldoend grote opstelling om de beoogde verschijnselen ook achterin het lokaal zichtbaar te maken. Ook het gebruik van een webcam kan hierbij uitkomst bieden. Bedenk vooraf wat het belangrijkste is dat de toeschouwers goed moeten kunnen zien.

Verrassend – De demonstratie zelf zorgt voor de verrassing. Maar jij moet zorgen voor een maximaal effect. Bouw de demonstratie op naar het verrassende moment, en geef dat moment de ruimte.

Lespraktijk

Een leraar zit bij een natuurkundeshow in een aquarium. Het hoofd zie je op een heel andere plaats dan het lichaam. Dat is te begrijpen met de breking van licht. Door de demonstratieproef levensgroot uit te voeren, maakt het verschijnsel extra veel indruk.

Een leraar verhit een erlenmeyer halfvol water. Door het buisje en de slang gaat het water naar het bekerglas. Daarna haalt hij de brander weg. Verrassend genoeg wordt het water nu weer teruggezogen. Daarna volgt een gesprek hoe dat kan.

Figuur 77 – Voorbeelden van prikkelende demonstraties.

Schaalvergroting

Demonstraties worden vaak interessanter door schaalvergroting. Vergelijk het ineenfrommelen van een colablikje door de (uitwendige) luchtdruk met de demonstratie van hetzelfde verschijnsel bij een groot olievat. Of de demonstratie van een balletje aan een touw dat vlak voor het gezicht van een leerling (of de leraar) wordt losgelaten en na één slingering weer op dezelfde plaats terug komt. Doe dat ook eens met een via een kabel aan het plafond opgehangen olievat…

Figuur 78 – Voorbeelden van demonstraties die meer indruk maken bij een uitvergroting.

Verhaal – Laat de demonstratie voor zichzelf spreken, en vertel daarom zo weinig mogelijk. Bedenk wat je moet vertellen over de spullen en over je handelingen. Bedenk wat je kunt vragen om de toeschouwers erbij te betrekken en om naar het verrassende moment toe te werken. Zorg voor een duidelijke afronding van de demonstratie.

Video-opname en computersimulatie

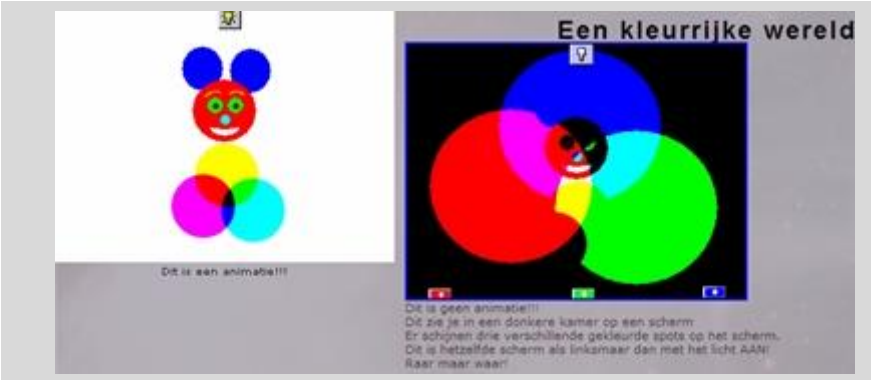
Een alternatief voor het uitvoeren van een demonstratie is het laten zien van een video-opname van een experiment. Sommige proeven zijn namelijk te gevaarlijk, te duur, te tijdrovend of te ingewikkeld – of lastig te realiseren, zoals de voorbeelden van demonstraties met schaalvergroting in figuur 78.

Een andere mogelijkheid is het gebruik van een computersimulatie of *applet* als demonstratie, zoals in de in figuur 79 geschetste lespraktijk.

Lespraktijk

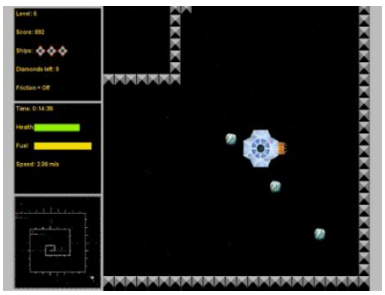
Een leraar heeft op internet een simulatie gevonden over mengen van gekleurd licht (zie figuur 80). Hij laat de simulatie zien op het digibord. Maar voordat hij de kleuren mengt, vraagt hij de leerlingen een voorspelling te doen. Daarna wordt uitgezocht welke kleuren je kunt maken door rood, groen en blauw licht te mengen.

Figuur 79 – Voorbeeld van het gebruik van een applet als demonstratie.



Figuur 80 – Applet over het mengen van gekleurd licht.

Leraren kiezen vaak wat sneller voor een demonstratie in plaats van een leerlingenpracticum, allereerst vanwege het gemak (een leerlingenpracticum vraagt nogal wat organisatie), maar ook vanwege de mogelijkheden die een demonstratie lijkt te bieden voor interactie met de klas. Bij de klassikale uitvoering kunnen begripsproblemen opduiken en besproken worden. Een nadeel van een demonstratie is de relatief passieve rol die de leerlingen (of een deel daarvan) daarbij spelen. Bij een leerlingenpracticum hebben de leerlingen een meer actieve rol (zie paragraaf 3.3). Net als bij demonstraties kunnen computersimulaties en applets ook als leerlingenpracticum worden ingezet. Dat geldt ook voor *serious games*, zoals in de in figuur 81 geschetste lespraktijk.



Figuur 82 – Schermbeeld van het spel *Space Challenge*, waarin je met een ruimteschip (en dus in een wrijvingsloze omgeving) diamanten moet verzamelen in een doolhof met muren en andere obstakels.

Lespraktijk

Een leraar behandelt het onderwerp kracht met als richtvraag: “Wat gebeurt er als op een voorwerp geen kracht werkt?” Hij bedenkt vooraf dat hij dan voorbeeldsituaties kan bespreken waarin wrijving meer of minder een rol speelt: een ijshockeypuck op een gladde vloer, een airhockeytafel enzovoort. En dat hij leerlingen kan vragen zich voor te stellen hoe het leven zou zijn als er geen wrijving was. Dat alles dreigt voor de leerlingen echter snel nogal abstract te worden, want er is in onze wereld altijd een wrijvingskracht aanwezig. Leerlingen kunnen zich bij alle voorbeelden niet werkelijk iets voorstellen. Daarom besluit hij om eerst een uitleg te geven over de tweede wet van Newton, en de leerlingen daarna deze kennis te laten toepassen in een *serious game* waarin geen wrijving is. Wanneer leerlingen in zo’n game moeten bewegen, merken ze vanzelf dat ze uit de bocht vliegen, dat remmen kracht kost, en dat tot stilstand komen erg lastig is. Het spel *Space Challenge* (zie figuur 82) is een voorbeeld van een geschikte serious game voor het leerdoel dat voor elke snelheidsverandering een kracht nodig is.

Tijdens het spelen van het spel krijgen de leerlingen gevoel voor de onderliggende modelregels door het uitproberen van hun ideeën en de feedback die het spel geeft door daarop te reageren. Na het spelen van het spel stelt de leraar een aantal reflectievragen over de belevenissen in het spel en de relatie met de tweede wet van Newton.

Figuur 81 – Voorbeeld van het gebruik van een serious game in de klas.

Leren onderzoeken

Demonstraties kunnen ten slotte ook een belangrijke rol spelen bij de vaardig-

heidsontwikkeling van de leerlingen. Daarbij gaat het met name om het onderdeel *cyclus zooming* van de leerlijn onderzoeken. In dat onderdeel zijn demonstraties bruikbaar voor het aanleren van specifieke onderzoeksvaardigheden zoals onderzoeksvragen formuleren, een onderzoeksopzet maken en een conclusie trekken (zie paragraaf 7.3).

2.6 Samenwerken

Het werken in groepen levert in de lespraktijk veel problemen op. Leerlingen die niet altijd op school gekomen zijn om veel te leren, hebben nauwelijks baat bij het 'bij elkaar zitten' – zoals groepswerk wel eens wordt genoemd. Groepswerk kan gemakkelijk verworden tot nietsdoen en kletsen over van alles, behalve over de opdrachten. Pas wanneer de leerstof door leerlingen actief wordt verworven, verwerkt en toegepast, kan er sprake zijn van effectief leren. Een middel om dat te bereiken is *samenwerkend leren*.

2.6.1 Denken-delen-uitwisselen en Experts

Bij het samenwerken van leerlingen beperken we ons in deze paragraaf in eerste instantie tot de werkvormen *denken-delen-uitwisselen* en *experts*, gevolgd door een overzicht van andere samenwerkingsvormen.

Denken-delen-uitwisselen

Veel van de doelen die je wilt bereiken met een onderwijsleergesprek zijn ook haalbaar met de activerende werkvorm *denken-delen-uitwisselen*.

Lespraktijk

Het is winter en buiten staat een sneeuwpop die gemaakt is door de kinderen uit de buurt. De leraar legt de leerlingen de volgende vraag voor: "Straks wordt het warm en smelt de sneeuwpop. Maar als ik de sneeuwpop nu een jas aantrek, zal de sneeuwpop dan eerder of later smelten? Of maakt het niet uit?" De leraar vraag iedere leerling een keuze te maken en de toelichting even op te schrijven. Daarna vraagt hij de leerlingen om in groepen van vier te overleggen over wat de goede verklaring is. Daarbij wijst hij er op dat hij straks willekeurig iemand uit de groep vraagt om te rapporteren over het resultaat van dat overleg.

Na een minuut of vijf laat de leraar één leerling per groep rapporteren. De verschillende antwoorden noteert hij met steekwoorden op het bord. Op basis van deze inventarisatie legt hij uit dat een jas de sneeuwpop niet warmer maakt. Bij mensen zorgt het lichaam voor de warmte en houdt de jas de warmte 'binnen'. Als de zon gaat schijnen en je trekt de sneeuwpop een jas aan, dan gaat het smelten minder snel.

Figuur 83 – Een voorbeeld van het gebruik van de werkvorm *denken-delen-uitwisselen*.

De werkvorm *denken-delen-uitwisselen* heeft verschillende voordelen boven een onderwijsleergesprek. Door iedere leerling te vragen om op te schrijven wat hij of zij denkt, zijn alle leerlingen actief betrokken. In de groepen kan de mening van een ieder worden getoetst aan de mening van anderen. Doordat de leraar iemand kiest die rapporteert, worden de leerlingen gemotiveerd om allemaal een antwoord te hebben. Ook de meer verlegen leerlingen durven eerder te rapporteren, omdat zij hun mening al getoetst hebben in de groep. In de nabespreking kan de leraar in zijn uitleg de inbreng van de leerlingen verwerken en daarop aansluiten.

Experts

Bij de activerende werkvorm *experts* wordt de verantwoordelijkheid voor de voortgang van het onderwijsleerproces deels bij de leerlingen zelf gelegd.

Lespraktijk

Toetsvragen – Ter voorbereiding op de toets laat de leraar in groepen van vier leerlingen toetsvragen maken. Iedere groep krijgt een deel van de te toetsen leerstof toege-

wezen. Iedere leerling schrijft de door de groep bedachte toetsvraag op de voorkant van een blaadje en het uitgebreide antwoord op de achterkant. Daarna worden nieuwe groepen gevormd, met in elke groep één leerling uit elk van de oorspronkelijke groepen. Iedere leerling neemt zijn toetsvraag mee. In de nieuwe groepen zijn nu de toetsvragen voor alle leerstofonderdelen aanwezig. De toetsvragen worden in de nieuwe groepen gemaakt en – onder leiding van de maker van de betreffende toetsvraag – nagekeken en besproken. De leraar sluit af met een bespreking van de meest voorkomende fouten.

Duurzaamheid – De leraar wil een discussie op gang brengen over de mogelijkheden van duurzaam energieverbruik. Hij heeft vier deeltaken geformuleerd met achtergrondinformatie over huizen isoleren, schonere motoren, elektrische auto's en biomassa. Na een korte introductie gaan de leerlingen in groepen van vier aan het werk om expert te worden op een bepaald deelterrein. Na zo'n 20 minuten worden er nieuwe groepen gevormd, met in elke groep een expert op elk van de vier deelterreinen. De samenhangende taak is nu: verzamel argumenten voor de meest kansrijke aanpak. Bij de rapportage wijst de leraar een rapporteur aan. Daarna sluit hij af met een samenvatting en terugblik.

Figuur 84 – Voorbeelden van gebruik van de werkvorm *experts*.

In de in figuur 84 geschetste lespraktijk met de expert-werkvorm is steeds sprake van twee rondes. In de eerste ronde werkt elke groep aan een deeltaak. Iedere leerling neemt het resultaat daarvan mee naar de volgende ronde. In de tweede ronde worden er nieuwe groepen gevormd. In elke groep zit dan van iedere deeltaak een expert. De groep werkt dan aan een samenhangende taak waarin de deeltaken worden samengebracht. De leraar wijst de rapporteur aan.

De leraar kan er voor kiezen om de groepen in de eerste ronde in te delen of de indeling vrij te laten. Het is handig om de groepsindeling op het bord te zetten. Bij een vrije groepskeuze in de eerste ronde hoeft dat pas tijdens de tweede ronde.

In de tabel van figuur 86 staat een korte karakterisering van deze twee vormen van samenwerkend leren.

2.6.2 Samenwerkend leren

De werkvormen *denken-delen-uitwisselen* en *experts* zijn twee succesvolle samenwerkingsvormen in het onderwijs, maar niet de enige. Het succes van deze werkvormen is te verklaren met een aantal sleutelbegrippen en het toewijzen van verschillende rollen aan de leerlingen.

Sleutelbegrippen

De vijf sleutelbegrippen die leiden tot succes bij samenwerkend leren zijn de volgende: *positieve wederzijdse afhankelijkheid*, *individuele aansprakelijkheid*, *directe interactie*, *aandacht voor sociale vaardigheden* en *aandacht voor groepsprocessen*.

Positieve wederzijdse afhankelijkheid – Leerlingen moeten elkaar nodig hebben om een opdracht uit te voeren. Dit houdt bijvoorbeeld in dat opdrachten in delen worden opgesplitst, die elk door een groepslid worden uitgevoerd.

Individuele aansprakelijkheid – Iedere leerling is verantwoordelijk voor haar of zijn deel van de opdracht, maar ook voor de gehele opdracht zoals deze door de groep dient te worden uitgevoerd.

Directe interactie – Leerlingen moeten elkaar goed kunnen zien en moeten goed met elkaar kunnen overleggen.

Aandacht voor sociale vaardigheden – Leerlingen moeten leren om samen te werken. Dit betekent dat elk groepslid leert om uit leggen, maar ook om uitleg te vragen, en dat elk groepslid leert om ruimte te geven en te vragen aan de andere groepsleden.

Aandacht voor groepsprocessen – De leraar zal regelmatig moeten toezien – tijdens de les en evaluerend na de opdracht – op de voortgang van het groepsproces. Daarbij moeten groepen hun eigen functioneren met elkaar en met de leraar aan de orde stellen.

Leerlingrollen

Bij samenwerkend leren kunnen leerlingen verschillende rollen krijgen. Voorbeelden van geschikte rollen bij samenwerkend leren zijn:

- de *voorzitter* zorgt ervoor dat alles in de groep gaat zoals het zou moeten gaan;
- de *secretaris* verwerkt resultaten uit de groep schriftelijk (bijvoorbeeld in een verslag);
- de *vragensteller* mag – als enige – vragen aan de leraar stellen;
- de *tijdbewaker* is verantwoordelijk voor het bewaken van de tijd;
- de *informant* mag naar andere groepen gaan om overleg te hebben;
- de *opzoeker* haalt en raadpleegt naslagwerken (bijvoorbeeld in de mediatheek);
- de *uitvoerder* voert opdrachten uit namens de groep;
- de *presentator* presenteert groepsresultaten aan de rest van de klas;
- de *checker* controleert of iedereen in de groep de opdrachten kan doen.

Van belang is dat de leraar binnen de groepen de leerlingen regelmatig van rol laat wisselen. Iedere rol heeft een eigen leerrendement.

Samenwerkingsvormen

Check-in-duo's
Denken-delen-uitwisselen
Binnen-buitencirkel
Hoeken
Placemat
Groepsreis
Experts
Groepsonderzoek

Figuur 85 – In de klas bruikbare samenwerkingsvormen.

Samenwerkingsvormen

De in figuur 85 genoemde samenwerkingsvormen zijn allen goed bruikbaar in de klas. Hieronder staat in figuur 86 een korte karakterisering van elk van deze samenwerkingsvormen.

	Check-in-duo's
Definitie	Antwoorden worden nagekeken in tweetallen.
Werkwijze	• De leraar geeft de opdracht. • De tweetallen kijken hun antwoorden onderling na. • De tweetallen wisselen het resultaat van hun nakijkwerk onderling uit.
Situatie	Opdrachten waarbij er maar één antwoord mogelijk is (bijvoorbeeld bij gesloten vragen en meerkeuzevragen).
Aantal personen	2 per groep.
Mogelijke rollen	secretaris / opzoeker.

	Denken-delen-uitwisselen
Definitie	Antwoorden worden individueel geformuleerd, overlegd in twee- of drietallen, en daarna gegeven.
Werkwijze	• De leraar stelt dezelfde vraag aan iedereen. • Leerlingen denken na in stilte en formuleren een antwoord. • Leerlingen overleggen in tweetallen over hun antwoorden. • Leerlingen stellen eventueel hun antwoorden bij. • De leraar vraagt een leerling antwoord te geven. • De leerling antwoordt, de leraar reageert later.
Situatie	Korte opdrachten, waarbij wellicht meer dan één antwoord mogelijk is.
Aantal personen	2 tot 3 per groep.
Mogelijke rollen	Vragensteller / presentator.

	Binnen-buitencirkel
Definitie	Leerlingen wisselen informatie met elkaar uit.
Werkwijze	• De leraar verdeelt de klas in twee groepen. De eerste groep vormt een cirkel met het gezicht naar buiten. De tweede groep staat daar tegenover met het gezicht naar de eerste groep. In een lokaal waar de tafeltjes in twee hoefijzers staan, hoeven de leerlingen in het binnenste hoefijzer alleen maar hun stoel om te draaien om de anderen in het buitenste hoefijzer te kunnen zien. • De leraar geeft aan hoeveel tijd er per uitwisseling is (bijvoorbeeld 1 minuut). • Leerlingen wisselen informatie uit met de partner tegenover hen. • Leerlingen in de buitenste cirkel schuiven een plaats op (met de klok mee), gevolgd door informatie-uitwisseling als hierboven beschreven.
Situatie	Uitwisselen van persoonlijke informatie, bijvoorbeeld over gezinssamenstelling, woonplaats, hobby, sport. Maar het kan ook om uitwisselen van de voorkennis over een bepaald onderwerp gaan. Geschikt voor het oefenen van gespreksvaardigheid.
Aantal personen	Gehele klas.
Mogelijke rollen	–

Hoeken

Definitie Leerlingen nemen stelling.

Werkwijze
- De leraar formuleert een stelling.
- Leerlingen dienen stelling te nemen: helemaal of een beetje mee eens of oneens (vier mogelijke ‘posities’).
- Leerlingen denken na.
- Leerlingen gaan naar de hoek van het lokaal waar hun mening staat (op een papier bijvoorbeeld).
- Leerlingen beredeneren hun meningen in tweetallen, daarna in viertallen.
- Leraar roept uit elke hoek een leerling, die haar of zijn mening moet verdedigen.
- Leerlingen mogen van hoek (en dus van mening) veranderen.
- Leerlingen gaan terug naar hun plaats en verwoorden schriftelijk hun mening.

Situatie Een opdracht in de vorm van een stelling waarbij genuanceerde meningen mogelijk zijn (bijvoorbeeld: “De beste manier om de CO_2-uitstoot door het verkeer te verminderen is overstappen op elektrische auto’s.”).

Aantal personen Gehele klas.

Mogelijke rollen –

Placemat

Definitie Leerlingen bepalen in de groep hun gezamenlijke mening over een onderwerp.

Werkwijze
- De leraar geeft een opdracht.
- Leerlingen schrijven individueel hun antwoord op en overleggen niet met elkaar.
- Leerlingen geven om beurten hun antwoord aan de rest van de groep. Deze antwoorden worden op de buitenste rand van een papier (de placemat) geschreven.
- De groep bepaalt welk antwoord als groepsantwoord wordt gekozen en schrijft dit op de placemat in het midden.

Situatie Een opdracht waarbij meerdere antwoorden mogelijk zijn (bijvoorbeeld: “Wat is de beste manier om de CO_2-uitstoot door het verkeer te verminderen?”).

Aantal personen 4 per groep.

Mogelijke rollen Voorzitter / secretaris / vragensteller / tijdbewaker / presentator.

Groepsreis

Definitie Leerlingen geven en vragen informatie aan andere groepen.

Werkwijze
- De leraar heeft elke groep de volledige opdracht gegeven, die door de gehele groep niet op te lossen is (bij gebrek aan informatie).
- De leraar heeft elke groep een verschillende deelopdracht gegeven, met (een verwijzing naar) de bijbehorende informatie.
- De groep rondt de deelopdracht af.
- Ieder groepslid beheerst alle informatie van de groep.
- De groepsleden verlaten hun groep, nummer 1 schuift één plaats op, nummer 2 twee plaatsen, nummer 3 drie plaatsen, nummer 4 blijft zitten.
- De groepsleden geven hun informatie in de nieuwe groep en verzamelen de informatie die de andere groep heeft.
- De groepsleden gaan terug naar hun eigen groep en wisselen de informatie uit.
- De groepsleden maken hun volledige opdracht af.

Situatie Een opdracht die in deelopdrachten te verdelen is (bijvoorbeeld: “Ontwerp een energieneutrale (of ‘nul-energie’) woning”, met voor elke groep deelopdrachten en informatie over energieverbruik en energievoorziening voor woningverwarming of warmwatervoorziening of koken of elektrische apparaten (waaronder ook verlichting) enzovoort).

Aantal personen 4 per groep.

Mogelijke rollen Voorzitter / vragensteller / tijdbewaker / opzoeker / checker.

Experts

Definitie Leerlingen werken elk aan een deel van een opdracht binnen dezelfde groep.

Werkwijze
- De leraar geeft de opdracht aan de groepen.
- De groep verdeelt onderling de taken.
- Leerlingen werken individueel of in twee- of meertallen aan de oplossing van het probleem.
- Leerlingen leggen hun oplossing van het probleem uit aan de rest van de groep.

Situatie Een opdracht die in delen kan worden opgesplitst (zie de voorbeelden in figuur 3).

Aantal personen 4 tot 6 per groep.

Mogelijke rollen Voorzitter / secretaris / vragensteller / tijdbewaker / presentator / checker.

	Groepsonderzoek
Definitie	Leerlingen werken aan het verzamelen van deelinformatie, gevolgd door een uitwisseling zodat alle leerlingen alle informatie krijgen.
Werkwijze	• De leraar geeft een grote opdracht aan de gehele klas. • Leerlingen (of de leraar) maken (maakt) groepen, die elk een deel van de opdracht uitvoeren. • De groep verzamelt alle benodigde informatie en maakt een eindproduct van de deelopdracht. • De eindproducten worden door de groepen aan elkaar gepresenteerd (bijvoorbeeld door middel van een PowerPoint-presentatie, poster enzovoort).
Situatie	Een opdracht waarbij meerdere bronnen (het Internet, encyclopedieën, Cd-rom's, naslagwerken) geraadpleegd moeten worden (bijvoorbeeld: "Geef een presentatie over de mogelijkheden voor energiebesparing in huis.").
Aantal personen	4 tot 6 per groep.
Mogelijke rollen	Voorzitter / secretaris / vragensteller / tijdbewaker / opzoeker / uitvoerder / presentator / checker.

Figuur 86 – Karakterisering van in de klas bruikbare samenwerkingsvormen.

2.7 Opgaven bespreken

Bij het bespreken van opgaven beperken we ons in deze paragraaf tot verwerkings- en toepassingsopgaven, met aandachtspunten voor het begeleiden en het nabespreken van het werk van de leerlingen.

2.7.1 Verwerkings- en toepassingsopgaven

In de meeste leerboeken staat een schat aan verwerkings- en toepassingsopgaven. In het algemeen mag je aan opgaven in het leerboek de volgende eisen stellen: de opgaven dekken de leerdoelen en de leerstof, zijn gevarieerd en op niveau, en geven voldoende oefening. Opgaven kunnen sterk variëren in benodigde kennis en inzicht en in moeilijkheidsgraad, zoals blijkt uit de voorbeelden van open vragen in figuur 87.

De opgaven in figuur 87 zijn voorbeelden bij een veel gebruikte indeling voor opgaven: de RTTI-classificatie (zie paragraaf 2.4 en hoofdstuk 5).

Reproductie – De opgave is te beantwoorden door het antwoord op te zoeken in de tekst of door een beroep te doen op het geheugen.

Toepassen in bekende situatie – De opgave is te beantwoorden door bekende kennis toe te passen op een vergelijkbare situatie als die waarin de kennis is aangeleerd. Er is maar één denkstap nodig.

Toepassen in nieuwe situatie – De opgave is te beantwoorden door bekende kennis toe te passen op een nieuwe situatie. Er zijn meerdere denkstappen nodig.

Inzicht – De opgave is te beantwoorden door bekende kennis toe te passen op een complexe situatie. Er zijn meerdere denkstappen nodig. Er zijn geen deelvragen.

Reproductie	**a** Welke algemene regel geldt voor de werklijn van de zwaartekracht als een bouwwerk omvalt? **b** Wat kun je aflezen uit een reikwijdtediagram? **c** Welke drie manieren zijn er om een hoog bouwwerk toch stabiel te maken?
Toepassen in bekende situatie	Je hebt drie pakken yoghurt van 1 liter. De pakken hebben een rechthoekige vorm en ook een rechte bovenkant. Het eerste pak is helemaal vol, het tweede is half vol en het derde pak is helemaal leeg. De pakken staan rechtop naast elkaar. **a** Leg uit welk pak het meest stabiel is. **b** Bedenk een manier om het grondvlak te vergroten.
Toepassen in nieuwe situatie	**a** Petra slaat met een kracht van 567 N op een beitel. De punt van de beitel heeft een oppervlakte van 0,27 cm². Bereken de druk. **b** Een stapel met drie volle kratten weegt 44,4 kg en heeft een grondoppervlak van 0,118 m². Bereken de druk op de ondergrond.

c Een beladen vrachtwagen heeft een massa van 21 ton. De vrachtwagen staat op twee stalen rijplaten. Iedere rijplaat is 65 cm breed en 6,0 m lang. Bereken de druk.

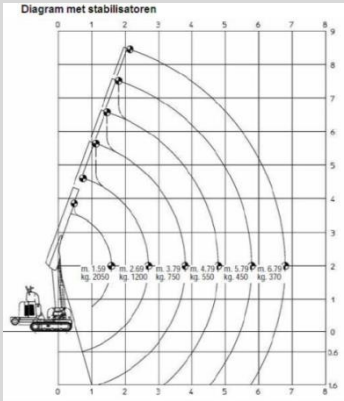
Inzicht

In de figuur hiernaast zie je het reikwijdtediagram van een minirupskraan.
Het maximale krachtmoment op de minirupskraan is het grootst als de uitschuifbare arm horizontaal staat.

a Bereken het maximale krachtmoment voor de horizontale afstanden van 1,59 m en 6,79 m. Neem als arm de horizontale afstand. Gebruik het reikwijdtediagram.

b Waarom is het maximale krachtmoment van de grootste afstand het kleinst?

c Hoe verandert het krachtmoment als de kraan omhoog gaat?



Figuur 87 – Voorbeelden van opgaven in de categorieën reproductie, toepassing in bekende situatie, toepassing in nieuwe situatie en inzicht (meerdere denkstappen in complexe nieuwe situatie).

Moeilijkheidsgraad en variatie

De bovenstaande RTTI-indeling geeft niet noodzakelijk een volgorde in moeilijkheidsgraad. De moeilijkheidsgraad van een opgave hangt niet alleen af van het aantal te nemen denkstappen en de complexiteit van de situatie, maar ook van het aantal toe te passen regels en de afstand tussen theorie en praktijk.

Daarnaast vertonen opgaven een variatie in de gevraagde leerlingactiviteit: berekenen, bepalen, uitleggen, opzoeken enzovoort. In de tabel van figuur 88 staan werkwoorden die de gevraagde leerlingactiviteit karakteriseren, afhankelijk van het beheersingsniveau.

Beheersingsniveau	Werkwoorden
Reproductie	Aangeven, aanwijzen, afleiden uit, beschrijven, definiëren, omschrijven, opnoemen, opzeggen, registreren, reproduceren, spellen, structureren, weergeven.
Toepassen in bekende situatie	Assembleren, bedienen, bepalen, berekenen, berekeningen uitvoeren, gebruiken, grafisch weergeven, hanteren, in elkaar zetten, verwoorden, maken, monteren, opbouwen, oplossen, opmeten, opstellen, tekenen, testen, toepassen, uitvoeren, verdelen, vergelijken, weergeven.
Toepassen in nieuwe situatie	Beoordelen, beredeneren, construeren, eigen mening geven, evalueren, interpreteren, onderzoeken, ontdekken, ontwerpen, ontwikkelen, oplossen, verbanden leggen, vertalen, waarderen.
Inzicht	Aantonen, beargumenteren, begrijpen, begrip opbrengen voor, beredeneren, bespreken (aan de hand van een concreet geval), bewijzen, conclusies trekken, demonstreren, duiden, herkennen (in voorbeelden), identificeren, illustreren (met voorbeelden), interpreteren, inventariseren (en ordenen), in verband brengen met, weergeven (in eigen woorden), karakteriseren, kenschetsen, kenmerken (benoemen), nuanceren, onderbouwen, onderscheiden (in hoofd- en bijzaken), samenvatten, toepassen, typeren, verklaren (in eigen woorden), voorbeelden geven, verklaren.

Figuur 88 – Werkwoorden en/of uitspraken die bij het formuleren van opgaven gebruikt kunnen worden.

2.7.2 Rangschikopgaven

De opgaven in figuur 87 zijn voorbeelden van open vragen. Andere vraagvormen zijn de (bekende) meerkeuzevragen en de zogenaamde rangschikvragen.

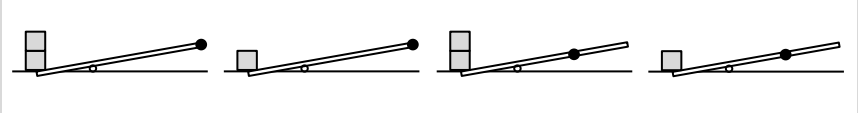
Bij rangschikopgaven is de opdracht om enkele getekende situaties op volgorde te zetten. In het natuurkundeonderwijs worden situaties met verbanden vaak beschreven met formules. Zodra leerlingen een formule gebruiken is het gevaar groot dat ze niet meer inzichtelijk nadenken. Rangschikopgaven gaan over situaties met verbanden tussen variabelen en het antwoord kan worden gevonden door

redeneren zonder gebruik te maken van formules. Voor de derde klas beperken we ons tot situaties met twee onafhankelijke en één afhankelijke variabele. In principe geeft dat vier alternatieven. Twee van die vier alternatieven kan een leerling moeilijk vergelijken zonder gebruik te maken van formules. Daarom wordt één van die twee situaties in de opgave weggelaten: zie het voorbeeld in figuur 89. Om de tekst van de opgave zo kort mogelijk te houden, zijn de gegevens van de situatie zoveel mogelijk zichtbaar in een tekening zonder apart te worden verwoord. En er wordt van de leerlingen verwacht dat ze een toelichting geven zonder dat dat expliciet wordt gevraagd.

Je tilt een gewicht op met een hefboom.
Zet onderstaande situaties in volgorde van de benodigde spierkracht van klein naar groot.

Weglaten

MR	*mR*	*Mr*	*mr*
A	B	C	D



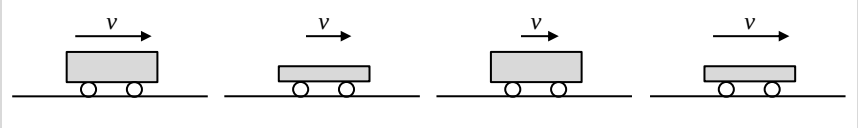
Figuur 89 – Voorbeeld van een rangschikopgave. Het antwoord is B A C. In de opgave is voor de leerlingen situatie D (*mr*) weggelaten. In die situatie is de spierkracht even groot als in situatie A (*MR*). Omdat het hier gaat om een combinatie van evenredigheid en omgekeerde evenredigheid is dat voor leerlingen niet zonder gebruik van een formule te beargumenteren.

In figuur 90 staan nog een paar voorbeelden van rangschikopgaven, met steeds een toelichting op de weg te laten situatie.

Je brengt een wagen met snelheid v tot stilstand. De remweg is gelijk.
Zet onderstaande situaties in volgorde van de benodigde remkracht van klein naar groot.

Weglaten

MV	*mv*	*Mv*	*mV*
A	B	C	D

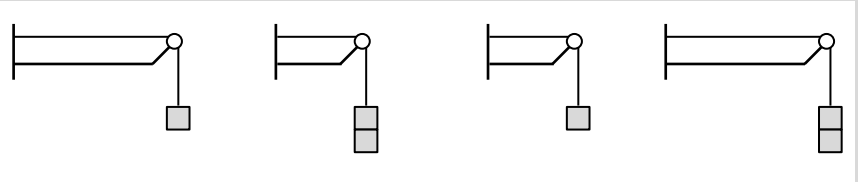


Antwoord: B C A. Weggelaten is situatie D. De weggelaten situatie D (*mV*) vraagt meer remkracht als situatie C (*Mv*), doordat de remweg evenredig is met het kwadraat van de snelheid.

Een snaar is strak gespannen met behulp van een gewicht.
Zet onderstaande situaties in volgorde van de toonhoogte van laag naar hoog.

Weglaten

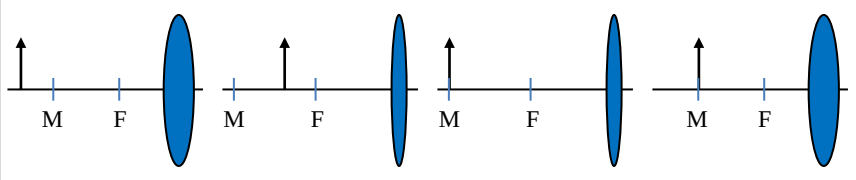
Xm	*xM*	*xm*	*XM*
A	B	C	D



Antwoord: A C B. Weggelaten is situatie D. De weggelaten situatie D (*XM*) geeft een lagere toon dan situatie C (*xm*), doordat de toonhoogte evenredig is met de wortel uit de spankracht.

Een voorwerp wordt door een bolle lens afgebeeld.
Zet onderstaande situaties in volgorde van de grootte van het beeld van klein naar groot.

VS	*vs*	*Vs*	Weglaten *vS*
A	B	C	D



Antwoord: A C B. Weggelaten is situatie D. De weggelaten situatie D (*vS*) geeft een even groot beeld als C (*Vs*). Bij beide komt het beeld in M.

Figuur 90 – Voorbeelden van rangschikopgaven in verschillende leerstofdomeinen.

2.7.3 Rekenopgaven

In het natuurkundeonderwijs heeft ‘opgaven maken’ onder andere betrekking op het oplossen van complexe opgaven nadat nieuwe leerstof is aangeleerd. De leerling moet in een nieuwe situatie, vaak ontleend aan het dagelijks leven, een antwoord vinden op het gestelde probleem met gebruikmaking van bekende leerstof. Of, met andere woorden: de leerling moet leren *probleemoplossen* (zie hoofdstuk 7). In de lessen is op verschillende momenten aandacht voor dat probleemoplossen:

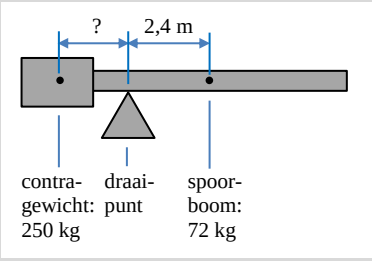
- bij het voordoen hoe je een opgave oplost;
- bij het observeren hoe leerlingen het maken van opgaven aanpakken;
- bij het begeleiden van leerlingen bij het maken van opgaven.

Er zijn verschillende manieren om een vraagstuk systematisch aan te pakken, en iedereen ontwikkelt na verloop van tijd daarbij een eigen stijl. Hieronder hanteren we de indeling in vier fasen van de *systematische probleemaanpak* (SPA) die vaak in het voortgezet onderwijs wordt gebruikt.

Systematische probleemaanpak

Vraagstukken maken moet je als leerling voor natuurkunde vaak doen. De ene keer gaat het om het berekenen met een redenering, een andere keer om het verklaren met een argumentatie.

Voor leraren zijn de meeste vraagstukken geen probleem, want de standaardoplossing schiet hen onmiddellijk te binnen – en daarmee is het vraagstuk eigenlijk al opgelost. Voor leerlingen is het vinden van die standaardoplossing juist het grote probleem. Voor de onderbouw wordt vaak een eenvoudig stappenplan gehanteerd. In het voorbeeld van figuur 91 gaat het om een stappenplan voor eenvoudige rekenopgaven.



Opgave

Een spoorboom van 72 kg heeft een zwaartepunt op 2,4 m van het draaipunt. Het contragewicht heeft een massa van 250 kg.
Bereken de plaats van het zwaartepunt van het contragewicht.

Oplossing

Gegevens	Spoorboom: m = 72 kg en d = 2,4 m. Contragewicht: m = 250 kg.
Gevraagde	Contragewicht: d = ?
Formules	$F_z = m \cdot g$, $M = F \cdot d$ en $M_{\text{links}} = M_{\text{rechts}}$.
Berekening	Spoorboom: $F_z = m \cdot g = 72 \cdot 9{,}8 = 705{,}6$ N. $M_{sb} = F_z \cdot d = 705{,}6 \cdot 2{,}4 = 1693$ Nm.
	Contragewicht: $F_z = m \cdot g = 250 \cdot 9{,}8 = 2450$ N. $M_{cg} = F_z \cdot d = 2450 \cdot d$.
	Het krachtmoment M_{cg} van het contragewicht moet even groot zijn als het krachtmoment M_{sb} van de slagboom:

	$M_{sb} = M_{cg} \rightarrow 1693 = 2450 \cdot d \rightarrow d = 1693/2450 = 0{,}69$ m.
Antwoord	Het zwaartepunt van het contragewicht zit op 0,69 m van het draaipunt.

Figuur 91 – Voorbeeld van een eenvoudige rekenopgave en de uitwerking daarvan volgens een stappenplan.

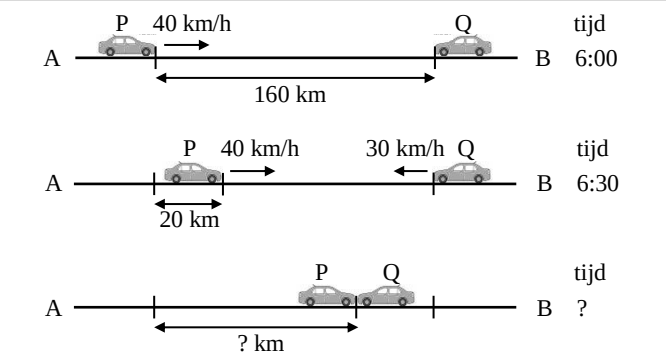
Stappenplan

1 Gegevens
2 Gevraagde
3 Formules
4 Berekening
5 Antwoord

Figuur 92 – Een stappenplan voor eenvoudige rekenopgaven.

De opgave van figuur 91 is uitgewerkt volgens het stappenplan van figuur 92, dat bedoeld is voor eenvoudige rekenopgaven. Er bestaan hiervan verschillende varianten.

In het voorbeeld van figuur 93 gaat het om een complexe rekenopgave, die vraagt om een ander soort stappenplan met (meer) aandacht voor het oriënteren en analyseren van de probleemsituatie, en het maken van een plan voor de uitwerking.

Opgave	De afstand tussen twee plaatsen A en B is 160 km. Om 6:00 uur vertrekt er een auto uit A met een snelheid van 40 km/h richting B, waar om 6:30 uur een auto richting A vertrekt met een snelheid van 30 km/h. Waar en hoe laat komen de auto's elkaar tegen?
Oplossing	
Oriënteren en analyseren	
Plannen	Auto P met een snelheid van 40 km/h legt tussen 6:00 en 6:30 uur een afstand van 20 km af. Voor auto P geldt vanaf 6:30 uur: $s_P = v_P \cdot t = 40 \cdot t$. Voor auto Q geldt vanaf 6:30 uur: $s_Q = v_Q \cdot t = 30 \cdot t$. Op het moment dat ze elkaar tegenkomen geldt: $s_P + s_Q = 140$ km. Met deze drie vergelijkingen is de tijd *t* uit te rekenen, en daarmee het tijdstip waarop de auto's elkaar tegenkomen. Met de tijd *t* zijn de afstanden s_P en s_Q uit te rekenen met $s = v \cdot t$, en daarmee de plaats waar de auto's elkaar tegenkomen.
Uitwerken	Vul de formules voor s_P en s_Q in de formule $s_P + s_Q = 140$ in: $s_P + s_Q = 140 \rightarrow 40 \cdot t + 30 \cdot t = 140 \rightarrow 70 \cdot t = 140 \rightarrow t = 2{,}0$ uur. De auto's komen elkaar dus tegen om 8:30 uur. Voor auto P geldt tussen 6:30 en 8:30 uur: $s_P = 40 \cdot 2{,}0 = 80$ km. Deze auto bevindt zich dan om 8:30 uur op een afstand van $20 + 80 = 100$ km van punt A. Voor auto Q geldt tussen 6:30 en 8:30 uur: $s_Q = 30 \cdot 2{,}0 = 60$ km. Deze auto bevindt zich dan om 8:30 uur op een afstand van 60 km van punt B.
Controleren en evalueren	Het punt waar de auto's elkaar tegenkomen ligt op 100 km van punt A en 60 km van punt B. De onderlinge afstand van de punten A en B is dus 160 km. Dat klopt met het gegeven in de opgave. Het punt waar de auto's elkaar tegenkomen ligt verder van punt A dan van punt B. Dat kan kloppen, want auto P rijdt met een grotere snelheid gedurende een langere tijd dan auto Q.

Figuur 93 – Voorbeeld van een complexe rekenopgave en de uitwerking daarvan volgens een stappenplan.

De opgave van figuur 93 is uitgewerkt volgens het stappenplan van figuur 94,

dat bedoeld is voor complexe rekenopgaven. Dat stappenplan heeft vier fasen, die hieronder worden uitgewerkt.

Stappenplan

1 Oriënteren en analyseren
2 Plannen
3 Uitwerken
4 Controleren en evalueren

Figuur 94 – Een stappenplan voor complexe rekenopgaven.

Oriënteren en analyseren – Wat is er aan de hand? Als je een vraagstuk gaat maken, moet je duidelijk krijgen wat het probleem precies is en over welke situatie het gaat. Het begint met een vraagstuk actief te lezen. Je maakt een schematische tekening en schrijft de gegevens en het gevraagde overzichtelijk op, bij voorkeur met symbolen. Je zoekt relevante theorie en informatie op in je geheugen of in je boek, en noteert die. Je vormt je ideeën over de probleemsituatie en mogelijke oplossingen. Je maakt een benadering of schatting van de uitkomst. Het product van deze fase is een situatieschets of schema.

Plannen – Hoe ga ik het aanpakken? Tijdens het oriënteren en analyseren moet je op een gegeven moment een duidelijk idee krijgen hoe je het vraagstuk gaat oplossen. Soms ken je voor het vraagstuk de standaardoplossing, dan hoef je het vraagstuk alleen nog uit te werken. Als je de standaardoplossing niet (direct) kent, dan moet je het probleem eerst nog omwerken tot een standaardprobleem. Welke informatie is voor het probleem belangrijk en welke is onbelangrijk? Welke vereenvoudigingen van het probleem zijn verantwoord en/of nodig? Hoe moeten wetten en formules gespecificeerd worden voor dit probleem? Het product van deze fase is een puntsgewijze aanpak.

Uitwerken – Wat is het antwoord? Als het probleem is omgewerkt tot een standaardprobleem, rest het uitwerken van het probleem volgens het puntsgewijze plan van aanpak. Het product van deze fase is een uitwerking van het vraagstuk.

Controleren en evalueren – Kan dat kloppen? En wat heb ik er van geleerd? Als je het antwoord op het gevraagde hebt, ben je nog niet klaar: een controle van ingevulde waarden en berekeningen is op zijn plaats. Geef je antwoord op het gevraagde? Is het antwoord redelijk, gezien praktijkwaarden? Klopt het met je benadering of schatting? Bovendien leer je van het maken van een vraagstuk meer als je na afloop nagaat hoe je het vraagstuk hebt aangepakt.

Begeleidingsvragen

- Wat is er gegeven? Welke symbolen horen daarbij? Staat het in de goede eenheden?
- Wat is er gevraagd? Welk symbool hoort daarbij?
- Welke formule(s) moeten we gebruiken?
- Hoe pak je de berekening aan?
- Wat is het antwoord? Kan dat kloppen?

Figuur 95 – Begeleidingsvragen voor eenvoudige rekenopgaven.

Deze algemene aanpak van probleemoplossen wordt aangevuld met domeinspecifieke aanpakken (zie hoofdstuk 7). Denk daarbij aan schakelingen bij elektriciteit en constructies bij beeldvorming.

Voordoen en begeleiden

De vier fasen van een systematische probleemaanpak gelden niet alleen voor het door leerlingen laten maken van vraagstukken, maar ook voor het als leraar voordoen van vraagstukken en het begeleiden van de leerlingen bij het maken van vraagstukken. Daarnaast is het bij het voordoen van belang dat je zelf ook werkt volgens de eisen die je aan leerlingen stelt, bijvoorbeeld bij het maken van toetsopgaven: moet er in hele zinnen geantwoord worden, moet voor een berekening de formule worden opgeschreven, en is bij een complexe opgave een tekening verplicht? Of mogen leerlingen dat allemaal zelf weten?

Bij dat voordoen en begeleiden is het van belang dat je niet direct uitleg geeft. Bij het uitleggen door de leraar hoeft de leerling niet zelf na te denken, en leert hij of zij te weinig een eigen aanpak. Ga na waar de leerling is met zijn of haar aanpak, en probeer eerst de eigen gedachtegang te stimuleren door vragen te stellen en activerende opdrachten te geven. De in figuur 95 en 96 weergegeven suggesties voor begeleidingsvragen passen bij de eerder gegeven stappenplannen voor eenvoudige en complexe rekenvragen. En in het geval van opgaven maken als groepswerk: betrek de groepsleden bij het overleggen over de oplossing. Er geldt dat de groep aan het werk kan en moet gaan als je wegloopt.

Begeleidingsvragen

- Wat is er aan de hand? Kun je een tekening maken? Wat is gegeven? Wat is gevraagd?
- Hoe pak je het aan? In welke volgorde? Met welke formules? Wat weet je er al van? Is er een standaard-standaardaanpak?
- Welke berekeningen zijn zeker goed?
- Wat is het antwoord? Kan dat kloppen? Is het realistisch?

Figuur 96 – Begeleidingsvragen voor complexe rekenopgaven.

Het maken en nakijken van opgaven is voor leerlingen overigens aantrekkelijker te maken door het in een spelvorm aan te bieden. Dus: door *gamification* toe te passen (zie hoofdstuk 4).

2.8 Afsluiting

De *centrale vraag* voor dit hoofdstuk was: welke lesonderdelen komen regel-

matig in de lessen voor, en hoe geef je die op een verantwoorde manier vorm?

Het antwoord op het eerste deel van deze vraag is vrij eenvoudig: een onderwerp inleiden, leerstof aanbieden, vragen stellen, demonstraties uitvoeren, leerlingen laten samenwerken en opgaven maken. Het tweede deel van de vraag is misschien wat lastiger beantwoorden. Het verantwoord vormgeven van die lesonderdelen komt neer op het toepassen van het volgende vijftal *leerprincipes* uit de leerpsychologie: *oriënteren*, *aansluiten*, *activeren*, *contextualiseren* en *terugkoppelen*.

Oriënteren – Verschaf de leerlingen een oriëntatie op dat wat geleerd moet worden. Dat kun je doen door aandacht te besteden aan het zorgvuldig inleiden van een onderwerp: waar gaat dit over, en wat is het belang daarvan?

Aansluiten – Activeer en sluit aan bij de relevante voorkennis van de leerlingen. Dat kun je doen door goed naar leerlingen te luisteren: wat denken leerlingen al te weten over het onderwerp, en hoe zijn die denkbeelden productief te gebruiken in de les?

Activeren – Laat de leerlingen actief met de leerstof bezig zijn. Dat kun je doen door vragen te stellen bij het aanbieden van de leerstof en bij demonstraties, door leerlingen te laten samenwerken en door leerlingen zelf de leerstof te laten verwerken en toepassen in opgaven.

Contextualiseren – Laat de kennisverwerving van de leerlingen plaatsvinden in het kader van reële probleemsituaties. Dat kun je doen door bij het aanbieden van leerstof te werken met instapproblemen, richtvragen en drieluiken.

Terugkoppelen – Geef regelmatig terugkoppeling (feedback) over de vorderingen van de leerlingen in de richting van de leerdoelen. Dat kun je doen door het stellen van checkvragen over de leerstof en het zorgvuldig aandacht besteden aan het oplosproces bij opgaven door de leerlingen te wijzen op stappen die ze geneigd zijn over te slaan.

3 Lessen

3.1 Inleiding

Het vorige hoofdstuk gaf een antwoord op de vraag hoe je de verschillende lesonderdelen (zoals de introductie van een nieuw (deel)onderwerp, het aanbieden van de leerstof, het stellen van vragen, het (laten) maken en bespreken van opgaven en verschillende werkvormen die daarbij kunnen worden ingezet) op een verantwoorde manier vormgeeft. In dit hoofdstuk gaat het – in vervolg daarop – om het combineren van deze lesonderdelen tot lessen. Daarbij maken we onderscheid tussen twee soorten lessen: de *theorieles* en de *practicumles*. Van beide soorten lessen bespreken we de globale standaard-lesopzet, met aandacht voor de lesvoorbereiding en afronding: leerstofanalyse en omgaan met huiswerk bij de theorieles, en practicumdoelen, werkbladen, verslagen en veiligheid bij de practicumles. Het combineren van deze lessen tot lessenseries komt in hoofdstuk 4 aan de orde.

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: hoe combineer je de verschillende lesonderdelen op een verantwoorde manier tot theorie- en practicumlessen?

3.2 Theorieles

In grote lijnen bestaat een theorieles uit vier fasen: de introductie, de (inhoudelijke) kern van de les, de afronding en het huiswerk. Er zijn veel mogelijkheden om deze globale fasering in te vullen tot een concrete lesopbouw. Maar daarbij is het allereerst de vraag wat de inhoudelijke kern van de theorieles is. Een eerste stap bij de voorbereiding van een les is dan ook het maken van een leerstofanalyse.

3.2.1 Leerstofanalyse

Het is de taak van de leraar om – mede op basis van het leerboek – in de voorbereiding de beginsituatie te bepalen, de leerstof te analyseren, de leerdoelen vast te stellen, een didactisch ontwerp te maken voor de les, en te zorgen voor evaluatie en toetsing: zie paragraaf 1.4. Tijdens de uitvoering moet de leraar dan doen wat het boek niet kan bieden: aansluiten bij de voorkennis van de leerlingen, vooruitblikken naar wat geleerd gaat worden, in interactie verzorgen van een inhoudelijk aanbod, het werk van leerlingen begeleiden, het bereiken van de leerdoelen toetsen en terugblikken op het geleerde (zie figuur 24 in paragraaf 1.4).

Eén van de onderdelen van de lesvoorbereiding is dus het maken van een leerstofanalyse, uitgaande van een gegeven hoofdstuk of paragraaf in het leerboek of uitgaande van de ‘grote ideeën’ over een onderwerp. In het eerste geval neem je de inhoud van het leerboek als uitgangspunt, in het tweede geval ga je meer uit van je eigen ideeën over wat er in de lessenserie of les aan de orde zou moeten komen. Het zal duidelijk zijn dat dit laatste meer werk betekent. Daar staat tegenover dat je je als leraar meer bewust wordt van de door jou gewenste aanpak van een onderwerp.

Het is overigens ook zeer goed mogelijk – en misschien wel wenselijk – om de beide bovengenoemde benaderingen van leerstofanalyse te combineren: de didactische vragen rond het identificeren en uitwerken van ‘grote ideeën’ (zoals later in deze paragraaf geschetst) zijn ook goed bruikbaar bij de lesvoorbereiding aan de hand van de inhoud van het leerboek.

Leerstofanalyse en het leerboek

Om een les goed voor te bereiden is het nodig om een grondige analyse te maken van de leerstof, zoals in de in figuur 97 geschetste lespraktijk.

Lespraktijk

Een leraar gaat lesgeven over paragraaf 2.4 Muziekinstrumenten uit het leerboek. Voordat hij de lesopzet bedenkt, gaat hij eerst de leerstof uit die paragraaf analyseren. Als resultaat ontstaat het onderstaande leerstofschema.
Daarna maakt hij de opgaven en een nakijkblad. Hij vergelijkt dit met de leerdoelen aan het einde van de paragraaf. En ten slotte maakt hij de lesopzet.

Leerstofdomein: Geluid
Leidende context: Muziekinstrumenten

Richtvraag: Welke soorten muziekinstrumenten zijn er? Hoe stemmen de muzikanten hun instrumenten?

Kernbegrippen	Vaardigheden	Praktijkvoorbeelden	Experimenten
• hoog en laag • trilling • geluid zichtbaar maken • frequentie, Hertz (Hz) • klankkleur	• oscilloscoop aflezen • rekenen met de formule $f = 1/T$	• muziekinstrumenten • stemmen • spreken	• tonen veranderen • geluid zichtbaar maken • spraak zichtbaar maken • muziekinstrumenten

Leerdoelen: Ik kan nu
- vier soorten muziekinstrumenten noemen
- uitleggen hoe snaar- en blaasinstrumenten worden gestemd
- een opstelling tekenen waarmee je geluid zichtbaar kunt maken
- uitleggen wat frequentie is en hoe je de frequentie uit een grafiek kunt bepalen
- rekenen met $f = 1/T$

Figuur 97 – Voorbeeld van een leerstofanalyse met behulp van het leerboek.

Voor leerlingen is het motiverend als de les uitgaat van herkenbare voorbeelden uit de praktijk. Voor een paragraaf kies je meestal een samenhangende context, bijvoorbeeld muziekinstrumenten. De les start dan meestal met een beschrijving van enkele situaties uit die context. Daarna volgt de richtvraag voor de paragraaf. De tekst van de paragraaf geeft met behulp van begrippen en voorbeelden antwoord op die richtvraag. Voor de richtvraag geldt dat de leerlingen de vraag begrijpen, maar het antwoord nog niet weten. In de richtvraag komen dus geen begrippen voor die pas in de paragraaf worden aangeleerd (zie paragraaf 2.2 en 2.3.1).

Grote ideeën

Domein: Deeltjestheorie | Doelgroep: onderbouw
- Materie is opgebouwd uit kleine stukjes die we deeltjes noemen.
- Er is lege ruimte tussen deze deeltjes.

Domein: Krachten op objecten in stilstand | Doelgroep: 3THV
- Een kracht duwt of trekt.
- Objecten vervormen als er een kracht op werkt. Daardoor oefent dat object weer een kracht uit op het object dat ze vervormt.

Figuur 98 – Voorbeelden van ‘grote ideeën’ in enkele leerstofdomeinen.

Leerstofanalyse en de ‘grote ideeën’

Een andere – of, zoals eerder gezegd, aanvullende – manier van leerstofanalyse gaat uit van het identificeren van ‘grote ideeën’ en het uitwerken daarvan met behulp van een achttal didactische vragen.

Grote ideeën – De ‘grote ideeën’ zijn de wetenschappelijke ideeën die de leraar als essentieel beschouwt voor het overbrengen van de kennis uit een leerstofdomein, in dit stadium en voor deze doelgroep.

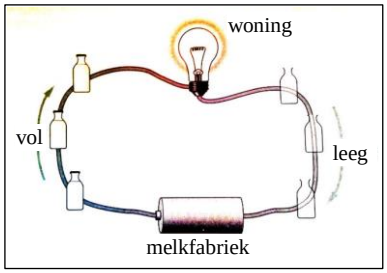
Het opdelen van een leerstofdomein in verschillende ‘grote ideeën’ is niet eenvoudig en vraagt het nodige denkwerk en overleg. De ervaring leert dat een leerstofdomein doorgaans uiteenvalt in vijf tot acht grote ideeën. In figuur 98 staan voorbeelden van een deel van die grote ideeën in enkele leerstofdomeinen.

Didactische vragen – Voor elk groot idee worden de hieronder weergegeven didactische vragen beantwoord, waarmee je je als leraar bewust wordt van de aanpak rond dat idee.

- Wat wil je dat leerlingen leren over dit idee? Door na te denken over wat je wilt dat leerlingen bereiken, krijg je grip op wat er werkelijk van belang is bij dit idee.

- Waarom is het belangrijk dat leerlingen dit leren? Het belang van kennis motiveert zowel de leraar om de kennis over te dragen, als de leerlingen om het tot zich te nemen. Vaak legt het belang van een idee de verbinding met het alledaagse leven van de leerling, maar een idee kan ook van belang zijn om grip te krijgen op een volgend groot idee.
- Wat weet je nog meer over dit idee (dat leerlingen nog niet hoeven te leren)? Wanneer de leerstof nodeloos ingewikkeld wordt gemaakt, zal dit leerlingen demotiveren. Maar wanneer de leerstof te ver vereenvoudigd wordt, leren de leerlingen onvoldoende. Het is dus van belang hier een bewuste afweging te maken.
- Wat zijn de moeilijkheden en beperkingen bij het overbrengen van dit idee? Het inzicht vanuit het constructivisme (zie figuur 16 in paragraaf 1.3) stelt dat nieuwe kennis beter beklijft wanneer het aansluit bij de voorkennis. Het is dus van belang om in kaart te brengen welke denkbeelden (of misconcepties) er bij leerlingen leven. Daarnaast kan het inzicht uit een idee abstract zijn: moleculen zijn bijvoorbeeld heel moeilijk zichtbaar te maken.
- Wat weet je over hoe leerlingen denken, wat van invloed kan zijn op het overbrengen van dit idee? Zowel leerlingdenkbeelden en maatschappelijke factoren als gangbare emotionele reacties kunnen van invloed zijn op hoe je een idee overbrengt.
- Welke andere factoren zijn van invloed op het overbrengen van dit idee? De vraag is bedoeld om overige contextuele of pedagogische kennis boven water te krijgen.
- Wat is een geschikte onderwijsaanpak bij dit idee, en waarom? Met een onderwijsaanpak wordt een activiteit bedoeld die de leraar tactisch kan inzetten om een specifiek aspect van het leren te bewerkstelligen. De onderwijsaanpak betreft dus niet alleen de werkvorm, maar ook de inhoud van en de argumenten voor deze aanpak.
- Welke specifieke manieren zijn er om begrip of verwarring rondom dit idee vast te stellen? Met deze vraag wordt de leraar gestimuleerd om na te denken over verschillende manieren en de effectiviteit van deze manieren om terug te vragen wat er bekend is rondom een idee.

Bij de in figuur 100 als voorbeeld geschetste lespraktijk past een (voorafgaande) leerstofanalyse rond het ‘grote idee’ dat macroscopische eigenschappen van materie (zoals uitzetten bij verwarmen) te verklaren zijn met een deeltjesvoorstelling. Een antwoord op de didactische vragen staat in figuur 101.



Figuur 99 –Een onderdeel van een aanpak voor het inzichtelijk maken van het idee dat een kring nodig is om stroom te laten lopen.

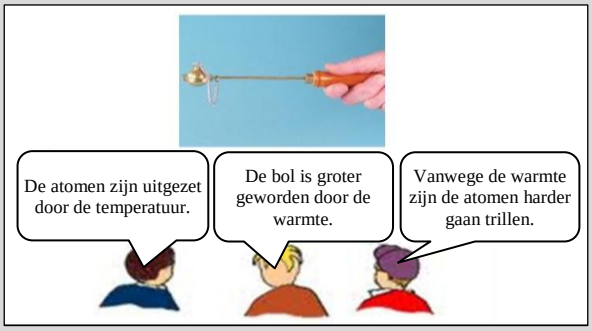
Lespraktijk

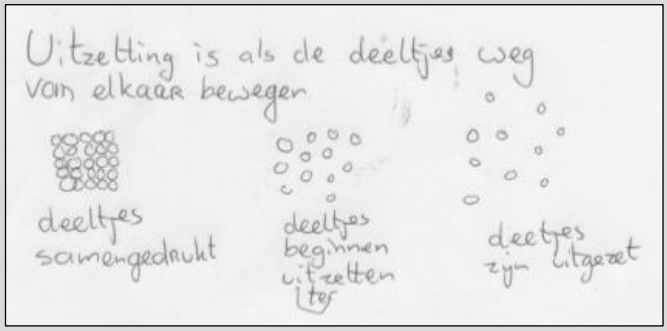
De leraar laat het verschijnsel zien dat een stalen bol na verhitting niet meer door een ring past. Aan Katie werd gevraagd dit te verklaren in termen van de deeltjesvoorstelling. Katie: “Als de deeltjes opwarmen, zetten ze uit en bewegen ze weg van elkaar, zodat de bal niet meer past.”

Figuur 100 – Voorbeeld van een leerlingdenkbeeld over een deeltjesverklaring van het verschijnsel uitzetten door verwarmen.

Domein: Materie **Doelgroep: 3 havo/vwo**	**Uitzetten door verwarmen en de deeltjesvoorstelling**
1 Wat wil je dat leerlingen leren over dit idee?	Hoe de uitzetting van vaste stoffen door verwarming verklaard kan worden met behulp van de molecuulvoorstelling.
2 Waarom is het belangrijk dat leerlingen dit leren?	Opdat leerlingen verschijnselen in het dagelijks leven kunnen verklaren met behulp van natuurwetenschappelijke denkbeelden. Meer specifiek in dit geval: macroscopische eigenschappen van materie en verschijnselen kunnen verklaren met het gedrag van deeltjes (moleculen) waaruit materie is opgebouwd.
3 Wat weet je nog meer over dit idee (dat leerlingen nog niet hoeven te leren)?	Het verschil tussen warmte en temperatuur.
4 Wat zijn de moeilijkheden en beperkingen bij het overbrengen van dit idee?	Dat deeltjes vaak worden gezien als gedeelten van de stof met alle stofeigenschappen en niet als nieuwe voorwerpen met andere eigenschappen.
5 Wat weet je over hoe leerlingen denken, wat van invloed is op het overbrengen van dit idee?	
a Wat weet je over de intuïtieve denkbeelden van leerlingen? **b** Hoe drukken leerlingen met dergelijke intuïtieve denkbeelden zich uit (in tekst en in grafische vormen zoals plaatjes en grafieken)?	Leerlingen denken dat de deeltjes zelf veranderen tijdens temperatuurstijging. Vergelijk het groeien van een mens doordat alle lichaamsdelen groter worden. Leerlinguitspraak: “De deeltjes zelf zetten uit.”

6 Welke andere factoren zijn van invloed op het overbrengen van dit idee?	Ik heb geen steun van een practicumassistent, dus practicum moet eenvoudig zijn qua voorbereiding.
7 Welke onderwijsaanpak past bij dit idee, en waarom?	Praktijkvoorbeelden van uitzetting bij temperatuurstijging laten zien (dilatatie-voegen bij woningen, tanden brugdek enzovoort). Demonstratie met bol en ring: na verwarmen van de bol past deze niet meer door de ring. Leerlingen vragen dit verschijnsel te verklaren in termen van de deeltjesvoorstelling.
8 Welke specifieke manieren zijn er om begrip of verwarring rondom dit idee vast te stellen?	**Leerlingopdracht**
a Hoe lok je de productie van taal (en grafische weergaven) uit, zodanig dat je greep krijgt op de denkbeelden van leerlingen?	Je hebt bij de demonstratieproef gezien dat de ijzeren bol na verhitting niet meer door de ring paste. Verklaar dit met behulp van de deeltjesvoorstelling. Gebruik voorwerpswoorden als verwarmen, uitzetten en temperatuur, en deeltjeswoorden als deeltje, trillen en afstand. En maak er een tekening bij, waarin je laat zien wat er met de deeltjes gebeurt als het voorwerp uitzet.
b Welke tekst (en/of grafische weergave) zou getuigen van een natuurweten-schappelijk denkbeeld?	In termen van voorwerp: Het voorwerp past niet meer door de ring, *want* door het verwarmen is het voorwerp uitgezet. In termen van deeltjes: Bij een hogere temperatuur gaan de deeltjes heftiger trillen. Het *gevolg is* dat de afstand tussen de deeltjes toeneemt. Het voorwerp wordt *daardoor* groter. Dat heet uitzetten. In de grafische weergave zitten de deeltjes bij lage temperatuur dicht bij elkaar, en zitten de even grote deeltjes bij hogere temperatuur wat verder van elkaar.
c Wat zijn de belangrijkste elementen in zo'n tekst?	Er is in deze uitwerking sprake van een redeneerketen, met oorzaak en gevolg op voorwerpsniveau en op deeltjesniveau, waarbij gebruik wordt gemaakt van verbin-dingswoorden (want, doordat, daardoor). • Benoemen van verschijnsel op niveau van waarneembare werkelijkheid (macro-niveau voor leerlingen: dagelijks leven): "Past niet meer." • Verklaring van het verschijnsel op macroniveau: "Doordat het is uitgezet." • Verklaring uitzetting op deeltjesniveau: "Dat wordt veroorzaakt doordat de af-stand tussen de deeltjes groter wordt."
d Formuleer op basis van het bovenstaande een vaktaaldoel	De leerling kan met behulp van de deeltjesvoorstelling het verschijnsel 'uitzetten van vaste stoffen bij verwarming' verklaren. De leerling maakt daarbij gebruik van middelen om oorzaak/gevolg uit te drukken op macro- en microniveau en hij maakt gebruik van tekeningen.
	Alternatieve leerlingopdracht Je hebt bij de demonstratieproef gezien dat de ijzeren bol na verhitting niet meer door de ring past. • Hieronder lees je in de discussieposter (links) drie verklaringen voor wat je hebt gezien. Bespreek die verklaringen in je groepje. Schrijf bij iedere verklaring op wat jullie sterk vinden en wat er volgens jullie niet klopt aan de verklaring. Bedenk een nieuwe verklaring die beter is dan de drie verklaringen in de discussieposter. • Hieronder zie je een tekening (rechts) van een deeltjesverklaring van het uit-zetten van een vaste stof. Geef je commentaar op deze tekening.





Figuur 101 – Voorbeeld van een leerstofanalyse door het beantwoorden van de didactische vragen bij een 'groot idee'.

Met een voorbereiding zoals hierboven kun je de leerlingen scherper observeren tijdens de les. Je kunt letten op de moeilijkheden waarop je in de leerstofanalyse al anticipeerde en op andere moeilijkheden. Die moeilijkheden kun je inventariseren en analyseren. Daarna kun je verschillende vormen van feedback organiseren, zoals individuele feedback (leraar → leerling), onderlinge feedback (leerling ↔ leerling) en klassikale feedback (leraar → leerlingen).

Door tekeningen en schrijfproducten te vragen, krijg je zicht op het denken van de leerlingen. Zo levert de tekening van de deeltjesverklaring in het voorbeeld hierboven de in figuur 102 weergegeven bespreekpunten.

Bespreekpunten

- De tekening laat zien dat de afstand tussen de deeltjes toeneemt.
- De tekening laat zien dat de deeltjes zelf niet groter worden.
- De tekening past beter bij smelten, verdampen of koken dan bij uitzetten van een vaste stof.
- De woorden "Uitzetting is..." zijn geen gebruikelijke manier om een verklaring te geven (liever: 'ontstaat door', 'komt doordat', 'wordt veroorzaakt door', of een ander grammaticaal middel waarmee oorzaak en gevolg kan worden uitgedrukt).
- De woorden "deeltjes zijn uitgezet" kunnen de indruk wekken dat de deeltjes zelf groter zijn geworden. De tekening sluit echter uit dat de leerling dat bedoelt.
- Er wordt geen relatie gelegd tussen de beweging van de deeltjes en uitzetting van een vaste stof.

Figuur 102 – Bespreekpunten bij de tekening van de deeltjesverklaring uit figuur 101.

In dit voorbeeld wordt veel aandacht besteed aan het formuleren door leerlingen. Dat helpt de leerlingen uiteraard. Maar het helpt ook als de leraar helder formuleert. De leraar in het bovenstaande voorbeeld vraagt naar een verklaring. Dat betekent zoiets als uitleggen met behulp van een achterliggend inzicht. Hier zou je ook kunnen zeggen: verklaar het verschijnsel uitzetting met de deeltjesvoorstelling. Van belang daarbij is dan – ook in het eigen taalgebruik – het maken van een duidelijk onderscheid én het leggen van een verband tussen de twee niveaus: het verschijnsel beschrijven met waarneembare eigenschappen (macro), en het verschijnsel begrijpen met de deeltjesvoorstelling (micro).

3.2.2 Opbouw theorieles

Het vormgeven van een theorieles kan op een (groot) aantal manieren. Hieronder geven we twee van die manieren in de vorm van een standaard-lesopzet, in beide gevallen met een combinatie van klassikaal onderwijs en zelfwerkzaamheid van de leerlingen. In hoofdstuk 4 komen mogelijke alternatieven zoals *flipping the classroom*, *gamification* en projectmatige (eind)opdrachten aan de orde.

Voor het gemak gebruiken we in de standaard-lesopzet de afkortingen uit figuur 103 en de instructietaal (die voor de leerlingen bekend is) uit figuur 104.

Afkortingen

KW klassikaal werken
ZW zelfstandig werken: I (individueel), D (in tweetallen), G (in kleine groep)

Figuur 103 – In de standaard-lesopzet gebruikte afkortingen.

Instructietaal

Bestuderen

- globaal de tekst doornemen en jezelf afvragen "Waar gaat dit over?"
- grondig de tekst doornemen en je regelmatig afvragen "Snap ik dit?"

Maken

- beantwoorden van vragen en opdrachten in je theorieschrift

Nakijken

- nagaan of je vragen en opdrachten goed beantwoord hebt (bijvoorbeeld door te vergelijken met je buurman en/of met antwoordbladen)

Leren

- zorgen dat je de hoofdzaken uit je hoofd kent (zie bijvoorbeeld gekleurde balken en kernbegrippen, samenvatting)
- nagaan of je vragen en opdrachten kunt maken
- nagaan of je de doelen beheerst

Figuur 104 – De voor leerlingen bekende instructietaal in de standaard-lesopzet.

Standaard-lesopzet

De in figuur 105 weergegeven eerste standaard-lesopzet voor een theorieles heeft de volgende kenmerken:

- de leerstof voor de les is een paragraaf met opgaven;
- de behandeling van de nieuwe leerstof vindt plaats in het midden van de les;

- het werken aan opgaven van de nieuwe leerstof vormt de afsluiting van de les (zelfwerkzaamheid), met het (af)maken van die opgaven als huiswerk;
- het nakijken en bespreken van dit huiswerk gebeurt in het begin van de volgende les (deels zelfwerkzaamheid, deels klassikaal);
- van de leerlingen wordt 20 minuten huiswerk gevraagd.

Huiswerk 20' ZW: I	Leren van de behandelde leerstof, (af)maken van de opgaven	Leerstof herhalen, verwerken en verwerven
Tijdsplanning	**Onderwijsactiviteiten van de leraar Leeractiviteiten van de leerlingen**	**Functie voor het leren**
5' KW	Starten (leraar): • lesprogramma geven • huiswerk opgeven • beginsituatie peilen • terugkijken op de behandelde leerstof en vooruitkijken naar de (in deze les te behandelen) nieuwe leerstof	Zicht geven op leerproces: • overzicht geven van de lesonderdelen • leerdoelen benoemen • voorkennis ophalen • nieuwe leerstof koppelen aan al bekende leerstof
10' ZW: D / KW	Huiswerk nakijken/bespreken (leerlingen en leraar): • nakijken van de huiswerkopgaven • nabespreken van (geobserveerd) lastige aspecten van de gemaakte huiswerkopgaven	Leerstof verwerken: • niet gemaakt: alsnog maken • wel gemaakt: vlot nakijken met nakijkbladen • deels gemaakt: hulp vragen aan medeleerling en/of leraar
10' KW	Uitleggen (leraar): • behandelen van de nieuwe leerstof (vanuit instapprobleem en richtvraag)	Leerstof verwerven
15' ZW	Opgaven maken (leerlingen): • maken van opgaven bij de nieuwe leerstof	Leerstof verwerken Oefenen van vaardigheden
5' KW	Afronden (leraar en leerlingen): • samenvatten nieuwe leerstof • nabespreken van (geobserveerd) lastige aspecten van de opgaven bij de nieuwe leerstof	Zicht geven op leerproces
Huiswerk 20' ZW: I	Leren van de behandelde leerstof, (af)maken van de opgaven	Leerstof herhalen, verwerken en verwerven

Figuur 105 – Standaard-lesopzet 1 voor een theorieles met een accent op het verwerken van de les door het huiswerk.

De in figuur 106 weergegeven tweede standaard-lesopzet voor een theorieles heeft de volgende kenmerken:
- de leerstof voor de les is een paragraaf met opgaven;
- de introductie van de nieuwe leerstof vindt plaats in het laatste deel van de les;
- het werken aan opgaven van de nieuwe leerstof vormt het huiswerk van de les (zelfwerkzaamheid);
- het nakijken en bespreken van dit huiswerk gebeurt in het begin van de volgende les (deels klassikaal, deels zelfwerkzaamheid), en neemt het grootste deel van die les in beslag;
- van de leerlingen wordt 20 minuten huiswerk gevraagd.

In vergelijking met de eerste standaard-lesopzet is er bij deze tweede standaard-lesopzet geen sprake van het behandelen van de nieuwe leerstof, en gaat het om 'niet meer dan' de introductie van die nieuwe leerstof. Het huiswerk is daarna gericht op het door de leerlingen zelfstandig voorbereiden van de (volgende) les, terwijl het huiswerk bij de eerste standaard-lesopzet gericht is op het verwerken van de in de (vorige) les behandelde leerstof. De verantwoordelijkheid voor het verwerven van de nieuwe leerstof ligt daardoor meer bij de leerlingen dan bij de eerste standaard-lesopzet het geval is.

Huiswerk 20’ ZW: I	Bestuderen van de nieuwe (in de nu volgende les te behandelen) leerstof Maken van enkele opgaven bij de nieuwe leerstof	Leerstof verwerven en verwerken
Tijdsplanning	**Onderwijsactiviteiten van de leraar Leeractiviteiten van de leerlingen**	**Functie voor het leren**
5’ KW	Starten (leraar): • lesprogramma geven • huiswerk opgeven • beginsituatie peilen	Zicht geven op leerproces: • overzicht geven van de lesonderdelen
10’ KW	Huiswerk overhoren (leraar en leerlingen): • overhoren van het leerwerk bij de (in de vorige les geïntroduceerde) leerstof	Leerstof verwerken
15’ ZW: D / KW	Huiswerk nakijken (leerlingen en leraar): • nakijken van het maakwerk bij de (voor deze les bestudeerde) leerstof • nabespreken van (geobserveerd) lastige aspecten van de gemaakte huiswerkopgaven	Leerstof verwerken: • niet gemaakt: alsnog maken • wel gemaakt: vlot nakijken met nakijkbladen • deels gemaakt: hulp vragen aan medeleerling en/of leraar
15’ KW	Uitleggen (leraar): • terugkijken op de behandelde leerstof • introduceren van de nieuwe leerstof (vanuit instapprobleem en richtvraag)	Zicht geven op leerproces: • leerdoelen benoemen • voorkennis ophalen • nieuwe leerstof koppelen aan al bekende leerstof Leerstof verwerven
Huiswerk 20’ ZW: I	Bestuderen van de nieuwe leerstof Maken van enkele opgaven bij de nieuwe leerstof	Leerstof verwerven en verwerken

Figuur 106 – Standaard-lesopzet 2 voor een theorieles met een accent op het voorbereiden van de les door het huiswerk.

Overgangen in de les

Binnen de les zie je vaak de volgende onderdelen: binnenkomst, programma, vooruitblik op het leren, het leren zelf (met verschillende vormen: uitleg, vragen, opdrachten, spel, project), terugblik op het leren en vertrek. Bij het begin en het einde van de les en bij de overgangen tussen de verschillende onderdelen van de les is de rol van de leraar het beste te vergelijken met die van gastheer of gastvrouw.

Een goede gastheer of gastvrouw zorgt ervoor dat bij binnenkomst het lokaal opgeruimd en ingericht is. De leermiddelen die nodig zijn liggen klaar. De computer van het digibord is opgestart. De tafels staan juist opgesteld. En het lesprogramma staat op het bord. Dan is er alle tijd om de leerlingen te verwelkomen. Hier en daar wordt een praatje gemaakt. Leerlingen worden aangemoedigd vast hun spullen te pakken en zich klaar te maken voor de les. De les begint met een overzicht van het programma.

Hetzelfde, maar dan omgekeerd, gebeurt aan het einde van de les. Ruim voor de bel wordt de les klassikaal afgerond. Er is een terugblik op de les en op de deelname van de leerlingen. Bij het weggaan wordt de klas netjes achtergelaten. Tafels en stoelen worden rechtgezet. Rommel op de grond wordt opgeruimd. De leraar spreekt nog even met enkele leerlingen individueel.

De overgangen tussen de lesonderdelen bestaan steeds uit drie delen. De leraar kijkt even terug op het vorige onderdeel, kondigt het nieuwe onderdeel aan en legt het verband tussen die twee uit. Dat maakt het onderwijsleerproces voor de leerlingen inzichtelijk(er).

Voor klassikale momenten is het van groot belang dat de leraar alle aandacht heeft. Alleen dan wordt de afsluiting van het vorige onderdeel en de instructie van het nieuwe onderdeel begrepen door de leerlingen.

Didactische sleutelvragen

Om de lesonderdelen en de overgangen in de les goed vorm te geven heb je bij de voorbereiding – op grond van de in figuur 24 van paragraaf 1.4 weergegeven

rollen van de leraar en de in paragraaf 3.2.1 besproken leerstofanalyse – de volgende *didactische sleutelvragen* beantwoord.

- Wat is het onderwerp van de les?
- Welke functie vervult de les in de lessenserie?
- Wat weten en kunnen de leerlingen al?
- Wat is de kern van de les?
- Wat moeten de leerlingen na afloop van de les geleerd hebben?
- Hoe wordt het leerresultaat van leerlingen bepaald, en op welk moment?
- Hoe verloopt de les in de tijd wat betreft onderwijsactiviteiten van de leraar en leeractiviteiten van de leerling?
- Uit welke onderdelen is de les opgebouwd, en wat betekent dat voor de invulling van de overgangen?
- Waarom is deze les interessant en betekenisvol voor leerlingen?
- Welke motiverende prikkel zit er in deze les?

Je kunt na de uitvoering bij leerlingen navragen wat ze van je les vonden: motiverend, leerzaam, afwisselend, activerend en/of aansluitend?

3.2.3 Huiswerk

In het klassikale onderwijs blijken theorielessen vaak op een standaardmanier te zijn ingedeeld. Het begindeel van de les wordt besteed aan het klassikaal bespreken van het huiswerk: leerwerk met mondelinge beurten of met een schriftelijke overhoring, maakwerk door het klassikaal laten voorlezen van de antwoorden of door het op het bord (laten) voormaken van opdrachten. Het middendeel van de les is voor de introductie van nieuwe leerstof en het verwerken daarvan. De les wordt afgesloten met het opgeven van huiswerk. Soms is er wat tijd om alvast aan het huiswerk te beginnen.

Het is opvallend dat veel leraren ontevreden zijn over het feit dat het bespreken van het huiswerk meestal veel te veel tijd vraagt en dat het zelf werken door de leerlingen er vaak bij in schiet. Het verschil tussen de gangbare praktijk en wat door de leraar als wenselijk wordt gezien is weergegeven in figuur 107.

	door de leraar gepraktiseerd (in minuten)	door de leraar als wenselijk geacht (in minuten)
Huiswerk: leerwerk overhoren en maakwerk nakijken	20’ klassikaal	10’ klassikaal
Instructie: introductie nieuwe leerstof	15’ klassikaal	15’ klassikaal
Verwerken nieuwe leerstof	10’ klassikaal of zelf werken	20’ klassikaal of zelf werken
Afronden: huiswerk opgeven	5’ klassikaal	5’ klassikaal

Figuur 107 – Het verschil tussen de gangbare en gewenste lespraktijk volgens leraren.

Lespraktijk

Een leraar gaat aan het begin van de les het huiswerk klassikaal bespreken. Al gauw blijkt dat een deel van de leerlingen de uitwerkingen gaat overschrijven. Blijkbaar hebben ze het huiswerk niet gemaakt. Ook kijkt een aantal leerlingen verveeld naar buiten. Het valt de leraar op dat dat de slimme en ijverige leerlingen zijn. Ze zijn blijkbaar niet geïnteresseerd in het bespreken van het huiswerk. Dan maar vlug even alles bespreken om zo snel mogelijk aan de nieuwe leerstof te kunnen beginnen.

Figuur 108 – Huiswerk bespreken in de lespraktijk.

Huiswerk bespreken

De in figuur 108 geschetste lespraktijk geeft een beeld van hoe het er bij het bespreken van huiswerk in de les nogal eens aan toe gaat.

Klassikaal bespreken van huiswerk is bijzonder lastig, omdat je te maken hebt met een zeer heterogene groep. Een deel van de leerlingen heeft het huiswerk vrijwel zonder fouten gemaakt. Zij worden eigenlijk gestraft met een klassikale bespreking die ze niet nodig hebben. Een ander deel van de leerlingen heeft het huiswerk – om welke reden dan ook – niet gemaakt. Zij worden onbedoeld beloond omdat de goede antwoorden hen op een presenteerblaadje worden aangeboden. Een derde deel van de leerlingen heeft het huiswerk gemaakt, maar slechts gedeeltelijk goed. Zij krijgen meestal wel het goede antwoord voorgeschoteld, maar hadden meer gehad aan feedback op zelf gemaakte fouten of een

hint om verder te werken. Nogal onbevredigd dus, en het is geen wonder dat het bespreken van huiswerk een moeilijk deel van de les vormt.

In een alternatieve opzet wordt onderscheid gemaakt tussen het controleren van het leerwerk en het maakwerk. De les begint met het overhoren van het leerwerk, bijvoorbeeld met behulp van checkvragen. Daarna krijgen de leerlingen de gelegenheid hun maakwerk na te kijken. Dit kan met uitwerkingen, die in de vorm van een door de leraar gemaakt nakijkblad ter inzage liggen. Een voorbeeld van zo'n nakijkblad staat in figuur 109. Alleen de leerlingen die het huiswerk gemaakt hebben, krijgen het nakijkblad. De anderen gaan alsnog het huiswerk maken. Tijdens het rondlopen gaat de leraar na wie er wel en niet het huiswerk gemaakt hebben en noteert dit. Bovendien krijgt hij zicht op opgaven die moeilijk gevonden worden en op veel gemaakte fouten. Daarna bespreekt hij klassikaal de belangrijkste moeilijkheden en fouten, en geeft aanwijzingen voor het maken van de opgaven. Daarna komt de uitlegvan nieuwe leerstof. Bij die uitleg hoort het voordoen van een moeilijke opgave. Leerlingen gaan in de klas alvast aan het werk met een opgave. Die opgave bespreekt de leraar aan het einde van de les na.

Nakijkblad

A63

a Een oscilloscoop is een instrument om geluidstrillingen zichtbaar te maken.
b Een microfoon zet geluidstrillingen om in een elektrische trilling.
c Op het scherm van een oscilloscoop zie je een *u*,*t*-diagram van een trilling.

B64

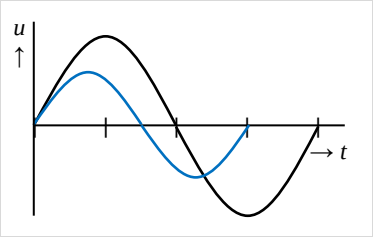
a Een piccolo maakt hogere tonen dan een contrabas. Dat zie je omdat de contrabas veel groter is dan de piccolo.
b Bij een blaasinstrument krijg je een lage toon als de luchtkolom lang is. Dus iets uittrekken of meer gaatjes sluiten.
c Bij een snaarinstrument krijg je een hogere toon als de snaar strakker staat, dunner is of korter is.

B65

a 200 Hz is 200 trillingen per seconde.
b Eén trilling duurt 1 / 200 = 0,0050 seconde.

B66

a Een trilling duurt 4 hokjes dus 4 x 0,02 seconde = 0,08 seconde.
b De frequentie is 1 / 0,08 = 12,5 Hz.
c Een hogere toon die zachter is heeft een kleinere uitwijking en een kleine trillingstijd (zie de blauw getekende trilling in het *u*,*t*-diagram hiernaast).



Figuur 109 – Voorbeeld van een nakijkblad.

Planning	Onderwijsleeractiviteiten
5' KW	Leerwerk overhoren, toepassing bespreken
10' ZW	Nakijken maakwerk
10' KW	Nabespreken maakwerk
10' KW	Uitleg nieuwe leerstof Opgeven maakwerk in de klas en thuis
10' ZW	Werken aan maakwerk
5' KW	Afronden met bespreking van een aangekondigd deel van het maakwerk

Figuur 110 – Een alternatieve opzet voor huiswerk bespreken.

Het gebruik van een nakijkblad heeft voor- en nadelen. Als je als leraar zelf als onderdeel van de lesvoorbereiding het nakijkblad maakt, ben je beter op de hoogte van de moeilijkheden in de leerstof – maar het maken kost je wel veel tijd. Leerlingen kunnen met een nakijkblad de gemaakte opgaven zelf nakijken. De snelle feedback die dat geeft, is goed voor de motivatie. Er is wel een risico van 'antwoorden overschrijven'.

De kenmerken van deze in figuur 110 geschetste alternatieve opzet voor het bespreken van het huiswerk zijn:

- er is aandacht voor de afronding van het leerwerk en het maakwerk;
- maakwerk wordt tijdens zelfwerkzaamheid gecontroleerd;
- bespreekpunten worden tijdens zelfwerkzaamheid ingezameld;
- van het huiswerk worden alleen veel gemaakte fouten besproken;
- uitleg van nieuwe leerstof wordt voorbereid door de afronding van de oude leerstof;
- het maakwerk in de klas wordt in de klas afgerond.

Huiswerk opgeven en verwerken

Bij het opgeven van huiswerk zet je als leraar de volgende drie stappen: *voorbereiden* (wat wil ik dat de leerlingen gaan doen, en waarom), *opgeven* (wat moeten de leerlingen doen) en *instrueren* (hoe moeten ze dat doen). Ook bij het

verwerken van huiswerk zijn drie stappen te onderscheiden: *controleren*, *overhoren* en *bespreken*. De hieronder weergegeven aandachtspunten kunnen helpen bij het zetten van die stappen.

Huiswerk serieus nemen – Als er huiswerk opgegeven is, moet er de volgende les iets mee gebeuren. Op zijn minst kan de leraar even rondlopen, her en der kijken, complimenten uitdelen, vragen of het gelukt is en hoeveel tijd het kostte. Leerwerk kan kort overhoord worden en voor maakwerk zijn 'snelle' bespreekmethoden te bedenken (zie hieronder bij 'Huiswerk bespreken').

Huiswerk gedeeltelijk bespreken – Veel leraren hebben het gevoel dat al het opgegeven huiswerk klassikaal besproken moet worden. Alle goede antwoorden en oplosmethoden die tot goede antwoorden leiden, moeten op het bord gestaan hebben of op zijn minst de revue gepasseerd zijn. Dat kost veel tijd en lijkt in veel gevallen ook overbodig: niet nodig voor de goede leerlingen, en niet aansluitend bij de problemen van de zwakke leerlingen.

Huiswerk selecteren – Leerlingen moeten het huiswerk aankunnen. Niets is meer frustrerend dan thuis te werken aan opgaven die je niet aankunt. De demotivatie slaat dan snel toe. De moeilijker opgaven kunnen beter in de les gemaakt worden, eventueel samen met andere leerlingen, onder begeleiding van de leraar. Leerwerk, opzoekwerk en vragen die gemakkelijk in de tekst zijn terug te vinden, kunnen dan als huiswerk opgegeven worden.

Huiswerk voorbereiden – Huiswerk moet in de les worden voorbereid. Als het huiswerk goed in de les wordt voorbereid, kunnen leerlingen thuis beter aan de slag, wordt er meer huiswerk (goed) gemaakt en kan in de volgende les minder tijd aan de bespreking ervan besteed worden. Huiswerk kan in de les als volgt voorbereid worden.

- Bij leerwerk moet de tekst in het boek voor de leerlingen duidelijk en doorzichtig zijn. De moeilijke woorden moeten 'vertaald' zijn en de verschillende onderdelen van de tekst moeten door de leerlingen herkend zijn: de inleiding, de hoofdzaken, de voorbeelden, de toepassingen, de illustraties, de conclusies. Verder moeten leerlingen weten wat ze precies moeten leren en wat ze in grote lijnen moeten kennen. De leraar kan voorbeelden geven van vragen die hij de volgende keer gaat stellen. Ten slotte kan er een aanwijzing gegeven worden hoeveel tijd een gemiddelde leerling aan het huiswerk moet besteden.
- Bij de opdracht een paragraaf door te lezen, kan bijvoorbeeld gevraagd worden de hoofdzaken én de voorbeelden waarmee de 'kern' van de paragraaf wordt toegelicht, te noteren. Het kan verstandig zijn het aantal hoofdzaken en het aantal voorbeelden dat in de paragraaf aan bod komt aan de leerlingen te melden. Ook kun je leerlingen vragen de nog onduidelijke woorden of begrippen te noteren.
- Bij het maken van opgaven als huiswerk kunnen soortgelijke opgaven eerst in de les geoefend worden. De leraar kan prototypen van de opgaven selecteren, waarvan hij er één of twee bespreekt en andere laat oefenen. Als de leerlingen de opgaven aardig aankunnen, kunnen soortgelijke opgaven als huiswerk worden meegegeven.

Huiswerk bespreken – Voor het maakwerk zijn 'snelle' bespreekmethoden beschikbaar, zoals *check in duo's*, *zelf nakijken* en *elkaar overhoren*.

- Check in duo's – Laat de leerlingen in tweetallen de antwoorden van het huiswerk vergelijken. Als de antwoorden verschillen, moeten ze overleggen wat goed is. De leraar loopt rond, controleert of het huiswerk gemaakt is en ontdekt eventueel welke opgave voor meerdere leerlingen een probleem was. Hij bespreekt deze opgave zo nodig klassikaal. Deze werkvorm past hij gesloten vragen die je gemakkelijk kunt controleren door de antwoorden te vergelijken en niet bij opgaven waarbij je vooral over een aanpak moet nadenken.
- Zelf nakijken – De leerlingen kijken met behulp van een antwoordenblad of een bundel uitgewerkte opdrachten zelf hun werk na. Snappen ze een bepaalde uitwerking niet, dan vragen ze eerst om uitleg aan hun buren. Pas als niemand in de omgeving het snapt, wordt de leraar erbij gehaald. Door rond te lopen krijgt hij een aardig overzicht van hoe het huiswerk gemaakt is. Deze werkvorm past ook bij moeilijker opgaven. Het is een gedifferentieerde manier van werken, want elke leerling is zijn of haar eigen fouten aan het verbeteren.

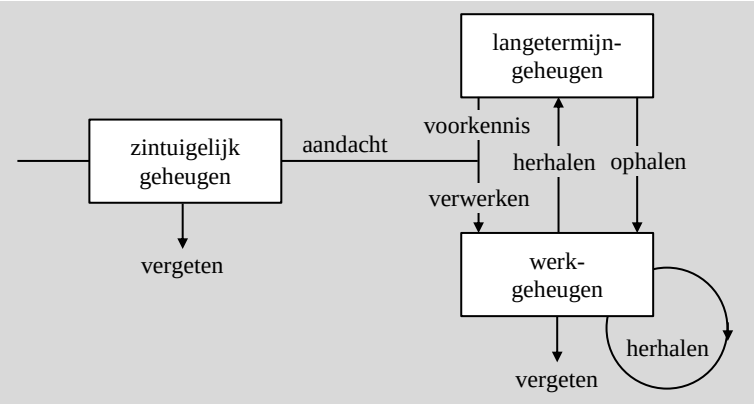
- Elkaar overhoren – Als het huiswerk uit leerwerk bestaat, is de volgende werkvorm mogelijk. Elke leerling moet twee makkelijke en twee moeilijke vragen over het geleerde bedenken en opschrijven. De vragen moeten dan op hetzelfde blaadje door een andere leerling gemaakt worden. Eventueel kan de bedenker van de vragen de antwoorden nakijken. De leraar krijgt door rond te lopen een indruk van wie het goed geleerd heeft en wie niet.

Huiswerk… een traditie en daardoor een vanzelfsprekendheid in het onderwijs. Maar tijden veranderen en de vanzelfsprekendheid van het huiswerk maken is aan het verdwijnen. Leraren zoeken naar nieuwe vormen van 'huiswerk' en scholen proberen een 'huiswerkbeleid' op te zetten. De bovenstaande tips kunnen daar mogelijk bij helpen.

Tekst bestuderen

Huiswerk bestaat voor een deel uit het bestuderen van een tekst. In een tekst in een leerboek zie je verschillende elementen die een eigen functie hebben voor het leren van de vakinhoud. Voorbeelden zijn: een inleidende tekst met een richtvraag waarop de paragraaf een antwoord geeft, uitleg met voorbeelden, voorbeeldkaders, vaardigheidskaders, samenvattingen, foto's en tekeningen. Bij het bestuderen van de tekst helpt het als een leerling weet hoe het geheugen werkt. Bij studeren moet je je geheugen helpen.

Alle informatie van de zintuigen komt in het *zintuigelijk geheugen* (enkele seconden). Slechts een deel wordt verwerkt, de rest wordt vergeten. Als je leest zonder aandacht wordt het meeste vergeten. Daarom zijn pauzes van belang, en regelmatig even terugkijken op wat je gelezen hebt.



Figuur 111 – Schema van de werking van het geheugen.

Alleen informatie waarop je de aandacht richt, wordt verwerkt en opgeslagen in het *werkgeheugen* (zo'n halve minuut). Het werkgeheugen heeft een beperkte opslag van circa zeven eenheden. Door aandacht en structureren kan meer opgeslagen worden. Hoe meer je herhaalt, des te meer kan worden opgeslagen in het *langetermijngeheugen*. De opslagcapaciteit is zo goed als onbegrensd, maar als je opgeslagen informatie niet gebruikt, kun je het niet meer terugvinden. Geheugensporen kun je begaanbaar houden door de informatie regelmatig te gebruiken. Nieuwe kennis kun je beter terugvinden als die gekoppeld is aan reeds goed opgeslagen voorkennis. Deze werking van het geheugen is schematisch samengevat in figuur 111.

Vanwege deze werking van het geheugen is bij het bestuderen van een tekst het leren effectiever door:

- vooruit te blikken en structuur te zien (niet alleen maar van begin tot eind lezen);
- actief te lezen met behulp van een richtvraag, een lijstje kernbegrippen, een *mind-map* en/of een stroomschema;
- terug te blikken met behulp van herhalen, samenvatten en actief begrijpen (door jezelf vragen te stellen, en die te beantwoorden).

Het is goed als leerlingen van deze leerstrategieën op de hoogte zijn en geleerd hebben om ze toe te passen. Bij dat leren toepassen kan de leraar een rol spelen door voordoen (samen met de leerlingen een tekst bestuderen) en door het specificeren van de huiswerkopdracht (zie hierboven onder 'Huiswerk voorbereiden').

3.3 Practicumles

Binnen de natuurwetenschappen neemt het experiment een centrale plaats in. Dat komt tot uitdrukking in de practicumlessen. Het practicum kan verschillende

leerdoelen hebben. Daarbij is onderscheid te maken tussen een *vaardigheidspracticum*, *begripspracticum*, *onderzoekspracticum* en *ontwerppracticum*. Het is belangrijk om bij een practicum te focussen op een beperkt aantal leerdoelen. Andere zaken die bij het doen van practicum een rol spelen zijn de opbouw van practicumlessen, de werkbladen die daarbij gebruikt worden, de practicumverslagen van de leerlingen en de veiligheid in het practicumlokaal.

Het kan voorkomen dat een practicum om uiteenlopende redenen niet mogelijk, maar wel wenselijk is. In dat geval kunnen leerlingen, gestuurd door een werkblad, aan de slag met een computersimulatie.

Lespraktijk

Een leraar laat de klas een reageerbuis zien met zand en water. Hij schudt die flink door elkaar en kondigt aan dit mengsel te willen scheiden door filtreren. Hij laat zien hoe je van een rond filtreerpapiertje door twee keer vouwen een filter kunt maken dat in een trechter past. De trechter met filter zet hij op een lege reageerbuis en hij giet het mengsel van zand en water op het filter. Na het resultaat bekeken te hebben, gaan de leerlingen zelf verschillende mengsels filtreren.

Figuur 112 – Voorbeeld van een vaardigheidspracticum.

Lespraktijk

Een leraar laat een gelijkarmige balans zien. Als je aan beide kanten op gelijke afstand een gelijk gewicht hangt, is de balans in evenwicht. Kun je ook evenwicht maken met verschillende gewichten aan beide kanten? Leerlingen schrijven hun voorspelling op. Daarna gaan ze het practicum doen. Ze maken allerlei evenwichten met twee ongelijke gewichten, maar ook met drie gewichten. In de nabespreking worden de resultaten begrepen met de theorie van de momentenwet.

Figuur 113 – Voorbeeld van een begripspracticum.

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 demonstratietafel 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, wel of niet roeren. De hoeveelheid water bleek geen invloed te hebben.

Figuur 114 – Voorbeeld van een onderzoekspracticum.

3.3.1 Practicumdoelen

De leerdoelen van een practicum hangen af van het soort practicum: een vaardigheids-, begrips-, onderzoeks- of ontwerppracticum. Die leerdoelen bepalen ook vaak het karakter van het practicum: *gesloten* of *open*. Bij een gesloten practicum – ook wel een 'kookboekpracticum' genoemd – werken de leerlingen aan de hand van een gedetailleerde reeks opdrachten in de vorm van 'doe dit, noteer dat, bepaal zus en bereken zo', gericht op het bereiken van het eindresultaat zoals het beheersen van een bepaalde vaardigheid of het vaststellen van het verband tussen twee grootheden. Bij een open practicum is vaak alleen een onderzoeks- of ontwerpvraag gegeven (en zelfs dat niet altijd), en is het aan de leerlingen om te bedenken hoe ze die vraag zullen gaan beantwoorden. Maar uiteraard kan een practicum ook een gemengd karakter hebben: deels gesloten en deels open.

Vaardigheidspracticum – In een vaardigheidspracticum zoals dat van figuur 112 staat de vaardigheid van de leerling centraal. Bij een vaardigheid kan het gaan om het bedienen van een apparaat (zoals een stroom- of spanningsmeter, een brander of een Coach-interface), het uitvoeren van een experimentele methode (zoals indampen, filtreren of een schakeling bouwen) of het gebruiken van de juiste verslagvormen (zoals een tabel gebruiken, een diagram tekenen of een helling berekenen). De bijbehorende leerdoelen zijn respectievelijk een apparaat kunnen bedienen, een experimentele methode kunnen uitvoeren en meetresultaten kunnen verwerken en weergeven.

Kenmerken van een vaardigheidspracticum zijn: korte duur, gesloten karakter, en uitvoering voorafgaand aan een ander practicum.

Begripspracticum – In een begripspracticum zoals dat van figuur 113 maakt een leerling kennis met een nieuw verschijnsel of bekijkt een bekend verschijnsel met behulp van nieuwe theorie. De waarnemingen aan het verschijnsel worden uiteindelijk begrepen vanuit nieuwe theorie. Daarbij kan het bijvoorbeeld gaan om evenwicht bij de balans, beeldvorming met lenzen, helderheid van lampjes in verschillende schakelingen, vallen van een massa en veer in een vacuümbuis, en geluid van een bel in een vacuümklok. Het bijbehorende leerdoel is een verschijnsel kunnen beschrijven en met theorie kunnen begrijpen.

Bij dit soort practicum horen altijd voorspellingen: de leerlingen formuleren vooraf de eigen gedachten over het verschijnsel, en zijn daardoor gevoeliger voor observaties die daarmee conflicteren. Dat helpt hen bij hun begripsontwikkeling.

Kenmerken van een begripspracticum zijn: langere duur, (meestal) gesloten karakter, het verschijnsel staat centraal, vooraf voorspellingen doen, kwalitatief meten, en observaties vergelijken met de voorspellingen. Overigens is een begripspracticum vaak ook goed uitvoerbaar als demonstratie (zie paragraaf 2.5).

Onderzoekspracticum – In een onderzoekspracticum zoals dat van figuur 114 onderzoekt een leerling zelf een verschijnsel. De leerling werkt volgens een zelf opgesteld werkplan. Er is veel inbreng van de leerling bij het formuleren van de vraag, het maken van een opstelling, het contoleren van de variabelen of het kiezen van de verslagvorm. Eerlijk onderzoeken door variabelen te controleren is van belang. Meestal wordt het werkplan eerst goedgekeurd door de leraar. Voorbeelden van een onderzoekspracticum zijn: oplossnelheid van suiker, buigzaamheid van staafjes, en geleidbaarheid van materialen. Het bijbehorende leerdoel is verschijnselen eerlijk kunnen onderzoeken.

Kenmerken van een onderzoekspracticum zijn: lange duur, open karakter,

een eigen werkplan maken, veel vrije keuze voor de leerling, meerdere variabelen, verbanden onderzoeken en eerlijk experimenteren (zie de *onderzoekscyclus* in paragraaf 7.3).

Ontwerppracticum – In een ontwerppracticum ontwerpt, bouwt en test een leerling een prototype of model van een product zoals een inbraakbestendig fietsslot, een brug of toren van spaghetti, of een voertuig met muizenval- of ballonaandrijving.

De kenmerken van een ontwerppracticum komen sterk overeen met die van het onderzoekspracticum, maar dan natuurlijk aangevuld met het zelf bouwen van een te testen prototype (zie de *ontwerpcyclus* in paragraaf 7.4).

Leren van practicum

Leerlingen blijken vaak weinig te leren van het practicum als het gaat om begripsontwikkeling. Een begripspracticum is vaak minder succesvol, omdat de benodigde vaardigheden nog niet voldoende worden beheerst en/of het practicum een te gesloten karakter heeft. Daardoor zijn leerlingen tijdens het practicum teveel gericht op *doen* en te weinig op *denken*.

Verbetering is te verwachten als leraren bij de na te streven leerdoelen een onderscheid maken tussen de drie genoemde soorten leerlingenpracticum, en daarbij eventueel zelfs de hierboven gegeven volgorde hanteren. De in figuur 115 geschetste lespraktijk van een practicum rond de wet van Ohm geeft als voorbeeld een combinatie van een vaardigheids- en begripspracticum.

Lespraktijk

Eerst leren de leerlingen in een vaardigheidspracticum het correcte gebruik van een spanningsbron en van een multimeter om stroomsterkte en spanning te meten. Aan bod komen in ieder geval het aansluiten van de verschillende instrumenten, het goed instellen ervan en het juist aflezen. In een eerder stadium bij een ander onderwerp hebben de leerlingen geleerd een grafiek te tekenen van een recht evenredig verband.
Pas daarna doen de leerlingen een begripspracticum waarbij ze de spanning over en de stroomsterkte door een weerstand meten en deze metingen uitzetten in een grafiek. Van tevoren is de leerlingen gevraagd de vorm van de grafiek te voorspellen. Hetzelfde practicum wordt uitgevoerd met een gloeilampje. Ook nu hebben de leerlingen eerst een voorspelling gedaan. Bij het nabespreken legt de leraar de nadruk op verschillen tussen de voorspelling en de meetresultaten.

Figuur 115 – Voorbeeld van de combinatie van een vaardigheids- en begripspracticum rond de wet van Ohm.

Lespraktijk

Leerlingen hebben als huiswerk de practiculminstructie gelezen. In de klas staat een bekerglas heet water met daarin een aantal reageerbuisjes met kaarsvet. Het kaarsvet is gesmolten. Leerlingen nemen een reageerbuis en meten met vaste tussenpozen de temperatuur van het afkoelende kaarsvet. De resultaten worden uitgezet in een temperatuur-tijd-diagram. Na het opruimen bespreekt de leraar met de leerlingen het resultaat. Het begrip stolpunt wordt geïntroduceerd om de metingen beter te begrijpen.

Figuur 116 – Voorbeeld van de opbouw van een practicumles.

3.3.2 Opbouw practicumles

Een practicumles is op verschillende manieren vorm te geven. De in figuur 116 geschetste lespraktijk geeft een voorbeeld van een veel gebruikte opbouw.

De uit het voorbeeld afgeleide opbouw van een practicumles zoals weergegeven in figuur 117 heeft de volgende kenmerken:

- het practicum heeft de omvang van één les;
- van leerlingen wordt 20 minuten huiswerk gevraagd, zowel bij de voorbereiding als bij de afronding van het practicum;
- het begin en het einde van de les zijn klassikaal.

Huiswerk 20’	Voorbereiden practicum, bijvoorbeeld werkplan bestuderen of maken Bestuderen van de bijbehorende theorie	Oriënteren op de inhoud van en de werkwijze bij het practicum
Tijdsplanning	**Onderwijsactiviteiten van de leraar** **Leeractiviteiten van de leerling**	**Functie voor het leren**
5’ KW	Starten (leraar): • lesprogramma geven • huiswerk opgeven • beginsituatie peilen	Zicht geven op leerproces: • overzicht geven van lesonderdelen • leerdoelen benoemen • voorkennis ophalen

	• terugkijken op de behandelde leerstof en vooruitkijken naar het (in deze les uit te voeren) practicum	• bekende of nieuwe leerstof koppelen aan het practicum
5’ KW	Instrueren (leraar): • instructie over opstelling en onderzoeksvraag • instructie over werkwijze • instructie over verwerken	Oriënteren: • voorbeeld-opstelling • onderzoeksvraag
25’ ZW: D / G	Experimenteren (leerlingen): • spullen halen • proeven doen • (begin maken met) verwerken • spullen opruimen	Leerstof verwerven en verwerken: • onderzoeken (opstelling en verschijnsel) • denken (geordende waarnemingen)
10’ KW	Afronden (leraar en leerlingen): • samenvatten van de onderzoeksvraag en een kort antwoord daarop • terugblikken op het werken	Zicht geven op het leerproces
Huiswerk 20’	Verwerkingsvragen beantwoorden Verslag maken (eventueel)	Leerstof herhalen en verwerken

Figuur 117 – De mogelijke opbouw van een practicumles.

Practicuminstructie

De instructie die nodig is voor een practicum hangt af van de ervaring die leerlingen hebben met het doen van practicum: weten ze hoe ze spullen moeten ophalen en terugbrengen, kennen ze de regels in het practicumlokaal, kunnen ze handig en zuinig omgaan met de spullen?

In een practicuminstructie zijn de volgende drie aspecten te onderscheiden: *inhoud*, *materiaal* en *organisatie*.

Inhoud – Het is van belang dat leerlingen weten welk leerdoel het practicum heeft: waarover gaat het practicum, waarom is dat van belang om te doen, en op welke vraag gaat het practicum antwoord geven? Bij een vaardigheidspracticum hoort een vraag als “Hoe meet ik een stroomsterkte?” Bij een begripspracticum: “Hoe ziet een afbeelding met een bolle lens er uit?” En bij een onderzoekspracticum: “Waarvan hangt de doorbuiging van een lat af?”

Materiaal – Meestal is het goed om de spullen te laten zien die gebruikt gaan worden in het practicum. Dat zegt meer dan een lijst van benodigdheden. Soms is het nodig de kant-en-klare opstelling te laten zien, vooral als de opstelling ingewikkeld is. Soms is het nodig om voor te doen hoe je met de spullen omgaat. Daardoor kunnen de leerlingen sneller en gerichter aan de slag. Maar je kunt ook – om het verschijnsel *hands-on, minds-off* tegen te gaan – meer dan alleen de benodigde materialen klaarleggen of de leerlingen zelf laten bedenken welke materialen ze voor het uitvoeren van het practicum nodig zullen hebben.

Organisatie – Leerlingen moeten weten hoe en met wie er gewerkt wordt: waar komen de spullen vandaan, waar moeten ze weer worden opgeborgen, met hoeveel leerlingen wordt er samengewerkt, waar zitten de groepjes, wordt er een verslag gemaakt en door wie?

Practicum begeleiden

Bij het begeleiden van practicum gaat het in grote lijnen om eerst iedereen aan het werk zetten, dan waar nodig hulp verlenen en af en toe bewust controleren of alles nog goed gaat – met daarbij de volgende aandachtspunten.

- Als je na de practicuminstructie even aan de kant van de klas gaat staan, op een punt waar je de klas kunt overzien, dan kun je controleren of iedere groep aan het werk gaat. Als veel groepen problemen hebben, kun je nog even klassikaal verduidelijken.
- Voor het goed slagen van een practicum is meestal een actieve begeleiding nodig: groepen langs lopen, kijken wat ze doen, vragen stellen, en hulp bieden. Zorg ervoor dat je niet te lang bij één groep blijft hangen, maar probeer overal te komen. Kijk tijdens het helpen van een groep regelmatig even op om de klas te overzien. Ga zo staan dat dat kan.

- Als je een groep hebt geholpen, ren dan niet meteen naar de volgende groep, maar overzie eerst de klas en maak je keuze welke groep jouw hulp het meeste nodig heeft. Zorg ervoor dat de andere groepen vast verder gaan met hun werk.
- Onderbreek het groepswerk zo min mogelijk door klassikaal ingrijpen. Iedere keer dat je dat doet, stoor je de groepen in hun werk. Bovendien is het erg moeilijk de aandacht te trekken van de leerlingen als ze materiaal op hun bank hebben. Soms is echter klassikaal ingrijpen nodig, bijvoorbeeld bij ordeverstoringen of bij een tussenbespreking. Vraag leerlingen het materiaal neer te leggen met de belofte dat ze straks verder mogen werken.
- Als je leerlingen die naar je toe lopen helpt, staat er al snel een hele groep om je heen. Loop liever met een leerling terug naar zijn plaats en help hem daar.
- Als je belooft "Ik kom eraan" en je doet het niet, wachten de leerlingen voor niets. Zie je aankomen dat je voorlopig toch geen tijd voor die groep hebt, zeg dan liever: "Probeer het zelf uit te vinden" of "Ga maar vast verder met de volgende opdracht."
- Als teveel leerlingen bij andere groepen gaan kijken, komt er van hun eigen werk vaak minder terecht. Verwijs eventueel naar de uitwisseling of de roulatie.
- Vermijd dat jij antwoord geeft op alle vragen. Probeer vragen van leerlingen om te buigen tot vragen waar ze zelf het antwoord op kunnen vinden door onderzoek te doen met het aanwezige materiaal. Dat is 'activerend begeleiden'.
- Observeer wat leerlingen doen. Maak zo nodig notities. Hoe lossen ze problemen op? Doen ze bijzondere vindingen? Deze gegevens kun je gebruiken voor de nabespreking.
- Kondig het einde van het practicum een tijdje van te voren aan. Als je abrupt stopt, is het voor de leerlingen die lekker aan het werk waren erg moeilijk ineens het materiaal neer te leggen.
- Zorg voor het tijdig geven van extra opdrachten aan de snelle leerlingen.
- Sluit het practicum af met een nabespreking. Is het antwoord op de onderzoeksvraag gevonden? Wat hebben we geleerd?

Organisatievormen

Er zijn verschillende manieren om een practicum te organiseren: het *parallelpracticum*, *stationspracticum*, *keuzepracticum* en *veldwerk*.

Parallelpracticum – Het parallelpracticum is de meest voorkomende vorm van practicum: alle leerlingen doen tegelijk hetzelfde experiment. Het is overzichtelijk, eenvoudig te organiseren en gemakkelijk te beoordelen – maar vereist wel veel practicummateriaal.

Stationspracticum – Het stationspracticum (ook wel *cirkel-* of *carrouselpracticum* genoemd) is wat moeilijker te organiseren. In de klas staan daarbij opstellingen van verschillende (korte) experimenten die de leerlingen na elkaar doen. Het voordeel is dat je dan van elk experiment maar een of twee opstellingen nodig hebt. Sommige scholen eisen dat de leerlingen in een bepaalde periode zo'n practicumreeks afronden. Soms staan die experimenten in het kabinet of in een apart lokaal, en moeten de leerlingen het practicum buiten de les doen.

Keuzepracticum – Bij meer uitgebreide experimenten kunnen de leerlingen een keuze maken uit de verschillende beschikbare opstellingen.

Veldwerk – Bij dit soort practicum doen de leerlingen buitenexperimenten, zoals het vergelijken van de remkracht van verschillende soorten fietsremmen, meten van het energieverbruik van huishoudelijke apparaten, en meten van weergrootheden als temperatuur, luchtdruk en windsnelheid. Dit veldwerk kan ook in de vorm van huiswerkpracticum worden gedaan.

3.3.3 Practicumwerkbladen

Bij een practicum is het werkblad voor leerlingen een belangrijk houvast. Via het werkblad probeert de leraar ook het leren te sturen. Vanwege de beperkte tijd die per leerling of per groep beschikbaar is tijdens de begeleiding, is het van groot belang dat het werkblad doet waarvoor het ontworpen is: de leerling helpen het maximale leerrendement uit een practicum te halen.

Voor het ontwerpen van practicumwerkbladen geldt een aantal algemene aandachtspunten, zoals weergegeven in figuur 118. Die criteria zijn natuurlijk ook te gebruiken voor het beoordelen van bestaande practicumwerkbladen.

Onderdeel	Criteria
Inhoud	• Uitvoerbaar, natuurkundig juist en logisch in verband met leerstof. • Zinnige natuurkunde wat betreft leerstof en onderzoeksactiviteiten. • Informatief, maar niet alles voorkauwend (stimulerend). • Aansluitend bij de belevingswereld van leerlingen (motiverend) en de doelgroep. • Effectief wat betreft tijdsbesteding en leereffect.
Indeling	• Pakkende titel, een prikkelende inleiding (bijvoorbeeld met praktijktoepassingen) en een duidelijke onderzoeksvraag. • Opdrachtendeel en verwerkingsdeel met toepassingen. • Puntsgewijze instructie, en niet teveel tegelijk in één opdracht.
Karakter	• Passend in een leerlijn vaardigheidsontwikkeling: van gemakkelijk naar moeilijk, van oriënterend naar gedetailleerd en van gesloten naar meer open.
Afwisseling	• Passend in een leerlijn vaardigheidsontwikkeling: afwisseling wat betreft de te onderzoeken verschijnselen, de soort onderzoeksactiviteiten, de manier van verslag geven en de samenwerking.
Materiaal	• Simpel, degelijk, goedkoop, veilig… en met veel onderzoeksmogelijkheden.
Organisatie	• Handige manier van klaarzetten, uitvoeren en opruimen.
Tekst en taal	• Kort en bondig, duidelijk en eenduidig, eenvoudige zinsbouw en simpele formulering (taalgebruik op het niveau van de leerlingen). • Correct Nederlands: spelling, zinsbouw/stijl, interpunctie. • Geen onnodig lange of korte zinnen, geen onnodig abstracte begrippen en moeilijke woorden.
Omvang	• Werk voor ‘redelijke’ tijd: niet te kort of te lang, passend in de les. • Evenwicht tussen tijd voor onderzoek en voor verwerking of verslag.
Lay-out	• Verzorgd, overzichtelijk en aantrekkelijk, een rustige bladspiegel (lettertype, regelafstand), een rustige vormgeving (niet te druk en bont), een uniforme stijl (consistent en consequent) en invulruimtes die groot genoeg zijn. • Duidelijke indeling met onderscheid tussen opgaven. • Visualisering (grafieken, tabellen en tekeningen in plaats van tekst), duidelijke koppeling tussen tekst en plaatjes of kaders.

Figuur 118 – Aandachtspunten bij het ontwerpen van practicumwerkbladen.

Leerproces sturen

Een practicumwerkblad stuurt het leerproces van de leerling. Dat vraagt om duidelijke keuzes van de ontwerper van het werkblad.

- Past de leerling in het practicum bekende theorie toe of moet de leerling door het practicum nieuwe verschijnselen ontdekken?
- Is een precies handelingsvoorschrift nodig zoals in een kookboek, of kun je volstaan met het aangeven van het onderzoeksdoel waarbij de leerling zelf de handelingen bedenkt?
- Kun je naar leerlingen toe duidelijk zijn zonder alles voor te kauwen?

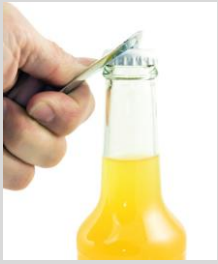
Hieronder staan twee werkbladen over evenwicht bij hefbomen, beide met een opdrachtenblad en een verslagblad. Ze laten een duidelijk verschil in sturing van het leerproces zien.

Het werkblad van figuur 119 over *Evenwicht bij hefbomen* voor 2 havo/vwo heeft duidelijke instructies. Voor de leerlingen is er echter weinig ruimte om zelf te experimenteren. De hefboomregel wordt al vooraf meegedeeld.

Het werkblad van figuur 120 over *Hefboom in evenwicht* voor dezelfde doelgroep heeft een duidelijke opbouw. De opdrachten zijn zo dat de leerling zelf veel kan uitproberen. De hefboomregel kan, uitgaande van de door de leerlingen in het practicum gevonden regels, in de nabespreking aan de orde komen.

Practicumwerkblad
Evenwicht bij hefbomen
Opdrachtenblad

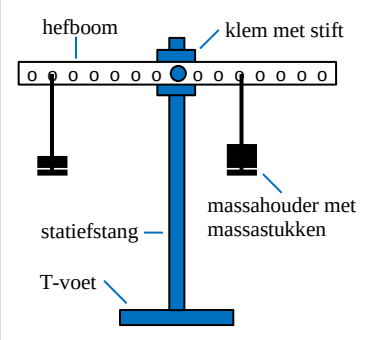
Met een hefboom kun je een grote kracht uitoefenen. Bij hefbomen kun je denken aan een klauwhamer, flesopener, fietstrapper, moersleutel, arm, been, enzovoort. Hefbomen kunnen in evenwicht zijn of worden gebracht. Denk bijvoorbeeld maar aan een wip in de speeltuin en het verrijden van een handkar of kruiwagen.
Waar je dan vanuit moet gaan, zullen we in dit practicum onderzoeken.



Benodigdheden

- statiefstang (lengte 50 cm) met T-voet en klem met stift
- hefboom (met verdeling 2,5 cm)
- twee massahouders van 10 g
- zes massastukken van 10 g
- tien massastukken van 50 g
- liniaal (lengte 30 cm)

LET OP
- Een massahouder heeft zelf een massa van 10 g. Deze massa dus steeds bij die van de massa-stukken optellen.



Controleer de aanwezigheid van alle benodigdheden. Als je iets mist of iets niet in orde is, dan moet je dit melden aan je leraar of lerares.

Opbouw

1 Zet de T-voet op tafel en klem de statiefstang erin vast.
Maak de klem met stift op de statiefstang vast op ongeveer 3 cm van de bovenkant van de statiefstang.
Schuif de hefboom op de stift.

2 De keuze van de te gebruiken massastukken staat bij de uitvoering hieronder. Deze massastukken kun je, van boven naar beneden, om de stang van de massahouder laten glijden.

Uitvoering

3 Hang drie massastukken van elk 10 g om één massahouder. De totale massa hiervan is nu 10 (houder) + 30 = 40 g.

4 Hang twee massastukken van elk 10 g en één massastuk van 50 g om de andere massahouder. De totale massa hiervan is nu 10 (houder) + 20 + 50 = 80 g.

5 Hang op 20 cm links van het draaipunt de massa van 40 g. Hou daarbij de hefboom met één hand horizontaal.
Daar werkt dan een kracht van 40 x 0,001 x 10 = 0,40 N. Het moment van die kracht is kracht x arm = 0,40 N x 20 cm = 8,0 Ncm linksdraaiend.

6 Hang op 10 cm rechts van het draaipunt de massa van 80 g. Hou de hefboom nog steeds met één hand horizontaal.
Daar werkt dan een kracht van 80 x 0,001 x 10 = 0,80 N. Het moment van die kracht is kracht x arm 0,80 N x 10 cm = 8,0 Ncm rechtsdraaiend.

7 Laat de hefboom, los… en je merkt dat de hefboom uit zichzelf weer horizontaal in evenwicht is.

8 Kijk naar de tabel op het verslagblad. Je ziet dat de eerste rij is ingevuld met wat je zojuist hebt gedaan.
Zorg ook voor evenwicht in de andere gevallen (de volgende rijen in de tabel). Kijk wel goed wat er gegeven is, en wees voorzichtig!
Vul de tabel geheel in door ook de massa om te rekenen naar kg, de kracht uit te rekenen in N en het moment uit te rekenen in Ncm.

9 Vul de conclusie in op het verslagblad en lever dit in.

10 Hefbomen kunnen ook schematisch worden weergegeven. Op bladzijde 149 in je boek staat een voorbeeld.
Maak als oefening opgave 2 en 3 van bladzijde 150 in je boek. Als je hiervoor in de les geen tijd meer hebt, doe dit dan thuis.

Practicumwerkblad
Evenwicht bij hefbomen
Verslagblad

Namen

……

Nu kun je

- Massa in g omrekenen naar massa in kg.
- Massa in kg omrekenen naar kracht in N.
- Bij een hefboom het moment bepalen bij gegeven kracht en arm.
- Een hefboom, als bij het practicum, in evenwicht brengen.
- Berekenen of het rechtsdraaiend moment bij evenwicht gelijk is aan het linksdraaiend moment.

Tabel

linkerkant hefboom				rechterkant hefboom			
massa g	kracht N	arm cm	moment Ncm	massa g	kracht N	arm cm	moment Ncm
40	0,40	20	8,0	80	0,80	10	8,0
40		15		30			
90		20		80			
140		7,5		60			
240		2,5		30			

Conclusie

Als een hefboom in gebruik is werken er …… op.
Bij elk evenwicht is het linksdraaiend moment …… het rechtsdraaiend moment.

Figuur 119 – Practicumwerkblad *Evenwicht bij hefbomen*.

Practicumwerkblad
Hefboom in evenwicht
Opdrachtenblad

Een spoorboom en een hijskraan zijn in evenwicht. Toch zijn links en rechts de massa's niet gelijk. Om te weten te komen hoe dat zit, doe je in dit experiment onderzoek aan een hefboom.

Een hefboom is een latje met in het midden een as die in een statief is geklemd. In het latje zitten gaatjes om er massa's aan op te hangen.

Onderzoeksvraag

Welke regel geldt er voor een hefboom in evenwicht?

Uitvoering

1 Links één massahouder met massastukken en rechts één massahouder met massastukken.
- Hang links op de zesde positie een massahouder met één massastuk (samen 100 g).
- Om de hefboom in evenwicht te krijgen moet je rechts ook een massahouder ophangen.

a Onderzoek op welke posities dat lukt en hoeveel massa's je dan nodig hebt. Noteer het resultaat in de tabel op het verslagblad.

b Formuleer een regel als geldt dat de hefboom in evenwicht is.

2 Links één massahouder met massastukken en rechts twee massahouders met massastukken.
- Hang links een massahouder. Kies zelf een positie en het aantal massastukken.
- Om de hefboom in evenwicht te krijgen, hang je rechts op verschillende posities twee massahouders met massastukken.

a Onderzoek wanneer de hefboom in evenwicht is. Noteer je resultaten in de tabel op het verslagblad.

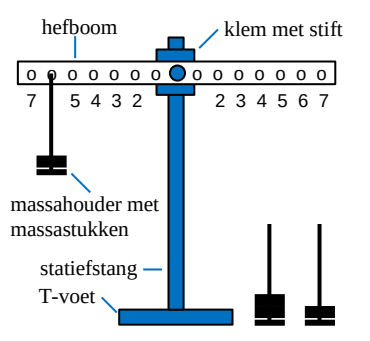
b Formuleer een regel die geldt als de hefboom in evenwicht is. Is die regel anders dan bij 1b?

Benodigdheden

- statiefstang met T-voet en klem met stift
- hefboom met gaatjes
- drie massahouders met massastukken

Opstelling

- Schuif de hefboom op de stift van de klem aan het statief.



- Ieder massastuk is 50 g.
- De massahouder is ook 50 g
- De gaatjes in de hefboom zijn genummerd vanaf de as. Dat nummer is de positie van de massahouder.

Practicumwerkblad
Hefboom in evenwicht
Verslagblad

Namen

……

Opdracht 1

a

links		rechts	
aantal massa's	positienummer	aantal massa's	positienummer
2	6	2	
2	6	3	
2	6	4	
2	6	6	

b ……..
……..
……..

Opdracht 2

a

links		rechts			
aantal massa's	positie-nummer	aantal massa's	positie-nummer	aantal massa's	positie-nummer

b ……..
……..
……..

Nu kun je

- De regel voor hefbomen in evenwicht uitleggen en toepassen op een eenvoudige hefboom.

Figuur 120 – Practicumwerkblad *Hefboom in evenwicht*.

Soorten opdrachten

Bij het leren van natuurkundige begrippen via practicum is de aandacht van de leerlingen vooral gericht op het materiaal waarmee de proef gedaan wordt en de directe waarnemingen en metingen daaraan. Maar voor het leren van begrippen moet de aandacht meestal gericht worden op de vastgelegde waarnemingen en metingen. Door het onderscheiden van voorspel-, doe-, waarneem- en denkopdrachten wordt rekening gehouden met deze noodzakelijke wisseling van aandacht.

Voorspellen – Een voorspelopdracht vraagt van de leerling om zijn verwachting vast te leggen. Het resultaat van het experiment zegt hem of haar daardoor meer.

Doen – Een doe-opdracht vraagt de leerling om een handeling uit te voeren met materialen en/of apparatuur.

Waarnemen – Een waarneemopdracht vraagt de leerling om waarnemingen en metingen te doen en deze weer te geven in een geschikte verslagvorm.

Denken – Een denkopdracht vraagt de leerling om de geordende waarnemingen en metingen nader te overdenken. De waarneemopdracht vormt daarmee de schakel tussen de doe-opdracht waarin de practicumspullen centraal staan en de denkopdracht waarin het gaat om de vastgelegde waarnemingen en metingen.

Het onderscheid in voorspel-, doe-, waarneem- en denkopdrachten maakt voor de leerlingen duidelijk welke aandacht gevraagd wordt, en dat practicum doen niet alleen het uitvoeren van handelingen is met het verstand op nul.

Opdrachtenblad

Het opdrachtenblad heeft de volgende onderdelen:

- titel met illustratie;
- korte inleiding, zo mogelijk in context;
- onderzoeksvraag;
- tekening van de opstelling met een lijst van benodigdheden;
- voorspel-, doe-, waarneem- en denkopdrachten, bijvoorbeeld onderscheiden door iconen.

Figuur 121 – Aandachtspunten bij het ontwerpen van een opdrachtenblad.

Verslagblad

Het verslagblad heeft de volgende kenmerken:

- voldoende ruimte voor verslaggeving van de waarneem- en denkopdrachten;
- stimuleert de leerlingen tot het opschrijven van zinnen in plaats van kale gegevens of losse kreten;
- geeft zoveel structuur dat de leerlingen geholpen worden bij het verkrijgen van een geschikt object voor de denkopdrachten;
- geeft zo weinig structuur dat de leerlingen met hun eigen woorden en op hun eigen wijze verslag kunnen doen van hun bevindingen, overwegingen en conclusies;
- sluit af met een doelformulering van het practicum.

Figuur 122 – Aandachtspunten bij het ontwerpen van een verslagblad.

Opdrachtenblad en verslagblad

Een goede verslagvorm voor waarnemingen en metingen is noodzakelijk om begripsvorming door middel van denkopdrachten mogelijk te maken. Een verslagblad is daarvoor een geschikte manier. Bovendien worden op het verslagblad de antwoorden op de denkopdrachten geformuleerd.

De voorkeur gaat uit naar een afzonderlijk opdrachtenblad en verslagblad boven een werkblad waarin het opdrachten- en verslagblad zijn geïntegreerd. De redenen hiervoor zijn dat een verslagblad compacter is dan een werkblad, en dat bij eenzelfde opdrachtenblad verschillende verslagbladen gemaakt kunnen worden die verschillen in hoeveelheid structuur (van geheel bij het handje houden tot het schrijven van een eigen verslag). Daarnaast is een verslagblad (evenals een werkblad) een prima instrument om zicht te houden op het werk van de leerlingen en gedurende het practicum feedback te kunnen geven.

Aandachtspunten bij het ontwerpen van een opdrachtenblad en een verslagblad staan in figuur 121 en 122. Daarnaast moet bij het ontwerpen van opdrachten- en verslagbladen rekening worden gehouden met het soort practicum: een vaardigheids-, begrips- of onderzoekspracticum.

Vaardigheidspracticum

In figuur 123 is als voorbeeld het opdrachten- en verslagblad van een vaardigheidspracticum weergegeven, in dit geval over het meten van het energieverbruik van een elektrisch apparaat met een kWh-meter. Op dat opdrachtenblad zijn de voorspel-, doe-, waarneem- en denkopdrachten onderscheiden door iconen.

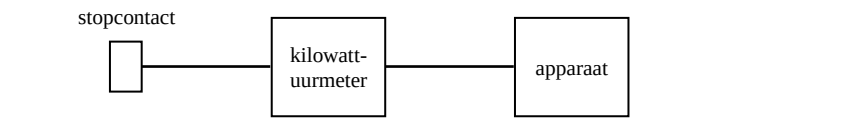
Practicumwerkblad
Vermogen van een elektrisch apparaat meten
Opdrachtenblad

Apparaten zoals een elektrische kachel of wasmachine verbruiken veel elektrische energie. Maar de hoeveelheid hangt af van het soort apparaat. In dit experiment ga je met een kWh-meter meten hoeveel elektrische energie een elektrisch apparaat verbruikt.

Onderzoeksvraag

Hoe meet je het energieverbruik van een elektrisch apparaat?

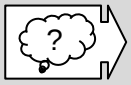
Opstelling en werkwijze



Je sluit een apparaat aan op de kWh-meter. Daarna steek je de steker van de kWh-meter in het stopcontact. Het energieverbruik van het apparaat lees je af op de kWh-meter.

Benodigdheden

- kilowattuurmeter (kWh-meter)
- apparaten, zoals een kacheltje, een gloeilamp en een spaarlamp
- tijdmeter (stopwatch, horloge of telefoon)

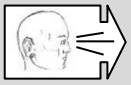


Voorspelling

1 Zet de apparaten op een volgorde van laag naar hoog energiegebruik.

Onderzoek

2 Sluit een apparaat aan op de kWh-meter en steek de steker van de KWh-meter in het stopcontact. Meet de tijd die nodig is voor vijf rondjes.

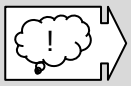


3 Op de kWh-meter staat het aantal rondjes dat overeenkomt met 1 kWh. Bereken het energieverbruik (in kWh) bij vijf rondjes. Noteer je resultaten in de tabel op het verslagblad.

4 Bereken het elektrisch vermogen van het apparaat.

5 Op het apparaat zit een plaatje met informatie. Kijk daarop hoe groot het vermogen van het apparaat is, en noteer dat in de tabel. Klopt dit met je meting?

6 Doe opdracht 2 tot en met 5 voor minstens nog drie apparaten, waaronder in elk geval een gloeilamp en een spaarlamp.



Inzicht

7 Klopt je voorspelling van de volgorde van het energieverbruik?

8 Klopt je meting van het vermogen met het getal op het plaatje?

9 Wat is het verschil in energieverbruik tussen gloeilampen en spaarlampen?

10 Geef antwoord op de onderzoeksvraag.

Practicumwerkblad
Vermogen van een elektrisch apparaat meten
Verslagblad

Namen

……

Voorspelling

1 Apparaten in volgorde van laag naar hoog energiegebruik: ……
……..

Onderzoeksresultaten

Op de kWh-meter staat: 1 kWh = …… rondjes.

Apparaat	Tijd voor vijf rondjes (s)	Energie-verbruik (kWh)	Berekende vermogen (W)	Vermogen op informatie-plaatje

Inzicht

7 De volgorde die we bedacht hadden klopt wel / niet met de metingen. Het verschil is dat ……

8 De metingen van het vermogen kloppen wel / ongeveer / niet met wat er op het plaatje staat. Als er een verschil is komt dat volgens ons door ……...
……..

9 Het verschil in energieverbruik tussen een gloeilamp en een spaarlamp is ……
……..

10 Het energieverbruik van een elektrisch apparaat meet je als volgt: ……
……..

Je kunt nu

- Het verbruik van een elektrisch apparaat meten met een kWh-meter.

Figuur 123 – Opdrachten- en verslagblad voor het vaardigheidspracticum *Vermogen van een elektrisch apparaat meten*.

In paragraaf 2.3.3 is een fasering voor het aanleren van een vaardigheid gegeven: oriënteren, voordoen, nadoen en zelf doen. De rol die het opdrachtenblad daarin speelt is weergegeven in de in figuur 124 geschetste lespraktijk.

Lespraktijk

Oriënteren – De leraar laat de opstelling zien waarmee je het energieverbruik van een apparaat kunt meten. Hij vertelt dat een overeenkomstige meter aanwezig is in de meeste huizen. Met die meter kan bepaald worden hoeveel ieder huishouden voor het verbruik van elektrische energie moet betalen.

Voordoen – De leraar doet voor hoe je met de energiemeter het verbruik kunt meten: hij sluit een apparaat aan op de kWh-meter die in het stopcontact zit, hij meet de tijdsduur van vijf rondjes, hij leest de energie per rondje af op de meter, hij berekent het energie-verbruik in kWh en het vermogen in W, hij leest op het typeplaatje af wat het vermogen van het apparaat is, hij vergelijkt beide waarden, en hij noteert tijdens het meten de gevonden waarden in de tabel.

Nadoen – Met behulp van het opdrachtenblad voert de leerling metingen uit met andere apparaten.

Zelf doen – De leerling gebruikt deze vaardigheid bij nieuwe experimenten.

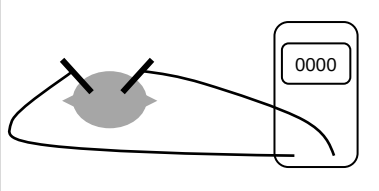
Figuur 124 – De fasering bij een vaardigheidspracticum, met een rol voor het opdrachten-blad in de derde fase (nadoen).

Begripspracticum

In figuur 125 is als voorbeeld het opdrachten- en verslagblad van een begrips-practicum weergegeven, in dit geval over het maken van een spanningsbron met een citroen.

Practicumwerkblad
Fruit als spanningsbron
Opdrachtenblad

Met een stuk fruit – bijvoorbeeld een citroen – en wat stukjes metaal kun je een spanningsbron maken.



Benodigdheden

- citroenen
- aluminiumfolie
- koperen munt
- twee snoeren
- twee krokodillenklemmen
- spanningsmeter

Onderzoeksvraag

Hoe maak je met citroenen een spanningsbron? Kun je daar een lampje op laten branden?

Opstelling en werkwijze

Snij voorzichtig twee gleufjes in de citroen. Stop in de ene gleuf een koperen munt en in de andere een stukje aluminiumfolie. Zorg ervoor dat een flink stuk aluminiumfolie buiten de citroen uitsteekt. De spanningsbron is nu klaar!

Voorspelling

1 De citroenbatterij is een spanningsbron. Denk je dat daar een lampje op kan branden?

Onderzoek

2 Sluit de stroomkring door de folie en munt tegen je tong te houden. Wat neem je waar?
3 Neem een spanningsmeter en verbind deze met behulp van krokodillenbekjes met de beide polen van de citroenbatterij. Meet de spanning.
4 Probeer of je een lampje kunt laten branden op een citroenbatterij.
5 Wat zou je kunnen veranderen om wel een lampje te laten branden? Probeer het uit.

Inzicht

6 Welke onderdelen heeft de stroomkring als je de citroenbatterij tegen je tong houdt?
7 Brandt een lampje beter op een citroenbatterij van twee citroenen achter elkaar of op een citroenbatterij van twee citroenen naast elkaar?

Practicumwerkblad
Fruit als spanningsbron
Verslagblad

Namen

……

Voorspelling

1 Ik denk dat een lampje wel / niet op de citroenbatterij kan branden, want …….
……..
……..

Onderzoeksresultaten

Als ik de citroenbatterij tegen mijn tong hou, voel ik …….
……..
De spanning van de citroenbatterij is ……V.

Verandering	Spanning (in V)	Lampje brandt wel/niet

Inzicht

6 Als je tong tintelt, is er een stroomkring bestaande uit: …….
…….
…….

7 De lamp brandt wel / niet beter op een citroenbatterij van twee citroenen achter elkaar dan op een citroenbatterij van twee citroenen naast elkaar, want: ……...
…….
…….

Je kunt nu

- Uitleggen hoe je een citroen-batterij maakt.

Figuur 125 – Opdrachten- en verslagblad voor het begripspracticum *Fruit als spannings-bron*.

Een begripspracticum heeft als doel kennis te maken met een nieuw verschijnsel of meer te leren over een bekend verschijnsel. Het practicum biedt daarmee een ervaringsbasis voor begripsleren: een concrete ervaring die geabstraheerd kan worden tot begrippen.

Het begripspracticum gaat over een verschijnsel dat de leerlingen nog niet of nog onvolledig kennen. De inleiding en de onderzoeksvraag geven aan wat er geleerd gaat worden. Een voorspelling laat de leerlingen nadenken over wat er zou kunnen gebeuren. Door hun voorspelling vast te leggen, is er grotere betrokkenheid bij het resultaat. De opdrachten van een begripspracticum hebben vaak in het eerste deel een kookboekachtig karakter. Door het precies uitvoeren van de opdrachten kan het verschijnsel goed worden waargenomen. Voor begripsvorming is wezenlijk dat de waarnemingen goed worden vastgelegd. Door na te denken over de vastgelegde waarnemingen kan inzicht ontstaan. Bij de citroenbatterij is de waarneming: de citroenbatterij bestaat uit koper, citroen en aluminium. Het in de nabespreking te verwerven begrip is dat een batterij uit twee verschillende onedele metalen en een zure vloeistof bestaat.

Onderzoekspracticum

In figuur 126 is als voorbeeld het opdrachten- en verslagblad van een onderzoekspracticum weergegeven, in dit geval over de spanningzoeker.

Practicumwerkblad
Spanningzoeker
Opdrachtenblad

Benodigdheden

- spanningzoeker
- eventueel een tweede spanningzoeker

Met een spanningzoeker kun je testen of er spanning staat op een stopcontact. Maar de ene keer brandt het lampje in de spanningzoeker veel feller dan de andere keer.

Onderzoeksvraag

Hoe kun je de felheid waarmee het lampje in de spanningzoeker brandt beïnvloeden?

Opstelling en werkwijze

Met een spanningzoeker kun je nagaan welke opening van het stopcontact onder spanning staat. Je houdt je vinger tegen de achterkant van de spanningzoeker en steekt de spanningzoeker in het stopcontact. Als het lampje gaat branden, is dit de spanningskant.
Het lampje in de spanningzoeker brandt omdat er een stroomkring is met een kleine stroom die door je lichaam gaat.

Voorspelling

1 Bedenk hoe je de felheid waarmee het lampje van de spanningzoeker brandt zou kunnen beïnvloeden.

Onderzoek

2 Bedenk hoe je het lampje feller of minder fel kunt laten branden. Zet dit in het verslagblad onder veranderingen in de stroomkring.
3 Probeer deze veranderingen uit en zet het resultaat in de tabel.
4 Heb je nog meer ideeën? Voer ze uit, en zet het resultaat in de tabel.

Inzicht

5 Geef aan welke onderdelen in de stroomkring zitten als het lampje brandt.
6 Leg uit wanneer het lampje minder fel brandt.
7 Leg uit wanneer het lampje feller brandt.

Practicumwerkblad
Spanningzoeker
Verslagblad

Namen

……

Voorspelling

1 Het lampje gaat feller branden als ik ……...
……..
……..

Je kunt nu

- Uitleggen hoe je de stroomkring bij een spanningzoeker kunt beïnvloeden.

Onderzoeksresultaten

Verandering in de stroomkring	Voorspelling	Resultaat	Opmerkingen

Inzicht

5 In een stroomkring met de spanningzoeker zitten de volgende onderdelen: ……..
……..
……..

6 Het lampje brandt minder fel als ……
……..

7 Het lampje brandt feller als ……
……..

Figuur 126 – Opdrachten- en verslagblad voor het onderzoekspracticum *Spanningzoeker*.

In het werkblad van figuur 126 is ruimte voor leerlingen om zelf uit te zoeken hoe je het lampje van de spanningzoeker wel/niet en harder/zachter kunt laten branden. Ze hoeven geen werkplan te maken, want dat zit al in het werkblad ingebouwd. Er is er veel te onderzoeken, want er zijn veel variabelen die invloed hebben op het verschijnsel.

In een onderzoekspracticum gaat een leerling een verschijnsel onderzoeken, volgens een zelf opgesteld werkplan. Er is veel inbreng van de leerling bij het formuleren van de vraag, het maken van een opstelling, het controleren van de variabelen en het kiezen van de verslagvorm. Eerlijk onderzoeken door variabelen te controleren is van belang. Meestal wordt het werkplan eerst goedgekeurd door de leraar.

Het leren onderzoeken door de leerling door middel van onderzoekspractica wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 7 over vaardigheidsontwikkeling. Daar staan meer voorbeelden van onderzoekspractica en wordt ingegaan op een mogelijke leerlijn voor onderzoeken.

Ontwerppracticum

In figuur 127 is als voorbeeld het opdrachten- en verslagblad van een ontwerppracticum weergegeven, in dit geval over het bouwen van een brug. Als ‘extra’ zit er in dit practicum een wedstrijdelement ingebouwd. Daarmee is dit ontwerppracticum ook een voorbeeld van *gamification* (zie paragraaf 4.2.1).

Practicumwerkblad
Bruggen bouwen
Opdrachtenblad

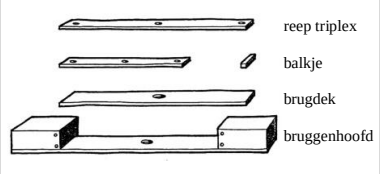
Benodigdheden

- triplex brugdek van 50 x 10 cm
- drie balkjes van 1 x 1 x 11 cm
- vier smalle repen triplex van twee verschillende lengtes
- twee bruggenhoofden, met elkaar verbonden door de ‘bodem’ van het water
- touw
- fotokarton
- afgezaagde spijkertjes die in de voorgeboorde gaten passen

Welke groep bouwt de sterkste brug? Het wordt een eerlijke wedstrijd. Dus werkt elke groep met dezelfde materialen. En krijgen alle bruggen dezelfde lengte en breedte. Hiernaast zie je welke materialen je krijgt. Met deze materialen kun je verschillende soorten bruggen bouwen, zoals de bruggen van figuur 2: een plaatbrug, tuibrug, hangbrug of vakwerkbrug.
De winnende groep is de groep die de brug zo sterk en zo licht mogelijk heeft gemaakt. Een voorbeeld: een brug van 150 g die hoogstens 30 kg kan houden wint het van een brug van 200 g die 38 kg kan houden. Want: naar verhouding kan de eerste brug meer houden. Dat zie je aan de *brugverhouding*:

$$brugverhouding = \frac{maximale\ belasting}{eigen\ gewicht}$$

Voor de eerste brug is die brugverhouding 30/0,150 = 200. En voor de tweede brug: 38/0,200 = 190. De eerste brug heeft dus een grotere brugverhouding… en wint de wedstrijd.



Figuur 1 – Materialen voor de bruggenbouwwedstrijd.

Figuur 2 – Vanaf linksboven met de klok mee: plaatbrug, tuibrug, hangbrug en vakwerkbrug.

Ontwerpvraag

Hoe bouw je een zo sterk mogelijke brug met zo weinig mogelijk materiaal?

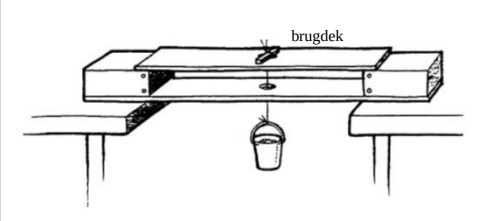
Brug ontwerpen, bouwen en testen

1 Maak een nauwkeurige tekening van de brug die je gaat maken. Zet erbij welke onderdelen je nodig hebt.

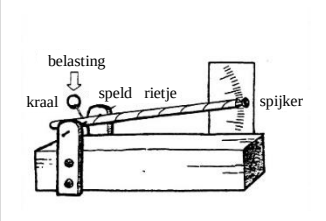
2 Zoek de spullen bij elkaar, en bouw de brug die je hebt getekend. Misschien is het nodig om tijdens het bouwen veranderingen aan te brengen. Maak daarvan dan aantekeningen: schrijf op of teken wat je verandert, en waarom je dat doet.

3 Het is de vraag of je brug nu al sterk genoeg is. Er zijn misschien verbeteringen mogelijk. Daarom moet je de zwakke plekken van je brug te weten komen. Belast daarvoor je brug op de manier van figuur 3. Maak de belasting niet te groot: de brug moet heel blijven.
Kijk goed wat er bij het belasten gebeurt en waar de zwakke plekken van de brug zitten.

4 Bedenk verbeteringen van je brug. Met de doorbuigingsmeter van figuur 4 kun je controleren of je verandering de brug ook echt sterker maakt. Hoe kleiner de doorbuiging bij een bepaalde belasting is, des te sterker is de brug. Een verandering die de doorbuiging kleiner maakt betekent dus een sterkere brug. Maar let op: meestal maakt een verbetering van de sterkte de brug ook zwaarder. Bedenk dus steeds of een verbetering van de sterkte ook een verbetering van de *brugverhouding* is.
Maak aantekeningen van de verbeteringen die je bedacht en uitgeprobeerd hebt. En schrijf erbij wat het resultaat van die verbeteringen is.



Figuur 3 – De brug belasten.



Figuur 4 – Doorbuigingsmeter.

Bruggen vergelijken

5 De brug mag niet kapot gaan. Om verschillende bruggen te vergelijken wordt de doorbuigingsmeter gebruikt. Van alle bruggen wordt gemeten bij welke belasting de brug een vastgestelde doorbuiging krijgt. Die belasting wordt in de brugverhouding ingevuld. En dan volgt de uitslag…

Practicumwerkblad
Bruggen bouwen
Verslagblad

Namen

……

Brug ontwerpen, bouwen en testen

1 Ontwerp

2 Veranderingen in het ontwerp

3 Zwakke plekken in het ontwerp

4 Verbeteringen in het ontwerp

Bruggen vergelijken

5 Belasting voor vastgestelde doorbuiging: ……
Eigen gewicht van de brug: ……
Brugverhouding van onze brug: ……

Figuur 127 – Opdrachten- en verslagblad voor het ontwerppracticum *Bruggen bouwen*.

In het werkblad van figuur 127 is ruimte voor leerlingen om zelf uit te zoeken hoe ze een naar hun idee zo sterk mogelijke brug bouwen. Ze hoeven geen werkplan te maken, want dat zit al in het werkblad ingebouwd. Een voorwaarde is wel dat de leerlingen in de voorafgaande lessen kennis hebben gemaakt met de verschillende brugvormen, zoals de plaat-, tui-, hang- en vakwerkbrug. En dat ze weten hoe je constructies kunt verstevigen, bijvoorbeeld door het opdelen van vierkante vormen in driehoeken en door de vorm van het profiel van balken.

Bij dit ontwerppracticum is het uitgangspunt dat de gebouwde bruggen bij het belasten niet kapot gaan, zodat het materiaal ook voor een volgend ontwerppracticum (in een andere klas en/of een volgend cursusjaar) nog steeds bruikbaar is. Vandaar die in het werkblad genoemde belasting voor een vastgestelde doorbuiging. Dat maakt de wedstrijd echter wel wat minder spectaculair en minder spannend: het is voor de leerlingen natuurlijk het mooist als de bruggen belast gaan worden tot ze instorten.

Het leren ontwerpen door de leerling door middel van ontwerppractica wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 7 over vaardigheidsontwikkeling. Daar staan meer voorbeelden van ontwerppractica en wordt ingegaan op een mogelijke leerlijn voor ontwerpen.

Computersimulatie

Als een practicum door bijvoorbeeld het ontbreken van voldoende practicummateriaal niet mogelijk is, kunnen leerlingen ook met computersimulaties of applets aan de slag (zie paragraaf 2.5). In dat geval wordt de interactie tussen de simulatie en de leerlingen vaak gestuurd door een werkblad dat in veel opzichten vergelijkbaar is met een practicumwerkblad.

Kleuren mengen

In dit hoofdstuk zijn we bezig met licht. In deze opdracht gaan we kijken naar het mengen van verschillende kleuren licht. Voor deze opdracht moet je eerst de vragen van paragraaf 4.2 beantwoord hebben.
De tijd die je nodig hebt: 45 minuten.
Deze opdracht voer je in tweetallen uit op een computer met internetverbinding.

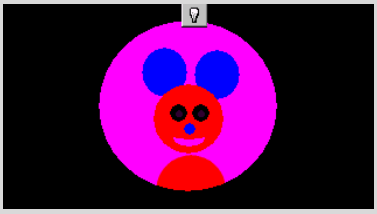
- Ga naar de beginpagina van de applet ‘Kleuren mengen’ op de ELO.
- Ga met je cursor op ‘Optica’ staan. Er verschijnt een aantal woorden.
- Ga nu met je cursor op ‘Kleurmenging’ staan. Er verschijnt weer een aantal woorden.
- Klik nu op ‘Mengen van kleuren’. Er opent een nieuw scherm met twee animaties.
- Lees de instructies goed en beantwoord de volgende vragen door de kleuren te verschuiven met je cursor.

1 Welke kleuren ontstaan er als je de volgende kleuren mengt:

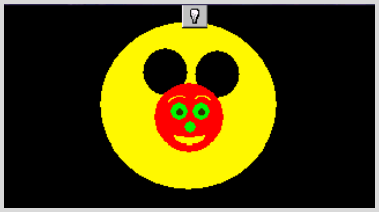
Mengen met licht		**Mengen met verf**	
rood en blauw		geel en lichtblauw	
rood en groen		geel en paars	
blauw en groen		lichtblauw en paars	

2 Verplaats de kleuren nu zo dat je het maximale aantal kleuren krijgt. Hoeveel kleuren zijn dat? Welke kleuren zijn dat?
……..

3 Als je nu ‘Mengen met licht’ en ‘Mengen met verf’ met elkaar vergelijkt, wat valt je dan op?
……..



Plaatje 1



Plaatje 2

- Ga terug naar de beginpagina van de applet ‘Kleuren mengen’.
- Herhaal de stappen zoals in het begin van de opdracht. Ga nu niet naar ‘Mengen van kleuren’, maar naar ‘Kleurmenging – flash’.
- Je ziet nu een animatie. In het beginscherm zie je een tekening. Als je daarna op het lampje drukt, gaat het licht uit. Je kunt nu drie kleuren licht op de tekening laten schijnen door de blokjes onderaan de tekening aan te klikken.

4 Schijn met het rode licht op de muis. Welke kleuren worden weerkaatst?
……..

5 Schijn met het groene en blauwe licht op de muis. Welke kleuren zie je nu?
……..

6 Kijk naar de twee plaatjes hiernaast. Zonder het uit te proberen in de animatie: welke kleuren licht zijn er gebruikt? Hoe weet je dat?
Plaatje 1: …….
Plaatje 2: …….

7 Controleer het door het zelf uit te proberen. Klopt het?
…….

8 Maak de volgende zin af:
Een voorwerp kaatst alleen de ……. kleur licht terug. De andere kleuren worden …… door het voorwerp.

Figuur 128 – Werkblad voor de internetopdracht *Kleuren mengen*.

Remweg van een auto

Wanneer je in de auto of op de fiets zit, moet je soms plotseling remmen. Denk maar aan een stoplicht dat op rood springt of iemand die ineens oversteekt. Voordat je stilstaat, leg je heel wat meters af. Dit noem je de remweg.

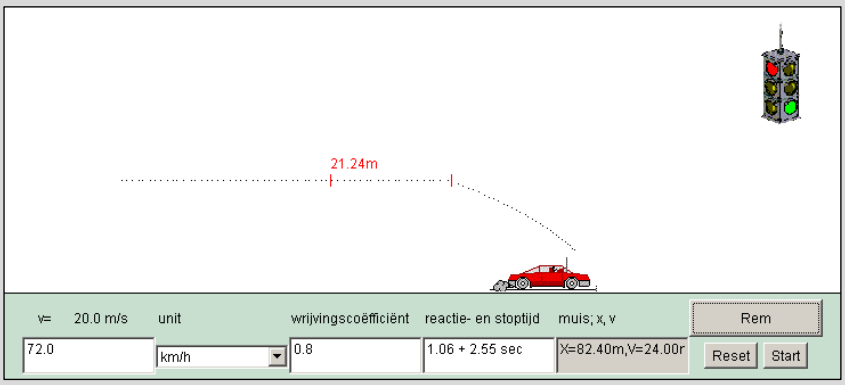
Onderzoeksvraag

In deze opdracht is de onderzoeksvraag: Waarvan hangt de remweg van een auto af?

Benodigdheden

- computer met internet en Java

- Ga naar de beginpagina van de computersimulatie ‘Kracht en beweging’ op de ELO.
- Kies ‘Verkeerssituaties’ en daarna ‘Remweg’.



Rechts in beeld kun je aanvullende uitleg lezen bij deze simulatie. Hier staan ook de wrijvingscoëfficiënten van verschillende wegdekken. Onderaan kun je de waarden van de instellingen veranderen.

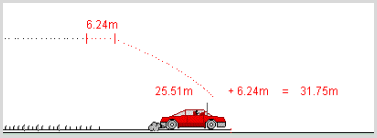
Reactietijd

- Stel de snelheid in op 60 km/h en de wrijvingscoëfficiënt op 1.0.
- Druk op start en vervolgens op rem als het stoplicht op rood springt.
- Noteer in de tabel hiernaast je reactietijd. Herhaal deze meting drie keer.
- Bereken je gemiddelde reactietijd en noteer deze in de tabel.

meting 1	
meting 2	
meting 3	
gemiddelde reactietijd	

Remweg bij verschillende wegdekken

Je kunt de remweg op de volgende manier berekenen: remweg = reactieafstand + stopafstand (zie de figuur hiernaast).



- Stel de snelheid in op 60 km/h en het wrijvingscoëfficiënt op 1.0.

1 Met welk soort wegdek komt deze wrijvingscoëfficiënt overeen?
……..

- Druk op start en vervolgens op rem als het stoplicht op rood springt.
- Noteer in de tabel hieronder de reactieafstand en de stopafstand. Geef ook aan bij welk soort wegdek deze meting hoort.
- Bereken de remweg en noteer deze in de tabel.

soort wegdek	wrijvings-coëfficiënt	reactieafstand (m)	stopafstand (m)	remweg (m)
	1.0			

- Meet nu voor nog drie andere wegdekken de reactieafstand en stopafstand. Bereken telkens de remweg. Noteer je resultaten in de tabel.

2 Wat is de invloed van het soort wegdek op de remweg van de auto?
……..
……..

3 Waarom heeft het soort wegdek geen invloed op de reactieafstand?
……..
……..

Remweg bij verschillende snelheden

- Stel de snelheid in op 20 km/h en de wrijvingscoëfficiënt op 1.0.
- Druk op start en vervolgens op rem als het stoplicht op rood springt.
- Noteer in de tabel hieronder de reactieafstand en de stopafstand.
- Bereken de remweg en noteer deze in de tabel.

snelheid (km/h)	reactieafstand (m)	stopafstand (m)	remweg (m)
20			

- Meet nu voor nog drie andere snelheden de reactieafstand en stopafstand. Bereken telkens de remweg. Noteer je resultaten in de tabel.

4 Wat is de invloed van de snelheid op de remweg van de auto?
……..
……..

Figuur 129 – Werkblad voor de internetopdracht *Remweg van een auto*.

De voorbeelden van figuur 128 en 129 laten zien dat het in een natuurkundige computersimulatie meestal gaat om een experiment. Bij zo'n experiment kun je leerdoelen en een onderzoeksvraag opstellen en uitwerken tot een werkblad, net als bij een practicum.

Het werkblad voor een internetopdracht heeft de volgende onderdelen: titel (het onderwerp van de applet), inleiding, bediening applet, verkenning applet, opdrachten, verdieping of uitdaging, en terugkijken.

Inleiding – Leerlingen moeten er zin in krijgen om de opdracht te doen, het moet betekenis voor hen hebben. Zorg voor een motiverende start. Koppel het onderwerp aan een context, en benoem de voorkennis. Bedenk wat een leerling na de opdrachten op het werkblad geleerd moet hebben. Benoem deze leerdoelen (in het lessenplan) en formuleer voor de leerlingen een onderzoeksvraag, waarop ze een antwoord gaan vinden in de opdracht.

Bediening – Geef aan waar de applet te vinden is (zo nodig via een link naar een website). Maak een afbeelding van de applet en plak die in het werkblad, zodat de leerlingen weten dat ze de goede pagina hebben. Maak een combinatie van uitleg en opdrachten zodat leerlingen de applet leren bedienen (de juiste knoppen kunnen vinden) en de juiste gegevens kunnen aflezen.

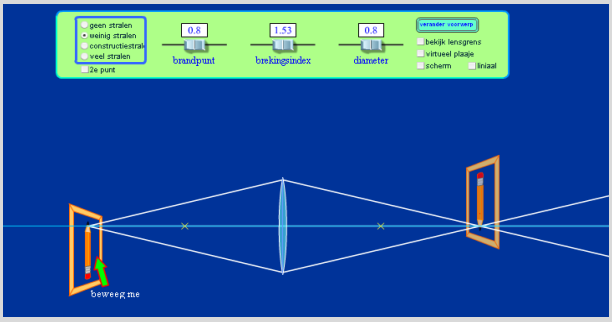
Verkenning – Geef een aantal opdrachten zodat de leerlingen de applet kunnen uitproberen. Ze begrijpen na deze oefeningen hoe de applet werkt.

Opdrachten – De opdrachten zorgen ervoor dat de leerlingen met de applet een aantal metingen uitvoeren. De metingen moeten op het werkblad overzichtelijk genoteerd kunnen worden (bijvoorbeeld in een tabel). De opdrachten staan in een logische volgorde en vereisen denkstappen die horen bij het niveau van de leerlingen. Door het uitvoeren van de opdrachten moeten de leerdoelen bereikt worden.

Verdieping of uitdaging – Dit onderdeel is voor snelle of slimme leerlingen. Er kan een andere functie van de applet worden onderzocht, een extra lastige vraag worden gesteld, of een toepassing in een nieuwe situatie worden bekeken.

Terugkijken – In dit onderdeel controleer je of de leerlingen de leerdoelen hebben bereikt. Dat kun je doen door vragen te stellen, een conclusie te laten formuleren, een samenvatting te laten maken enzovoort.

Opdrachten voor het werken met simulaties kunnen op de methodesite of op de vakwebsite of elektronische leeromgeving (ELO) van de sectie natuurkunde staan. Van belang zijn dan een goede opbouw en beknopte teksten: een schermafdruk van de simulatie, een beschrijving van de situatie en de instellingen, een eerste opdracht (uitzoeken welke veranderingen optreden als je de instellingen verandert), enkele gerichte uitprobeeropdrachten, en ten slotte enkele inzichts- of verwerkingsopdrachten. In figuur 130 en 131 staan twee voorbeelden.



Beeldvorming

Hiernaast zie je dat een bolle lens van het potlood een afbeelding maakt op een scherm.
In de simulatie kun je de volgende instellingen veranderen:

- de plaats van het voorwerp
- het aantal lichtstralen
- de soort lens (drie knopjes)
- de afbeelding op het scherm

Je gaat uitzoeken hoe de afbeelding verandert als je de instellingen verandert.
Ga naar de simulatie 'Beeldvorming' op de ELO en zoek dit uit.

Kies de juiste antwoorden

- Vink *constructiestralen* aan.
- Verschuif het voorwerp naar de lens toe.

Hoe verandert de afbeelding als de voorwerpsafstand steeds kleiner wordt?

- De beeldafstand wordt kleiner / blijft even groot / wordt groter.
- Het beeld wordt kleiner / blijft even groot / wordt groter.
- De vergroting wordt kleiner / blijft even groot / wordt groter.

Kies de juiste antwoorden

- Laat *constructiestralen* aangevinkt.
- Plaats het voorwerp midden op de hoofdas.
- Verander de diameter van de lens.

Wat gebeurt er met de afbeelding als de diameter steeds kleiner wordt?

A De constructiestralen veranderen niet.
B Sommige constructiestralen vallen naast de lens.
C De grootte van het beeld verandert.
D De lichtsterkte van het beeld verandert.
E De plaats van het beeld verandert.

Kies de juiste antwoorden

- Laat *constructiestralen* aangevinkt.
- Verander de sterkte van de lens door *f* te veranderen.

Hoe verandert de afbeelding als de brandpuntsafstand steeds groter wordt?

- De beeldafstand wordt kleiner / blijft even groot / wordt groter.
- Het beeld wordt kleiner / blijft even groot / wordt groter.
- De vergroting wordt kleiner / blijft even groot / wordt groter.

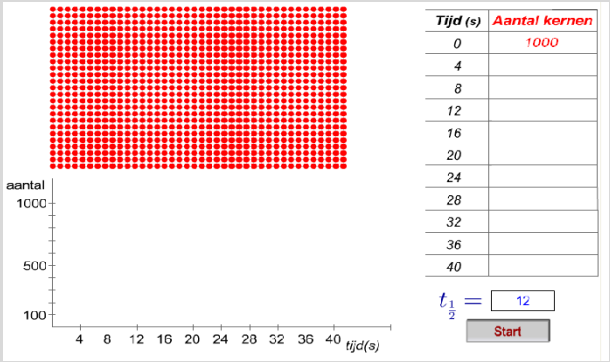
Kies het juiste antwoord

- Laat *constructiestralen* aangevinkt.
- Verschuif de potloodpunt naar de hoofdas.

Je ziet nu geen constructiestralen meer. Wat is hier aan de hand?

A Er zijn geen constructiestralen.
B De constructiestralen zijn onzichtbaar.
C De constructiestralen vallen samen met de hoofdas.

Figuur 130 – Voorbeeld van een simulatie-opdracht over beeldvorming met een bolle lens op de vakwebsite.



Radioactief verval

In de simulatie stelt elk rood stipje een radioactief atoom voor. Als je op de knop ‘start’ drukt, beginnen de atomen te vervallen. Ze worden dan groen gekleurd.
In de tabel en het diagram staat het aantal atomen dat nog niet is vervallen.
Je kunt de halveringstijd veranderen door een ander getal in het venster te zetten.

Open de simulatie ‘Radioactief verval’ op de ELO, klik op start en probeer uit wat er gebeurt als je andere halveringstijden kiest.

Onderzoek

- Stel de halveringstijd in op 16 s (radioactieve stof 1).
- Voorspel hoeveel radioactieve atomen er dan over zullen zijn na 16 s en na 32 s.
- Controleer je voorspellingen met de simulatie. Maak een schermafdruk.

- Stel de halveringstijd in op 8 s (radioactieve stof 2).
- Voorspel hoeveel radioactieve atomen er dan over zullen zijn na 16 s en na 32 s.
- Controleer je voorspellingen met de simulatie. Maak een schermafdruk.

Inzicht

De activiteit van een radioactieve stof is het aantal radioactieve atoomkernen dat per seconde vervalt.

Gebruik de bij het onderzoek gemaakte schermafdrukken voor het beantwoorden van de volgende vragen:

- Welke radioactieve stof heeft op het tijdstip t = 0 s de grootste activiteit: stof 1 / stof 2.
- Welke radioactieve stof heeft op het tijdstip t = 32 s de grootste activiteit: stof 1 / stof 2.
- Welke invloed heeft de halveringstijd van een radioactieve stof op de activiteit in het begin, en op het tempo waarmee die activiteit daarna afneemt?

Figuur 131 – Voorbeeld van een simulatie-opdracht over radioactief verval op de vakwebsite.

3.3.4 Practicumverslag

Binnen wetenschappelijk onderzoek is verslag geven vanzelfsprekend en onmisbaar. Want wat heb je aan allerlei onderzoek als het niet wereldkundig gemaakt wordt? Een onderzoek is pas afgerond als het verslag geschreven is. Het schrijven van een verslag van practicumproeven is hiervan een afspiegeling. Het leren schrijven van een verslag betekent: leren communiceren en leren informatie over te dragen. Dat is ook buiten de natuurkundeles bruikbaar.

Doelen

In het onderwijs is het laten maken van verslagen vaker middel dan doel. Het schrijven van een verslag helpt de leerlingen bij verwerking en verdieping. Het verslag zelf vormt voor hen een samenvatting en naslagmogelijkheid. Voor de leraar kan het verslag een middel zijn voor begeleiding, diagnose, controle en toetsing.

Verwerking en verdieping – Het uitvoeren van een proef levert veel informatie. Overzicht en ordening krijg je pas door het op te schrijven. Vervelend genoeg merk je dan wat er aan je proef ontbreekt. Door alles zelf overzichtelijk op te schrijven, ga je beter begrijpen hoe de proef in elkaar zit.

Samenvatting en naslagmogelijkheid – Als een proef net is uitgevoerd, weet je nog wel waar het over ging. Maar hoe is dat een tijdje later? Een goed verslag geeft de mogelijkheid om nog eens na te kijken waar de proef ook alweer over ging. Dat is van belang voor toetsen en voor het uitvoeren van nieuwe proeven.

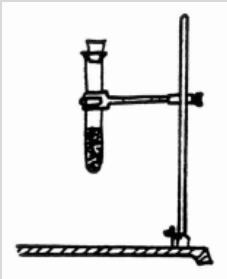
Begeleiding, diagnose en controle – Je laten begeleiden in het doen van proeven gaat voor een deel via het laten lezen van verslagen en daar commentaar op krijgen. Voor de leraar zijn verslagen een belangrijk hulpmiddel om zicht te houden op het werk van leerlingen.

Toetsing – Verslagen worden vaak gebruikt als middel om de prestaties van leerlingen te toetsen. Wat je precies beoordeelt met een verslag is niet altijd duidelijk: gaat het om de kwaliteit van het verslag of gaat het om de kwaliteit van de uitvoering van de proef?

Voorbeelden van door leerlingen gemaakte practicumverslagen zijn weergegeven in figuur 132 en 133. De eerste twee verslagen horen bij een proef die gericht is op goed waarnemen. Daarbij wordt vast butanol in een reageerbuisje door de leerlingen met de hand verwarmd, waardoor het butanol verandert. De opdracht is om een verslag te schrijven met daarin alle waarnemingen. De volgende twee verslagen horen bij een meetproef, waarbij water wordt verwarmd en de temperatuur wordt gemeten tot voorbij het kookpunt.

Het smelten van butanol

1 Opstelling
Zie de figuur: statief, reageerbuis, kurk, vaste butanol en een warmtebron (hand).



2 Doel
Het smelten van butanol.

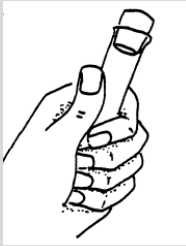
3 Theorie
Butanol smelt bij 25 ^{o}C.

4 Waarneming
De vaste butanol smelt.

5 Conclusie
Vaste butanol is gesmolten.

Het smelten van butanol

Als je het warm maakt wordt het vloeistof en gaat het prikkelen net als koolzuur. Het is net water.

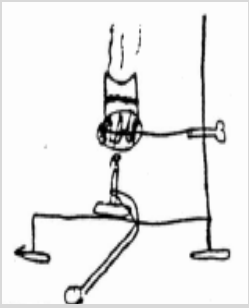


Als het begint te smelten zit het niet meer vast aan het buisje. Het draait rond, net een aardbol. Als je het op je hand krijgt is het niet nat, maar droog. Je voelt niks. Het stuk butanol lijkt voor het gesmolten is op ijs en het laatste stukje blijft drijven.
Als je afkoelt blijft het vloeistof en in één keer komen er bloemen. Maar er is nog wel vloeistof binnen die bloemen. Nu trekken de bloemen ook naar boven omdat ik hem schuin heb gehouden. Hij stolt sneller als je hem heen en weer beweegt. Hij is nu gestold en er zit helemaal een gat in naar de diepte.

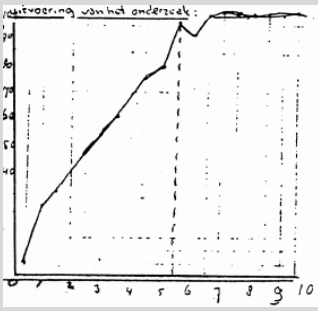
Figuur 132 – Twee practicumverslagen van de waarneemproef over het smelten van butanol.

Water koken

Opstelling



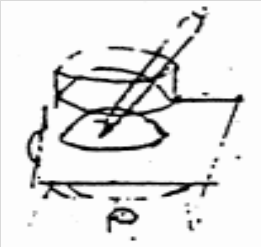
Uitvoering



Conclusies / Opmerkingen
In het begin komt er damp op het glas, dat later weer wegtrekt. Daarna wordt het water steeds warmer, bij 75° – 85° gaat het water koken. Je ziet dan dat er waterdamp omhoog gaat. Als je het vlammetje van de brander wat lager doet, blijft het water toch even warm.
Als je het potje met water ergens neer wil zetten moet je wel even wachten, want anders zegt het glas ‘pang’. Als je het potje hebt neergezet wordt het water langzamerhand weer kouder.

Water koken

Wat heb je nodig
Brander, driepoot met gaasje, bekerglas, thermometer, ijs, chronometer of een klokje met secondewijzer.



Opstelling

Beschrijving
Vul het bekerglas met water. Zet de thermometer in het water en meet om de 30 seconde de temperatuur. Als het kookt nog nog twee minuten door gaan met meten.

Meetresultaten

tijd	temp	tijd	temp
0 min	22 ^{o}C	2,0	52 ^{o}C
0,5 min	33 ^{o}C	2,5	61 ^{o}C
1,0 min	38 ^{o}C	3,0	67 ^{o}C
1,5 min	45 ^{o}C	3,5	71 ^{o}C
tijd	temp	tijd	temp
4,0	80 ^{o}C	0,5	91 ^{o}C
4,5	83 ^{o}C	1,0	93 ^{o}C
5,0	87 ^{o}C	1,5	96 ^{o}C
kookt		2,0	100 ^{o}C

Conclusie
Doordat het water stijgt wordt het water steeds warmer. Maar doordat de temperatuur stijgt gaat de temperatuur steeds langzamer.

Figuur 133 – Twee practicumverslagen van de meetproef over het verwarmen van water.

Het eerste verslag van de waarneemproef (zie figuur 132) heeft veel opgelegde structuur, maar geen inhoud. Moedig de leerling aan meer waarnemingen te beschrijven. Geef de leerlingen geen overbodige of een niet bij de proef passende structuur. Het tweede verslag over dezelfde proef heeft veel inhoud, maar is zon-

der structuur. Je kunt de leerling complimenteren met de uitgebreide en gedetailleerde waarnemingen.

In het eerste verslag van de meetproef (zie figuur 132) zie je dat de leerling moeite heeft om de waarnemingen in het juiste vak van het verslagschema te plaatsen: de grafiek staat bij uitvoering. Er is nog wel het een en ander na te bespreken: het tekenen van een vloeiende lijn en het koken bij 75 °C tot 85 °C. In het tweede verslag van dezelfde proef zie je een onduidelijke tekening van de opstelling en ontbreekt het diagram. Kennelijk kookt het water vanaf 87 °C en loopt de temperatuur daarna nog op tot 100 °C. En op dat punt houden de metingen nu net op.

Werkblad, verslagblad of verslag

Het schrijven van een practicumverslag is veel werk, het nakijken ook. Daarom wordt veel gebruik gemaakt van werk- of verslagbladen.

Op een werkblad staan zowel de opdrachten als de ruimtes om verslag te geven. Een andere mogelijkheid is een opdrachtenblad met een verslagblad. Zo'n verslagblad kan meer of minder structuur bieden, afhankelijk van wat passend is voor de doelgroep. Het opdrachtenblad is ook zonder verslagblad te gebruiken. In dat geval is er sprake van het laten schrijven van een verslag. Om werk te besparen kan gekozen worden voor een wisselende verslaggever per groep.

Hieronder staat in figuur 134 een leerling-instructie voor het schrijven van een verslag in drie delen. Sommige onderdelen kunnen de leerlingen letterlijk overnemen uit het practicumwerkblad. Een voorbeeld van een practicumverslag volgens deze instructie staat in figuur 135.

Verslag van een natuurkunde-experiment

Een volledig verslag van een natuurkunde-experiment bestaat uit drie bladzijden in je verslagschrift.

Bladzijde 1
Dit deel van je verslag schrijf je voordat je het experiment uitvoert: het grootste deel van je voorbereiding van het experiment thuis.

Experiment	
Samen met	
Onderzoeksvraag	Hier schrijf je de vraag op waar het experiment een antwoord op geeft.
Manier van werken	Hier schrijf je op hoe je het experiment gaat aanpakken. Je vult het aan met hoe je het experiment werkelijk hebt aangepakt. Je maakt altijd een tekening van de opstelling en een spullenlijst.

Bladzijde 2
Dit deel van het verslag schrijf je tijdens het doen van het experiment: vaak heb je al van te voren tabellen of diagrammen getekend.

Resultaten	Zet hier je waarnemingen, metingen, berekeningen en verklaringen, zo nodig in de vorm van tabellen en grafieken als resultaat van de opdrachten.

Bladzijde 3
Dit deel van het verslag schrijf je na het doen van het experiment: gedeeltelijk in de les, gedeeltelijk als huiswerk.

Vragen	Schrijf hier de antwoorden op de vragen. Verwijs naar de resultaten of de conclusie als daar het antwoord staat.
Conclusie	Formuleer hier een kort antwoord op de onderzoeksvraag.

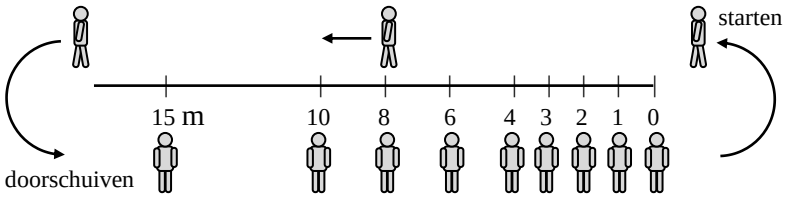
Figuur 134 – Voorbeeld van een verslaginstructie.

Experiment	Hardlopen
Samen met	De hele klas

Onderzoeksvraag
Hoe verloopt het afstand-tijd-diagram bij hardlopen?
a als je met constante snelheid loopt
b als je versneld loopt

Manier van werken

We meten op welke tijd de hardloper de verschillende plaatsen passeert. Een keer voor lopen met een constante snelheid en een keer voor versneld lopen. De resultaten worden op de meetformulieren geschreven.



tijdwaarnemers met stopwatch en meetformulier

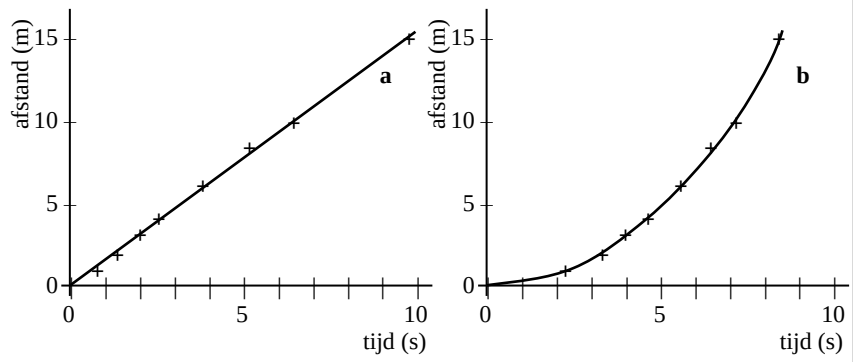
Resultaten

a constante snelheid

afstand (m)	0	1	2	3	4	6	8	10	15
tijd (s)	0	0,8	1,3	2,0	2,6	3,8	5,2	6,4	9,8

b versneld

afstand (m)	0	1	2	3	4	6	8	10	15
tijd (s)	0	2,2	3,3	4,0	4,7	5,7	6,5	7,2	8,3



Conclusie

Bij hardlopen is het afstand-tijd-diagram:

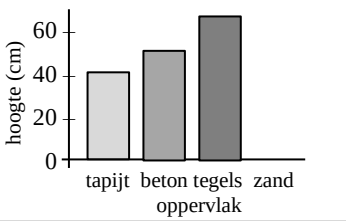
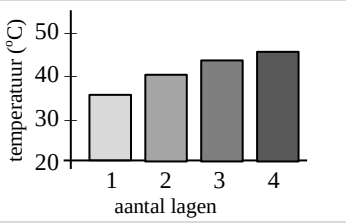
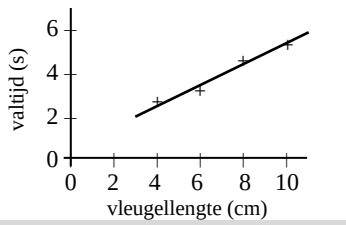
- een schuine rechte lijn bij constante snelheid.
- een oplopende kromme lijn met een bocht bij versneld lopen.

Figuur 135 – Voorbeeld van een verslag volgens de verslaginstructie.

Tabellen en diagrammen

Een belangrijk hulpmiddel voor het vastleggen van waarnemingen en metingen zijn tabellen en diagrammen. Veel daarvan is bekend vanuit de wiskunde, maar er zijn ook enkele belangrijke verschillen. Meestal moet het maken van een diagram speciaal worden aangeleerd en geoefend. Een schema als dat van figuur 136 kan de leerlingen daarbij helpen.

Wat ik verander	Wat ik meet of beoordeel	Soort tabel	Soort grafiek
Woorden, bijvoorbeeld soort voedsel (in een afgesloten vat)	Woorden, bijvoorbeeld hoe bedorven na vier weken	Soort voedsel | Bederf sinaasappel | blauw-groene schimmel beschuit | geen verandering brood | grijze schimmel	Geen grafiek

Woorden, bijvoorbeeld soort oppervlakte	Getallen, bijvoorbeeld hoe hoog de bal terugstuitert	Soort oppervlak / Opspringhoogte tapijt / 41 cm beton / 53 cm tegels / 64 cm zand / 0 cm	
Getallen, bijvoorbeeld lengte elastiek	Woorden, bijvoorbeeld soort geluid	Lengte elastiek / Soort geluid 10 cm / laag 8 cm / vrij laag 6 cm / gemiddeld 4 cm / hoog	Geen grafiek
Hele getallen, bijvoorbeeld lagen isolatie	Getallen, bijvoorbeeld temperatuur van water na 10 minuten verwarmen	Aantal lagen / Temperatuur 1 / 36 °C 2 / 40 °C 3 / 43 °C 4 / 45 °C	
Getallen, bijvoorbeeld lengte van vliegtuigvleugel	Getallen, bijvoorbeeld tijd om 3 m te vallen	Vleugellengte / Valtijd 10 cm / 5,5 s 8 cm / 4,6 s 6 cm / 3,4 s 4 cm / 2,8 s	

Figuur 136 – Hulpmiddel voor leerlingen bij het weergeven van meetresultaten in tabellen en diagrammen: welke tabel en grafiek moet ik gebruiken?

3.3.5 Practicumveiligheid

Practicum is een leuk en belangrijk onderdeel van de natuur- en scheikundeles. Het uitvoeren van practicum brengt voor leraren, leerlingen en toa's risico's met zich mee. Het is voor een leraar van groot belang om te weten hoe deze risico's geminimaliseerd kunnen worden, en waar de wettelijke aansprakelijkheid en verantwoordelijkheid ligt. Want als het mis gaat tijdens het practicum, dan kunnen de gevolgen ernstig zijn: zie de artikelen van figuur 137 en 138.

17 maart 2009

Schoolgebouw adequaat en snel ontruimd

Op 17 maart 2009, omstreeks 13.00 uur, heeft een kleine explosie plaatsgevonden in de zuurkast van het scheikundelokaal, waarbij natriumdampen vrijgekomen zijn. Er is niemand gewond geraakt en er heeft niemand gevaarlijke stoffen ingeademd.

Waarschijnlijke oorzaak is een chemische reactie van natrium met water, waardoor er explosief natriumoxide vrijgekomen is. De technisch onderwijsassistent heeft het voorval direct gemeld. De school heeft vervolgens 112 gebeld en de school ontruimd met behulp van het ontruimingsplan. De ontruiming verliep goed en vlot, bijkomend voordeel was dat veel leerlingen net de school hadden verlaten omdat er rapportvergaderingen van start zouden gaan.

Zoals gebruikelijk bij incidenten met gevaarlijke stoffen zijn uit voorzorg brandweerwagens, ambulance en politie opgeroepen. Er is echter geen moment geweest waarbij leerlingen of collega's in gevaar waren. De brandweer complimenteerde de school voor het adequaat handelen en de wijze waarop de ontruiming van de school heeft plaatsgevonden.

De schade aan de zuurkast en afzuiging is aanzienlijk. Het bericht dat er ten gevolge van de explosie een gaslek zou zijn, bleek later ongegrond. Een gespecialiseerd

Explosie in schoolgebouw

Door een foutje van een onderwijsassistent, waarbij deze per ongeluk water morste in een pot natrium, werd de plaatselijke scholengemeenschap in rep en roer gebracht. Brandweer-, ambulance- en politiewagens vlogen dinsdag 17 maart 2009 met gillende sirenes door de straten op weg naar de school.

Ter plaatse aangekomen werd de school ontruimd: in een scheikundelokaal was een gevaarlijke situatie ontstaan. Een van de dienstdoende agenten liet weten: "Natrium is met water in aanraking gekomen en hierdoor is dampvorming ontstaan die giftig kan zijn." Waarom deze verbinding zo gevaarlijk is, leert een snel scheikundelesje: "Wanneer water met natrium in aanraking komt, ontstaat een kleurloze oplossing. Natriummetaal wordt heet en kan ontvlammen en met een karakteristieke oranje vlam branden. Het vrijkomende waterstofgas reageert explosief met zuurstof uit de lucht. Een aantal natriumverbindingen reageert daarentegen niet zo heftig met water, maar zijn goed oplosbaar in water."

Figuur 138 – Artikel in het plaatselijk weekblad.

ruimingsbedrijf heeft nog een groot deel van de middag de resten van de schadelijke stoffen en glasresten in het scheikundelokaal en het aangrenzende kabinet opgeruimd.

Figuur 137 – Mededeling op de website van de school.

ARBO-wet

De verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid met betrekking tot veiligheid op het werk zijn opgenomen in de Arbeidsomstandighedenwet (ARBO-wet). Volgens deze wet moeten scholen zorgen voor maximale veiligheid en optimale bescherming van de gezondheid van medewerkers en leerlingen. De wet regelt onder andere de rechten, plichten en strafrechtelijke aansprakelijkheid van het bevoegd gezag (directie) en de personeelsleden.

De ARBO-wet wordt praktisch uitwerkt via veiligheidsvoorschriften voor het werken met chemicaliën, veiligheidsmiddelen en het practicumreglement, brandgevaar en blusmiddelen, richtlijnen voor de inrichting van het practicumlokaal en de verwerking van chemisch afval. Hieronder beperken we ons tot het practicumreglement en blusmiddelen. Informatie over de andere aspecten van veiligheid tijdens het practicum staat op de website van dit praktijkboek.

Practicumreglement – Het practicumreglement geeft een aantal regels waaraan de leraar/toa en de leerlingen zich moeten houden voor een veilig en ordelijk verloop van het practicum. Een voorbeeld van zo'n practicumreglement staat in figuur 139.

Practicumreglement

1. Ga nooit zonder toestemming het chemielokaal binnen. Toestemming krijg je van je leraar. Practicum mag bovendien alleen uitgevoerd worden wanneer er twee of meer leerlingen en een leraar of toa in het lokaal aanwezig zijn.
2. Bij scheikundepracticum is het dragen van een veiligheidsbril altijd verplicht, ook bij proefjes waarvan je denkt dat zij geen gevaar kunnen leveren.
3. Tijdens het practicum is het dragen van een 100% katoenen laboratoriumjas (witte jas) verplicht. Tassen moeten aan de zijkant.
4. Ga er bij alle stoffen waarmee je zult werken vanuit dat ze giftig zijn.
5. Werk altijd netjes.
6. Voorkom morsen van water of chemicaliën op boeken of meubels. Ruim gemorste stoffen (ook water) onmiddellijk op en was ALTIJD je handen na het practicum.
7. Eten, drinken en kauwgum is ten strengste VERBODEN.

Figuur 139 – Voorbeeld van een practicumreglement.

Een leraar zal leerlingen veilig gedrag moeten aanleren. Dat lukt alleen als je als leraar het goede voorbeeld geeft. Draag dus zelf een bril en jas, en eet en drink niet in het practicumlokaal.

Bij veilig werken hoort ook ordelijk werken. Tassen en jassen staan op een veilige plaats, bijvoorbeeld aan de zijkant van het lokaal. Er staan geen overbodige spullen op de bank. Een opstelling zit overzichtelijk en stevig in elkaar.

Blusmiddelen – Voor een veilig verloop van een practicum is het eveneens belangrijk dat de leraar en toa kennis hebben van de blusmiddelen die in het lokaal aanwezig zijn. Praktijkervaring met deze blusmiddelen via bijvoorbeeld een cursus 'kleine blusmiddelen' is eveneens essentieel. Een brand kan ontstaan door een combinatie van de volgende drie factoren: brandstof, zuurstof en een temperatuur boven de ontstekingstemperatuur. Bij het bestrijden van een brand wordt één van deze factoren wegenomen. In een practicumlokaal zijn over het algemeen een brandslang, brandblusser, branddeken, branddouche en oogdouche aanwezig. Er zijn verschillende typen brandblussers (CO_2-, poeder- en schuimblussers), die geschikt zijn voor verschillende soorten branden. Welke blusser voor welke brand geschikt is, staat op de blusser aangegeven met een letter.

3.4 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: hoe combineer je de verschillende lesonderdelen op een verantwoorde manier tot theorie- en practicumlessen?

In grote lijnen bestaat een les uit vier fasen: de introductie, de (inhoudelijke) kern van de les, de afronding en het huiswerk. Voor een theorieles bestaat de kern van de les uit het aanbieden van leerstof door de leraar en het verwerken van die leerstof in de vorm van het maken van opgaven door de leerlingen. Over het aanbieden en verwerken van de leerstof is in hoofdstuk 2 al veel te vinden. Wat dit hoofdstuk daaraan heeft toegevoegd is het maken van een leerstofanalyse als voorbereiding op de les of lessenserie. Dat kan door uit te gaan van het aanbod in het leerboek en/of van 'grote ideeën' in de natuur- en scheikunde. Dat laatste is meer werk, maar leidt vaak tot een meer doordacht ontwerp van de lessen. Het huiswerk voor de leerlingen heeft daarbij een dubbele functie: enerzijds het verwerken van de in de les aangeboden leerstof, en anderzijds het voorbereiden op de in de volgende les aan te bieden nieuwe leerstof.

Een practicumles heeft een vergelijkbare globale indeling, maar nu bestaat de inhoudelijke kern uit het uitvoeren van het practicum door de leerlingen en het huiswerk uit (het afmaken van) de verwerking van de meetresultaten, al dan niet in de vorm van een practicumverslag. De voorbereiding op zo'n practicumles bestaat uit het ontwerpen van een werkblad (bijvoorbeeld in de vorm van een opdrachten- en verslagblad) dat past bij het doel van het practicum: een vaardigheids-, begrips-, onderzoeks- of ontwerppracticum. Een algemeen aandachtspunt bij die voorbereiding is het analyseren van de risico's van het practicum en het nadenken over de vereiste veiligheidsmaatregelen. Een alternatief voor het practicum is een door een werkblad gestuurde uitvoering van een internetopdracht rond een computersimulatie of applet.

Van belang bij vooral de theorielessen is het activeren van de leerlingen en het afwisselen van de onderwijsleeractiviteiten. Activeer leerlingen door bijvoorbeeld vragen stellen bij het aanbieden van leerstof, bij demonstraties en bij het bespreken van opgaven. En zorg voor voldoende afwisseling in werkvormen door variatie van klassikaal en zelfstandig werken en door het gebruik van verschillende vormen van samenwerkend leren. Dit laatste kun je zien als een aanvulling op het in paragraaf 2.8 genoemde vijftal *leerprincipes* uit de leerpsychologie: *afwisselen*.

Afwisselen – Laat de kennisverwerving van de leerlingen plaatsvinden in een samenhangende reeks van onderwijsleeractiviteiten met voldoende afwisseling tussen klassikaal, zelfstandig en samenwerkend werken en leren.

4 Lessenseries

4.1 Inleiding

Het vorige hoofdstuk gaf een antwoord op de vraag hoe je de verschillende lesonderdelen (zoals de introductie van een nieuw (deel)onderwerp, het aanbieden van de leerstof, het stellen van vragen, het (laten) maken en bespreken van opgaven en verschillende werkvormen die daarbij kunnen worden ingezet) op een verantwoorde manier combineert tot theorie- en practicumlessen. In dit hoofdstuk gaat het – in vervolg daarop – om het combineren van die lessen tot lessenseries. Daarbij maken we onderscheid tussen twee soorten lessenseries: de *cursorische lessenserie* en de *projectmatige lessenserie*. Beide soorten lessenseries zijn van belang voor natuurkundeonderwijs waarin naast het leren van basiskennis en basisvaardigheden ook aandacht is voor het leren van hogere-orde vaardigheden zoals onderzoeken en ontwerpen. De toetsing van de leeropbrengst van een cursorische lessenserie met een theorie- en/of practicumtoets komt in hoofdstuk 5 aan de orde.

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: hoe combineer je de verschillende lessen op een verantwoorde manier tot cursorische en projectmatige lessenseries?

Kenmerken lessenserie

- Activerend en motiverend voor de leerlingen.
- Duidelijke leerdoelen voor de lessenserie als geheel en voor de afzonderlijke lessen.
- Een startactiviteit voor de lessenserie als geheel, en in elke les een motiverende prikkel.
- Variatie in lessoorten zoals theorielessen en practicum- of praktijklessen.
- In theorielessen minstens 40% zelfwerkzaamheid.
- Variatie in werkvormen, en minstens twee bijzondere activiteiten.
- Goed gekozen kernactiviteiten.
- Duidelijke opbouw van de lessenserie als geheel.
- Duidelijke opbouw in onderdelen van de afzonderlijke lessen.
- Activerende vormen van huiswerk nabespreken.
- Extra activiteiten voor de snelle leerlingen.
- Voortgangstoetsing tijdens de lessen en halverwege de lessenserie.
- Een toetsvoorbereidende les.
- Een theorietoets en eventueel een practicumtoets als eindtoets.

Figuur 140 – Mogelijke kenmerken van een cursorische lessenserie.

4.2 Cursorische lessenserie

Een cursorische lessenserie is gericht op het leren van basiskennis en basisvaardigheden, en bestaat uit de volgende onderdelen: introductie, theorielessen (zie paragraaf 3.2), practicumlessen (zie paragraaf 3.3), tussentoets en eindtoets. In deze onderdelen kunnen ‘bijzondere activiteiten’ voorkomen, zoals een startactiviteit, spel, simulatie, samenwerkend leren, quiz en toetsvoorbereiding.

Een leraar maakt voor een cursorische lessenserie vaak een studiewijzer op basis van het leerboek. De informatie wordt gestructureerd aangeboden door uitleg en leerteksten. De leerling verwerkt dit door het maken van opgaven en opdrachten. De leerdoelen zijn vooral gericht op basiskennis en basisvaardigheden. De mogelijke kenmerken van zo’n lessenserie staan in figuur 140.

In deze paragraaf geven we eerst drie uiteenlopende voorbeelden van de opzet van een cursorische lessenserie: de *traditionele* lessenserie en lessenseries met *variatie in kernactiviteiten* en met een *probleemgeoriënteerde* aanpak, aangevuld met benaderingen als *flipping the classroom*, *gamification* en *taakwerk*. Daarna gaan we in op het *recht doen aan verschillen* tussen leerlingen vanuit het idee dat iedereen recht heeft op geschikt/passend onderwijs, en de *studiewijzer* als sturingsinstrument voor het onderwijsleerproces.

4.2.1 Opbouw lessenserie

Traditionele lessenserie

Een traditionele cursorische lessenserie heeft als kern een aantal theorielessen met de eerder geschetste eerste standaard-lesopzet (zie paragraaf 3.2.2, figuur 105). De leerstof voor dergelijke theorielessen is een paragraaf met opgaven uit het leerboek. De lesopzet heeft een HIWA-structuur: huiswerk nakijken/bespreken (zelfwerkzaamheid leerlingen), introductie nieuwe leerstof (leraar), werken aan opgaven over de geïntroduceerde leerstof (zelfwerkzaamheid leerlingen) en afronding van de les (leraar). Naast die theorielessen bestaat de lessenserie uit een introductieles met een startactiviteit, enkele bijzondere activiteiten, een of

Les	Lesindeling (globaal)
1	Introductieles met startactiviteit
2	Theorieles
3	Practicumles
4	Theorieles
5	Bijzondere activiteit
6	Theorieles
7	Toetsvoorbereiding
8	Eindtoets

Figuur 141 – Globaal draaiboek van een traditionele cursorische lessenserie.

meer practicumlessen, de toetsvoorbereiding en een eindtoets. Het draaiboek van zo'n lessenserie ziet er dan uit zoals in figuur 141, maar hierop zijn allerlei variaties mogelijk.

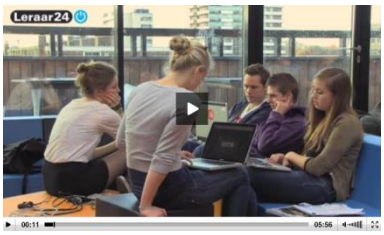
Flipping the classroom

Het idee achter *flipping the classroom* is dat de leraar werkt met online gereedschappen om leerstof en opgaven, die normaal in de klas behandeld worden, buiten de les beschikbaar te maken voor de leerlingen. Online gereedschappen zijn bijvoorbeeld screencast-o-matic, twitter, googledocs, socrative en skype. De leerstofoverdracht wordt verplaatst naar het huiswerk. Leerlingen luisteren en kijken thuis naar de uitleg van de leerstof en de uitleg van een voorbeeldopgave. Daardoor komt er in de les meer ruimte voor interactieve werkvormen en bijzondere activiteiten.

In een lessenserie met flipping the classroom hebben de theorielessen een opzet die lijkt op de eerder geschetste tweede standaard-lesopzet (zie paragraaf 3.2.2, figuur 106). De onderdelen van zo'n theorieles zijn een verwerkingsactiviteit aan het begin van de les, werken in groepen in het middendeel van de les, een introductie op de nieuwe leerstof aan het eind van de les, en kennisclips voor de ondersteuning van het huiswerk (uitleg van de leerstof, uitleg van een opgave). Een mogelijk draaiboek van een theorieles volgens flipping the classroom is weergegeven in figuur 142.

Huiswerk 20' ZW: I	Bestuderen van de video-uitleg van de nieuwe leerstof (voor de volgende les) en een voorbeeldopgave	Leerstof verwerven en verwerken
Tijdsplanning	**Onderwijsactiviteiten van de leraar Leeractiviteiten van de leerlingen**	**Functie voor het leren**
5' KW	Starten (leraar): • lesprogramma geven • huiswerk opgeven • beginsituatie peilen • terugkijken op het huiswerk (de leerstof voor deze les)	Zicht geven op leerproces: • overzicht geven van de lesonderdelen • leerdoelen benoemen • voorkennis ophalen • nieuwe leerstof koppelen aan al bekende leerstof
30' ZW: D/G	Opgaven maken (leerlingen en leraar): • maken en nakijken van oefenopgaven over de leerstof voor deze les	Leerstof verwerken Oefenen van vaardigheden
5' KW	Afronden (leraar en leerlingen): • nabespreken van (geobserveerd) lastige aspecten van de gemaakte oefenopgaven • samenvatten leerstof voor deze les	Leerstof verwerken
10' KW	Uitleggen (leraar): • introduceren van de nieuwe leerstof (voor de volgende les) vanuit een instapprobleem en richtvraag	Zicht geven op leerproces
Huiswerk 20' ZW: I	Bestuderen van de video-uitleg van de nieuwe leerstof (voor de volgende les) en een voorbeeldopgave	Leerstof verwerken en verwerven

Figuur 142 – Standaard-lesopzet voor een theorieles met flipping the classroom. Bij de voorbereiding op de les kunnen de leerlingen – naast de video-uitleg – ook gebruik maken van de tekst in het leerboek.



Figuur 143 – Op de website Leraar24 staan ervaringen van leraren die met flipping the classroom werken.

Er zijn in een lessenserie volgens flipping the classroom meestal enkele bijzondere activiteiten zoals een startactiviteit, een simulatie en/of een spel.

Kennisclips – Een korte video gericht op leren wordt ook wel een *kennisclip* genoemd. Voor de inhoud van de kennisclips geldt dat ze eigenlijk alles kunnen bevatten wat je in de les ook zou kunnen uitleggen. Dat kan een stukje theorie zijn, of een voorbeeldopgave, demonstratie of practicumintroductie.

Bij het beoordelen van kennisclips moet rekening worden gehouden met het feit dat leerlingen vaak de belangrijkste boodschap niet uit een kennisclip kunnen

halen. Dat geldt met name voor kennisclips met alleen uitleg. Het blijkt zelfs dat de clips bestaande onjuiste leerlingdenkbeelden kunnen versterken, hoewel ze juist bedoeld zijn om dat leerlingdenkbeeld om te buigen naar een natuurwetenschappelijk begrip. Kennisclips die beginnen met een vraag rond een leerlingdenkbeeld zijn dan ook effectiever dan clips waarin dat niet gebeurt. Leerlingen moeten op het moment van kijken eigenlijk de lesstof al aan het verwerken zijn, zoals in het voorbeeld van figuur 144.

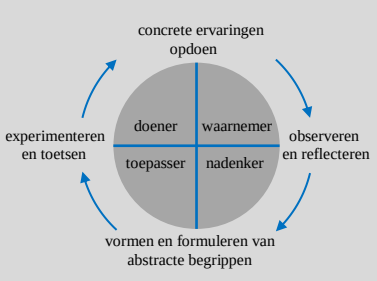
In principe kun je ook flippen zonder gebruik te maken van kennisclips. Je hoeft er 'alleen maar' voor te zorgen dat je leerlingen de lessen voorbereiden. Het goed lezen van het leerboek zou het gewenste resultaat al moeten opleveren. Dat zul je dan wel op de één of andere manier moeten belonen, bijvoorbeeld door middel van *gamification* zoals in de later in dit hoofdstuk in figuur 151 geschetste lespraktijk.

Lespraktijk

Een voorbeeld is een kennisclip over de krachten die werken op een voorwerp dat omhoog gegooid is, na het verlaten van de hand. Als de kennisclip uitsluitend het correcte concept uitlegt (alleen de zwaartekracht werkt op het voorwerp, en die kracht is constant gedurende de hele beweging), dan is er geen leereffect. Een alternatief is om de kennisclip te starten met een meerkeuzevraag: "Wat gebeurt er met de resulterende kracht op het voorwerp tussen het moment van loslaten en het hoogste punt?" Vervolgens worden een paar mogelijke antwoorden en de bijbehorende uitleg besproken (liefst door leerlingen zelf aan het woord te laten). Pas daarna volgt de correcte uitleg, waarbij expliciet gerefereerd wordt aan de gegeven antwoorden. Een dergelijke kennisclip heeft wél een leereffect. Maar veel kennisclips voldoen niet aan deze eisen.

Het kan dus goed werken om de leerlingen vóór of direct na het kijken thuis al iets met de kennisclip te laten doen, bijvoorbeeld door het stellen van voorspelvragen (vooraf) en enkele eenvoudige reproductie- en begripsvragen (achteraf). De verdere verwerking komt dan gezamenlijk in de les.

Figuur 144 – Een voorbeeld van de effectieve inzet van een kennisclip.



Figuur 145 – Leercyclus van Kolb.

Lessenserie met variatie in kernactiviteiten

De uit vier lessen bestaande cursorische lessenserie *Geluid horen en maken* is ontleend aan het boek *Natuur- en scheikunde in de basisvorming*. Deze lessenserie heeft als kenmerk dat elke les een andere *kernactiviteit* heeft volgens de in figuur 145 weergegeven leercyclus van Kolb. Figuur 146 geeft per les de *titel*, de *richtvraag* en de inhoud in *kernwoorden*.

Les	Titel en richtvraag	Kernwoorden
1	**Geluiden horen** Welke eigenschappen heeft geluid?	• geluidssterkte (dB), toonhoogte (Hz) • dB- en Hz-ladder lezen • gehoorgrenzen opmeten
2	**Het beschadigde gehoor** Hoe werkt het gehoor?	• bouw van het oor • gehoorschade, normen voor geluidsoverlast • informatiebronnen raadplegen
3	**Lawaai isoleren** Welke maatregelen kun je nemen om lawaai te isoleren?	• isolatiemaatregelen • model: bron-medium-ontvanger • medium voor geluid • isolatie-experiment voorbereiden en uitvoeren
4	**Geluidsoverlast** Wanneer is er sprake van geluidsoverlast?	• normen voor geluidsoverlast • beargumenteerde mening geven

Figuur 146 – De globale inhoudsopbouw van de lessenserie *Geluid horen en maken*.

In figuur 147 is deze globale inhoudsopbouw van de lessenserie uitgewerkt tot een (nog globaal) draaiboek, met voor elke les een karakterisering van de kernactiviteit. Dit draaiboek geeft niet alleen de inhoud van de lessen en de didactische verantwoording daarvan, maar ook de inhoud van de lesovergangen.

Les	Lesindeling (globaal)	Toelichting
1	**Geluiden horen** **Kernactiviteit: meemaken en waarnemen**	
	Startactiviteit: geluiden-quiz (welk geluid is het?).	Oriënteren op het onderwerp, motiveren, kennismaken met het verschijnsel.
	Kennisnemen van het lesprogramma. Huiswerk noteren.	Oriënteren op het onderwerp en het programma van de lessenserie en de les.
	Kennis over en ervaringen met geluid verwoorden en uitwisselen (geluid, lawaai, gehoor, geluidssterkte, toonhoogte).	Voorkennis activeren en eigen ervaringen uitwisselen.
	Kennis nemen van dB- en Hz-ladder.	Verwerven van nieuwe kennis.

	Oefenen met dB- en Hz-ladder.	Verwerken van nieuwe kennis.
	Luisteren naar samenvatting.	Verwerken van nieuwe kennis.
1 → 2	**Huiswerkopdracht**	
	Paragraaf nalezen en de opgegeven vragen maken.	Verwerken en toepassen van het geleerde.
	Lees het uitgedeelde artikel over geluidshinder in discotheken en beantwoord de volgende twee vragen: **a** Welke schade kan discomuziek veroorzaken aan je gehoor? **b** Welke maatregelen zouden getroffen moeten worden om de schade te beperken?	Oriënteren op het nieuwe onderwerp: Geluidshinder.
2	**Het beschadigde gehoor** **Kernactiviteit: reflecteren en bestuderen**	
	Rapporteren over de huiswerkopdracht.	Verwerken van het huiswerk.
	Luisteren naar demo-bandje (hoog-laag, hard-zacht, klank).	Motiverende activiteit: ervaren van verschillende geluiden, verwerken van het geleerde.
	Kennisnemen van het lesprogramma.	Oriënteren op het onderwerp en het programma van de les.
	Huiswerk noteren.	
	Video kijken en kijkvraag beantwoorden.	Nieuwe informatie verwerven.
	Informatie verzamelen en verwerkingsvragen beantwoorden.	
	Groepsresultaten presenteren.	Verwerken en verdiepen van kijkvragen.
2 → 3	**Huiswerkopdracht**	
	Voer de volgende twee opdrachten uit:	
	a Zoek bij jou in de buurt naar situaties waarbij de geluidssterkte boven de norm van 80 dB komt. Informeer ook bij je ouders of anderen naar beroepssituaties die gevaarlijk zijn voor het gehoor. Welke maatregelen worden daar getroffen?	Toepassen in de eigen omgeving in een nieuwe situatie.
	b Maak een lijstje van maatregelen om een huis te beschermen tegen verkeerslawaai.	Oriënteren op het nieuwe onderwerp: Lawaai isoleren.
3	**Lawaai isoleren** **Kernactiviteit: toepassen en testen**	
	Rapporteren over de huiswerkopdracht.	Verwerken van het huiswerk.
	Demonstraties bekijken (wekker onder water, bel onder vacuümklok, blikjestelefoon).	Motiverende activiteit: informatie verwerven over lawaai isoleren.
	Kennisnemen van het lesprogramma.	Oriënteren op het onderwerp en het programma van de les.
	Huiswerk noteren.	
	Luisteren en kijken naar de uitleg van het model van het oor.	Informatie verwerven over de bouw van het oor.
	Experimenten voor isolatie-onderzoek voorbereiden (opstelling: toongenerator met luidspreker en dB-meter).	Toepassen van het geleerde in een eigen experiment (het geleerde verifiëren).
	Waarnemingen noteren en verwerken.	Oefenen in het omgaan met apparaten, verwerken van de meetresultaten.
	Groepsresultaten rapporteren.	Verdiepen van de meetresultaten.
3 → 4	**Huiswerkopdracht**	
	Paragraaf nalezen en de opgegeven vragen maken.	Verwerken en toepassen van het geleerde.
4	**Geluidsoverlast** **Kernactiviteit: uitproberen en uitzoeken**	
	Rapporteren over de huiswerkopdracht.	Verwerken van het huiswerk.
	Kennisnemen van het lesprogramma	Oriënteren op het onderwerp en het programma van de les.
	Huiswerk noteren.	
	Kennisnemen van de lesopdracht ‘Denk aan de buren’ (stel een advies op voor herriemaker en klager).	Toepassen van kennis bij het maken van een product.
	Informatie verzamelen via schriftelijke vragen aan de leraar.	
	Argumenten verzamelen.	
	Mening weergeven op flap.	Verwerken van de verzamelde informatie.
	Groepsresultaten rapporteren.	Verdiepen van de beargumenteerde mening.

Figuur 147 – Het globale draaiboek voor de lessenserie *Geluid horen en maken*.

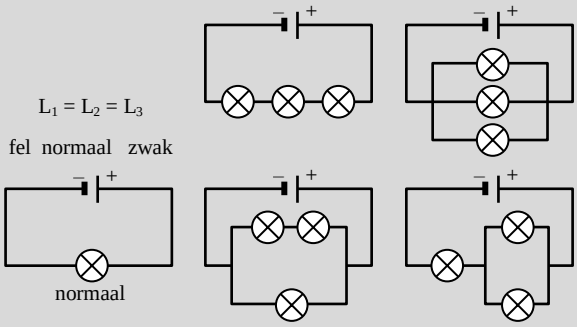
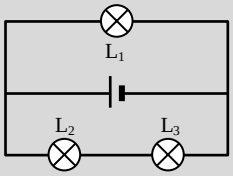
Probleemgeoriënteerde lessenserie

Probleemgeoriënteerd leren is een didactische aanpak die voor het natuurkunde-onderwijs antwoord probeert te geven op de volgende vragen.

- Hoe inventariseer en activeer je de voorkennis (waaronder leerlingdenkbeelden), en hoe sluit je bij die voorkennis aan?
- Hoe zorg je ervoor dat leerlingen tijdens het leren overzicht houden over de inhoudelijke lijn van een hoofdstuk?

- Hoe zet je activerende werkvormen in: ‘denken-delen-uitwisselen’ om leerlingen te laten nadenken over hun probleemaanpak, en ‘experts’ voor de afronding van een hoofdstuk en voor de toetsvoorbereiding?

Een probleemgeoriënteerde lessenserie bestaat uit een aantal theorielessen met een structuur zoals in het voorbeeld van figuur 148.

Lesonderdeel		**Toelichting**
Je leert	op welke manieren je drie lampjes kunt aansluiten op een spanningsbron en hoe fel ze dan branden.	Richtvraag • Gesteld in termen van voorkennis zonder onbekende begrippen. • Leerlingen begrijpen de vraag maar het antwoord nog niet. • Voor het antwoord is nieuwe leerstof nodig.
Instap	Vier schakelingen van drie lampjes. Voorspellen van zwak, normaal en fel; losdraaien van lampjes.  	Functie • Stelt het onderwerp. • Inventariseert voorkennis. • Roept verklaringsbehoefte op.
Kernbegrippen	Serieschakeling van lampjes of apparaten; één stroomkring; dezelfde stroom; spanning verdelen. Parallelschakeling van lampjes of apparaten; meerdere stroomkringen; dezelfde spanning; stroom verdelen. Spanningsbron en stroombron	Nieuwe leerstof met kernbegrippen nodig om de richtvraag te beantwoorden.
Je kunt	omschrijven wat serie- en parallelschakelingen zijn en voorbeelden, overeenkomsten en verschillen noemen; uitleggen dat spanningsbronnen een vaste spanning hebben, maar een veranderlijke stroom; uitleggen dat stroombronnen een vaste stroom hebben, maar een veranderlijke spanning.	Wat leerlingen kennen en kunnen met gebruikmaking van de geleerde kernbegrippen.
Checkvraag	Wat verandert er als je een lampje losdraait? Vul de tabel in. Kies: uit, zwak, normaal of fel.  L_1 / L_2 / L_3 normaal / / los / / / los / / / los	Check van het begrip, bij voorkeur met een zichtbaar resultaat, zodat snelle feedback mogelijk is.

Figuur 148 – Opbouw van een probleemgeoriënteerde theorieles over schakelingen.

Probleemgeoriënteerde theorieles – Theorielessen beginnen steeds vaker met het stellen van leerdoelen voor de leerlingen. Dit geeft leraren en leerlingen een gerichte focus op de kern van de les. Er is ook een nadeel: de doelen aan het begin van de les bevatten vaak de kernbegrippen die pas gedurende de les worden begrepen. Dat betekent dat leerlingen de doelen aan het begin van de les vaak (nog) niet kunnen begrijpen.

Een alternatief voor deze oriëntatie op het leren is een probleemgeoriënteerde formulering van de leerdoelen met een instap. Bijvoorbeeld: “Je leert hoe je lampjes kunt aansluiten op een spanningsbron.” De instap kan bestaan uit het doen van voorspellingen over vier verschillende schakelingen van drie lampjes. Als controle op het leren kunnen resultaatgerichte leerdoelen met kernbegrippen

dienst doen. Bijvoorbeeld: “Je kunt herkennen of lampjes in serie of parallel geschakeld zijn.” Daarin zijn serie en parallel de nieuw geleerde kernbegrippen.

De in figuur 149 weergegeven lessenserie geeft een probleemgeoriënteerde benadering van een bestaand hoofdstuk uit een leerboek, in dit geval over het onderwerp elektriciteit. Daardoor liggen de inhoud en de volgorde van de leerstof vast. De bouwstenen van zo’n benadering, zoals die aan het hoofdstuk in het leerboek worden toegevoegd, zijn *hoofdstukvragen* in de inleidende paragraaf, een *instapprobleem*, *paragraafvragen*, *kernbegrippen* en een *toepassingsprobleem* in de daarop volgende leerstofparagrafen, en een *samenvatting* en *toetsvoorbereiding* in de afsluitende paragraaf. Voor het verwerken van de leerstof wordt een selectie uit de oefenopgaven in het leerboek gebruikt.

Bouwstenen	Uitwerking
1 Inleiding	
Hoofdstukvragen	• Hoe wordt er voor gezorgd dat een elektrische schakeling goed en veilig werkt? • Welke verschijnselen, eigenschappen en wetmatigheden gelden voor elektrische schakelingen? • Met welke wetmatigheden kun je het goed en veilig werken van elektrische schakelingen beter begrijpen?
2 De elektrische schakeling van de huisinstallatie	
Instapprobleem	• Wat gebeurt er als je een contactdoos van een verlengsnoer in een emmer water laat vallen? Maakt het uit of de contactdoos randaarde heeft?
Paragraafvragen	• Welke voorzieningen in de huisinstallatie zorgen voor veiligheid? • Kun je de werking daarvan begrijpen met eigenschappen van een elektrische schakeling?
Kernbegrippen	• Schakelingen: stroomkring, stroombehoud, weerstand, wet van Ohm. • Huisinstallatie: fasedraad, nuldraad, aarddraad, overbelasting, kortsluiting, brandgevaar, aanrakingsgevaar, isolatie en dubbele isolatie, aarding en randaarde, groepenkast met zekering en aardlekschakelaar.
Oefenopgaven	
Toepassingsprobleem	• Waarom kan de aarding van huizen van voor 1950 ondeugdelijk zijn?
3 Serie- en parallelschakeling	
Instapprobleem	• Hoe branden gelijke lampjes als je ze opneemt in vier verschillende schakelingen van drie lampjes? Hoe verandert dat als je lampjes losdraait?
Paragraafvragen	• Hoe meet je spanning, stroom en weerstand in een schakeling met drie weerstanden? • Welke wetmatigheden gelden voor spanning, stroom en weerstand in een schakeling met meer weerstanden?
Kernbegrippen	• Stroomsplitsing, spanningsdeling, wet van Ohm, vervangingsweerstand.
Oefenopgaven	
Toepassingsprobleem	• Hoe kun je met een schuifweerstand de spanning regelen?
4 Elektrische energie	
Instapprobleem	• Wat gebeurt er als je een roodgloeiende metaaldraad die aangesloten is op een spanningsbron deels onderdompelt in water?
Paragraafvragen	• Hoe bereken je in een elektrische schakeling de hoeveelheid warmte die wordt ontwikkeld in de bedrading, in de apparaten en in de bron? • Wat is in de huisinstallatie de invloed van verlengsnoeren en bedrading op het goed werken van apparaten en lampen?
Kernbegrippen	• Vermogen, energie, weerstandsregel, warmte-evenwicht.
Oefenopgaven	
Toepassingsprobleem	• Waarom is de maximaal toegestane stroomsterkte in een opgerold verlengsnoer lager dan in een afgerold verlengsnoer?
5 Weerstand	
Instapprobleem	• Hoe ziet de ijkgrafiek er uit van een draaiweerstand die je gebruikt als hoeksensor?
Paragraafvragen	• Welke soorten variabele weerstanden zijn er en waarvan hangt de weerstandswaarde van die variabele weerstanden af? • Hoe kun je een variabele weerstand gebruiken voor het meten van bijvoorbeeld lichtsterkte of temperatuur?

Kernbegrippen	• Metaaldraad: weerstand afhankelijk van lengte, dwarsdoorsnede-oppervlak en soort metaal. • Weerstand afhankelijk van temperatuur (PTC of NTC), licht (LDR) of richting (diode), sensorschakeling, ijkgrafiek.
Oefenopgaven	
Toepassingsprobleem	• Hoe kun je een NTC-weerstand gebruiken als temperatuursensor?
6 Afronding	
Samenvatting	• De leerstof is na iedere paragraaf samengevat in een leerstofoverzicht. Nagegaan wordt of de hoofstukvragen nu beantwoord zijn.
Toetsvoorbereiding	

Figuur 149 – De bouwstenen en de (globale) uitwerking daarvan in een probleemgeoriënteerde benadering van het onderwerp elektriciteit als aanvulling op het hoofdstuk *De elektrische huisinstallatie* in het leerboek.

De bouwstenen van een probleemgeoriënteerde lessenserie hebben een bepaalde inhoud en didactische functie.

Hoofdstukvraag – De hoofdstukvraag is de richtvraag waarop de bestudering van het hoofdstuk antwoord geeft. Deze vraag is gesteld in termen van voorkennis en bevat geen nog onbekende begrippen. De leerlingen kunnen de vraag begrijpen, maar kennen het antwoord niet – want voor dat antwoord is de leerstof uit het hoofdstuk nodig.

De didactische functie van de hoofdstukvraag is dat leerlingen zich een beeld kunnen vormen van de focus van het hoofdstuk, waarna deze vraag bij het werken aan het hoofdstuk het denken van de leerlingen organiseert en richt. Dit betekent dat de paragraafvragen moeten aansluiten op de hoofdstukvraag.

Instapprobleem – Elke leerstofparagraaf start met een instapprobleem. In het voorbeeld van figuur 149 is dat een demonstratie met onderwijsleergesprek, maar een instapprobleem kan ook worden vormgegeven met een discussieposter, een afbeelding, een verhaal, een brainstorm enzovoort.

Het instapprobleem heeft als didactische functie het vaststellen van het onderwerp van de paragraaf, het inventariseren van de voorkennis van de leerlingen (waaronder leerlingdenkbeelden), het oproepen van een behoefte aan verklaring van de waargenomen verschijnselen en (daarmee) het oproepen van een motivatie voor het vervolg. De interactie tussen leraar en leerlingen is bijvoorbeeld als volgt te structureren: confrontatie met het verschijnsel en stellen van de startvraag, inventariseren van verwachtingen en argumenten, doen van waarnemingen en formuleren van vervolgvragen.

Paragraafvraag en kernbegrippen – De vraag van het instapprobleem wordt verbreed naar een paragraafvraag. Deze vraag heeft dezelfde kenmerken en functie als de hoofdstukvraag (maar nu gericht op de betreffende leerstofparagraaf) en is te beantwoorden met de leerstof uit de paragraaf zoals samengevat in de kernbegrippen. De paragraafvragen samen geven de verhaallijn van het hoofdstuk.

Oefenopgaven en toepassingsprobleem – Met de oefenopgaven (uit het leerboek) verwerken de leerlingen de leerstof. Elke leerstofparagraaf heeft als afsluiting een toepassingsprobleem, waarbij er een duidelijk verband is tussen het op te lossen probleem en de leerstof uit de betreffende paragraaf. Het toepassingsprobleem heeft één probleemstelling, en de moeilijkheidsgraad kan worden gevarieerd door keuzes te maken in het continuüm van contextrijk tot contextarm en van gestructureerd (met tussenstappen) tot ongestructureerd (zonder tussenstappen).

Een toepassingsprobleem heeft als didactische functie het verwerken en toepassen van de aangeboden leerstof. Een reflectie op de aanpak van het toepassingsprobleem door de leerlingen kan het vaker gebruiken van een algemene en domeinspecifieke probleemaanpak stimuleren.

Het werken aan het toepassingsprobleem is te structureren met bijvoorbeeld de werkvorm *denken-delen-uitwisselen* (zie paragraaf 2.6.1). De individuele voorbereiding (denken) kan als huiswerk gebeuren. De groepsopdracht (delen) is gericht op het vinden van de juiste oplossing en het overdenken van de pro-

bleemaanpak door het onderling vergelijken van de individuele voorbereiding. De klassikale nabespreking (uitwisselen) levert aandachtspunten voor een algemene en domeinspecifieke probleemaanpak.

Samenvatting en toetsvoorbereiding – De functie van de samenvatting is terugkijken naar de hoofdstukvraag: is deze met de inmiddels verworven kennis en vaardigheden te beantwoorden? En zo ja: welke antwoorden zijn dat dan? Dat kan door bijvoorbeeld het voorleggen van de vier opdrachten uit figuur 150 die gaan over belangrijke delen van de leerstof, en daardoor dienst kunnen doen als toetsvoorbereiding.

Het werken aan deze opdrachten is te structureren met bijvoorbeeld de werkvorm *experts* (zie paragraaf 2.6.1). De individuele voorbereiding (het maken van één van de opdrachten) doet de leerling als huiswerk. Daarna volgt in de klas het werken in de homogene expertgroepen per opdracht (bespreken van de resultaten van het huiswerk en vaststellen van de oplossing van de opdracht), gevolgd door het werken in de gemengde expertgroepen (onderling presenteren van de oplossing van elk van de opdrachten), en afgesloten met een nabespreking van de probleemaanpak.

Toetsvoorbereiding

A Hoe wordt er in huis voor gezorgd dat er weinig gevaar is voor het ontstaan van brand door kortsluiting of overbelasting?

B Hoe wordt er in huis voor gezorgd dat er weinig gevaar is voor het oplopen van een schok?

C Hoe wordt er in huis voor gezorgd dat er niet te veel energieverlies is in de leidingen?

D Je hebt twee lampjes L_1 (6,0 V; 0,30 A) en L_2 (12,0 V; 0,40A) en twee regelbare weerstanden. Ontwerp een schakeling waarbij beide lampjes op de juiste sterkte branden. Geef een toelichting waarom je schakeling goed werkt.

Figuur 150 – Een voorbeeld van een afsluitende toetsvoorbereiding.

Het is niet altijd mogelijk om te voldoen aan de eisen die aan de verschillende bouwstenen worden gesteld, doordat de inhoud en volgorde van de leerstof worden bepaald door het leerboek. Neem bijvoorbeeld de eis dat de paragraafvragen samen de verhaallijn van het hoofdstuk geven. Daardoor gaat het in het voorbeeld van figuur 149 bij paragraaf 5 over weerstand ‘wringen’: de paragraafvraag is hier niet meer logisch te koppelen aan de elektrische huisinstallatie en vormt een doorbreking van de grote lijn van het verhaal. Maar dat is dan in dit geval, met het leerboek als uitgangspunt, niet anders.

Lespraktijk

De leraar heeft een lessenserie geflipt en in een spelvorm gegoten met behulp van rangschikopgaven. De leerlingen werken in vaste groepjes. Het doel van het spel is het oplossen van een kruiswoordraadsel waarin allerlei vaktermen staan. Als een groepje het kruiswoordraadsel correct heeft opgelost, krijgen ze een oefenproefwerk.

De aanwijzingen voor de woorden in het kruiswoordraadsel zijn niet gegeven, maar moeten worden verdiend. Dat kan door:

- de begripsvragen uit de kennisclips correct te maken;
- de volgorde van een rangschikopgave juist te geven;
- de uitleg van een rangschikopgave juist te geven.

Figuur 151 – Een voorbeeld van een geflipte lessenserie met verwerking in de vorm van een spel met rangschikopgaven.

Gamification

Bij *gamification* gaat het om het inzetten van spelelementen in het onderwijs om leerlingen (nog) beter te motiveren. Gamification onderscheidt zich van *serious games* doordat er geen sprake hoeft te zijn van een volwaardig spel. Het gebruik van een bord-timer tijdens opdrachten in de klas is al een mooi voorbeeld: wat werken ze dan ineens hard.

Een ander kenmerk van gamification is dat de gebruikte technieken meestal los staan van de inhoud van de leerstof. De in figuur 151 en 152 beschreven lessen kunnen over elektriciteit gaan, maar net zo goed over beweging of straling.

Lespraktijk

De leraar merkt op dat de leerlingen zich tijdens de laatste les voor een proefwerk zeer matig inzetten voor de oefentoets. Hij besluit de les op een andere manier in te richten, namelijk met behulp van *gamification*. De leerlingen gaan in teams van twee of drie leerlingen de strijd met elkaar aan.

De oefentoets is opgedeeld in levels, die de leerlingen spelen door de opdrachten te maken. De leraar kijkt hun antwoorden na. Als er fouten in zitten, volgen er 2 strafpunten en een nieuwe poging. Als het antwoord echter foutloos is, krijgen ze punten en spelen ze het volgende level vrij.

Scores worden op het digibord bijgehouden in een *leaderboard* zoals hieronder

weergegeven. Als de tijd om is, wint het team met de meeste punten.

Level:	1		2		3		4		
Te behalen:	4		6		9		15		
Poging:	1	2	1	2	1	2	1	2	Score
Tovenaars	4		6		-2	7	15		30
Team Natuurkunde	-2	4	6		-2	9	-2	15	28
Zou niet weten	-2	4	6		9		-2	13	28
Crackies	4		-2	6	9		-2	10	25
Boemlauw	-2	4	6		-2	2	15		23

Figuur 152 – Een voorbeeld van de gamification van een les.

Het is verleidelijk om bij het toepassen van gamification alleen maar te denken aan beloningssystemen als punten, badges en *leaderboards*. Leerlingen worden door dergelijke PBL-systemen vooral extrinsiek gemotiveerd. Het risico daarvan is dat leerlingen zich alleen nog maar inzetten als er beloningen tegenover staan. De intrinsieke motivatie, het leren omwille van het leren, kan dan worden weggedrukt door de extrinsieke motivatie. De drie pijlers van intrinsieke motivatie zijn gevoelens van competentie, autonomie en verbondenheid. Het gevoel van competentie kan worden versterkt door het geven van veel feedback. Autonomie wordt door leerlingen ervaren als ze betekenisvolle keuzes kunnen maken. Verbondenheid wordt ervaren als leerlingen samen met anderen taken uitvoeren.

In de meer klassieke vormen van onderwijs is met name het creëren van keuzevrijheid en het geven van veel persoonlijke feedback lastig vorm te geven. Gamification, eventueel gecombineerd met *flipping the classroom* biedt de leraar mogelijkheden om de leerlingen meer vrijheid te geven en bovendien een beter beeld te krijgen van de individuele voortgang. Na de in figuur 152 beschreven les weten de leraar en de teams bijvoorbeeld precies welke levels, en dus welke stukken leerstof, nog niet door hen op het gewenste niveau werden beheerst.

Bij het toepassen van gamification wordt zoek je een antwoord op de volgende vragen.

- Wat zijn de (meetbare) opbrengsten die je beoogt? Wanneer is je lesmateriaal succesvol en hoe ga je dat bepalen?
- Om welke doelgroep gaat het? Wat drijft hen? Welk aspect van de te behandelen leerstof zal hen activeren? De beschrijving van de doelgroep zal vaak hetzelfde zijn, maar kan veranderen als je het lesmateriaal ontwerpt als interventie voor een bepaalde deelgroep in de klas. Misschien wil je bijvoorbeeld dat drukke groepje jongens dat altijd over voetballen praat bij je les betrekken. Het kan dan een idee zijn een voetbalthema in je lesmateriaal te verwerken.
- Hoe wil je dat de leerlingen met je lesmateriaal aan de slag gaan? Wat wil je van de leerlingen zien, hoe wil je dat ze zich gedragen? Wil je dat ze samenwerken, of juist voor eigen succes gaan? Wil je dat ze ontspannen brainstormen, of wil je dat ze druk ervaren?
- Welk medium gebruik je, en welke *feedback mechanics* en *triggers* horen daarbij? De *feedback mechanics* zijn technieken die gebruikt worden om de speler feedback te geven op zijn activiteiten. De manier waarop feedback wordt gegeven, hangt af van het medium. In digitale games vindt voortdurende snelle feedback plaats. Voorbeelden van feedback mechanics zijn de *profile progress bar* van LinkedIn, of de gekleurde ster op ebay. In een niet-digitale omgeving, zoals in de klas, kun je bijvoorbeeld stickers, stempels, buttons of monopolygeld gebruiken. Een *trigger* is een spelelement dat de speler tot een bepaalde actie beweegt, zoals een beloning die in het vooruitzicht wordt gesteld. Als trigger kun je bijvoorbeeld een badge aan je bord hangen, die leerlingen met een bepaalde activiteit kunnen behalen.
- Welke stimulansen en/of beloningen gebruik je? Het is een goede tactiek om de leerlingen aanvankelijk positief te activeren. Dat kan door betekenis te geven aan de leerstof, keuzevrijheid te creëren en/of hen het gevoel te geven dat ze de uitdagingen aankunnen (bijvoorbeeld door te starten met een makkelijke opdracht). Vervolgens beweeg je ze tot actie met beloningen en/of dreigend onheil

zoals het verlies van de voorsprong of het mislopen van een beloning. De leerlingen bouwen dan wel even een onprettig gevoel op, maar dat neem je vervolgens weer weg door elke cyclus te eindigen met positieve drijfveren. Zorg dus voor zoveel mogelijk positieve feedback aan het einde van iedere cyclus, zodat de leerlingen niet met een negatieve nasmaak blijven zitten. Taalgebruik speelt hierbij een belangrijke rol.

Het toepassen van gamification op lesmateriaal is een creatief proces, waarbij je je eventueel kunt laten inspireren door voorbeelden van anderen. Maar ook je eigen spelervaringen, zowel digitaal als analoog, kunnen een onuitputtelijke bron van inspiratie zijn. Experimenteer met *group quests*, hulplijnen, badges, *role playing*, *skill trees*, dobbelstenen, memorykaarten, of wat je ook maar kunt verzinnen – maar altijd met de kernvraag in het achterhoofd: hoe kan ik nóg meer plezier verwerken in mijn lesmateriaal?

Taakwerk

Er zijn scholen die de lessen hebben opgebouwd vanuit *taakwerk* zoals bekend uit het Daltononderwijs. Om klassikale instructie overbodig te maken, zijn in de klas enkele computers beschikbaar met korte videoclips met uitleg van de leerstof en opgaven. Ook zijn de uitwerkingen van opgaven voor leerlingen beschikbaar. De taken kunnen bestaan uit bestuderen van leerstof, bekijken van instructievideo's, maken en nakijken van opgaven, uitvoeren van practica en zoeken van bronnen. Er zijn taken die individueel worden uitgevoerd, of in twee- en viertallen. De leraar is vooral begeleidend bezig en geeft waar nodig aanvullende instructie of begeleiding, individueel of in kleine groepen. Leerlingen maken per week en per dag een planning.

Deze vorm van onderwijs vraagt om een uitgebreide ontwikkeling van taken, materialen en video's gedurende enkele jaren. Het resultaat is een klas met veel zelfwerkzaamheid, afwisselende leeractiviteiten en een intensieve gerichte begeleiding door de leraar.

Lespraktijk

Een leraar geeft de eindtoets terug. Bij de meeste leerlingen heeft hij wel een korte opmerking. "Goed gedaan" voor de leerling die nu een voldoende heeft maar anders vaak een onvoldoende. "Je kan beter" voor de leerling die nu een 6 heeft maar eigenlijk wel een 8 kan halen. "Prima werk" voor degene die zoals altijd een 9 heeft. "Wat is er aan de hand en kom je na de les even langs" voor de leerling die nu onverwacht een diepe onvoldoende heeft.

Figuur 153 – Een voorbeeld van omgaan met verschillen bij het teruggeven van de eindtoets.

4.2.2 Recht doen aan verschillen

Leerlingen verschillen onderling wat betreft tempo en niveau. Dat zie je bijvoorbeeld terug in de cijfers voor een eindtoets. Die verschillen kunnen te maken hebben met inzicht, maar ook met inzet. In de dagelijkse omgang met leerlingen zal de leraar hiermee rekening houden in de manier waarop hij hen benadert: de één heeft uitdaging nodig, de ander een bevestigend woord, en weer een ander een kritische vraag – zoals in de in figuur 153 geschetste lespraktijk. Je kunt daarbij kiezen tussen complimenteren of confronteren, bevestigen of bekritiseren, uitdagen of steunen, serieus of luchtig.

Ook in de les zijn er verschillen tussen leerlingen. Sommigen snappen de uitleg direct en willen graag verder, anderen hebben veel moeite zich de leerstof eigen te maken. Sommigen zijn heel ijverig en maken alle sommen, anderen hebben nooit hun huiswerk gedaan. Sommigen bestuderen eerst uitgebreid de theorie, anderen willen vrijwel direct met de opgaven aan de slag. Sommigen nemen steeds het initiatief, anderen 'lopen daar achteraan' – zoals in de in figuur 154 geschetste lespraktijk.

Deze verschillen tussen leerlingen hebben betrekking op de manier van leren: de *leerhouding* (die afhangt van concentratievermogen, intelligentie, motivatie, sociale vaardigheden, zelfvertrouwen en doorzettingsvermogen), de voorkeur voor *informatiebronnen* (taalgericht of visueel gericht) en de voorkeur voor een bepaalde *leeraanpak* (meemaken en waarnemen, reflecteren en bestuderen, toepassen en testen, en uitproberen en uitzoeken). De manier van leren kan voor een leerling per schoolvak verschillend zijn.

De verschillen in interesse, inzicht, inzet of tempo zijn – naast het cijfer – belangrijke factoren bij bijvoorbeeld de advisering voor een profielkeuze.

Lespraktijk

Bij het practicum valt het de leraar op dat steeds dezelfde leerlingen de apparatuur bedienen en anderen de instructie voorlezen en schrijven. Dat is jammer, want nu leren de leerlingen eenzijdig. Hij besluit dat van nu af aan de taken bij het practicum rouleren. In het verslag moet staan wie de apparatuur bedient en wie leest en schrijft.

Figuur 154 – Een voorbeeld van omgaan met verschillen bij het doen van practicum.

Differentiatie

Rekening houden met verschillen is ook mogelijk door het aanbrengen van variatie in instap, werkvormen, bijzondere activiteiten en afronding. Dan is er sprake

van *differentiatie*. Bij differentiatie varieer je in lesinhoud, proces, product, voorkeur of leeromgeving. Door klein te beginnen is differentiatie goed te organiseren. Het vraagt een goede voorbereiding van de benodigde leermiddelen.

Er zijn verschillende mogelijkheden om differentiatie vorm te geven: *gericht begeleiden*, *extra opdrachten* voor snelle leerlingen, verschillende *leerroutes* aanbieden, een *instructietafel* instellen en *gelaagde opdrachten* geven. Deze vormen van differentiatie zijn erop gericht dat alle leerlingen dezelfde einddoelen halen en op dezelfde wijze worden getoetst. Dan gaat het om *convergerende differentiatie*. Een andere benadering is die van *divergerende differentiatie*. Dat houdt in dat leerlingen verschillende einddoelen bereiken, zoals een zwaarder correctiemodel voor leerlingen die beter zijn in het vak dan voor leerlingen die er moeite mee hebben, of een vmbo-leerling die voor een vak op havo-niveau eindexamen doet.

Gericht begeleiden – Als leerlingen zelf hun huiswerk nakijken of een deel van de les aan opdrachten werken, kun je gericht begeleiden op vragen en problemen die leerlingen aangeven. Ook kun je dan voor de klassikale bespreking opdrachten selecteren die leerlingen moeilijk vinden en gebruik maken van je observaties bij het begeleiden. Dit geldt natuurlijk helemaal als je de lessen hebt georganiseerd als werken aan taken.

Extra opdrachten – Tempoverschillen zijn op te lossen door extra opdrachten te geven aan de snelle leerlingen. Een bekend model is het model met leerstof voor basis, herhaling en verdieping/verbreding. Bij verdieping gaat het om meer theorie in aansluiting op de basisstof, bij verbreding om meer toepassingen van de basisstof. Een voordeel van dit model is de mogelijkheid van herhaling als de basisstof nog niet wordt beheerst. De snelle leerlingen kunnen dan verdiepings- of verbredingsstof doen. Een nadeel is dat het meestal dezelfde leerlingen zijn die de verdiepings- of verbredingsstof mogen doen, en dat deze extra stof door hen niet altijd als beloning wordt gezien.

Een alternatief voor het werken aan verdiepings- of verbredingsstof is aanvullend doorlopend parallelwerk, zoals een project waaraan leerlingen kunnen doorwerken als ze klaar zijn met de basisstof.

Leerroutes – Een andere mogelijkheid voor differentiatie is om bij de start van een hoofdstuk of paragraaf voor de betere leerlingen een andere route door de vraagstukken te maken dan voor de minder goede leerlingen. Om op deze manier te differentiëren verdeel je de opgaven in vier categorieën A, B, C en D, die verschillen in leeractiviteit en niveau zoals weergegeven in figuur 155.

Categorie	Soort opgave
A	Gericht op het onthouden van feitenkennis.
B	Gericht op het oefenen in situaties die vergelijkbaar zijn met de aanleersituaties.
C	Gericht op het toepassen in eenvoudige nieuwe situaties.
D	Gericht op het toepassen in complexe nieuwe situaties.

Figuur 155 – Vier categorieën voor het indelen van opgaven ten behoeve van differentiatie.

	A	B	C	D
Totaal	4	4	4	2
Route 1	4	4	2	
Route 2	0	2	4	2

Figuur 156 – Een voorbeeld van differentiatie met verschillende routes door de opgaven.

De opgaven in de categorieën C en D verschillen in het aantal denkstappen en in de afstand tussen theorie en toepassingssituatie. Een belangrijk hulpmiddel voor de leerlingen kan overigens zijn het toevoegen van hints aan een aantal ingewikkelde opgaven.

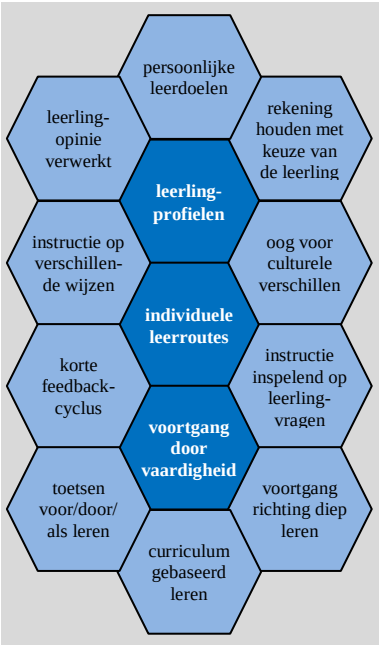
Na het op deze manier categoriseren van de opgaven van (bijvoorbeeld) een paragraaf definieer je twee routes door de opgaven zoals in figuur 156 (maar dan niet in aantallen maar met opgavenummers), met de eerste route voor de minder goede leerlingen en de tweede route voor de betere/snellere leerlingen. De keuze voor een route kan worden overgelaten aan de leerlingen zelf, maar de leerlingen kunnen ook door de leraar worden ingedeeld naar prestatie en naar keuze voor vervolgonderwijs.

Instructietafel – Differentiatie in instructie is te realiseren met het instellen van een instructietafel voor kleine groepen. Na de instructie kun je leerlingen vragen of aanwijzen voor een verlengde instructie aan de instructietafel.

Gelaagde opdracht – Een bijzondere vorm van differentiatie is leerlingen laten werken aan een gelaagde opdracht. Startpunt is een contextrijke opdracht zonder stappenplan. Variaties zijn dan bewerkingen van deze opdracht tot een context-arme opdracht en/of een opdracht met een stappenplan.

Gepersonaliseerd leren

Leerlingen kunnen op sommige scholen een geheel eigen leerroute en tempo kiezen. Dan is er sprake van *gepersonaliseerd leren* waarbij leerlingen op hun eigen wijze en in hun eigen tempo werken aan de leerdoelen. Per vak, leerinhoud of onderdeel wordt afhankelijk van de prestaties en voorkeuren van de leerling een op die leerling aangepast programma voor herhaling, verdieping en/of verrijking aangeboden. Traditionele vernieuwingsscholen zoals die voor Dalton- en Montessori-onderwijs bieden binnen bestaande lesmethoden de mogelijkheid om op eigen tempo en inzicht te werken. Meer recente initiatieven, bijvoorbeeld gebaseerd op de Zweedse Kunskapsskolan, laten ook de lesmethode los. In een online systeem staan leerdoelen per vak per leerjaar klaar, inclusief verschillende suggesties voor opdrachten en leerwerk om die leerdoelen te bereiken. Leerlingen kunnen de gesuggereerde toetsmethode kiezen om te bewijzen dat zij een leerdoel hebben gehaald, dan wel een eigen product bedenken ter goedkeuring van de leraar. Het kiezen van de leerlingen aan welke leerdoelen zij willen werken wordt begeleid door een mentor/coach. Het leren werken met eigen leerdoelen vergt begeleiding, oefening en een *actieve leeraanpak* van de leerling. De leraar heeft de taak om niet alleen de leerdoelen per leerjaar te formuleren, maar ook om verschillende routes, oefeningen, opgaven, practica, activiteiten, feedback, toetsen en dergelijke neer te zetten waarmee een leerling deze doelen kan behalen. Dat wordt weergegeven in het honingraat-model van figuur 157.



Figuur 157 – Het honingraat-model van gepersonaliseerd leren.

De rol van de leerling wordt beschreven door de drie basiscomponenten in het midden van figuur 157. De tien componenten daaromheen weerspiegelen de rol van de leraar. In verdere, niet in de figuur weergegeven schillen bevinden zich onder andere de familie, samenwerkende leraren, de lokale gemeenschap en onderwijsontwerpers. In de buitenste schil bevinden zich de eisen aan de leeromgeving die nodig is om gepersonaliseerd leren te ondersteunen, zoals ICT-eisen, flexibele werkomgeving en beschikbaarheid van leraren.

Bij gepersonaliseerd leren is het eindexamen doen op verschillende niveaus (vmbo-havo-vwo) voor verschillende vakken niet ondenkbaar.

Leren van jongens en meisjes

Er zijn verschillen, maar ook overeenkomsten tussen het leren van jongens en meisjes. De tabel van figuur 158 brengt de gevonden voorkeuren in leergedrag van beide groepen in beeld, samen met hun positieve tegenhangers. Beide soorten leergedrag zijn nodig voor een volledig leerproces. Voorkeuren in leergedrag zal een ieder hebben, maar een eenzijdige voorkeur belemmert het leren.

Wat betreft de verschillen in leergedrag tussen jongens en meisjes zitten jongens gemiddeld vaker aan de linkerkant en meisjes gemiddeld vaker aan de rechterkant van figuur 158. Overigens moet hierbij worden aangetekend dat bij deze karakterisering van het leergedrag van jongens en meisjes de verschillen *binnen* de twee groepen vaak groter zijn dan de verschillen *tussen* de twee groepen, en dat elke leerling vooral als individu moet worden gezien.

Een deel van de voorkeuren in leergedrag van jongens en meisjes komt overeen met de indeling in een *actieve leeraanpak* (kenmerk: toepassen en testen, uitproberen en uitzoeken) en een *reflectieve leeraanpak* (kenmerk: meemaken en waarnemen, overdenken en bestuderen). Het bijbehorende leergedrag is in de tabel van figuur 158 donkergrijs gemarkeerd.

Door als leraar te variëren in manier van lesgeven worden leerlingen regelmatig aangesproken op hun favoriete leergedrag, maar ook uitgenodigd om een ander dan hun favoriete leergedrag te gebruiken en te leren. Dat vergroot hun lerend vermogen. Dit is, zowel voor jongens als meisjes, onder andere te bereiken door rekening te houden met de volgende punten.

- Zorg bij de lesactiviteiten voor variatie in werkvormen, voor activerende werkvormen en voor competitieve elementen.

- Kies bij groepswerk voor gemengde groepen en een roulerende taakverdeling binnen die groepen.
- Zorg voor een positieve benadering, voor structuur en duidelijkheid, voor uitlokken van reflectie, voor begeleiden bij het plannen en organiseren, en voor ruimte voor humor.

Voorkeuren in leergedrag met positieve tegenhangers			
Eenzijdig	**Positieve tegenhanger 1**	**Positieve tegenhanger 2**	**Eenzijdig**
Jezelf overschatten	Bij uitdagingen het zelf willen doen	Bij uitdagingen steun zoeken	Jezelf onderschatten
Een eigen invulling geven aan de instructie	Eerst zelf proberen en dan de instructie lezen	De instructie van te voren lezen en dan de instructie volgen	Geen actie ondernemen zonder instructie
Een ander probleem oplossen dan het gevraagde	Bij een probleem gericht zijn op het zoeken van de oplossing	Bij een probleem gericht zijn op het beschrijven van de situatie	Problemen alleen kunnen oplossen door het volgen van de instructie
Vervallen in trial and error	Bij een complex probleem een globale lijn volgen	Bij een complex probleem stap voor stap werken volgens voorschrift	Niet af durven wijken van het voorschrift
Vasthouden aan de verkeerde weg	Zonder veel nadenken keuzes maken	Keuzes maken na uitgebreid overleg	Geen keuzes durven maken
De plank misslaan	In kritieke situaties vasthouden aan de koers	In kritieke situaties vasthouden aan het contact	Geen actie ondernemen
De strijd aangaan met de leider	Plezier beleven aan competitie	Plezier beleven aan solidariteit	Volgzaam zijn aan de leider
Teksten overslaan	Voorkeur voor visuele informatie	Voorkeur voor verbale informatie	Afbeeldingen overslaan
Conflicten leiden tot vechtpartijen	Bij conflicten een fysieke oplossing zoeken	Bij conflicten een verbale oplossing zoeken	Conflicten blijven doorzeuren
Tijdens het werk niet kunnen stilzitten	Tijdens het werk veel bewegen en fysiek contact	Tijdens het werk rustig zitten en verbaal contact	Veel gezellig kletsen en praten over eigen ervaringen
Afhaken bij slechte resultaten	Teleurgesteld zijn bij slechte resultaten	Uitgedaagd worden door slechte resultaten	Tomeloze inzet bij slechte prestaties
Geïsoleerd komen te staan	Onafhankelijk zijn van goede sociale contacten	Gevoelig zijn voor goede sociale contacten	Ondergedompeld zijn in sociale contacten
De docent uitdagen	Concurrerend naar de leider	Coöperatief naar de leider	De docent inpalmen
Brokken maken	Risico's durven nemen	Risico's vermijden	Je afschermen van nieuwe ervaringen
Te weinig contact	Oogcontact mijdend	Oogcontact zoekend	Te veel contacten
Weinig weten van andermans ervaringen en gevoelens	Uitwisselen opvattingen	Uitwisselen van ervaringen en gevoelens	Weinig weten van andermans opvattingen
Afkeer van verzorgen en inrichten	Voorkeur voor construeren en onderhouden	Voorkeur voor verzorgen en inrichten	Afkeer van construeren en onderhouden

Figuur 158 – Voorkeuren in leergedrag, met hun positieve tegenhangers.

Culturele verschillen

Elke school heeft zijn eigen cultuur, die vaak een afspiegeling is van de samenleving waar de school gevestigd is. In grote steden staan scholen vaak bekend als een school voor een bepaald soort kinderen. Termen als 'zwarte school', 'school voor ambitieuze leerlingen' en 'traditionele school' worden gebruikt om ze te beschrijven. Binnen de cultuur van de school wordt er impliciet en expliciet gedrag van de leraar verwacht om bij de cultuur aan te sluiten. De leerlingen in de klassen hebben uiteenlopende achtergronden. Waar kinderen van ouders uit meer mediterrane en Arabische landen verwachten duidelijk aangesproken te worden op niet-passend leergedrag, verwachten kinderen uit meer westerse landen meer op de eigen verantwoordelijkheid te worden aangesproken. Een voorbeeld daar-

van staat in figuur 159. Voorbeelden zoals deze zijn er meer en komen voort uit de ‘machtsverhoudingen’ die per cultuur anders zijn.

Lespraktijk

“Ik merk dat jij niet naar mij luistert tijdens de uitleg. Je cijfers zijn niet goed. Ik wil dat jij nu deze opgaven gaat maken. Als je het niet af hebt, kom je vanmiddag terug om het alsnog te maken.” Tegenover: “Ik merk dat jij niet luistert tijdens de uitleg, terwijl je cijfers niet goed zijn. Is dat nu wel verstandig? Wat kunnen we afspreken over jouw gedrag in de komende les?”

Leerlingen met een mediterrane en Arabische achtergrond zullen uit de tweede uitspraak niet opmaken dat er van hen verandering wordt verwacht. Ze vinden zo’n uitspraak onduidelijk, grappig en geen vertoon van autoriteit. Leerlingen met een westerse achtergrond verwachten de eerste uitspraak alleen als ze er echt een puinhoop van hebben gemaakt, niet als eerste aanspreekpunt op hun gedrag.

Figuur 159 – Een voorbeeld van het aanspreken van leerlingen met verschillende culturele achtergronden.

Holebi en transgender

In de puberteit komen leerlingen erachter dat ze wellicht een andere seksuele voorkeur hebben dan de gemiddelde mens. Daarnaast zijn er leerlingen die al hun hele leven het gevoel hebben gevangen te zitten in het verkeerde lichaam. Een veilig leerklimaat waarin de nadruk ligt op de vakinhoud en het leren kan een omgeving creëren waar deze emotionele zaken er niet toe doen. Het creëren van een veilige leeromgeving wil ook zeggen dat de leraar aangeeft dat iedereen er mag zijn. Binnen de schoolomgeving mag het niet uitmaken welke religie, voorkeur, psychologische aantekening of handicap je hebt: we zijn allemaal lerenden.

Genderneutraal lesgeven kan gevraagd worden op het moment dat er leerlingen op school zijn die aangeven niet van het ene noch het andere geslacht te zijn. Termen als ‘jongens en meisjes’ moeten dan vermeden worden, en de leerling in kwestie wil graag met de voornaam benoemd worden zonder hij of zij.

4.2.3 Studiewijzer

Een leerboek biedt meestal meer leerstof, activiteiten en opdrachten dan passen in de beschikbare lessen. De auteurs van een leerboek gaan ervan uit dat de leraar een verantwoorde keuze maakt. Die keuzes komen tot uitdrukking in de *studiewijzer* die het leerproces van de leerlingen aanstuurt.

Bij het opstellen van een studiewijzer maak je een aantal didactische keuzes door antwoord te geven op (onder andere) de volgende vragen.

- Welke keuzes maak je wat betreft leerstof, opgaven, practica, eindopdracht, ict, en toetsing? En hoe verdeel je die over de beschikbare lessen?
- Welke paragrafen doe je in de theorielessen? En wat doe je als huiswerk ter voorbereiding op en ter verwerking van de theorieles? Hoe deel je de theorieles in?
- Welke practica doe je in de practicumlessen? Wat doe je als huiswerk ter voorbereiding op en ter verwerking van het practicum?
- Hoe vaak geef je een tussentoets en wat wil je toetsen op de eindtoets? Welke leerdoelen wil je halen met deze lessenserie? Hoe zijn deze doelen verdeeld over kennis en inzicht, vaardigheden en werkwijze?
- Hoe verzorg je het aanleren voor de leerlingen? Welke werkvormen hanteer je daarbij? Hoe verzorg je het verwerken voor de leerlingen? Welke werkvormen gebruik je daarvoor?
- Welke ondersteunende werkvormen en leermiddelen ga je gebruiken (demonstratie, video, simulaties, spel)?
- Hoe sluit je aan op wat leerlingen al kennen en kunnen? Welk soort startactiviteiten ga je gebruiken?
- Welke vormen van samenwerkend leren ga je gebruiken en waarvoor?

Studiewijzer

Voor de leraar heeft de studiewijzer de volgende planningsfuncties. De studiewijzer:

- geeft informatie over de leerstof, werkvormen, toetsing en samenhang, en ‘dwingt’ daarbij tot vooraf nadenken;
- legt de verantwoordelijkheid voor de voortgang van het leerproces (gedeeltelijk) bij de leerlingen;
- leidt tot een heldere tijdsplanning als houvast bij de voorbereiding en uitvoering van de lessen;
- bespaart op termijn werk: minder zoeken naar een lesplanning, snelle lesvoorbereiding, snelle afstemming met collega’s en minder discussie met leerlingen over de bedoeling van de lessen;
- maakt tijd vrij voor het observeren van leerlingen in de klas.

Figuur 160 – Planningsfuncties van de studiewijzer voor de leraar.

Sturingsinstrument

Studiewijzers kunnen verschillen in vorm en inhoud. Een studiewijzer is in feite een verzamelnaam voor alle mogelijke vormen van aansturing van het leerproces. Andere namen zijn de *planner*, de *werkwijzer* of de *studiehandleiding*. Het spectrum loopt van wekenschema’s met leerlingtaken die door de leraar zijn geprogrammeerd tot modulehandleidingen met leerstofverantwoording, studeeraanwijzingen en keuzemogelijkheden. De volgende zaken zijn gemeenschappelijk: wekenschema’s met opdrachten en toetsmomenten, een aanduiding van wat de leraar en wat de leerling doet en wat thuis en wat waar op school gebeurt, tips gericht op de wijze van aanpak, (soms) een aanvulling met hoeveel tijd iets kost, de periode waarin een opdracht klaar moet zijn, en (soms) een oriëntatie op en een beschrijving en verantwoording van de leerstof.

Een studiewijzer is een *sturingsinstrument* dat een leerling in staat stelt de leerdoelen te bereiken, in actieve samenwerking met zijn leraar en medeleerlin-

Studiewijzer

Voor de leerlingen heeft de studiewijzer de volgende planningsfuncties. De studiewijzer:

- biedt structuur en de mogelijkheid van een bewuste tijdsindeling;
- geeft inzicht in leerdoelen die dichtbij en veraf liggen;
- informeert hen over hun rechten en plichten;
- geeft hen meer verantwoordelijkheid voor het bereiken van de (eigen) leerdoelen;
- traint hen in vaardigheden die belangrijk zijn voor hun vervolgstudie en het functioneren in de samenleving;
- verbetert hun werkhouding;
- biedt meer mogelijkheden voor differentiatie.

Figuur 161 – Planningsfuncties van de studiewijzer voor de leerlingen.

gen. Dit sturingsinstrument kan een gedrukt of een elektronisch document zijn, en indien gewenst onderdeel uitmaken van een plannings- en registratiesysteem en/of van een tele-leerplatform.

Hoe de ideale studiewijzer eruit ziet, hangt af van de visie van de school op leren en onderwijzen. Scholen kunnen een eigen mix kiezen van frontaal lesgeven door de leraar, begeleide activiteiten van de leerlingen, en zelfwerkzaamheid en groepsopdrachten met de leraar op afstand. Elke studiewijzer vervult een aantal samenhangende planningsfuncties en structureert het handelen van leraar en leerlingen, zoals weergegeven in figuur 160 en 161.

4.3 Projectmatige lessenserie

Cursorische lessenseries kunnen worden afgewisseld met projectmatige lessenseries. In een projectmatige lessenserie werken de leerlingen vooral zelfstandig in kleine groepen, heeft de leraar een begeleidende rol en is het leren samenwerken en leren onderzoeken of ontwerpen net zo belangrijk als het product. Daarbij ligt het accent op *hogere-orde leerdoelen* als het leren gebruiken van verworven basiskennis en basisvaardigheden in nieuwe – complexe, betekenisvolle en authentieke – situaties, die om een planmatige werkwijze vragen (zie paragraaf 4.3.2). Ook de *natuurkundige denk- en werkwijzen* (zie paragraaf 9.8) kunnen in een projectmatige lessenserie goed aan bod komen.

De projectmatige lessenserie heeft als onderdelen een startactiviteit met een oriëntatie op de eindopdracht, het maken van een werkplan voor de uitvoering van het project binnen de beschikbare tijd, het uitvoeren van (deel)activiteiten zoals ontwerpen en/of onderzoeken (bronnenonderzoek en/of experimenteel onderzoek), het houden van voortgangsbesprekingen en het afronden via het rapporteren en presenteren van de eindopdracht. De leerdoelen zijn enerzijds gericht op het gebruiken, verbreden en verdiepen van basiskennis en basisvaardigheden, anderzijds op het leren van ontwerpen en onderzoeken, en het leren rapporteren en presenteren.

Bij een project kan worden gedacht aan een meer of minder open praktische opdracht in de vorm van een experimenteel onderzoek of een technisch ontwerp (waaronder bijvoorbeeld ook het *sectorwerkstuk* voor de bovenbouw van vmbo-t) of een literatuuronderzoek zoals een *webquest*. Er is hierbij een onderscheid te maken tussen buitenschoolse projecten (met bijvoorbeeld onderzoek, interviews en/of sprekers buiten de school), binnenschoolse projecten (met vakkenintegratie of vakkencoördinatie) en vakprojecten (binnen één vak). Een project kan echter ook worden gezien als de afsluiting van een cursorische lessenserie in de vorm van een relatief open *eindopdracht* voor enkele lessen.

In deze paragraaf richten we ons vooral op vakprojecten met een onderzoekskarakter in de vorm van een experimenteel onderzoek en/of een literatuuronderzoek. Na een algemene beschrijving van de opzet van een projectmatige les of lessenserie geven we een vijftal voorbeelden van vakprojecten: *onderzoekspractica*, *eindopdrachten*, *webquests*, *projectonderwijs* en het *sector-/profielwerkstuk*. Daarna gaan we in op het leren van de leerlingen in projecten en het beoordelen van projectwerk.

4.3.1 Opbouw lessenserie

Een project kan het beste gekarakteriseerd worden door de gehanteerde werkwijze. Een belangrijke keuze die de leraar maakt is de mate van openheid van het project. In elk van de hieronder beschreven fasen van een project kun je kiezen voor meer of minder structuur en/of voor meer of minder inbreng van de leerling.

Introductie – In de introductie wordt het onderwerp van het project gekozen. Vaak is het een thema ontleend aan het dagelijkse leven dat de belangstelling van de leerlingen heeft. Ter introductie en als motivering kan bijvoorbeeld een video of een serie foto's over het onderwerp worden getoond. De leerkracht vertelt de

leerlingen wat een project is en waarom een project in dit geval een gewenste werkvorm is.

Probleemstelling – Wat voor vragen en ervaringen leven er bij de leerlingen? Welke vragen zijn (nog) onbeantwoord? Wat willen de leerlingen tijdens het project leren en hoe laten ze zien wat ze te weten zijn gekomen?

Keuze onderzoek en presentatie – Hier worden belangrijke keuzes gedaan over het uit te voeren onderzoek en de vorm waarin gepresenteerd gaat worden.

Draaiboek en taakverdeling – Welk doel hebben we voor ogen? Welke subdoelen kunnen gesteld worden? Wat voor opdrachten zijn mogelijk? Wie gaan die opdrachten uitvoeren? Wat is de taak van de leerkracht daarbij? Welke leer- en hulpmiddelen staan de leerlingen ter beschikking? Wat zijn de stappen die ze achtereenvolgens moeten zetten? Dit alles mondt uit in het opstellen van een 'draaiboek' waarin overzichtelijk de onderdelen en de taakverdeling vermeld staan.

Onderzoek – Allerlei activiteiten om antwoorden te vinden op de onderzoeksvragen.

Rapportage en presentatie – Het groepswerk resulteert in een product en een presentatie, zoals een tentoonstelling van werkstukken, een verslag, collage of plakboek, een discussiemiddag of een binnen- of buitenschoolse activiteit.

Evaluatie – Er vindt een beoordeling plaats van het eindresultaat en/of van wat de leerlingen geleerd hebben. Elke groep brengt klassikaal verslag uit. Hierna kunnen door middel van een klassengesprek de volgende vragen aan de orde komen, die zowel op het leerproces, het onderzoeksproces als het eindproduct betrekking hebben. Zijn de doelen bereikt? Zijn alle aspecten voldoende uit de verf gekomen? Zijn er leerervaringen opgedaan die niet direct met het project samenhangen? Waren alle leerlingen voldoende gemotiveerd en actief bezig? Hoe verliep het werken in groepen? Welke vervolgactiviteiten gaan we eventueel plannen?

Onderzoekspractica

Bij een onderzoekspracticum gaat het om een practicum van één of enkele lessen. In zo'n practicum gaat een leerling zelf een verschijnsel onderzoeken. De leerling werkt volgens een zelf opgesteld werkplan. Er is veel inbreng van de leerling bij het formuleren van de onderzoeksvraag, het maken van een opstelling, het contoleren van de variabelen en het kiezen van de verslagvorm. Eerlijk onderzoeken door variabelen te controleren is van belang. Meestal wordt het werkplan eerst goedgekeurd door de leraar.

Het opdrachtenblad voor een onderzoekspracticum volgt de werkwijze bij een onderzoek: oriëntatie op het onderzoek, onderzoeksvraag formuleren, onderzoeksmethode vaststellen, metingen plannen en uitvoeren, gegevens verwerken, conclusie trekken, en onderzoek rapporteren en presenteren. Voorbeelden van onderzoekspractica staan in hoofdstuk 3 en 7.

Eindopdrachten

Een cursorische lessenserie kan worden afgesloten met een projectmatige eindopdracht van twee tot vier lessen. De eindopdracht bestaat uit de volgende onderdelen: oriëntatie op de opdracht en voorbereiden van het onderzoek, uitvoeren van het onderzoek en voorbereiden van de presentatie, en presenteren van de onderzoeksresultaten.

De voorbeelden van een eindopdracht in figuur 162 en 163 gaan over het verbruik van gas, water en elektriciteit, en over de vereisten bij een stralingsberoep. Bij de eindopdracht van figuur 162 hoort een opdrachtenblad voor de leerlingen met aanvullende aanwijzingen. In deze eindopdracht is het onderwerp voor alle leerlingen hetzelfde, maar elke groep kiest zelf een variabele uit. De gegevens van alle groepen zijn dan nodig voor een goed eindresultaat. Het accent ligt op het verwerken en analyseren van gegevens. De presentatievorm ten slotte is voor alle leerlingen gelijk: een poster.

De tabel van figuur 164 geeft een overzicht van de mogelijke eindopdrachten in de hoofdstukken van een leerboek voor het tweede leerjaar.

Site

Je kunt de leerstof van het hele hoofdstuk oefenen met de volgende activiteiten op de site:
- Puzzel
- Kenniskaart
- Samenvatting
- Werkbladen eindopdracht Verbruik van gas, water en elektriciteit
- Uitwerking toetsopdrachten

Eindopdracht

Verbruik van gas, water en elektriciteit

Hoeveel gas, water en elektriciteit een huishouden gebruikt hangt onder andere af van het soort huis, of van het aantal bewoners. In deze eindopdracht zoek je antwoord op de onderzoeksvragen:

► Hoe hoog was het verbruik van aardgas, water en elektriciteit bij jou thuis in een periode?

► Zijn de meetresultaten van andere leerlingen heel anders? Hoe komt dat?

Onderzoek

Tijdens het werken aan dit hoofdstuk heb je minstens twee keer gegevens verzameld over het verbruik van gas, water en elektriciteit bij je thuis. Je docent zorgt voor een overzicht waarin iedereen uit je klas de meterstanden noteert. Voor je onderzoek heb je dit overzicht nodig. Het verbruik kan afhangen van het soort huis (vrijstaand huis of appartement), de grootte van het huishouden en nog meer. Je noemt dit een variabele. Eerst kies je in overleg met je docent met je groepje een variabele en daarna zoek je uit of die variabele van invloed is op het verbruik.

Presentatie

Van het resultaat maak je een poster. Je brengt de variabele zoals huis of huishouden in beeld met een foto, een plaatje of een tekening. Daarna maak je een overzicht van je gegevens. Stel dat je als variabele gekozen hebt voor het aantal mensen per huishouden. Dan zet je bij elk verbruik het aantal mensen van dat huishouden. Tot slot formuleer je een conclusie.

Vaardig Variabelen en gemiddelden

Verbruik van gas, water en elektriciteit hangt af van het seizoen, van de gewenste binnentemperatuur, van het aantal bewoners van een huis, van het soort huis en nog veel meer. Dit zijn alle **variabelen** die het energieverbruik beïnvloeden. Hieronder staat een eenvoudige tabel van vier huishoudens met als variabele het soort huis: een vrijstaand huis of een appartement.

	gasverbruik in m^3	**soort huis**
leerling 1	24,0	vrijstaand huis
leerling 2	11,0	appartement
leerling 3	21,0	vrijstaand huis
leerling 4	12,0	appartement

Je vindt het **gemiddelde** verbruik door het gasverbruik van alle leerlingen op te tellen en te delen door het aantal leerlingen. Het gemiddelde verbruik is
(24,0 + 11,0 + 21,0 + 12,0)/4 = 17,0 m^3

Je kunt kijken of het soort huis invloed heeft door het gemiddelde uit te rekenen voor de vrijstaande huizen en voor de appartementen.
Gemiddeld gasverbruik vrijstaand huis
(24,0 + 21,0) / 2 = 22,5 m^3
Gemiddeld gasverbruik appartement
(11,0 + 12,0) / 2 = 11,5 m^3
Conclusie: het verbruik in een vrijstaand huis is veel hoger dan in een appartement.

Vaardig Poster maken

De poster maak je zo dat medeleerlingen hem begrijpen zonder verdere toelichting. Bij het maken gebruik je meestal het verslagblad. Maak de poster zo dat je hem van een afstand kunt lezen. Denk na over wat het belangrijkst is.
Aandachtspunten bij een poster zijn
- korte teksten;
- veel beeld;
- begrijpelijk zonder toelichting.

Figuur 162 – Voorbeeld van een eindopdracht over het verbruik van gas, water en elektriciteit.

Site

Je kunt de leerstof van het hele hoofdstuk oefenen met de volgende activiteiten op de site:
- Puzzel
- Kenniskaart
- Samenvatting
- Werkbladen eindopdracht Een stralend beroep
- Uitwerking toetsopdrachten

Eindopdracht

Een stralend beroep

Er zijn veel mensen die in hun werk met radioactiviteit te maken hebben. Een stralingscontroleur kijkt of ergens niet te veel straling is en adviseert hoe je er veilig mee kunt werken. Je vindt stralingsmedewerkers op allerlei plaatsen: ziekenhuizen, mijnbouw, chemische industrie, kerncentrales, vliegvelden, boorplatforms. Je kunt het zo gek niet bedenken.
Je bent medewerker van personeelszaken en je moet een stralingsmedewerker zien te vinden.
De onderzoeksvraag is:

► Hoe ziet een wervende advertentie voor een stralingsmedewerker eruit?

Onderzoek

Je kiest met je groepje een bedrijf of instituut waar met straling wordt gewerkt. Je zorgt ervoor dat ieder groepje uit je klas een ander bedrijf of instituut kiest. Je krijgt de opdracht om en wervende advertentie te maken voor deze functie. Op internet zoek je uit welke eisen gesteld worden aan een stralingsmede-

Vaardig Advertentietekst schrijven
Een personeelsadvertentie heeft de volgende onderdelen:
- naam en logo van het bedrijf of instituut;
- korte omschrijving van het bedrijf of instituut;
- naam van de gevraagde functie;
- omschrijving van de functie met functie-eisen;
- nadere informatie en contactmogelijkheid.

De advertentie moet correct en wervend zijn.

werker in jouw bedrijf of instituut. Voordat je de advertentie schrijft, zoek je met voorbeelden uit welke vorm een personeelsadvertentie heeft.

Presentatie
Je advertentie is geschreven of geprint op A4. De advertentie heeft de algemene onderdelen van een personeelsadvertentie en vertelt bovendien hoe er wordt gewerkt met straling.
Bij de presentatie bestudeert iedere leerling de opgehangen advertenties en geeft met een sticker aan op welke advertentie hij of zij zou willen solliciteren.

Figuur 163 – Voorbeeld van een eindopdracht over beroepen waarin met straling wordt gewerkt.

Hoofdstuk	Onderwerp en onderzoeksvraag	Onderzoeksopdracht	Presentatieopdracht
1 Natuurkunde overal	Uitvindingen: Hoe ziet de geschiedenis van een uitvinding er uit?	Zoeken op internet	Poster met tijdlijn
2 Licht en geluid	Een optreden voorbereiden: Wat heb je allemaal nodig voor een optreden?	Analyse van videofragmenten van optredens	Presenteren van één geanalyseerd videofragment
3 Gas, water en elektriciteit	Verbruik van gas, water en elektriciteit: Hoe was het verbruik bij jou thuis? Is dat anders bij andere leerlingen?	Twee keer meterstanden aflezen en omstandigheden in kaart brengen	Poster
4 Sport, kracht en beweging	Zelf hardlopen: Hoe verandert de snelheid tijdens hardlopen?	Als klas meten van afstanden en tijden van hardlopers	Onderzoeksverslag
5 Ontwerpen en materialen	Een krukje ontwerpen: Waar moet ik op letten bij het ontwerpen van een licht en stevig minikrukje?	Ontwerp een minikrukje dat aan de eisen voldoet die je van de leraar krijgt.	Fotoreportage van het ontwerpproces
6 De bouw van stoffen	Kristallen maken: hoe maak je zelf een mooi kristal?	Volgens voorschrift werken en waarnemen met microscoop	Tentoonstelling met bijschriften
7 Extra: Ons Heelal	Objecten in de ruimte: Welke? Welke eigenschappen? Wanneer en hoe ontdekt?	Zoeken op internet voor jouw object.	PowerPoint-presentatie

Figuur 164 – Voorbeelden van eindopdrachten in het tweede leerjaar.

Webquests

Een webquest is een gestructureerde zoekopdracht op het internet. Leerlingen krijgen een betekenisvolle, functionele opdracht om informatie te zoeken, verwerven en integreren. Hierbij is het vooral de bedoeling dat de 'hogere-orde vaardigheden' – zoals analyseren, logisch redeneren en problemen oplossen – worden gestimuleerd. De leerling is dus niet een passieve kennisverwerver, maar gaat actief op zoek naar informatie in verschillende bronnen en weet ze te integreren.

Een webquest heeft altijd een herkenbare, vaste structuur en bestaat uit zes basisonderdelen:
- Een *inleiding* die de webquest introduceert en de context beschrijft.
- Een *opdracht* die interessant en uitvoerbaar is en de motivatie van de leerlingen prikkelt.
- Een beschrijving van de *handelingen* om de webquest te maken. Belangrijk daarbij is dat in een studiewijzer duidelijk afgebakende stappen worden beschreven, zodat de leerlingen precies weten wat er van hen wordt verwacht.
- De *bronnen* waar leerlingen de gewenste informatie kunnen vinden. Daarmee voorkom je dat ze tijdens de taakuitvoering het spoor bijster raken.
- Informatie over de *beoordeling* van de uitgevoerde webquest.
- Een *afsluiting* en *conclusie*, waarmee de webquest wordt afgerond.

Daarnaast bevat elke bestaande webquest een pagina voor de leraar met begeleidende organisatorische en didactische informatie.

Een webquest is uitdrukkelijk meer dan een serie vragen die de leerlingen door het lezen van enkele webpagina's letterlijk kunnen beantwoorden. Het is essentieel dat ze een betekenisvolle opdracht krijgen. Dat ze, bijvoorbeeld, sa-

menwerken bij het maken van een krant, waarbij elke leerling in de groep een eigen taak krijgt. Dit sluit naadloos aan bij de ideeën van samenwerkend leren, waarbij leerlingen van elkaar afhankelijk zijn. Ook de zelfevaluatie is een belangrijk onderdeel van de webquest, omdat leerlingen zo leren hun eigen werk kritisch te beoordelen en waar nodig te herzien.

Projectonderwijs

De eerder beschreven projectmatige eindopdracht is het slotstuk van een cursorische lessenserie. Bij een integratie van deze twee onderdelen is sprake van *projectonderwijs*. Voorbeelden van dat soort onderwijs zijn het ontwerpen van een 'alien' voor een film, het ontwerpen van een techniekplan voor een theatershow, het schrijven van een brochure over watergebruik, en het meten aan het weer met zelfgemaakte meetinstrumenten.

Een voordeel van projectonderwijs is dat leerlingen gemotiveerd raken als ze werken aan een projectopdracht die betekenisvol en uitdagend is. Een nadeel van projectonderwijs kan zijn dat de opbrengst aan kennis tegenvalt. De leerlingen zijn dan vooral creatief bezig geweest. De leraar moet daarna allerlei 'schoolse kennis' alsnog aanbieden, omdat de leerlingen die kennis in het project niet hebben verworven.

Vaak wordt de oplossing hiervoor gezocht in het aanscherpen van de eisen voor de eindopdracht. Bij het maken van een techniekplan voor de theatervoorstelling, zou de leraar bijvoorbeeld graag kennis over de decibelschaal in het eindproduct willen zien. Als dergelijke eisen in de projectopdracht staan, wordt de opdracht voor leerlingen al snel onaantrekkelijk en onbegrijpelijk. Soms wordt de oplossing gezocht in het aanbieden van workshops op momenten dat de leerlingen de kennis en vaardigheden uit die workshop nodig hebben. Vaak valt de motivatie van de leerlingen voor de workshops tegen, omdat ze liever verder willen met hun eindopdracht.

Een betere oplossing lijkt de keuze voor een *basisdeel* en een *projectdeel*. Bij de start maken de leerlingen kennis met de eindopdracht, die dan nog globaal is geformuleerd. Leerlingen weten dan welk eindproduct van hen wordt verwacht en ze begrijpen ook dat ze daarvoor nog kennis en vaardigheden missen. In het basisdeel worden die kennis en vaardigheden aangeleerd. De teksten en opdrachten in het basisdeel hebben dus een duidelijke functie voor de eindopdracht. Bij het begin van het projectdeel wordt de projectopdracht opnieuw geformuleerd, maar nu aangescherpt met kennis uit het basisdeel. Bij deze manier van werken wordt dus diepgang afgedwongen, terwijl de motiverende aspecten van projectonderwijs behouden blijven.

Figuur 165 – Globale opzet van projectonderwijs.

Sector- en profielwerkstuk

Een laatste voorbeeld van een projectmatige lessenserie is het sectorwerkstuk voor vmbo en het profielwerkstuk voor havo/vwo zoals beschreven in de examenprogramma's. Als het goed is, is het sector- en profielwerkstuk de afsluiting van een leerlijn onderzoekend leren waarin onderzoeksvaardigheden zijn aangeleerd en geoefend (zie hoofdstuk 7).

4.3.2 Leren van een project

Het leren van natuurkunde stopt niet bij kennis, inzicht en basisvaardigheden. Met name in projecten liggen er mogelijkheden voor het realiseren van *hogere-orde leerdoelen*.

Hogere-orde leerdoelen

Een eerste hogere-orde leerdoel is het leren toepassen van verworven kennis en

vaardigheden in nieuwe situaties. Voor een dergelijke verbreding en verdieping van basiskennis en basisvaardigheden zijn de volgende leeractiviteiten bruikbaar.

- Vergelijken: kenmerken zien, overeenkomsten en verschillen zien.
- Classificeren: op kenmerken verdelen in groepen, plaatsen in een boomstructuur.
- Abstraheren: kern van de specifieke informatie, algemeen patroon.
- Inductief redeneren: verbanden zien, algemene uitspraak doen.
- Deductief redeneren: algemeen principe, conclusie of voorspelling.
- Stelling onderbouwen: bewijzen, argumenteren, mening geven, overtuigen.
- Foutenanalyse: onderbouwen, misinformatie zoeken, analyseren, verhelderen.
- Denken over normen en waarden: mening en tegenovergestelde mening, waarden achter die mening.

Een tweede hogere-orde leerdoel is het leren gebruiken van verworven kennis en vaardigheden in complexe, betekenisvolle en authentieke situaties die een planmatige werkwijze vragen. Voor een dergelijke verwerking van basiskennis en basisvaardigheden zijn de volgende leeractiviteiten bruikbaar.

- Beslissen: alternatieven, criteria, weging, beslissing.
- Probleemoplossen: doel, beperkingen of barrières, manieren om te overwinnen, beste alternatief, evalueren.
- Ontwerpen: maken of verbeteren, eisen, idee, verbeterd idee, test.
- Experimenteel onderzoek: observatie, verklaring, theorie, voorspelling, experiment.
- Definitie-onderzoek: gebeurtenis, bekend en onbekend, onduidelijkheden en tegenstellingen, verdedigbare oplossing.
- Historisch onderzoek: ontwikkeling in de tijd nagaan.
- Scenario-onderzoek: stappenplan nagaan.
- Systeemanalyse: systeem en deelsystemen, grenzen, onderlinge samenhang, functie.

Bij elke planmatige werkwijze horen aandachtspunten en een specifiek stappenplan: zie figuur 166 en 167 voor een stappenplan bij onderzoeken en ontwerpen.

Onderzoeken

- Oriëntatie op het onderzoek
- Onderzoeksvraag formuleren
- Onderzoeksmethode vaststellen
- Metingen plannen en uitvoeren
- Gegevens verwerken
- Conclusie trekken
- Onderzoek rapporteren en presenteren

Figuur 166 – Voorbeeld van een stappenplan bij onderzoeken.

Ontwerpen

- Behoefte beschrijven en analyseren
- Programma van eisen opstellen
- (Deel)uitwerkingen bedenken
- Ontwerpvoorstel formuleren
- Ontwerp realiseren
- Ontwerp testen en evalueren
- Ontwerp presenteren

Figuur 167 – Voorbeeld van een stappenplan bij ontwerpen.

Presenteren

Een projectmatige lessenserie wordt afgesloten met een rapportage, bijvoorbeeld in de vorm van een presentatie. Voorbeelden van presentatievormen zijn de poster, folder, fotoserie, tijdlijn, videoclip, tentoonstelling met bijschriften, diapresentatie in PowerPoint, advertentietekst, stellingendiscussie en demonstratie.

Als de presentatievorm verplicht is, kan het leren presenteren in die vorm leerdoel zijn. Ook voor presenteren geldt een stappenplan met aandachtspunten specifiek voor de presentatievorm, zoals in het voorbeeld van figuur 168.

Poster

- Maak een indeling van je poster die past bij je onderzoek, bijvoorbeeld met het hoofdthema in het midden en vier deelthema's in de hoeken of volgens de stappen van je onderzoek.
- Verzamel beeld van de juiste grootte.
- Schrijf korte teksten met een groot lettertype.
- Leg beeld en tekst op de juiste plaats. Stel zo nodig bij.
- Ga na of de poster te begrijpen is zonder toelichting.
- Plak beeld op de juiste plaats.
- Plak tekst op de juiste plaats of schrijf de tekst bij het beeld.
- Onderteken de poster met je naam.

Figuur 168 – Voorbeeld van een stappenplan bij maken van een poster als presentatievorm.

Aandachtspunten

Projectwerk is door zijn opzet minder beheersbaar dan frontaal onderwijs, maar kan wel een gewenste onderbreking daarvan zijn. Een project versterkt de motivatie en doet een beroep op de eigen verantwoordelijkheid en op een kritische, actieve en creatieve bijdrage van elke leerling, met veel aandacht voor het verwerven en toepassen van sociale vaardigheden, voor affectieve vorming en – voor zover van toepassing binnen een project – voor de meningsvorming van de leerlingen. Daarnaast is er in principe de mogelijkheid van vakoverstijgend werken (als ook de collega's van andere vakken daartoe bereid zijn) en van differentiatie naar interesse, niveau, tempo en werkwijze.

Er moet echter wel rekening worden gehouden met een aantal nadelen van deze manier van werken. Projectwerk vraagt allereerst een vrij intensieve voorbereiding. Een duidelijke structuur van het project is nodig om te voorkomen dat leerlingen de weg kwijtraken. De leerlingen moeten – voor zover van toepassing binnen een project – bepaalde technieken (zoals discussie-, evaluatie-, studie- en rapportagetechniek) al enigszins beheersen om het project voldoende tot zijn recht te laten komen. En bij de rapportage dreigt nogal eens een te gemakkelijk

knippen-en-plakken van internetteksten en plaatjes. Ten slotte is het werk of de inbreng van individuele leerlingen vaak moeilijk te beoordelen.

Bij projectwerk treedt de leraar op als organisator en begeleider door het zo concreet mogelijk vaststellen van de doelen, samenstellen van de groepen (indelen, loten, vrije keuze, naar interesse), opstellen van een werkschema, bespreken van de randvoorwaarden (wat kan wel, wat niet), maken van afspraken over de taakverdeling binnen de groepen, verstrekken van de benodigde materialen en verwijzen naar informatiebronnen, begeleiden van voortgang (controlelijst, tijdschema, werkafspraken, suggesties), en organiseren van de rapportage, presentatie, afronding en evaluatie.

4.3.3 Projectwerk beoordelen

Het beoordelen van projectwerk is lastig en tijdrovend. Meestal wordt gebruik gemaakt van een *beoordelingstabel* of *rubric*. In de beoordelingstabel staat een beschrijving van de beoordelingscriteria met ruimte voor de score per criterium. Afhankelijk van de gekozen vorm is er ook een beschrijving van de te behalen niveaus en ruimte voor feedback of opmerkingen.

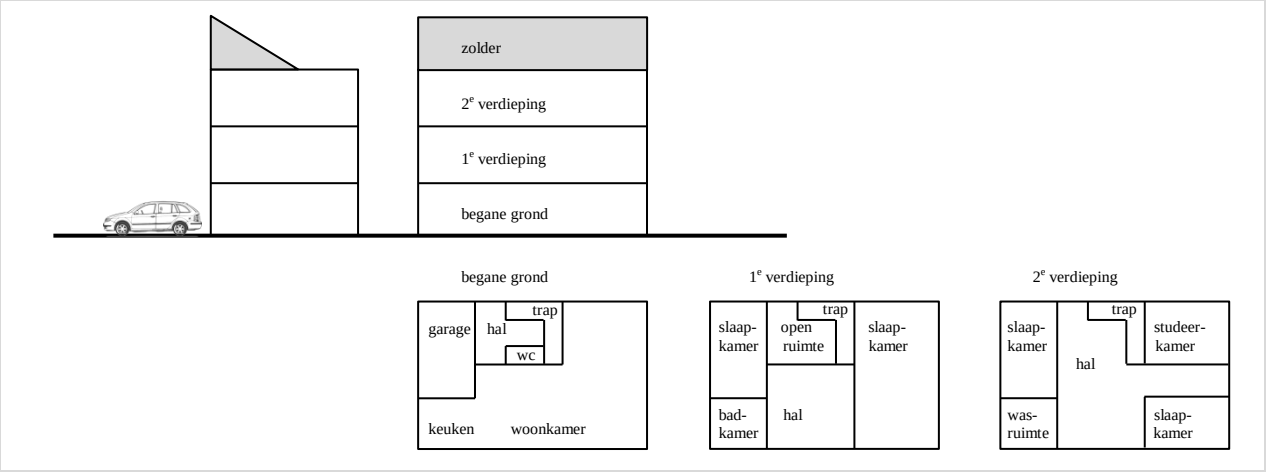
Hieronder staan in figuur 169 en 170 een voorbeeld van een eindopdracht en het bijbehorende beoordelingsformulier, in dit geval in de vorm van een *single point rubric*.

Eindopdracht

Nul-energie-woning

De afgelopen lessen hebben jullie gewerkt aan verschillende opdrachten over het duurzaam maken van een huis. Het ging om maatregelen zoals het opwekken van duurzame energie, het verwarmen en isoleren van het huis, en het beperken van het verbruik van water en van elektrische energie. Met deze kennis ga je je eigen duurzame nul-energie-woning ontwerpen.

Hieronder zie je het zijaanzicht en de plattegrond van de woning. Van dit huis ga je een nul-energie-woning maken. Daarbij maak je gebruik wat je in de afgelopen lessen geleerd hebt – en als je nog meer weet mag je dat ook gebruiken.



Je bedenkt voor ten minste acht plekken in het huis een duurzame maatregel en legt uit waarom dit een duurzame maatregel is.

Bijvoorbeeld:
"In de woonkamer worden alle gloeilampen vervangen door led-lampen."
"Doordat wij alle gloeilampen vervangen door led-lampen wordt het lichtvermogen van 200 W teruggebracht naar 50 W. Hierdoor is er vier keer minder energie nodig dan met gloeilampen."

Bij de beoordeling van deze eindopdracht zal het bijgevoegde beoordelingsformulier gebruikt gaan worden.

Figuur 169 – Voorbeeld van een eindopdracht: de nul-energie-woning.

Tekortkomingen	Ruim voldoende beheersing	Bijzondere kwaliteit	Score 1 – 10	Gewicht
	Je hebt ten minste twee maatregelen voor *verwarmen en isoleren* van het huis beschreven en per maatregel uitgelegd waarom dit een duurzame maatregel is.			25%
	Je hebt ten minste twee maatregelen voor het beperken van het *verbruik van water* beschreven en per maatregel uitgelegd waarom dit een duurzame maatregel is.			25%
	Je hebt ten minste twee maatregelen voor het beperken van het *verbruik van elektrische energie* beschreven en per maatregel uitgelegd waarom dit een duurzame maatregel is.			25%
	Je hebt in totaal ten minste tien duurzame maatregelen beschreven en per maatregel uitgelegd waarom dit een duurzame maatregel is. Je hebt je maatregelen genummerd en een titel gegeven, en de nummers en titels op de juiste plaats en overzichtelijk in het zijaanzicht en de plattegrond van de woning geplaatst.			25%
Opmerkingen		**Eindscore Eindcijfer**		

Figuur 170 – Voorbeeld van een beoordelingstabel in de vorm van een *single point rubric* voor de eindopdracht nul-energie-woning. Als de beheersing per criterium ruim voldoende is: score 7. Tekortkomingen geven aftrekpunten en bijzondere kwaliteit geeft pluspunten. Voldoende als de eindscore 5,5 of meer is, en iedere deelscore 5,0 of meer.

Beoordelingstabellen

Een beoordelingstabel geeft leerlingen inzicht in wat er van hen verwacht wordt. Leerlingen vinden het prettig om van te voren te weten welke criteria gehanteerd worden voor de beoordeling. Doordat het duidelijk is waar het projectwerk aan moet voldoen, is het voor leraren en medeleerlingen gemakkelijker om gerichte feedback te geven. Door per criterium een maximale score toe te kennen, wordt het mogelijk de beoordeling te kwantificeren in een score en een cijfer. De criteria in de beoordelingstabel moeten overeen komen met de criteria in de eindopdracht.

Criteria zijn altijd afhankelijk van het soort project. Criteria kunnen gericht zijn op de het handelingsdeel van het project, bijvoorbeeld op de kwaliteit van het onderzoek of het opgeleverde product, op de rapportage en presentatie, en op de samenwerking. Meestal wordt bij de beoordeling per criterium een onderscheid gemaakt in drie tot vijf niveaus, bijvoorbeeld 25, 50, 75 en 100% voor onvoldoende, voldoende, goed en uitstekend. Per criterium kunnen voorwaarden worden geformuleerd, waaraan moet worden voldaan voor elk van die niveaus. Verder kan er worden gekozen voor een minimum score per criterium of voor de mogelijkheid van onderlinge compensatie.

Doordat de scores van de criteria bij elkaar opgeteld worden tot een eindscore, kan een beoordelingstabel bijdragen aan calculerend gedrag van leerlingen. Ze zoeken de onderdelen waar ze goed in zijn, en compenseren daarmee andere onderdelen waar ze minder goed in (denken te) zijn. Leerlingen kunnen dan een voldoende halen, terwijl in het projectwerk essentiële onderdelen ontbreken.

Er zijn verschillende soorten beoordelingstabellen, waarbij elke soort zowel voor- als nadelen heeft. Hieronder zijn de drie belangrijkste uitgewerkt.

In de beoordelingstabel van figuur 171 zijn de criteria geformuleerd en is per criterium een maximale score vastgesteld. De score hangt af van de mate waarin het projectwerk aan het criterium voldoet. Voor de leraar is dit de eenvoudigste manier om te beoordelen, maar de leerlingen krijgen geen gerichte feedback.

Criteria	Score	Opmerkingen
Criterium 1 Maximum score		
Criterium 2 Maximum score		
…		
Totale score Cijfer		

Figuur 171 – Beoordelingstabel met criteria en score.

Bij de beoordelingstabel van figuur 172 worden per criterium niveaus aangegeven op basis waarvan de score per criterium wordt bepaald. Deze beoordelingstabel wordt veel gebruikt vanwege de duidelijkheid voor zowel de leraar als de leerlingen. Een nadeel is dat leerlingen, als elk criterium tot in de details wordt beschreven, de neiging krijgen precies te doen wat er gevraagd wordt en niet meer dan dat. De leerlingen krijgen wel feedback op het behaalde niveau per criterium.

Criteria	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Score
Criterium 1 Maximum score					
Criterium 2 Maximum score					
…					

Figuur 172 – Beoordelingstabel met criteria, niveaus en score.

De beoordelingstabel van figuur 173 geeft per criterium een richtlijn die het ruim voldoende niveau beschrijft. Is dit behaald, dan is het in orde. Het verschil is vooral te zien wanneer er nog iets ontbreekt of beter had gekund, of wanneer er juist veel beter werk geleverd is dat bijzonder goed is. Deze manier van beoordelen kost de leraar dan ook meer werk, maar levert meer op in het leerproces. Bij de score wordt uitgegaan van ruim voldoende als voldaan wordt aan het criterium. Dit wordt bijgesteld naar aanleiding van de minpunten en de bijzondere pluspunten.

Criteria	Wat is zwak? –	Wat is bijzonder goed? +	Score
Criterium 1 Maximum score			
Criterium 2 Maximum score			
…			

Figuur 173 – Beoordelingstabel met criteria, feedback en score.

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat een beoordelingstabel – in welke vorm

dan ook – weliswaar de schijn van grote objectiviteit heeft, maar net als andere manieren van beoordeling blijft het toch mensenwerk.

4.4 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: hoe combineer je de verschillende lessen op een verantwoorde manier tot cursorische en projectmatige lessenseries?

In grote lijnen bestaat een cursorische lessenserie uit vier fasen: de introductie, de (inhoudelijke) kern van de lessenserie, de afronding en de eindtoets – min of meer vergelijkbaar met de opbouw van een theorieles zoals geschetst in hoofdstuk 3. De inhoudelijke kern van de lessenserie bestaat uit een afwisseling van samenhangende theorie- en practicumlessen, met voldoende variatie in onderwijsleeractiviteiten – waaronder de inzet van benaderingen als *flipping the classroom*, *gamification* en taakwerk – en met voldoende differentiatie naar interesse, niveau, tempo en werkwijze – al dan niet in de vorm van gepersonaliseerd leren waarbij leerlingen op eigen wijze en in eigen tempo werken aan eigen leerdoelen.

Een andere manier om meer afwisseling te realiseren is de projectmatige lessenserie – waaronder onderzoekspractica, projectmatige eindopdrachten en *webquests* – met de nadruk op het zelfstandig werken van de leerlingen en de begeleidende rol van de leraar daarbij. Een dergelijke lessenserie heeft een vergelijkbare opbouw als de cursorische lessenserie, maar dan zonder eindtoets. Binnen een project zijn er – afhankelijk van de gekozen mate van openheid – meer mogelijkheden voor differentiatie dan in een cursorische lessenserie het geval is.

Dit alles is te zien als een mogelijke verdere invulling van het in de afsluiting van het vorige hoofdstuk (paragraaf 3.4) genoemde aanvullende *leerprincipe* uit de leerpsychologie: *afwisselen*.

Afwisselen – Laat de kennisverwerving van de leerlingen plaatsvinden met voldoende afwisseling tussen cursorische lessenseries en (korte) projecten of (langere) projectmatige lessenseries, waarin in de opeenvolgende lessen ruimte is voor differentiatie naar interesse, niveau, tempo, werkwijze en/of leerdoelen.

5 Toetsing

5.1 Inleiding

Toetsing is te zien als het slotakkoord van een lessenserie, al zal tijdens een lessenserie op een aantal momenten ook sprake zijn van *formatieve* toetsing. In een onderwijsleerproces wordt voortdurend gemeten of de leerling al dan niet op het juiste niveau zit. Van deze metingen hangt voor leerlingen veel af: er wordt bepaald aan welk niveau van onderwijs de leerling kan/mag deelnemen, of de leerling een stap mag maken naar een hoger leerjaar, of de leerling mag slagen voor het eindexamen aan het einde van de schoolcarrière enzovoort. Als meetinstrument maken leraren gebruik van toetsen. Voor deze toetsen worden namen gebruikt zoals proefwerk, schriftelijke overhoring, repetitie, eindexamen, schoolexamen, tentamen en praktijktoets. In alle gevallen komt het echter bij deze *summatieve toetsing* op hetzelfde neer: de leerling krijgt een aantal vragen en/of opdrachten voorgelegd die binnen een afgebakende tijd afgerond moeten worden. Het resultaat geeft een aanduiding van het niveau waarop de leerling ten tijde van de toets functioneerde op een bepaald vlak.

Elke natuurkundige weet dat een meting niet betrouwbaar is als hiervoor geen goede meetinstrumenten worden gebruikt. Een toets is ook een meetinstrument, en kan alleen betrouwbare resultaten geven als de vragen in de toets ook daadwerkelijk toetsen wat ze beogen. Ook de samenstelling van de toets uit de beschikbare goede toetsvragen speelt daarbij een rol. Daarbij beperken we ons in dit hoofdstuk tot *theorietoetsen* (en niet bijvoorbeeld practicumtoetsen).

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: welke eigenschappen heeft een goede toetsvraag, en hoe geef je met die toetsvragen een theorietoets op een verantwoorde manier vorm?

5.2 Toetsvraagconstructie

In deze paragraaf geven we voorbeelden van verschillende vormen van *open* en *gesloten* toetsvragen, samen met de aandachtspunten ofwel *constructieregels* voor het construeren van deze twee vraagsoorten. Het met behulp van dit soort vragen samenstellen van een toets komt in de volgende paragrafen aan de orde.

5.2.1 Open vragen

Open vragen zijn vragen waarop een leerling zelf het antwoord moet formuleren. Een open vraag doet daarmee een beroep op de volgende drie vaardigheden van de leerling:

- Leesvaardigheid: de leerling moet de benodigde informatie en de vraag kunnen lezen en begrijpen.
- Vakbegrip: de leerling moet de achterliggende natuurkunde in de vraag kunnen herkennen, deze op een bepaald niveau beheersen en weten te koppelen aan de, in de vraag geschetste, context of situatie.
- Schrijfvaardigheid: de leerling moet het juiste antwoord kunnen formuleren.

Bij een open vraag is het van groot belang dat de vraag ook daadwerkelijk toetst wat de vraagsteller beoogt. Voor een toets natuurkunde is dit over het algemeen een stuk vakbegrip, wat dan ook de nadruk moet krijgen in de vraagstelling. Een te groot beroep op de lees- en schrijfvaardigheid van de leerling moet zoveel mogelijk worden vermeden.

In- of aanvulvraag

Bij een *in- of aanvulvraag* krijgt de leerling de opdracht om een deel van een gegeven tekst in of aan te vullen. Twee voorbeelden van in- of aanvulvragen zijn weergegeven in figuur 174.

In- of aanvulvragen worden vaak toegepast bij vragen waarin het beoogde doel is om een stuk (parate) vakkennis bij leerlingen te toetsen. Voor dit doel zijn deze vragen ook zeer geschikt. Leerlingen kunnen zo gedwongen worden om gebruik te maken van de juiste vaktermen. Daarnaast is er snel inzicht te krijgen in het al dan niet kunnen toepassen van deze vaktermen binnen een bepaalde situatie of context.

In- en aanvulvraag

1 Twee eenheden die worden gebruikt voor temperatuur zijn … en …

2 In een gloeilamp wordt … energie omgezet in … en …

Figuur 174 – Voorbeelden van in- of aanvulvragen.

Kort-antwoordvraag

Bij een *kort-antwoordvraag* wordt van de leerling een beknopt antwoord verwacht. Dat antwoord kan bijvoorbeeld bestaan uit een enkelvoudige zin, een aantal woorden, een getal, een formule of een eenvoudige tekening. Twee voorbeelden van kort-antwoordvragen zijn weergegeven in figuur 175.

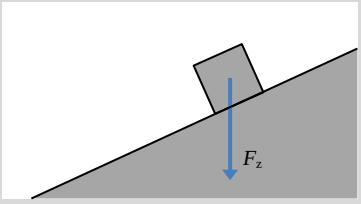
Ook kort-antwoordvragen zijn goed bruikbaar voor de toetsing van (parate) vakkennis bij leerlingen. Door de vragen binnen een context te gebruiken, ontstaan er ook mogelijkheden om dit vraagtype toe te passen in situaties waarin het doel meer ligt bij het toetsen van inzicht in het vak bij leerlingen. Bij kort-antwoordvragen wordt de leerling vaak gevraagd om een zeer concreet antwoord te geven, dat niet al teveel ruimte voor interpretatie biedt aan de leerling. Dit vraagtype doet daarmee geen groot beroep op de schrijfvaardigheid van de leerling. Dat maakt dit vraagtype ook geschikt voor situaties waarin de leerling gevraagd wordt om een erg complexe situatie te analyseren.

Het nakijken van kort-antwoord vragen is veelal eenduidig en verloopt voor de leraar over het algemeen soepel en snel.

Kort-antwoordvraag

1 Wat is het kookpunt van water, uitgedrukt in Kelvin?

2 In de figuur hieronder is een voorwerp op een helling getekend. De zwaartekracht op het voorwerp is getekend.
Construeer de normaalkracht die op het voorwerp werkt.



Figuur 175 – Voorbeelden van kort-antwoordvragen.

Lang-antwoordvraag

Bij een *lang-antwoordvraag* wordt van de leerling een lang(er) antwoord verwacht. Dat antwoord kan bijvoorbeeld bestaan uit een uitleg, een beredenering, een berekening of bepaling, een afleiding van een formule of een constructie. Twee voorbeelden van lang-antwoordvragen zijn weergegeven in figuur 176.

Lang-antwoordvraag

1 Een bal wordt in verticale richting omhoog getrapt met een beginsnelheid van 15 m/s. Wrijvingskrachten op de bal mogen verwaarloosd worden.
Bereken de maximale hoogte die de bal bereikt.

2 Op een optische bank wordt een voorwerp voor een lens geplaatst. Het beeld is zichtbaar op een scherm. De afstand van het voorwerp tot de lens is gelijk aan 2 keer de brandpuntsafstand van de lens. Door het voorwerp verder van de lens af te schuiven, verandert de afmeting van het beeld.
Beredeneer of het beeld nu groter of kleiner wordt.

Figuur 176 – Voorbeelden van lang-antwoordvragen.

Lang-antwoordvragen worden veel gebruikt in het vak natuurkunde. Berekeningen, bepalingen en beredeneringen zijn namelijk aan de orde van de dag. Met dit vraagtype is goed te meten of een leerling een bepaalde situatie kan inschatten, er de juiste natuurkundige concepten aan kan koppelen en deze op de juiste wijze weet te combineren.

Het beantwoorden van een lang-antwoordvraag vraagt van de leerlingen wel een grote mate van schrijfvaardigheid, en daarvan moet een leraar zich bewust zijn. Zeker als het gaat om vragen waarbij leerlingen iets moeten uitleggen of een beredenering op papier moeten zetten, kan er een enorme diversiteit aan antwoorden ontstaan. Het beoordelen van de antwoorden op lang-antwoordvragen is daarmee complex en tijdsintensief. Een nauwkeurig geformuleerd correctievoorschrift is daarbij een vereiste.

Betoog- of opstelvraag

Bij een *betoog- of opstelvraag* wordt van de leerling verlangd dat er een uitgebreid verhaal op papier komt. Dat verhaal bestaat uit een samenhangende tekst met een structuur van inleiding, middendeel en slot. In bepaalde gevallen kan het ook gaan om een zeer gedetailleerde tekening of een berekening. Een voorbeeld van zo'n vraag is weergegeven in figuur 177.

Betoog- of opstelvragen worden slechts zeer zelden binnen het schoolvak natuurkunde toegepast, in tegenstelling tot een aantal andere schoolvakken. De beoordeling van een betoog- of opstelvraag is een lastige klus voor de leraar. Een correctievoorschrift is alleen in hoofdlijnen op te stellen. Het vraagtype vraagt namelijk om enige creativiteit van de leerling, waardoor niet kan worden vastgelegd wat te verwachten antwoorden zijn. Het correctievoorschrift beperkt zich dan tot het noemen van de aspecten die (minimaal) in het betoog of opstel moeten voorkomen.

Betoogvraag

Kernsplijting is een proces dat gebaseerd is op bepaalde natuurkundige principes. Rond kernsplijting (kernenergie) is nogal wat maatschappelijke discussie. Want deze vorm van energieopwekking heeft een aantal voordelen, maar ook een aantal nadelen.
Schrijf een betoog waarin je persoonlijke visie rondom het gebruik van kernsplijting als energiebron tot uitdrukking komt. Benoem in het betoog minimaal de volgende zaken:

- fysische achtergronden en technische werking van kernsplijting;
- voordelen van het gebruik van kernsplijting als energiebron;
- nadelen van het gebruik van kernsplijting als energiebron;
- afweging van de voordelen en de nadelen ten opzichte van elkaar.

Het betoog moet een omvang hebben van minimaal 1000 en maximaal 1500 woorden.

Figuur 177 – Voorbeeld van een betoog- of opstelvraag.

5.2.2 Constructie van open vragen

Voor de constructie van open vragen is het aan te bevelen om de volgende *constructieregels* in acht te nemen.

Eenduidige vragen

Om als eerste constructieregel te stellen "dat je moet vragen wat je wilt weten", lijkt een open deur. Toch zijn veel vragen in toetsen en lesmethoden allerminst eenduidig in wat ze van de leerling vragen. Zowel voor de leerling als voor de leraar is dit geen wenselijke situatie. De leerling weet namelijk niet wat er van hem of haar verwacht wordt. En de leraar krijgt antwoorden die hij of zij niet voor ogen had bij de constructie van de vraag, maar die wel (deels) goed kunnen zijn.

Een advies dat wat dit betreft nog weleens wordt gegeven, is om eerst het antwoord te formuleren en pas daarna de vraag. Deze werkwijze is echter sterk af te raden. Er bestaat namelijk een kans dat er slechts één beoogd antwoord in ogenschouw genomen wordt, en dat de vraag naar aanleiding van alleen dit antwoord wordt geformuleerd. Het risico is dat de vraag dan zodanig geformuleerd wordt, dat deze niet meer goed leesbaar is. De meest effectieve werkwijze is de vraag formuleren, daarna het antwoord formuleren en dan nogmaals kritisch naar de vraag kijken om te bepalen of een herformulering noodzakelijk is.

Bij een niet-eenduidige vraagformulering is vaak sprake van een zogenaamd *klemtoon-probleem*. In figuur 178 staat daarvan een voorbeeld.

Klemtoon leggen

Beschouw de volgende vraag:

Waarom bepaalt het KNMI elk uur de temperatuur op een groot aantal meetpunten?

Deze vraag heeft geen eenduidige formulering. Door de klemtoon op een andere plaats in de vraag te leggen, ontstaat steeds een andere vraag. Voorbeelden hiervan zijn (het deel van de vraag waar de klemtoon ligt, is steeds cursief weergegeven):

- *Waarom* bepaalt het KNMI elk uur de temperatuur op een groot aantal meetpunten?
- Waarom bepaalt *het KNMI* elk uur de temperatuur op een groot aantal meetpunten?
- Waarom bepaalt het KNMI *elk uur* de temperatuur op een groot aantal meetpunten?
- Waarom bepaalt het KNMI elk uur *de temperatuur* op een groot aantal meetpunten?
- Waarom bepaalt het KNMI elk uur de temperatuur *op een groot aantal meetpunten*?

Op deze vraag is voor leerlingen geen eenduidig antwoord te geven, omdat voor hen niet duidelijk is welke van deze vragen wordt bedoeld.
Dit probleem is op te lossen door een deel van de informatie aan de leerlingen weg te geven. De onduidelijkheid over wat de informatie en wat de vraag is, wordt daarmee weggenomen. Een alternatieve formulering van de vraag hierboven zou kunnen zijn:

Het KNMI bepaalt elk uur de temperatuur op een groot aantal meetpunten.

- Geef een reden waarom dat elk uur gebeurt.
- Geef een reden waarom dat op een groot aantal meetpunten gebeurt.

Door de informatie en de vraag van elkaar te scheiden, ontstaat duidelijkheid in de vraagstelling en kan van de leerling een eenduidig antwoord worden verwacht.

Figuur 178 – Voorbeeld van een vraag met een klemtoon-probleem, en de oplossing voor dat probleem. Bron: *CITO – Toetsen op school*.

Het multi-interpretabel zijn van een vraag is een van de grootste uitdagingen in de constructie van een goede toetsvraag. Het is aan te bevelen om de 'klemtoon-controle' regelmatig toe te passen.

Antwoordrestricties

Het komt regelmatig voor dat leerlingen in het antwoord op een vraag een aantal zaken moeten opsommen. Hierbij is het van belang om een concrete opdracht te geven. Als het de bedoeling is dat de leerling bijvoorbeeld drie redenen geeft, dan moet dat in de vraagformulering worden opgenomen. Met formuleringen als "enkele" of "een aantal" redenen is een vraag niet concreet genoeg.

Onderscheid tussen informatie en vraag

In een toets natuurkunde is een veelheid aan vragen opgenomen voor de leerling. Uniek is echter dat elke vraag gesteld wordt vanuit een bepaalde situatie en/of context. Want binnen de natuurkunde proberen we de wereld om ons heen te begrijpen, en dat komt ook in de toetsing van het vak tot uitdrukking. In de praktijk betekent dit dat er in een toets natuurkunde behoorlijk wat informatie is opgenomen. Informatie die bedoeld is om leerlingen een goed beeld te geven van de situatie en/of context.

Bij de constructie van een vraag is het zeer aan te bevelen om de informatie los te koppelen van de vraag. Op die manier is het voor de leerling duidelijk welke tekst informatief bedoeld is (de stam) en welke tekst er gebruikt is om vragen te stellen (de vraag). In figuur 179 is een voorbeeld weergegeven van het loskoppelen van informatie en vraag.

Informatie en vraag loskoppelen

Beschouw de volgende vraag:

Een hoeveelheid water wordt verwarmd van een temperatuur van 20 °C naar een temperatuur van 80 °C.
Leg uit dat er een kleinere hoeveelheid warmte nodig is voor het verwarmen van een kleinere hoeveelheid water bij dezelfde begin- en eindtemperatuur van het water.

In deze vraag wordt een bepaalde situatie geschetst (een hoeveelheid water wordt verwarmd van een gegeven begin- naar een eindtemperatuur). Vervolgens wordt de situatie enigszins gewijzigd (de hoeveelheid water wordt verkleind) en wordt gevraagd hoe een andere grootheid (de hoeveelheid warmte) mee varieert. In de vraag (vanaf "Leg uit…") staat nogal wat informatie opgenomen, waardoor deze een aanzienlijk beroep doet op de leesvaardigheid van de leerling. In een betere formulering worden de informatie en de vraag van elkaar losgekoppeld:

In een experiment wordt een hoeveelheid water verwarmd van een temperatuur van 20 °C naar een temperatuur van 80 °C. Hiervoor is een bepaalde hoeveelheid warmte nodig. Het experiment wordt herhaald met een kleinere hoeveelheid water. Er is nu minder warmte nodig om de stof te verwarmen van een temperatuur van 20 °C naar een temperatuur van 80 °C.
Leg dit uit.

Figuur 179 – Voorbeeld van het loskoppelen van informatie en vraag.

In het voorbeeld van figuur 178 is een vergelijkbare aanpak gehanteerd. Een bijkomend voordeel van het duidelijk onderscheiden van de informatie en de vraag is dat een leerling bij het vervolg in de toets geen informatie hoeft te zoeken in de vragen, maar dat hij of zij zich kan beperken tot de informatieteksten.

Concrete vragen

Op vaag gestelde vragen zijn vaag geformuleerde antwoorden van leerlingen te verwachten. Bij de constructie van een vraag is het dan ook van belang om zo

concreet mogelijk te zijn. Een onvoldoende concreet geformuleerde vraag wordt over het algemeen snel herkend, maar toch komen ze veel voor. In figuur 180 is een voorbeeld weergegeven van een niet concreet gestelde vraag en een alternatief hiervoor.

De noodzaak van het stellen van concrete vragen lijkt overduidelijk. Toch is er, vooral in lesmethodes, vaak sprake van niet concreet geformuleerde vragen zoals "Kun je aangeven/uitleggen/vertellen/…". Een reden hiervoor zou kunnen zijn dat niet concreet geformuleerde vragen bij de leerling vriendelijker overkomen dan een wél concreet geformuleerde vraag. Toch heeft de concretisering van vragen nadrukkelijk de voorkeur.

Het is voor de leerling dus van belang dat een vraag concreet is. Dit uit zich ook in het gebruik van een aantal *standaardformuleringen* voor vragen. Door steeds dezelfde formulering te gebruiken, ontstaat er voor de leerling veel duidelijkheid en kan hij of zij snel inschatten wat er bij een bepaalde vraag van hem of haar wordt verwacht. In figuur 181 en 182 staat een aantal standaardformuleringen voor kort- en lang-antwoordvragen.

Concrete vragen stellen

Beschouw de volgende vraag:

Kun je aangeven welk verband er bestaat tussen het volume waarin een gas is opgesloten en de gasdruk?

Iedereen zal onderkennen dat een antwoord als "Ja" (of "Nee") het juiste antwoord op deze vraag kan zijn. Het spreekt voor zich dat dit niet het beoogde antwoord is. Wél concrete formuleringen van deze vraag kunnen zijn:

- Welk verband bestaat er tussen het volume waarin een gas is opgesloten en de gasdruk?
- Geef aan welk verband er bestaat tussen het volume waarin een gas is opgesloten en de gasdruk.

Op deze vragen bestaat wel een eenduidig antwoord.

Figuur 180 – Voorbeeld van een niet concreet gestelde vraag en de mogelijke herformuleringen.

Formulering	Toelichting
Noem	Vraag naar iets concreets (plaats, kenmerk, enzovoort).
Geef (aan)	Vraag naar concrete zaken.
Hoe	Kwantitatieve vragen en vragen naar concrete zaken.
Wie	Identificatievraag.
Wat	Vraag naar een definitie.
Waar	Vraag naar een plaatsaanduiding.
Welke	Vraag naar een object of categorie.
Wanneer	Vraag naar een moment of omstandigheden.
Arceer	Het antwoord moet grafisch worden weergegeven.
Citeer	Het antwoord is een citaat uit een gegeven informatiebron.

Figuur 181 – Standaardformuleringen voor kort-antwoordvragen.

Formulering	Toelichting
Geef (aan)	Vraag naar iets abstracts, zoals een reden of een oorzaak.
Bereken	Niet alleen de uitkomst wordt beoordeeld, maar ook de uitgevoerde berekening.
Bepaal	Niet alleen de uitkomst wordt beoordeeld, maar ook de uitgevoerde verwerking van een informatiebron (bijvoorbeeld een grafiek) en de uitgevoerde berekening.
Laat met een berekening zien	De uitkomst van de berekening staat al in de vraag of in de stam van de vraag aangegeven.
Stel op	Opstellen van vergelijkingen.
Leid af	Op basis van verstrekte gegevens moet het gevraagde worden afgeleid.
Onderzoek	Onderzoeken van een serie eigenschappen of beweringen.
Bewijs	Op deductieve wijze aantonen dat een gestelde bewering correct is.
Toon aan	Aannemelijk maken van een gegeven antwoord.
Leg uit (waarom)	Een redenering of argumentatie bestaande uit enkele afzonderlijke denkstappen.
	Daarnaast bestaan er vergelijkbare formuleringen met een vergelijkbare inhoud als de bovenstaande: beschrijf, beredeneer, beargumenteer, beoordeel, vat samen, teken, construeer, maak een schatting.

Figuur 182 – Standaardformuleringen voor lang-antwoordvragen.

Het grote voordeel van het consequent hanteren van dezelfde formuleringen is duidelijkheid voor de leerling in wat er van hem of haar als antwoord wordt verwacht. In de syllabi voor havo en vwo zijn deze formuleringen ook opgenomen, en worden daar de *examenwerkwoorden* genoemd.

Heldere informatie

In het voorgaande is vooral het belang van een helder geformuleerde vraag aan de orde geweest. Het spreekt echter voor zich dat ook de informatie rondom de

vraag voor de leerling helder moet zijn. Het is daarbij van belang dat de informatie goed begrepen kan worden door een leerling met het juiste niveau en de juiste voorbereiding. De informatie dient de situatie of de context te beschrijven en mag niet (teveel) afleiden van de essentie.

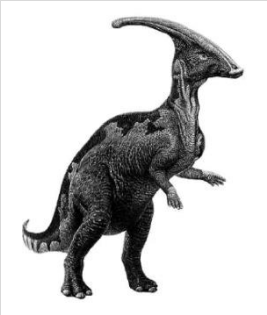
Een beknopte tekst die de essentie goed aangeeft, is vanzelfsprekend aan te bevelen. Het gebruik van visuele informatie – zoals figuren, tekeningen, foto's of grafieken – is aan te raden als deze de situatie of context duidelijker weten te maken. Ook in een toets zegt een figuur vaak meer dan woorden. In figuur 183 wordt een voorbeeld uitgewerkt waarin het presenteren van de informatie goed tot uitdrukking komt.

Visualiseren

Beschouw de tekst van het eerste deel van een eindexamenopgave:

Hoewel er van dinosauriërs vrij veel bekend is, weten we van de meeste dinosauriërs weinig over het geluid dat ze maakten. Een uitzondering hierop is de Parasaurolophus. Deze dinosaurus was in het bezit van een grote hoorn boven op de schedel. Deze hoorn diende als klankkast om het geluid te versterken.
Bij een volwassen mannetje is de hoorn 1,8 m lang. Eén uiteinde van deze hoorn is open, het andere uiteinde is gesloten. De luchttemperatuur in de hoorn bedraagt 20 °C. Bereken de frequentie van de grondtoon.

De hoeveelheid tekst in deze vraag is aanzienlijk. Slechts een zeer klein deel van de tekst is echt van belang om de vraag te kunnen beantwoorden. Het restant van de tekst is bedoeld om een context te introduceren. Het herkennen van de natuurkunde binnen een context is een essentiële vaardigheid, waarop de leerling ook getoetst moet worden. Het inperken van de tekst is dus geen optie: de context zou daarmee komen te vervallen. De examenmakers hebben destijds gekozen voor de volgende aanvulling:



Hoewel er van dinosauriërs vrij veel bekend is, weten we van de meeste dinosauriërs weinig over het geluid dat ze maakten. Een uitzondering hierop is de Parasaurolophus, zie nevenstaande figuur. Deze dinosaurus was in het bezit van een grote hoorn boven op de schedel. Deze hoorn diende als klankkast om het geluid te versterken.
Bij een volwassen mannetje is de hoorn 1,8 m lang. Eén uiteinde van deze hoorn is open, het andere uiteinde is gesloten. De luchttemperatuur in de hoorn bedraagt 20 °C. Bereken de frequentie van de grondtoon.

Door een figuur toe te voegen, wordt de context ineens veel duidelijker, en kan de leerling zich een voorstelling maken van de situatie die aan de orde is.

Figuur 183 – Voorbeeld van heldere (visuele) informatie. Bron: examen havo 2012, tweede tijdvak.

Het toepassen van extra informatiebronnen is niet altijd even vanzelfsprekend, maar wel altijd het overwegen waard. In de eerste versie van de vraag uit figuur 183 (zonder figuur) wordt een groot beroep gedaan op de leesvaardigheid van de leerling, terwijl dit in de tweede versie (met figuur) minder het geval is door een aanvullende bron van informatie.

Hoeveelheid tekst

Een toets natuurkunde is bedoeld om binnen het vakgebied conceptueel begrip te toetsen, en niet de leesvaardigheid van de leerling. Dan is het van belang om de hoeveelheid tekst te beperken. Het is de uitdaging om enerzijds de situaties, contexten en vragen helder beschreven te krijgen, maar anderzijds de leerling ook niet te overvragen in de te lezen hoeveelheid tekst. In figuur 184 wordt een derde versie van de opgave uit figuur 183 gepresenteerd, met als doel de hoeveelheid tekst in te perken.

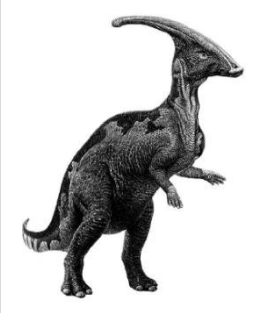
De daadwerkelijke hoeveelheid tekst is in figuur 184 uiteraard niet veranderd. De hoeveelheid tekst zal door een leerling echter wel ervaren worden als meer beperkt, vanwege de tussenvraag en de focus die daarmee bij de leerling gelegd wordt op het beantwoorden van een vraag en de natuurkunde die daarbij aan de orde is.

Een vanzelfsprekende tweede methode om de hoeveelheid tekst te beperken, is het daadwerkelijk schrappen van zinnen, zinsdelen of woorden. Daarbij is het

wel belangrijk om na te gaan of de essentie van de vraag en een helder beeld van de situatie of context niet komen te vervallen.

Tekst inperken

Beschouw de tweede versie van de opgave uit figuur 183. Het eerste deel van de opgave is bedoeld om inzicht te krijgen in de context, maar het doet wel een beroep op de leesvaardigheid van de leerlingen. Een oplossing hiervoor is het volgende:



Hoewel er van dinosauriërs vrij veel bekend is, weten we van de meeste dinosauriërs weinig over het geluid dat ze maakten. Een uitzondering hierop is de Parasaurolophus, zie nevenstaande figuur. Deze dinosaurus was in het bezit van een grote hoorn boven op de schedel. Deze hoorn diende als klankkast om het geluid te versterken.

1 Van welk natuurkundig verschijnsel is hier sprake?

Bij een volwassen mannetje is de hoorn 1,8 m lang. Eén uiteinde van deze hoorn is open, het andere uiteinde is gesloten. De luchttemperatuur in de hoorn bedraagt 20 °C.

2 Bereken de frequentie van de grondtoon.

Door aan de eerste paragraaf (daar waar de context wordt geïntroduceerd) een (eenvoudige) vraag te koppelen, wordt de leerling gedwongen na te denken over de context en de koppeling te leggen met de relevante natuurkunde. De leerling zal hierdoor minder tekst ervaren en wordt sneller naar de essentie geleid.

Figuur 184 – Voorbeeld van een manier om de ervaren hoeveelheid tekst in een opgave te beperken.

Koppeling tussen vragen

In een toets is het van belang dat elke vraag op zichzelf staat. Het is voor een leerling erg vervelend als hij of zij een bepaalde vraag niet weet te beantwoorden en daardoor ook in de problemen raakt bij vervolgvragen. De koppeling tussen vragen moet zoveel mogelijk worden vermeden. In figuur 185 staat daarvan een voorbeeld.

Gekoppelde vragen vermijden

In dit voorbeeld wordt verder gegaan op de tweede vraag van de examenopgave uit figuur 183 en 184. Het vervolg van de opgave luidt:

Bij een volwassen mannetje is de hoorn 1,8 m lang. Eén uiteinde van deze hoorn is open, het andere uiteinde is gesloten. De luchttemperatuur in de hoorn bedraagt 20 °C.

2 Bereken de frequentie van de grondtoon.

Onderzoek heeft uitgewezen dat een mannelijke Parasaurolophus een toon kon produceren met een frequentie van 240 Hz. Dit is een boventoon van de grondtoon uit de vorige vraag.

3 Beredeneer of dit de eerste, de tweede, de derde, de vierde of de vijfde boventoon is.

Tussen deze twee vragen bestaat een duidelijke koppeling. Het antwoord op vraag 2 is nodig om het antwoord op vraag 3 te kunnen berekenen. Deze situatie is niet wenselijk. Als een leerling niet in staat is geweest het antwoord op vraag 2 te vinden, loopt het geheel hier voor hem of haar spaak. Er bestaat echter de mogelijkheid dat de leerling op vraag 3 het antwoord wel weet, maar het aantonen hiervan wordt hem of haar bemoeilijkt. Dit is op de volgende manier op te lossen:

Bij een volwassen mannetje is de hoorn 1,8 m lang. Eén uiteinde van deze hoorn is open, het andere uiteinde is gesloten. De luchttemperatuur in de hoorn bedraagt 20 °C. De frequentie van de grondtoon bedraagt 48 Hz.

2 Toon dat aan.

Onderzoek heeft uitgewezen dat een mannelijke Parasaurolophus een toon kon produceren met een frequentie van 240 Hz. Dit is een boventoon van de grondtoon van 48 Hz.

3 Beredeneer of dit de eerste, de tweede, de derde, de vierde of de vijfde boventoon is.

Door de uitkomst van vraag 2 weg te geven, kan de leerling bij vraag 3 probleemloos verder, en daar opnieuw aantonen over de juiste kennis en vaardigheden te beschikken.

Figuur 185 – Voorbeeld van een manier om de koppeling tussen vragen te vermijden.

In het voorbeeld van figuur 185 is ervoor gekozen om het antwoord op de vraag weg te geven en de leerling te laten aantonen dat dit antwoord juist is. Er zou de

indruk kunnen bestaan dat de vraag hiermee eenvoudiger is geworden. Dit is uitdrukkelijk niet het geval. Mocht de leerling aan de hand van het gegeven antwoord de vraag gaan oplossen, dan zal hij of zij toch alle benodigde denkstappen moeten doorlopen – weliswaar in een andere volgorde dan wanneer het antwoord niet gegeven is. Het doel van de vraag blijft de toetsing van natuurkundig inzicht, en daarin vindt geen wijziging plaats.

Het geven van het antwoord en dit de leerling laten aantonen, kan het best op een zo expliciet mogelijke manier gebeuren. De leerling zelf een antwoord laten kiezen, is voor de meeste leerlingen teveel gevraagd en dus niet aan te raden. De opmerking "Als je bij de vorige vraag geen antwoord hebt gevonden, reken dan verder met…" schept bij de leerling vaak verwarring. Het blijft dan namelijk de vraag of het gegeven antwoord juist is, in de buurt van het juiste antwoord ligt of ver van het juiste antwoord verwijderd ligt. Door de uitkomst te laten aantonen, wordt al deze twijfel vermeden.

5.2.3 Gesloten vragen

Gesloten vragen zijn vragen waarop het antwoord gegeven is in de vorm van een aantal alternatieven, waarbij de leerling het juiste (of beste) alternatief moet aangeven. Dat doet een beroep op de volgende twee vaardigheden van de leerling:

- Leesvaardigheid: de leerling moet de benodigde informatie, de vraag en de antwoordalternatieven kunnen lezen en begrijpen.
- Vakbegrip: de leerling moet de achterliggende natuurkunde in de vraag kunnen herkennen, deze op een bepaald niveau beheersen en weten te koppelen aan de, in de vraag geschetste, context of situatie en de gegeven antwoordalternatieven.

In vergelijking met een open vraag is schrijfvaardigheid voor de leerling in een gesloten vraag niet vereist. Net als bij een open vraag is het bij de constructie van een gesloten vraag van belang dat de vraag ook daadwerkelijk toetst wat de vraagsteller beoogt. Voor een toets natuurkunde is dit over het algemeen een stuk vakbegrip, wat dan ook de nadruk moet krijgen in de vraagstelling. Een te groot beroep op de leesvaardigheid van de leerlingen moet zoveel mogelijk worden vermeden.

Meerkeuzevraag

De binnen het vak natuurkunde meest gebruikte gesloten vraag is de *meerkeuzevraag* (of *multiple-choice-vraag*). In dit type vraag wordt voor de leerlingen een vraag gekoppeld aan een geschetste situatie. Vervolgens wordt er een aantal mogelijke antwoorden gepresenteerd, waaruit de leerling het juiste antwoord moet kiezen. In figuur 186 staat een voorbeeld van zo'n meerkeuzevraag.

Dit vraagtype is goed bruikbaar om (snel) te meten of een leerling al dan niet het juiste conceptuele begrip heeft. Een voordeel is dat de focus van de leerling kan liggen op het inschatten van de situatie en de natuurkundige inhoud die in de vraag wordt getoetst. Het formuleren van een antwoord is niet aan de orde. Er wordt dan ook geen beroep gedaan op de schrijfvaardigheid van de leerling. Daardoor is er voor de leraar geen sprake van eventuele onduidelijkheden in het antwoord van de leerling. Het niet hoeven opschrijven van een berekening, bepaling of beredenering heeft ook nadelen. Een antwoord op een meerkeuzevraag is namelijk goed of fout, terwijl in de beredenering van de leerling wel degelijk juiste antwoordelementen kunnen voorkomen.

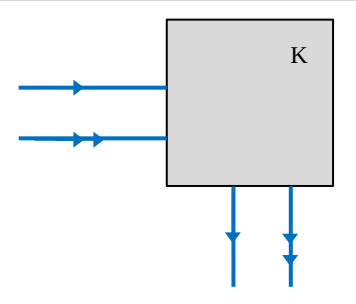
De beoordeling van een toets met meerkeuzevragen vraagt van de leraar vanzelfsprekend veel minder tijd dan de beoordeling van een toets met open vragen. In bepaalde situaties kan dit wenselijk zijn. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat de constructie van een gesloten vraag veel tijd vraagt. Naast de beschrijving van de situatie of de context en de formulering van de vraag, moeten nu namelijk ook de mogelijke antwoorden worden geformuleerd. De formulering van het juiste antwoord is daarbij meestal niet het probleem, maar het formuleren van de andere antwoordalternatieven kan arbeidsintensief zijn. Het is aan de leraar om de afweging te maken of een toets met gesloten vragen wenselijk is.

Meerkeuzevraag

Onder een ondoorzichtig stuk karton K kan zich een van de volgende voorwerpen bevinden:

- een vlakke spiegel;
- een rechthoekig prisma;
- een lens.

De loop van de lichtstralen wordt door het voorwerp veranderd, zoals weergegeven in onderstaande figuur.



Welk voorwerp kan er onder het stuk karton zitten?

A Alleen een vlakke spiegel.
B Alleen een rechthoekig prisma.
C Een vlakke spiegel of een rechthoekig prisma.
D Een vlakke spiegel of een lens.

Figuur 186 – Voorbeeld van een meerkeuzevraag.

Stellingvraag

Bestudeer de volgende twee stellingen:

1 Als twee vingers van dezelfde hand in contact komen met twee draden, waar een spanning tussen staat van 230 V, krijg je een schok. Deze situatie is veel gevaarlijker dan wanneer er contact is met een vinger van elke hand.

2 Een spanning van 230 V wil zeggen dat aan een elektron in een gesloten stroomkring een energie wordt gegeven van 230 J.

Welke van deze twee stellingen is juist?

A Alleen 1.
B Alleen 2.
C Zowel 1 als 2.
D Geen van beiden.

Figuur 187 – Voorbeeld van een stellingvraag.

Combinatievraag

In onderstaand overzicht staat een aantal eenheden.

A ampère
B kelvin
C kilogram
D meter
E mol
F seconde

Vul de onderstaande zinnen aan met de gegeven eenheden (A t/m F).

1 De standaardeenheid voor temperatuur is …
2 De standaardeenheid voor tijd is …
3 De standaardeenheid voor stroomsterkte is …
4 De standaardeenheid voor hoeveelheid stof is …

Figuur 189 – Voorbeeld van een combinatievraag.

Stellingvraag

In een *stellingvraag* worden twee stellingen voorgelegd, en soms zelfs meer dan twee. De leerling moet aangeven welke van de stellingen juist is/zijn. De antwoordalternatieven zijn bij elke vraag hetzelfde. In figuur 187 staat een voorbeeld van zo'n stellingvraag.

Het gebruik van dit vraagtype is af te raden. Er wordt een groot beroep gedaan op de leesvaardigheid van de leerling, en daarmee is het uiterst twijfelachtig of dit type gesloten vraag wel in voldoende mate het vakinhoudelijke begrip van de leerling toetst. De formulering van de stellingen moet uiterst zorgvuldig gebeuren, en een kleine onvolkomenheid of onzorgvuldigheid kan al snel leiden tot onduidelijkheid in de stelling (en dus in de vraag).

Herordeningsvraag

In een *herordeningsvraag* wordt een aantal onderdelen gepresenteerd die een bepaalde relatie met elkaar hebben. Het is aan de leerling om die onderdelen in de gevraagde volgorde te herordenen. Een voorbeeld van een herordeningsvraag staat in figuur 188.

Herordeningsvraag

In het verleden zijn er verschillende modellen voor een atoom in omloop geweest. Deze modellen zijn:

1 Atoommodel van Thomson
2 Atoommodel van Rutherford
3 Atoommodel van Schrödinger
4 Atoommodel van Dalton
5 Atoommodel van Bohr

Hoe heeft de ontwikkeling van het atoommodel plaatsgevonden in chronologische volgorde?

A 1 – 4 – 5 – 2 – 3
B 4 – 1 – 2 – 5 – 3
C 4 – 1 – 2 – 3 – 5
D 1 – 4 – 3 – 2 – 5

Figuur 188 – Voorbeeld van een herordeningsvraag.

Een herordeningsvraag wordt door veel leerlingen ervaren als een puzzel, en daardoor niet door alle leerlingen gewaardeerd. Het formuleren van antwoordalternatieven bij dit vraagtype is een behoorlijke uitdaging. Het doel is namelijk dat alle alternatieven de leerling voldoende moeten 'uitnodigen' om ervoor te kiezen. Opvallend onjuiste antwoordalternatieven moeten dan zoveel mogelijk worden vermeden. De herordeningsvraag kent in de natuurkunde niet heel veel toepassingen, en wordt dan ook niet vaak gebruikt.

Combinatievraag

In een *combinatievraag* is het voor de leerling de uitdaging om overeenkomstige uitspraken en/of gegevens met elkaar te combineren. Dit vraagtype wordt ook wel een *matching-vraag* genoemd. In figuur 189 staat een voorbeeld van een combinatievraag over grootheden en eenheden.

Een combinatievraag wordt, over het algemeen, door een leerling als niet al te moeilijk ervaren. Het vraagtype toetst voornamelijk vakkennis, en daarop kan een leerling zich goed voorbereiden. De uitdaging voor de leraar is om bij een combinatievraag te komen tot een valide normering. Door de keuze voor een bepaald alternatief beperkt de leerling de keuzemogelijkheden, waardoor de gokkans hoger is naarmate de leerling vordert in de vraag. Er moet dus goed worden nagedacht over de manier van puntentoekenning bij zo'n vraag. De combinatievraag kent in de natuurkunde niet heel veel toepassingen, en wordt dan ook niet vaak gebruikt.

Juist/onjuist-vraag

Eerder in deze paragraaf is de stellingvraag aan de orde geweest, en is aangegeven dat deze nogal een beroep doet op de leesvaardigheid van de leerling. Door

Juist/onjuist-vragen

Geef van de onderstaande stellingen aan of deze juist of onjuist zijn.

1 De standaardeenheid voor snelheid is de kilometer per uur (km/uur of km/h).

2 Als het volume waarin een gas is opgesloten verkleind wordt en de gasdruk blijft gelijk, zal de temperatuur van het gas stijgen.

3 Een voorwerp wordt in verticale richting omhoog geschoten. In het hoogste punt dat het voorwerp bereikt, werken er op het voorwerp geen krachten.

Figuur 190 – Voorbeeld van juist/onjuist-vragen.

Negatieve vraagstelling

In de volgende vraag is een negatieve vraagstelling moeilijk te vermijden:

Welke van onderstaande eenheden is geen standaardeenheid?

A ampère
B kelvin
C seconde
D volt

Als een leerling over het woord "geen" heen leest (of hier wellicht "een" leest), ontstaat een compleet andere vraag. De oplossing is echter eenvoudig:

Welke van onderstaande eenheden is **geen** standaardeenheid?

A ampère
B kelvin
C seconde
D volt

Door het essentiële woord in de vraag vet te drukken (of te onderstrepen of in hoofdletters te schrijven), ontstaat er voor de leerling duidelijkheid in wat er van hem of haar wordt verwacht.

Figuur 191 – Een alternatief voor een negatieve vraagstelling in een gesloten vraag.

een combinatie van stellingen aan de leerling voor te leggen, ontstaan er combinaties die door de leerling niet altijd als even logisch worden ervaren. De stellingen kunnen echter ook afzonderlijk aan de leerling worden voorgelegd, waarbij de leerling moet aangeven of de stelling al dan niet juist is. Op dat moment is een *juist/onjuist-vraag* (of *waar/onwaar-vraag*) ontstaan. In figuur 190 staat een aantal voorbeelden van juist/onjuist-vragen.

Het gebruik van juist/onjuist-vragen kan een leraar (en een leerling zelf) snel inzicht verschaffen in het al dan niet beheersen van de leerstof. De uitdaging daarbij is de formulering van de stelling. Het spreekt voor zich dat deze door de leerling slechts op één manier geïnterpreteerd mag worden. Dit vraagtype doet dan ook een beroep op de leesvaardigheid van de leerling. Toch worden juist/onjuist-vragen in de natuurkunde regelmatig toegepast om kennishiaten bij leerlingen snel te kunnen opsporen.

5.2.4 Constructie van gesloten vragen

Voor de constructie van gesloten vragen is het aan te bevelen om de volgende *constructieregels* in acht te nemen.

Informatie en vraag

In paragraaf 5.2.2 is al veel gezegd over de constructie van een goede open vraag. Net als bij een open vraag is er bij een gesloten vraag sprake van een hoeveelheid informatie: de beschrijving van een situatie of context. De aanpak hierbij is voor beide soorten vragen sterk vergelijkbaar. En net als een open vraag moet een gesloten vraag eenduidig en concreet zijn. Een belangrijk verschil is wel dat er in een gesloten vraag meestal alleen sprake is van een vraag, terwijl er in een open vraag ook vaak een opdracht voorkomt zoals bereken, bepaal of leid af. In deze paragraaf geven we enkele, speciaal voor de constructie van gesloten vragen relevante aanvullingen op de constructieregels voor open vragen.

Bij een gesloten vraag is het van groot belang, nog sterker dan bij een open vraag, dat er sprake is van een directe en korte vraag. Daarna volgen de antwoordalternatieven. Via een directe en korte vraag is de relatie tussen de vraag en de antwoordalternatieven veel eenvoudiger te handhaven, en daarmee ontstaat duidelijkheid voor de leerling.

Bij een gesloten vraag wordt een groot beroep gedaan op de leesvaardigheid van de leerling. Het is dan ook van belang om zowel de informatie als de vraag beknopt te formuleren. Daarbij is het zeer aan te bevelen om de vraag positief te formuleren. Daar waar een negatieve formulering gewenst is, is het nodig om dit voor de leerling te expliciteren. In figuur 191 staat daarvan een voorbeeld.

Antwoordalternatieven

Het bijzondere van gesloten vragen is dat het juiste antwoord beschikbaar is voor de leerling. Het is aan de leerling om dit juiste antwoord te selecteren uit een aantal aangeboden alternatieven. In de formulering van de alternatieven is het aan te bevelen om eerst het juiste antwoord op te stellen. Naar aanleiding van dit antwoord kunnen dan de alternatieven worden geformuleerd. Het juiste antwoord wordt ook wel de *antwoordsleutel* genoemd, en de andere alternatieven vormen de zogenaamde *afleiders*. Het optimale aantal afleiders is vastgesteld op drie (of eventueel twee). In combinatie met de antwoordsleutel ontstaat er dan een vierkeuzevraag (of driekeuzevraag). De gokkans is met dit aantal alternatieven acceptabel, en het beroep op de leesvaardigheid van de leerling is nog redelijk beperkt. De uitdaging is vooral om alle antwoordalternatieven 'aannemelijk' te maken voor de leerling, en dat is niet eenvoudig. Als er sprake is van een vierkeuzevraag waarbij een van de antwoordalternatieven nooit door een leerling gekozen zal worden, is er eigenlijk sprake van een driekeuzevraag – en dat heeft invloed op de gokkans.

Voor het formuleren van de antwoordalternatieven in een gesloten vraag moeten de volgende constructieregels in acht worden genomen.

- Er bestaat een vaste *volgorde* waarin de alternatieven worden gepresenteerd. De standaardvolgorde daarbij is *alfabetisch*, maar in bepaalde gevallen kan een

chronologische volgorde of een volgorde ‘van klein naar groot’ beter zijn.

- Het *uiterlijk* van de alternatieven moet ruwweg hetzelfde zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor de tekstlengte en de grammaticale structuur per alternatief. Een sterk afwijkend uiterlijk van een van de alternatieven kan de leerling in verwarring brengen, en hem of haar doen besluiten om dit alternatief als zeker juist (of onjuist) antwoord aan te merken.
- Als er *subtiele (maar essentiële) verschillen* bestaan tussen de afleiders is het aan te bevelen om deze voor de leerling duidelijk te maken, bijvoorbeeld door bepaalde woorden in de alternatieven vet te drukken of te onderstrepen. Op die manier wordt het beroep op de leesvaardigheid van de leerling enigszins beperkt.
- De *verschillen* tussen de afleiders mogen niet te groot zijn. Als een van de alternatieven een wezenlijk ander antwoord is, bestaat de kans dat de leerling dit zal aanmerken als zeker onjuist (of juist) antwoord, waarmee het aantal alternatieven impliciet verkleind wordt (of er juist geen alternatieven aan de orde zijn voor de leerling).
- Bij een gesloten vraag is het de bedoeling dat slechts één antwoord het juiste is. De alternatieven moeten elkaar dan ook *uitsluiten*.
- Het gebruik van *absolute woorden* in een gesloten vraag brengt een risico met zich mee. Absolute woorden zijn woorden zoals “altijd”, “nooit” en “zeker”. Bij het gebruik van deze woorden moet er bij de constructie absolute zekerheid bestaan over het juiste antwoord en het onjuist zijn van alle alternatieven. Vooral in gesloten vragen met stellingen (bijvoorbeeld in een juist/onjuist-vraag) is het gebruik van absolute woorden een risico. Er kan een situatie ontstaan waarbij het beoogde juiste antwoord toch niet als geheel juist bestempeld kan worden en/of een afleider toch (gedeeltelijk) juist kan zijn.
- Als het formuleren van voldoende afleiders een grote uitdaging blijkt te zijn, wil men als laatste alternatief nog weleens kiezen voor een alternatief in de vorm van “Alle bovengenoemde antwoorden zijn juist” of “Geen van bovengenoemde antwoorden is juist”. Over het algemeen is deze aanvulling af te raden, zeker als het juiste antwoord al benoemd is en dus door de leerling gekozen kan worden.
- Ook bij de alternatieven is het streven om de *tekst per alternatief* niet te lang te maken. Gesloten vragen doen al een flink beroep op de leesvaardigheid van de leerling, en te lang geformuleerde alternatieven bevorderen de kwaliteit van de vraag dan niet.

In figuur 192 staan enkele meerkeuzevragen waarbij de bovenstaande constructieregels in acht zijn genomen.

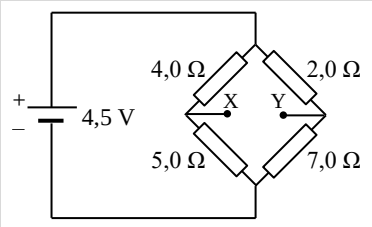
Constructieregels toepassen

Een metalen draad (draad 1) is aangesloten op een spanningsbron. Hierdoor loopt er een bepaalde stroomsterkte door de draad. De draad wordt vervangen door een draad met een **2 maal zo grote diameter** (draad 2).

Wat geldt er voor de stroomsterkte door draad 2?

A De stroomsterkte is **4** maal zo **groot** als die bij draad 1.
B De stroomsterkte is **2** maal zo **groot** als die bij draad 1.
C De stroomsterkte is **2** maal zo **klein** als die bij draad 1.
D De stroomsterkte is **4** maal zo **klein** als die bij draad 1.

In deze vraag is de essentiële informatie, hier een verandering van de diameter van de draad, vet gedrukt. De antwoordalternatieven lijken sterk op elkaar en zijn allen ‘aannemelijk’ voor de leerling. Ook hierin zijn de essentiële verschillen vet gedrukt.

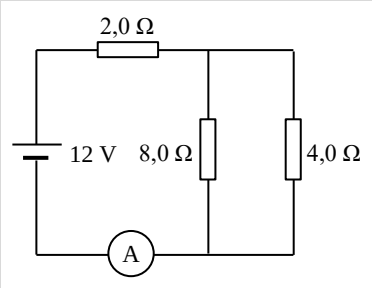


Op een spanningsbron zijn vier weerstanden aangesloten op de manier zoals weergegeven in de figuur hiernaast. De spanningsbron geeft een spanning af van 4,5 V. De waarden van de weerstanden staan in de figuur.

Hoe groot is het potentiaalverschil tussen de punten X en Y in de figuur?

A –1,5 V
B –1,0 V
C +1,0 V
D +1,5 V

De tekstuele informatie in deze vraag wordt beperkt door de introductie van een figuur. Daar waar relevant worden waarden in de tekst herhaald, maar de leerling zal de figuur goed moeten bestuderen. De alternatieven zijn oplopend geordend.



Gegeven is de schakeling zoals weergegeven in de figuur hiernaast. In de schakeling zijn drie weerstanden en een ampèremeter aangesloten op een spanningsbron. Deze bron geeft een spanning af van 12 V. De waarden voor de weerstanden staan in de figuur.

Welke waarde geeft de ampèremeter aan?

A 0,40 A
B 0,90 A
C 2,6 A
D 4,5 A

Ook in deze vraag is de hoeveelheid tekstuele informatie beperkt door de introductie van een figuur. In de situatie waarin een elektrische schakeling aan de orde is, is dit ook een logische keuze. De alternatieven zijn weer oplopend geordend, en zijn gebaseerd op veelvoorkomende denk- en rekenfouten bij leerlingen.

Het is echter zeer de vraag of deze vraag wel zo geschikt is als gesloten vraag. Er bestaat een gerede kans dat de leerling wel degelijk weet hoe hij of zij aan het antwoord kan komen, maar hierin een (veelvoorkomende) fout maakt. Het antwoord is in deze vraagvorm dan volledig fout, terwijl de beredenering van de leerling (deels) juist kan zijn. Deze vraag zou dan ook beter als open vraag gesteld kunnen worden, zodat ook de gedachtegang van de leerling door de leraar te volgen en te beoordelen is.

Figuur 192– Voorbeelden van meerkeuzevragen waarop de constructieregels voor gesloten vragen zijn toegepast.

5.3 Toetsconstructie

Het construeren van toetsvragen is een complex proces, zoals in de vorige paragraaf gebleken is. Dat geldt ook voor het construeren van een complete toets. In deze paragraaf geven we eerst een overzicht van de *kwaliteitscriteria* voor een goede toetsvraag en/of toets, gevolgd door een globale beschrijving van het proces van toetsontwikkeling in de *toetscyclus*.

5.3.1 Kwaliteitscriteria

Om te controleren of een geconstrueerde toetsvraag en/of toets van voldoende kwaliteit is, kunnen de volgende – hieronder verder uitgewerkte – criteria worden gebruikt: *validiteit*, *betrouwbaarheid* en *transparantie*. Dit zijn de drie belangrijkste kwaliteitscriteria, die elk op hun beurt opgesplitst kunnen worden in enkele deelcriteria. Deze kwaliteitscriteria gelden op zowel microscopisch niveau (een enkele toetsvraag) als macroscopisch niveau (een volledige toets).

Figuur 193 – Het belang van de inhoudsvaliditeit van een toets.

Validiteit

Voor een toetsvraag of toets is het belangrijk dat deze *valide* is. Daarbij zijn twee deelcriteria te onderscheiden: *vormvaliditeit* en *inhoudsvaliditeit*.

Vormvaliditeit – Een toetsvraag of toets is *vormvalide* als deze meet wat vooraf, door de constructeur, beoogd is. Met een toets voor het vak natuurkunde heeft een leraar als doel het conceptuele begrip van leerlingen te meten. Als de toetsvragen echter bijvoorbeeld een te groot beroep doen op de leesvaardigheid van de leerling, is het zeer de vraag of dit conceptuele begrip wordt gemeten. Een leerling kan namelijk wel conceptueel het juiste niveau hebben, maar minder leesvaardig zijn dan noodzakelijk is voor het maken van de toets. Op dat moment zal de leerling niet het resultaat behalen dat zijn of haar conceptuele begrip goed weergeeft. De toets is daarmee niet voldoende vormvalide.

Inhoudsvaliditeit – Een toets is *inhoudsvalide* als de opgaven en opdrachten uit de toets het te toetsen onderwerp inhoudelijk dekken. Als een leerling een toets krijgt over een bepaald hoofdstuk en de vragen worden alleen maar gesteld over een specifiek onderdeel (bijvoorbeeld een paragraaf uit het hoofdstuk), is er geen

sprake van inhoudsvaliditeit. Een dergelijke toets doet geen recht aan de inspanning van de leerlingen bij hun voorbereiding op de toets. Een hulpmiddel om de inhoudsvaliditeit van een toets te bewaken is de *toetsmatrijs* (zie paragraaf 5.4.2).

Betrouwbaarheid

Bij het kwaliteitscriterium *betrouwbaarheid* spelen de volgende deelcriteria een rol: *objectiviteit*, *specificiteit*, *moeilijkheidsgraad* en *toetsomvang*.

Objectiviteit – In de beoordeling van een toetsvraag of toets zou er geen verschil mogen bestaan tussen verschillende beoordelaars. Elke beoordelaar zou tot dezelfde afweging moeten komen aangaande de antwoorden die een leerling geeft. Hiertoe is een scherp geformuleerde vraag binnen een goed omschreven situatie of context noodzakelijk. Ook het correctievoorschrift, de criteria waarop een antwoord beoordeeld wordt, moet eenduidig zijn. Door deze eenduidigheid na te streven, ontstaat er een bepaalde mate van *objectiviteit* – en dat wordt door de leerlingen als rechtvaardig beschouwd.

Daarnaast is het van belang om de toetsing vorm te geven vanuit vooraf opgestelde leerdoelen. Voor een leerling schept dat veel duidelijkheid. Als er alleen in het onderwijsaanbod (de lessen) aandacht is voor wat er van de leerling wordt verwacht, kan dit bij hem of haar onduidelijkheid creëren – en dat wordt vaak als onrechtvaardig beschouwd.

Specificiteit – Een toetsvraag is specifiek als een leerling een goede kans heeft om de vraag correct te beantwoorden. Voorwaarden hiervoor zijn dat de leerling over een voldoende intellectueel niveau beschikt, de leerstof begrepen heeft en zich goed heeft voorbereid. Als een leerling de leerstof niet goed begrepen heeft, maar een bepaalde vraag wel volledig goed weet te beantwoorden, is de vraag mogelijk niet voldoende specifiek. Het spreekt voor zich dat bij deze *specificiteit* een bepaalde mate van subjectiviteit een rol speelt, maar het is wel aan te bevelen om hiermee rekening te houden.

Moeilijkheidsgraad – Afzonderlijke toetsvragen kunnen door leerlingen worden ervaren als moeilijk of makkelijk. Het vraagt veel ervaring met toetsconstructie om de moeilijkheidsgraad van een vraag voor de afname van de vraag goed in te schatten. Toch is het nodig om vooraf per vraag zo'n inschatting te maken om tot een evenwichtig samengestelde toets met een goede *moeilijkheidsgraad* te kunnen komen. Voor de samenstelling van een toets is dan de in figuur 194 weergegeven handreiking niet ongebruikelijk. Achteraf – na afname en correctie van de toets – geeft de cijferspreiding (zie figuur 195 voor een voorbeeld) een indicatie van de moeilijkheidsgraad van de toets.

Een toets *differentieert* goed als deze een duidelijk onderscheid maakt tussen leerlingen die de stof goed en minder goed beheersen. Achteraf geeft de cijferspreiding daarvan een eerste indicatie, en kan een *toetsanalyse* meer informatie geven (zie paragraaf 5.4.3).

De moeilijkheidsgraad van afzonderlijke toetsvragen is in te schatten met behulp van *taxonomieën* als OBIT, RTTI en RTI (zie paragraaf 2.7.1 en 5.4.1), waarmee (toets)vragen zijn te classificeren naar het daarin van de leerling gevraagde niveau van beheersing van de leerstof. Door het opnemen van deze classificatie in de *toetsmatrijs* (zie paragraaf 5.4.2) kan vooraf een eerste indruk van de moeilijkheidsgraad van de toets ontstaan.

Toetsomvang – Het is ten slotte voor een betrouwbare meting van belang dat er sprake is van *voldoende opgaven*: de toets is niet te kort én niet te lang. Een hulpmiddel daarbij is het vooraf inschatten van de tijd die een leerling (nodig) heeft per vraag.

Transparantie

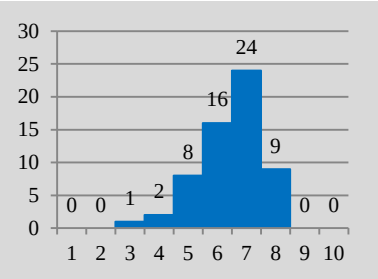
Leerlingen (en ouders) willen in deze tijd graag weten waar ze aan toe zijn in het onderwijs, en dat is een terechte wens. Men verwacht een bepaalde mate van *transparantie* van de scholen. Met name de toetsing ligt dan onder het vergrootglas, omdat dit het meetinstrument is dat de vorderingen van een leerling vastlegt. Dit komt tot uitdrukking in de deelcriteria aanvaardbaarheid en duidelijkheid.

Aanvaardbaarheid – Een toets is *aanvaardbaar* als leerlingen en leraren er blijk van geven de toets te accepteren als valide en betrouwbaar. De toets voldoet

Toetssamenstelling

Voor de samenstelling van een valide toets is de volgende handreiking niet ongebruikelijk: 20% (zeer) moeilijke vragen, 20% (zeer) eenvoudige vragen en 60% vragen van een gemiddelde moeilijkheidsgraad. Met deze opbouw kunnen leerlingen met een voldoende niveau een voldoende resultaat op de toets scoren. Zwakkere leerlingen hebben de mogelijkheid een aantal vragen (toch) goed te beantwoorden en kunnen zo laten zien dat ze zich hebben voorbereid. De sterke(re) leerlingen hebben via de moeilijke vragen de mogelijkheid om zich te onderscheiden. Afwijken van de gegeven handreiking is natuurlijk altijd toegestaan, afhankelijk van de doelen die met een toets worden nagestreefd.

Figuur 194 – Handreiking voor de samenstelling van een toets op het criterium moeilijkheidsgraad.



Figuur 195 – Cijferspreiding na correctie van een toets.

aan de verwachtingen (zie *Fokke & Sukke* in figuur 193) en sluit aan bij de leerling. Daarbij kan het ook helpen als de toets 'ergens over gaat', zoals weergegeven in figuur 196.

Duidelijkheid – Het moet via opgestelde leerdoelen helder zijn waarop de leerling wordt beoordeeld. Deze leerdoelen moeten in de toetsinstrumenten te herkennen zijn. En bij de correctie van een toets moet duidelijk zijn welke criteria er zijn gehanteerd en welke norm er is toegepast. Dat vraagt om het al eerder genoemde eenduidige correctievoorschrift, met daarin ook de toe te kennen punten voor delen van antwoorden die juist zijn. Deze duidelijkheid is essentieel om tot een goede samenwerking te komen met zowel leerlingen als ouders.

Daarnaast kan ervoor worden gekozen om de normering voor een deel al in de toets zelf op te nemen, zoals op de in figuur 197 aangegeven manier.

Puntentoekenning

Bij de eindexamens wordt het maximaal te behalen aantal punten bij een vraag aangegeven, zodat de leerling een indruk heeft van de omvang van de vraag en de score die ermee te behalen is. Een voordeel daarvan bij een toets is dat het duidelijkheid geeft voor de leerling tijdens het maken van de toets en de bespreking achteraf – en daarmee de transparantie bevordert. Een nadeel is dat het bij de leerling ook spanning kan opleveren (want wat als een leerling een grote vraag niet goed weet te maken?) en dat een scoretoekenning achteraf niet meer kan worden aangepast (bijvoorbeeld als een bepaalde vraag in de toetsanalyse een vreemde score te zien geeft).

Het al dan niet noteren van het te behalen aantal punten bij de vragen in een toets is een beslissing van de individuele leraar en/of de vaksectie.

Figuur 197 – Het in de toets opnemen van de puntentoekenning.

Relevantie

Om leerlingen voldoende te motiveren voor onderwijs is het essentieel om dit onderwijs voor hen relevant te laten zijn. Het onderwijs moet ergens over gaan dat de leerlingen interesseert en waarin ze zich willen ontwikkelen. Toetsing is een onderdeel van het onderwijsleerproces, en ook toetsing moet dus een voldoende mate van *relevantie* in zich hebben.

Ook voor het maken van een toets heeft de leerling een bepaalde mate van motivatie nodig. Door de vragen in de toets voor de leerling relevant te maken, ontstaat deze motivatie intrinsiek (buiten de extrinsieke motivatie die een toets doorgaans toch al oproept bij een leerling).

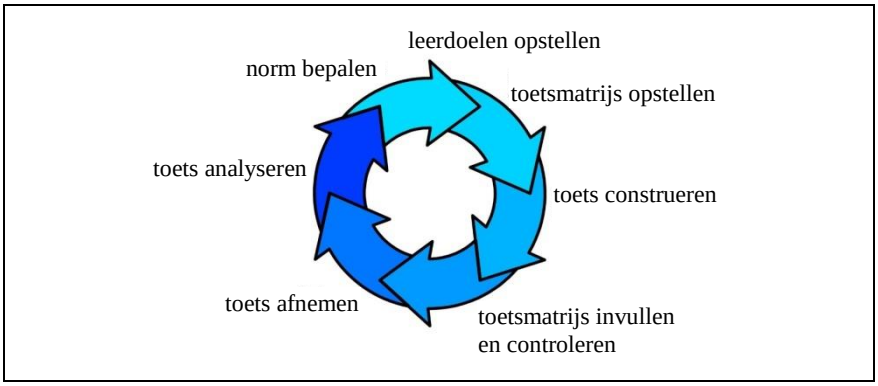
Het ultieme doel van een toetsconstructeur is de leerlingen een interesse en noodzaak te laten ervaren in het beantwoorden van de vraag en/of het oplossen van een gesteld probleem. De Nederlandse eindexamens vormen een goed voorbeeld van relevante toetsvragen. Vrijwel alle vragen worden hierin gesteld vanuit een, over het algemeen voor leerlingen aansprekende, context.

Figuur 196 – Relevantie als aanvullend criterium voor toetsvragen.

5.3.2 Toetscyclus

Toetsing wordt in het onderwijs van steeds groter belang, waardoor de meetinstrumenten (de toetsen) van een goede kwaliteit moeten zijn. Alleen dan kunnen er betrouwbare uitspraken worden gedaan en conclusies worden getrokken naar aanleiding van de resultaten van een afgenomen toets.

Om tot een toets te komen die in voldoende mate aan de kwaliteitscriteria validiteit, betrouwbaarheid en transparantie voldoet, is het aan te bevelen om de in figuur 198 weergegeven *toetscyclus* te doorlopen bij de voorbereiding, constructie, afname en analyse van een toets. De verschillende stappen in deze toetscyclus worden in deze paragraaf kort beschreven. De daarin te gebruiken toetsgereedschappen – *taxonomieën*, *toetsmatrijs* en *toetsanalyse* – komen daarna in paragraaf 5.4 aan de orde.



Figuur 198 – De toetscyclus.

Leerdoelen opstellen – De toetscyclus start altijd met het formuleren van de *leerdoelen*. Vooraf moet namelijk duidelijk zijn welke doelen er met het geboden

onderwijs worden nagestreefd en op basis van welke te behalen doelen de leerling moet worden getoetst. Vaak worden de leerdoelen al opgesteld bij de start van het onderwijsleerproces. In een later stadium vormen zij ook de basis voor een te construeren toets.

Toetsmatrijs opstellen – Om overzicht te krijgen van de opbouw van de toets is een *toetsmatrijs* een geschikt gereedschap. In een toetsmatrijs zijn de leerdoelen te herkennen, en vaak ook de concepten die in de toets aan de orde worden gesteld. Ook kan er een wenselijke puntentelling worden gegeven om een goede balans in de toets te krijgen in relatie tot de leerdoelen en concepten. Vaak wordt er in de toetsmatrijs een *taxonomie* geïntegreerd om de typen vragen te kunnen duiden en hiermee voorafgaand aan de afname van de toets een inschatting te kunnen maken van de moeilijkheidsgraad.

Toets construeren – Het *construeren* van de toets is het belangijkste en meest arbeidsintensieve onderdeel van de toetscyclus. Voor een goede toetsing is namelijk een goed meetinstrument noodzakelijk. In paragraaf 5.2 is uitgebreid ingegaan op de constructie van goede toetsvragen.

Toetsmatrijs invullen en controleren – Na het samenststellen van de toets kunnen de eigenschappen van de vragen uit de toets worden ingevuld in de toetsmatrijs. Deze eigenschappen bestaan uit de koppeling naar de leerdoelen en/of concepten, de puntentoekenning per vraag en de beoordeling volgens de taxonomie. De ingevulde toetsmatrijs geeft een beeld van de validiteit en betrouwbaarheid van de toets. Op basis van deze gegevens kan de toets nog worden aangepast.

Toets afnemen – Het *afnemen* van een toets bij leerlingen lijkt een eenvoudige activiteit, maar de leraar moet met veel zaken rekening houden. Zo moeten de hulpmiddelen voor leerlingen (bijvoorbeeld een tabellenboek) aanwezig zijn, moet er voor de leerlingen voldoende tijd beschikbaar zijn en moet de toets in een rustige omgeving gemaakt kunnen worden. Ook moet rekening worden gehouden met leerlingen die in aanmerking komen voor extra faciliteiten, zoals tijdverlenging. Het is zeer aan te bevelen om te zorgen voor een zo optimaal mogelijke toetsafname, zodat er geen sprake is van beïnvloeding van de resultaten door een niet optimale toetsorganisatie.

Toets analyseren – Na de afname en beoordeling van de toets is het verstandig om een *toetsanalyse* los te laten op de resultaten van de leerlingen per vraag. De data die op deze manier ontstaan, kunnen inzicht geven in de kwaliteit van de afzonderlijke vragen en de toets als geheel. Daarbij wordt gebruik gemaakt van analyse-instrumenten als de *p-waarde* (voor de moeilijkheidsgraad van een vraag), de *RIT*- of *RIR-waarde* (voor het onderscheidend vermogen van een vraag) of de *Cronbach Alpha* (voor de betrouwbaarheid van de toets als geheel).

Norm bepalen – Tot slot moet er een *normering* voor de toets worden vastgesteld. Het is aan te bevelen om vooraf een voorgenomen norm vast te stellen, maar het is goed mogelijk dat deze norm op basis van de toetsanalyse moet worden aangepast: niet alle vooraf gemaakte inschattingen zullen correct geweest zijn.

5.4 Toetsgereedschap

In deze paragraaf gaan we in op de gereedschappen die in de toetscyclus kunnen worden gebruikt: de (verschillende) *taxonomieën*, de *toetsmatrijs* en de *toetsanalyse* die op de toetsresultaten kan worden losgelaten. Dat laatste vraagt om een zo objectief mogelijke correctie van de toets, wat in paragraaf 5.5 aan de orde zal komen.

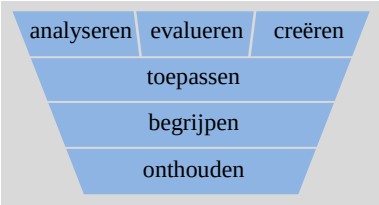
5.4.1 Taxonomieën

Een taxonomie in het kader van toetsing geeft een indeling in verschillende soorten kennis en in beheersingsniveau van die kennis. Zo'n taxonomie heeft meestal een hiërarchische opbouw. Bekende taxonomieën zijn de *taxonomie van Bloom*

en de *taxonomie van Krahtwohl*, die te zien is als een uitbreiding van die van Bloom. Voor praktisch gebruik in het (natuurkunde)onderwijs zijn deze taxonomieën aan de complexe kant, en ze worden dan ook meestal gebruikt in een vereenvoudigde vorm als de OBIT-, RTTI- of RTI-taxonomie.

Taxonomie van Bloom

Eén van de bekendste taxonomieën voor conceptuele kennis is de *taxonomie van Bloom*. In figuur 199 is daarvan de meest recente versie weergegeven. De laagste drie niveaus in de taxonomie van Bloom vormen de lagere-orde denkvaardigheden, met een opbouw van *onthouden*, *begrijpen* en *toepassen*. Het hoogste niveau in deze taxonomie bestaat uit de hogere-orde denkvaardigheden *analyseren*, *evalueren* en *creëren*. In figuur 200 worden de verschillende niveaus voor conceptuele kennis in de taxonomie van Bloom toegelicht, steeds met een voorbeeld van de vaardigheden die van een leerling op een bepaald niveau mogen worden verwacht.



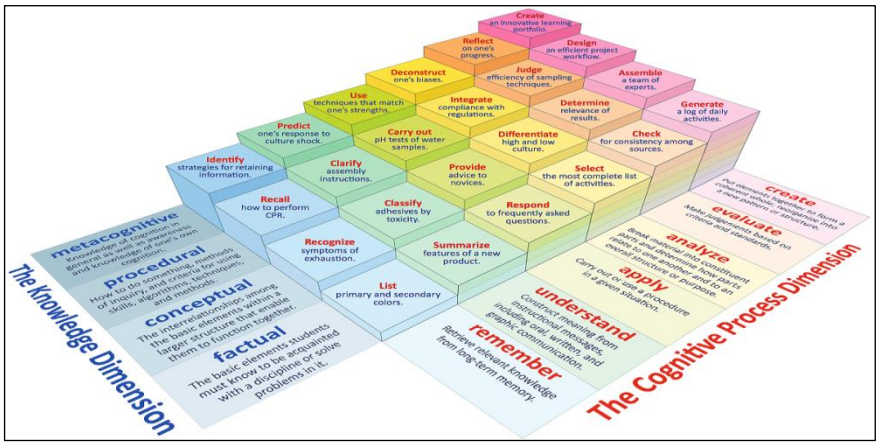
Figuur 199 – Taxonomie van Bloom.

Lagere-orde denkvaardigheden	**Onthouden**	Een leerling kan informatie reproduceren en/of benoemen.
	Begrijpen	Een leerling kan concepten uitleggen en/of verbanden tussen concepten herkennen.
	Toepassen	Een leerling kan concepten gebruiken in een context.
Hogere-orde denkvaardigheden	**Analyseren**	Een leerling kan verbanden en relaties tussen concepten onderzoeken.
	Evalueren	Een leerling kan een bepaalde theorie en/of verbanden beoordelen op correctheid en bruikbaarheid.
	Creëren	Een leerling kan ideeën of producten genereren of ontwerpen.

Figuur 200 – Niveaus in de taxonomie van Bloom.

Taxonomie van Krahtwohl

Een andere bekende taxonomie is de *taxonomie van Krahtwohl*, zoals weergegeven in figuur 201. Deze taxonomie gaat uit van twee dimensies: de *kennisdimensie* en de *denkprocesdimensie*. In de kennisdimensie worden vier vormen van kennis gedefinieerd: feitelijke kennis, conceptuele kennis, procedurele kennis en meta-cognitieve kennis. In de denkprocesdimensie worden zes denkvaardigheden onderscheiden, oplopend in beheersingsniveau: onthouden, begrijpen, toepassen, analyseren, evalueren en creëren – zoals in de taxonomie van Bloom.



Figuur 201 – Taxonomie van Krahtwohl.

Toegepast op het schoolvak natuurkunde kunnen de vormen van kennis uit de taxonomie van Krathwohl in grote lijnen als volgt worden gekarakteriseerd:

- Feitelijke kennis: verschijnselen zoals faseovergangen, soorten beweging, spiegeling en breking.

- Conceptuele kennis: begrippen en regels zoals kracht, de wetten van Newton en de spiegelings- en brekingswet.
- Procedurele kennis: procedurele vaardigheden met een stappenplan zoals rekenen met formules, diagrammen gebruiken en meetinstrumenten bedienen.
- Meta-cognitieve kennis: werkwijzen met planmatig handelen zoals onderzoeken, ontwerpen, probleemoplossen, modelleren en waarderen.

In figuur 202 staat een aantal voorbeelden bij de verschillende beheersingsniveaus van de kennisdimensie.

Feitelijke kennis Verschijnselen	De leerling kan: • de verschillende faseovergangen opnoemen. • faseovergangen in zijn omgeving herkennen.
Conceptuele kennis Begrippen en regels	De leerling kan: • de drie wetten van Newton opnoemen. • verkeersituaties toelichten met behulp van de drie wetten van Newton.
Procedurele kennis Vaardigheden	De leerling kan: • de eigenschappen van een diagram opnoemen. • een tabel omzetten in een diagram.
Meta-cognitieve kennis Werkwijzen	De leerling kan: • een stappenplan voor onderzoeken opnoemen. • een plan maken voor een onderzoek en dit uitvoeren.

Figuur 202 – De kennisdimensie uit de taxonomie van Krahtwohl, met voor elk van de soorten kennis een voorbeeld van onthouden en toepassen.

OBIT, RTTI en RTI

Een op scholen veel gebruikte taxonomie voor conceptuele kennis is de *OBIT-taxonomie*. De letters in OBIT staan achtereenvolgens voor onthouden, begrijpen, integreren en toepassen. De niveaus onthouden en begrijpen zijn van een lagere orde en representeren *reproductief leren*. De niveaus integreren en toepassen zijn van een hogere orde en representeren meer *inzichtelijk leren*. In figuur 203 staat een karakterisering van de niveaus in de OBIT-taxonomie voor het schoolvak natuurkunde.

Onthouden	Bij onthouden gaat het voornamelijk om het leren via reproductie en/of het uit het hoofd leren van vakinhoud.
Begrijpen	Bij begrijpen gaat het bijvoorbeeld om het in eigen woorden kunnen uitleggen van een bepaald concept en/of het beschrijven of ordenen van vakinhoud.
Integreren	Bij integratie gaat het om het leggen van verbanden tussen verschillende concepten of het oplossen van problemen waarin meerdere denkstappen aan de orde zijn.
Toepassen	Bij toepassen van kennis wordt er een bepaalde mate van creativiteit in het denken gevraagd, bijvoorbeeld door het niet specificeren van bepaalde denkstappen en/of door het voorleggen van een nieuwe context waarin kennis moet worden herkend en toegepast.

Figuur 203 – OBIT-taxonomie.

Verreweg de bekendste en meest gebruikte taxonomie voor conceptuele kennis in het voortgezet onderwijs is de *RTTI-taxonomie*. De letters RTTI staan achtereenvolgens voor reproductie, toepassen-1, toepassen-2 en inzicht. In figuur 204 wordt de RTTI-taxonomie nader uitgewerkt voor het schoolvak natuurkunde.

Reproductie	Als de leerling vragen moet beantwoorden op het niveau van reproductie, dan beantwoord de leerling de vraag puur op basis van herkenning en kennis. Van enige creatieve omgang met het geleerde is geen sprake.
Toepassen-1	In vragen die gesteld worden op toepassingsniveau wordt van de leerling gevraagd om de aanwezige kennis te gebruiken in een

	bepaalde context. In *toepassen-1* zal er voor de leerling sprake zijn van een bekende context en/of oplosmethode.
Toepassen-2	In vragen die gesteld worden op toepassingsniveau wordt van de leerling gevraagd om de aanwezige kennis te gebruiken in een bepaalde context. In *toepassen-2* zal er voor de leerling sprake zijn van een onbekende context en/of een nieuwe oplossstrategie.
Inzicht	Bij een inzichtsvraag krijgt de leerling doorgaans nieuwe en voor hem/haar onbekende informatie voorgeschoteld. De leerling zal deze informatie moeten kunnen verwerken met behulp van aanwezige kennis en creatief moeten zijn in het bedenken van een oplosmethode.

Figuur 204 – RTTI-taxonomie.

Een nadeel van de RTTI-taxonomie is dat het lastig is om een vraag te classificeren als toepassen-1 of toepassen-2. Het feit dat er gebruik wordt gemaakt van bijvoorbeeld een bekende context (toepassen-1) of een onbekende context (toepassen-2) betekent dat de taxonomie niet geheel los staat van het onderwijs-leerproces, en dat maakt de objectiviteit twijfelachtig. Het gebruik van de *RTI-taxonomie* kan dan een oplossing zijn. Hierin staat R voor reproductie, T voor toepassen en I voor inzicht. Er wordt dus geen onderscheid gemaakt tussen de twee verschillende niveaus van toepassen, en dat maakt deze aanpassing objectiever en handiger in gebruik.

5.4.2 Toetsmatrijs

De opbouw van een toets kan overzichtelijk worden weergegeven in een *toetsmatrijs*. Deze geeft allereerst een indruk van de mate waarin de leerdoelen door de toets worden gedekt. Vaak is er in een toetsmatrijs ook een taxonomie geïntegreerd om een indruk te krijgen van de moeilijkheidsgraad van de afzonderlijke vragen en daarmee ook van de toets als geheel. Er bestaan in de praktijk vele varianten van de toetsmatrijs. In figuur 205 is een voorbeeld weergegeven voor een toets over elektriciteitsleer.

A		B	C										D		
opgave	te behalen punten	paragraaf methode	lading	stroomsterkte	wet van Ohm	weerstand draad	serieschakeling	parallelschakeling	combinatieschakeling	vermogen	elektrische energie	rendement			
			4	3	4	3	5	5	5	4	4	2	R	T	I
			± 2	± 1	± 2	± 3	± 2	± 2	± 5	± 2	± 2	± 1			
1															
2															
3															
4															
5															
…															
…															
…															

Figuur 205 – Voorbeeld van een toetsmatrijs (elektriciteitsleer).

In de voorbeeld-toetsmatrijs van figuur 205 is een aantal kolommen aangegeven met de letters A, B, C en D. Hieronder staat een toelichting op de inhoud van deze kolommen.

In de kolommen onder A staan de vraagnummers en het maximaal aantal te behalen punten per vraag.

Kolom B legt een verbinding tussen de toets(matrijs) en de bron die de leerling gebruikt heeft om zich de leerstof eigen te maken. Hierbij kan gedacht worden aan de paragraafnummers waarop een vraag betrekking heeft en/of de leerdoelen die bij een hoofdstuk aan de orde zijn. Als de toetsmatrijs is opgesteld voor een schoolexamen, kunnen in deze kolom de (sub)domeinen uit de syllabus worden geplaatst.

In de kolommen onder C staan in het algemeen de leerdoelen, hier verkort tot de concepten die in de toets aan de orde kunnen of moeten komen. Per concept is steeds aangegeven welk aantal punten in de toets gewenst is, en met welke marge er daarbij rekening mag worden gehouden. Dit kan de leraar vooraf zelf beslissen, maar het kan ook zijn dat er in de vaksectie op school afspraken worden gemaakt over de puntenverdeling die nodig is om tot een valide en betrouwbare toets te komen. Opvallend is dat bij een aantal concepten het wenselijk te behalen aantal punten gelijk is aan de daaronder weergegeven marge. Dit betekent dat deze concepten niet noodzakelijkerwijs in de toets een plaats hoeven te krijgen. Er ontstaat op die manier voor de leraar ook een bepaalde mate van keuzevrijheid en flexibiliteit om een toets naar eigen inzicht inhoudelijk vorm te geven.

De kolommen onder D geven een taxonomie weer. Per vraag kan worden aangegeven in welk deel van de gekozen taxonomie de vraag het best kan worden geplaatst. Bij een volledig ingevulde toetsmatrijs kan de samensteller van de toets dan in een oogopslag zien of de variatie in de toets en de moeilijkheidsgraad van de toets als geheel naar wens is. In figuur 205 is gekozen voor de RTI-taxonomie (reproductie, toepassen en inzicht), maar hier kan elke willekeurige taxonomie worden opgenomen.

In figuur 206 is de toetsmatrijs van figuur 205 ingevuld voor de eerste vijf vragen om een indruk te geven hoe dat er uiteindelijk uit ziet.

opgave	te behalen punten	paragraaf methode	lading	stroomsterkte	wet van Ohm	weerstand draad	serieschakeling	parallelschakeling	combinatieschakeling	vermogen	elektrische energie	rendement			
			4	3	4	3	5	5	5	4	4	2	R	T	I
			± 2	± 1	± 2	± 3	± 2	± 2	± 5	± 2	± 2	± 1			
1	2	2.1	2										x		
2	4	2.4			2		2							x	
3	3	2.6			1					2				x	
4	5	2.5			1				4						x
5	3	2.3	1	2									x		
…	…														
…	…														
…	…														

Figuur 206 – Voorbeeld van een op de toetsmatrijs van figuur 205 gebaseerde invulling.

Voor de constructie van een toets is het aan te bevelen om eerst een toetsmatrijs te ontwerpen. Op die manier wordt er in een vroeg stadium van de toetscyclus al nagedacht over de manier waarop de toets inhoudelijk moet worden opgebouwd. Het opstellen van een toetsmatrijs kan daarnaast een mooi instrument zijn voor een discussie onder vakcollega's, waarbij deze discussie vaak ook zal gaan over de inhoudelijke invulling van het onderwijs voorafgaand aan de toets.

Na de constructie van de toets kan met de ingevulde toetsmatrijs worden gecontroleerd of de toets voldoet aan de gewenste eisen wat betreft validiteit en be-

trouwbaarheid. Ook zorgt het gebruik van een toetsmatrijs binnen de vaksectie op school voor een bepaalde mate van objectiviteit in de toetsconstructie.

5.4.3 Toetsanalyse

Na de afname van een toets zijn er data beschikbaar over hoe de leerlingen gescoord hebben op de verschillende onderdelen van de toets en op de toets als geheel. Om een indruk te krijgen van de moeilijkheidsgraad en de betrouwbaarheid van de toets zijn een aantal getalwaarden beschikbaar. In deze paragraaf worden achtereenvolgens de *p-waarde*, de *RIT-* en *RIR-waarde* en de *Cronbach Alpha* besproken.

Moeilijkheidsgraad

De moeilijkheidsgraad van een toetsvraag kan worden weergegeven met de *p-waarde*. Deze p-waarde heeft een waarde tussen 0 en 1. Een p-waarde 0 betekent dat alle leerlingen de vraag fout hadden, terwijl bij een p-waarde 1 alle leerlingen de vraag goed hadden. Dus: hoe hoger de p-waarde is, des te gemakkelijker is de vraag.

Open vragen – De p-waarde van een open vraag is te berekenen uit de gemiddelde en de maximale score op een vraag:

$$p = \frac{\text{gemiddelde score}}{\text{maximale score}}$$

Bij de ideale moeilijkheidsgraad van een open vraag wordt ervan uitgegaan dat de vraag een goed onderscheid maakt tussen de ‘kenners’ en ‘niet-kenners’. Bij een p-waarde van 0,50 (het midden tussen 0 en 1) splitst de vraag de groep leerlingen in twee gelijke delen. In de praktijk mag rekening worden gehouden met een marge van +/– 0,1 of 0,2.

Gesloten vragen – Bij gesloten vragen zoals meerkeuzevragen is de p-waarde het percentage leerlingen dat de vraag correct heeft beantwoord:

$$p = \frac{\text{aantal correct}}{\text{aantal totaal}}$$

De ideale moeilijkheidsgraad van een meerkeuzevraag hangt af van de ‘blinde raadkans’ (die er bij een open vraag niet is). Door te gokken kan een leerling een meerkeuzevraag per ongeluk goed beantwoorden. Dit maakt het goed beantwoorden van meerkeuzevragen iets makkelijker, en moet de ideale p-waarde dus iets hoger liggen: bij vijf alternatieven is de ideale p-waarde 0,60, bij vier alternatieven 0,63, bij drie alternatieven 0,67 en bij twee alternatieven 0,75.

Bij de berekening van de p-waarde moet wel worden opgemerkt dat de waarde pas betrouwbaar is als er sprake is van een aanzienlijk aantal leerlingen dat de toets gemaakt heeft. Als richtlijn geldt een minimum van zo’n honderd leerlingen. Bij een kleinere populatie kan de p-waarde echter wel degelijk een indruk geven, maar moet deze wel kritisch bekeken worden.

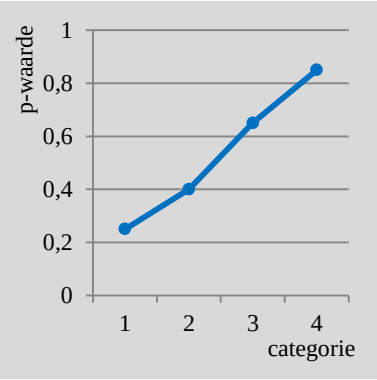
Het aardige van de p-waarde is dat deze door leraren vooraf is in te schatten. Dit is een uiterst waardevolle oefening om vooraf de moeilijkheidsgraad van een toets bij benadering al vast te stellen. Ook het gezamenlijk inschatten van de moeilijkheidsgraad van vragen door een groep leraren is een waardevolle activiteit. Er ontstaat daarbij een goed onderbouwde discussie over de toetsing en het onderliggende onderwijs. Het is zelfs het overwegen waard om de ingeschatte p-waarde op te nemen in de toetsmatrijs.

Het berekenen van de p-waarde van een vraag met de toetsresultaten van de leerlingen is eenvoudig te doen met de hierboven gegeven formules.

Onderscheidend vermogen

Het onderscheidend vermogen van een toetsvraag wordt gegeven door de *RIT-* en *RIR-waarde*. Het is wenselijk dat leerlingen die een goede score behalen op de totale toets ook een goede score behalen op een afzonderlijke toetsvraag. De correlatie tussen de score op de toetsvraag en de score op de totale toets moet dus in orde zijn. Aan de RIT- en RIR-waarde is te zien of dit in voldoende mate het geval is, zoals uitgewerkt in figuur 209.

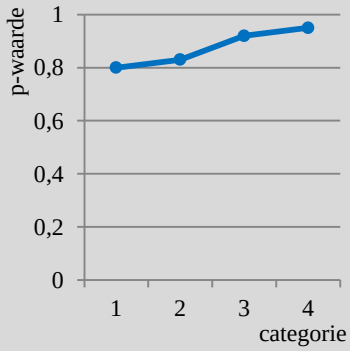
Het berekenen van de RIT- of RIR-waarde van een toetsvraag met de toetsresultaten van de leerlingen is ingewikkeld. Er zijn wel spreadsheet-programma's voor beschikbaar. Maar met de hieronder weergegeven manier van het grafisch weergeven van de p-waarde van een toetsvraag is al vrij eenvoudig een goede indruk te krijgen van hoe het met het onderscheidend vermogen van die vraag zit.



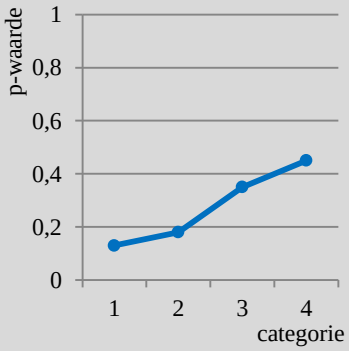
Figuur 207 – Grafische weergave van toetsresultaten: de gemiddelde p-waarde van een toetsvraag in de vier op grond van de totaalscore op de toets onderscheiden categorieën leerlingen.

De toetsresultaten van de leerlingen zijn per vraag grafisch weer te geven zoals in figuur 207. Om tot een dergelijke grafiek te komen wordt de groep leerlingen ingedeeld in vier categorieën. Categorie 1 bestaat uit de 25% leerlingen met de slechtste score op de toets. Categorie 4 bestaat uit de 25% leerlingen met de beste score op de toets. De categorieën 2 en 3 worden op een analoge manier gevuld. Per categorie wordt de p-waarde van een toetsvraag berekend. Deze p-waarde staat uitgezet op de verticale as, en zo ontstaan er vier meetpunten in de grafiek. De ligging van de meetpunten geeft een beeld van het onderscheidend vermogen van de toetsvraag. In het voorbeeld van figuur 207 is dit onderscheidend vermogen goed. In de grafiek is namelijk te zien dat leerlingen die goed scoren op de volledige toets (categorie 4) ook goed scoren op deze vraag, en dat leerlingen die slecht scoren op de volledige toets (categorie 1) ook slecht scoren op deze vraag. De richting van de grafieklijn die door de meetpunten kan worden gedacht, is dus een maat voor het onderscheidend vermogen van de vraag.

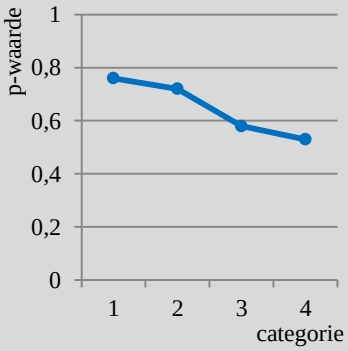
Als de lijn in de grafiek een niet al te grote helling heeft, is het onderscheidend vermogen van de vraag gering. Liggen de meetpunten laag op de verticale as, dan zal er sprake zijn van een lage p-waarde over de volledige populatie en is de conclusie dat de vraag een hoge moeilijkheidsgraad heeft. Als de grafieklijn aflopend is, is het onderscheidend vermogen van de vraag negatief. Zwak scorende leerlingen op de volledige toets scoren dan op de vraag beter dan goed scorende leerlingen, wat een onwenselijke situatie is. In figuur 208 staan nog enkele andere voorbeelden van de grafische weergave van de toetsresultaten van leerlingen en de conclusie die daaruit valt te trekken.



Conclusie: een eenvoudige vraag met een laag onderscheidend vermogen.



Conclusie: een moeilijke vraag met een redelijk goed onderscheidend vermogen.



Conclusie: een redelijk eenvoudige vraag met een negatief onderscheidend vermogen.

Figuur 208 – Voorbeelden van de grafische weergave van toetsresultaten en de conclusie die daaruit valt te trekken over de moeilijkheidsgraad en het onderscheidend vermogen van een toetsvraag.

RIT- en RIR-waarde

De RIT- en RIR-waarde van een toetsvraag geven een indruk van het onderscheidend vermogen van een vraag. Met de RIT-waarde wordt de correlatie (aangeduid met de letter R) bepaald tussen de score op een afzonderlijke toetsvraag (vandaar de letter I van Item) en de totaalscore op de toets (vandaar de letter T). De RIR-waarde wordt op een vergelijkbare manier berekend, met dat verschil dat men nu op zoek is naar de correlatie (R) tussen de score op een toetsvraag (I) en de restscore van de toets (vandaar de letter R). De restscore is de totaalscore op de toets, verminderd met de score op de vraag waarvoor de RIR-waarde berekend wordt. De RIT- en de RIR-waarde zijn in de meeste gevallen nagenoeg gelijk.

De RIT- of RIR-waarde ligt ergens tussen –1 en +1. Een positieve waarde wil zeg-

gen dat er een positief verband bestaat tussen de score op een toetsvraag en de totaalscore op de toets. In de praktijk betekent dit dat leerlingen die goed scoren op de totale toets ook goed scoren op de betreffende vraag. Leerlingen die slecht scoren op de totale toets scoren ook slecht op de betreffende vraag. Deze situatie is ook wenselijk: het onderscheidend vermogen van de vraag is voldoende. Is er echter sprake van een negatieve RIT- of RIR-waarde, dan betekent dit dat leerlingen die goed scoren op de totale toets juist slecht scoren op de betreffende vraag. Leerlingen die op de totale toets slecht scoren, doen het op die vraag juist goed. Het spreekt voor zich dat dit geen wenselijke situatie is, en dat het onderscheidend vermogen van de vraag zwak is.

In de praktijk betekent een RIT-of RIR-waarde boven 0,35 dat de vraag een goed onderscheidend vermogen heeft. Een RIT- of RIR-waarde onder 0,15 betekent een onvoldoende onderscheidend vermogen, met daarbij de opmerking dat een negatieve RIT- of RIR-waarde niet acceptabel is. In dat geval is er echt iets met de inhoud of kwaliteit van de vraag aan de hand. Bij een RIT- of RIR-waarde tussen 0,15 en 0,35 mag er twijfel zijn over het onderscheidend vermogen. Het is dan zonder meer aan te bevelen om de vraag nog eens goed te bekijken. Het inschatten van een RIT- of RIR-waarde voorafgaand aan de afname van een toets is, in tegenstelling tot de p-waarde, onmogelijk. De RIT- en RIR-waarde zijn volledig gebaseerd op de data die volgen uit de toetsresultaten van een groep leerlingen.

Figuur 209 – De RIT- en RIR-waarde als maat voor het onderscheidend vermogen van toetsvragen.

Betrouwbaarheid

Bij de RIT- en RIR-waarde gaat het om de betrouwbaarheid van afzonderlijke toetsvragen. Er is ook een maat voor de betrouwbaarheid van een toets als geheel: de *Cronbach Alpha*. De vraag is echter hoe relevant die Cronbach Alpha is voor een gemiddelde toets over de leerstof van een hoofdstuk in het leerboek, gezien de in figuur 210 genoemde beperkingen.

Cronbach Alpha

De Cronbach Alpha geeft een indruk van de betrouwbaarheid van een toets als geheel. De waarde ligt tussen 0 (niet betrouwbaar) en 1 (volledig betrouwbaar). Boven de waarde 0,80 is een toets voldoende betrouwbaar, onder een waarde van 0,70 is de kwaliteit van de toets (zeer) twijfelachtig.

Bij de Cronbach Alpha moet wel de kanttekening worden geplaatst dat deze voornamelijk betekenis heeft bij toetsen die bestaan uit redelijk veel vragen die vergelijkbare competenties toetsen, en als er geen sprake is van een strakke limitering van de tijd die leerlingen voor het maken van de toets hebben.

Figuur 210 – De Cronbach Alpha als maat voor de betrouwbaarheid van een volledige toets.

5.5 Toetspraktijk

In deze paragraaf gaan we in op het *nakijken* van de toets als een van de onderdelen van de toetscyclus. Bij die beoordeling van de toetsresultaten van de leerlingen is het gewenst om zo objectief mogelijk te zijn, maar in de praktijk is er sprake van (menselijke) *beoordelaarseffecten*. En dan ligt er nog een vraag naar wat te doen bij het *teruggeven* en *bespreken* van de gemaakte toets.

Toets nakijken

Het nakijken van een toets kan niet zonder een vooraf opgesteld *correctiemodel* met het beoogde antwoord op de vragen en een puntenverdeling voor de te onderscheiden aspecten van dat antwoord binnen het beschikbare aantal punten zoals opgenomen in de toetsmatrijs. Als voor een vraag als “De grootheden A en B zijn recht evenredig. Geef op drie verschillende manieren aan wat dat betekent” 2 punten beschikbaar zijn, dan krijgt een leerling bijvoorbeeld 1 punt als twee antwoorden goed zijn, en niets als er maar één antwoord goed is. Bedenk ook hoe je rekenfouten en fouten met afronden, significantie, eenheden en dergelijke rekent. Daarvoor is de examennorm voor het omgaan met dit soort fouten bruikbaar, maar vergeet niet dat een punt aftrek bij een toets met een maximum van 40 punten zwaarder telt dan bij een examen met een maximumscore van 100.

Dan begint de correctie. Schrijf beslissingen over de normering van vaak voorkomende fouten in een andere kleur in het correctiemodel. Dat bevordert de consistentie van de correctie. Het schrijven van toelichtingen bij fouten van leerlingen is voor de leerling prettig en heel nuttig, maar kost zeer veel tijd. Veel gemaakte fouten kunnen beter klassikaal besproken worden.

Bij het nakijken van een toets kunnen *beoordelaarseffecten* optreden: menselijke reacties die afbreuk doen aan de daarbij gewenste objectiviteit. Een overzicht van een deel van deze beoordelaarseffecten staat in figuur 211. Het kan heel lastig zijn om deze effecten te vermijden, maar het is in elk geval van belang dat je je als leraar bewust bent van het bestaan ervan.

Hoewel het lastig kan zijn om beoordelaarseffecten te vermijden, zijn er wel een paar mogelijkheden die daarbij kunnen helpen: een toets per vraag nakijken,

per vraag steeds de volgorde van het nakijken van de toetsen van verschillende leerlingen wisselen, en ‘blind’ nakijken (dus zonder naar de naam van de leerling te kijken).

Eerste indruk	Een beoordelaar kan de neiging hebben om te snel te willen oordelen, zeker als hij of zij onder tijdsdruk moet werken.
Logische fout	Als de beoordelaar een gunstige/ongunstige indruk krijgt bij het beoordelen van de antwoorden op de eerste vragen kan dit, ten onrechte, worden doorgezet naar de antwoorden op de volgende toetsvragen. Of: als een leerling een bepaalde vraag goed/fout maakt, de conclusie trekken dat het antwoord op een andere vraag dan ook wel goed/fout zal zijn.
Sympathie en antipathie	De beoordelaar kan een goede/slechte klik hebben met een bepaalde leerling en daardoor deze leerling sneller goed/streng beoordelen.
Projectie	Een beoordelaar kan bepaalde, positieve of negatieve, kenmerken toeschrijven aan een leerling en hiernaar handelen.
Stereotype	Bij stereotypering worden aan een leerling eigenschappen toegekend op basis van de groep waartoe de leerling behoort. Een bekend voorbeeld hiervan is een verschillende benadering van jongens en meisjes in de beoordeling.
Mildheid en strengheid	Een milde/strenge beoordelaar heeft de neiging om steeds te beoordelen boven/onder het (te verwachten) gemiddelde van de toets.
Centrale tendentie	Bij centrale tendentie wil de beoordelaar steeds een score toekennen die op of in de buurt van het (te verwachten) gemiddelde van de toets ligt.
Normverschuiving	Als leerlingen op een bepaalde vraag van de toets steeds slecht/goed scoren, dan kan de beoordelaar de neiging hebben steeds milder/strenger te gaan beoordelen.
Sequentie-effect	Als een grote hoeveelheid foute/goede antwoorden gevolgd wordt door een (deels) goed/fout antwoord, dan kan de beoordelaar de neiging hebben een onevenredig hoge/lage beoordeling te geven.

Figuur 211 – Beoordelaarseffecten.

De ervaring leert dat de normering op enkele punten bijgesteld moet worden na het corrigeren van zo’n vijf toetsen. Doe dat niet al te rigoureus: het kost veel tijd, en het effect ervan op het eindresultaat is meestal marginaal. Tijdens de correctie zul je nogal eens door het onbehaaglijke gevoel beslopen worden dat de toets te gemakkelijk of te moeilijk was. Begin dan alleen in extreme gevallen opnieuw met nakijken. Maak gewoon de correctie af en bekijk de toets nog eens kritisch. Was hij echt te simpel of te moeilijk? Vraag het bij twijfel aan een vakcollega.

Een verandering van de norm kan achteraf gebeuren door verandering van het aantal punten dat de leerling ook zonder prestatie krijgt (meestal, zoals bij de examens, 10% van het totale aantal punten). Een norm die achteraf aangescherpt wordt, is moeilijk aan leerlingen te verkopen. Ze zullen dan snel het gevoel hebben onrechtvaardig behandeld te worden. Ze zijn daar nogal gevoelig voor, en vergeten snel de keren dat de norm versoepeld werd. Als je een slechte relatie met een klas hebt, is het meestal niet verstandig een norm achteraf aan te scherpen – zelfs niet als dat eigenlijk zou moeten. Dat zou de relatie met de klas blijvend kunnen beschadigen.

Tijdens het corrigeren kom je altijd zwakke punten van de toets op het spoor. Verbeter die na de correctie meteen, dan ligt er voor volgend jaar een betere toets klaar. Uitstellen van het verbeteren tot volgend jaar werkt niet: de meeste verbeteringen zijn dan allang weer vergeten. Het noteren van later aan te brengen verbeteringen kost evenveel tijd als het verbeteren zelf. Houd ook aantekening van de scores van de leerlingen, zodat je later weet of het een (te) moeilijke of juist een gemakkelijke toets was.

Toets teruggeven

Bedenk vooraf of de leerlingen de toets mogen houden. Als je de toets inneemt, kan hij verbeterd en in een volgend jaar nog eens gebruikt worden.

Deel de toetsen zelf uit en zeg daarbij iets tegen elke leerling, maar zeker tegen de leerling die een onvoldoende terugkrijgt. Laat merken dat je begrijpt wat dat voor die leerling betekent. Zo’n opmerking kan perspectief bieden, bij-

voorbeeld: “Je werkt er wel aan, maar toch heb je de meeste kennisvragen fout. Kijk de volgende keer goed naar wat je moet weten, dan gaat het misschien beter.” Of: “Het is nog wel niet voldoende, maar het gaat naar mijn idee steeds beter. Gewoon volhouden, dan komt het wel goed.” Bij sommige leerlingen zie je zelf ook geen perspectief. Bij die leerlingen kun je de gezamenlijkheid van het probleem benadrukken, bijvoorbeeld met een opmerking als: “Tja, het is helaas weer mis. Ik heb het heel goed nagekeken maar het is nou eenmaal niet meer dan dit. Ik vind het heel jammer. Laten we ervoor zorgen dat het in ieder geval niet slechter wordt.” Er zijn natuurlijk ook leerlingen die niet werken. Die categorie krijgt dan bijvoorbeeld te horen: “Het is een 4, en we weten allebei hoe dat komt. Misschien wordt het tijd dat je daar eens iets aan gaat doen.” Dan ligt het probleem bij de leerling. Dit is hét moment om irritante leerlingen met een onvoldoende uiterst vriendelijk te benaderen: “Ik weet niet waarom je een onvoldoende hebt, maar het zou wel eens iets te maken kunnen hebben met het feit dat we steeds ruzie hebben. Ik wil daar best eens over praten. Als jij dat ook wilt moet je maar eens langskomen.” Dat doet hij overigens meestal niet. Dat je een leerling die het goed gedaan heeft moet prijzen hoeft geen betoog. Een simpel woord als “Een 8, prima” is al voldoende.

Maak geen sarcastische of cynische opmerkingen bij het teruggeven van een toets, tenzij je precies weet waarom je dat bij die ene leerling doet. Soms werkt het, maar meestal wordt het je zeer kwalijk genomen, met name door andere leerlingen die het horen. Voor leerlingen valt dat gedrag van een leraar in de categorieën ‘machtsmisbruik’ en ‘natrappen’.

Toets bespreken

Je kunt de toets bespreken voor of na het uitdelen. Vóór het uitdelen is de betrokkenheid van de leerlingen bij de bespreking vaak te gering, na het uitdelen te groot. In het laatste geval lukt het bijna nooit om de bespreking in alle rust en stilte te laten verlopen. Streef daar dan ook niet naar, maar zeg bijvoorbeeld wel: “Normaal wil ik dat het stil is als ik iets uitleg. Bij het bespreken van een toets ben ik daar wat minder streng in.” Het is verstandig om alleen de veel gemaakte fouten te bespreken. Schrijf daarbij de normering op het bord. Een andere manier is om de leerlingen hun toets zelf met behulp van het (uitgedeelde) correctievoorschrift te laten analyseren op gemaakte fouten.

Na de klassikale bespreking van de toets en de norm komen leerlingen die het niet eens zijn met hun beoordeling vaak allemaal tegelijk naar je toe. Ga daar dan niet op in en verwijs ze naar een later moment, als de klas aan het werk is. Stuur iedereen naar zijn plaats en laat ze één voor één bij je komen of loop zelf rond. Zorg ervoor dat iedereen die wat tegen je wil zeggen dat ook kan doen. De leerling hoeft het dan niet eens te zijn met je uiteindelijke beslissing, maar moet die wel kunnen aanvaarden. Als hij dat niet kan, verstoort dat je relatie met die leerling. Biedt de leerling dan bijvoorbeeld aan om het werk door een vakcollega te laten nakijken, en stel hem voor dat jullie beiden zich bij zijn of haar beslissing zullen neerleggen.

Sommige leraren vragen de leerlingen terug te komen in de pauze. Dat verdient echter geen aanbeveling: leraar en leerlingen hebben een pauze nodig, en het klassenmanagement moet zo zijn dat die pauzes ook als zodanig gebruikt kunnen worden. Als er in de les geen tijd beschikbaar is of als er veel leerlingen met commentaar zijn, kunnen ze ook hun commentaar op het blaadje schrijven, zodat de leraar er dan thuis eerst nog eens rustig naar kan kijken.

5.6 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: welke eigenschappen heeft een goede toetsvraag, en hoe geef je met die toetsvragen een theorietoets op een verantwoorde manier vorm?

Het construeren van toetsvragen en toetsen is een complex proces, waarbij het belangrijk is om de toetscyclus zorgvuldig te doorlopen – met expliciete aandacht voor de constructieregels en kwaliteitscriteria voor toetsvragen en toetsen

en voor de inzet van de gereedschappen voor toetsanalyse. Daarnaast kan het nuttig zijn om de toetsconstructie in samenwerking met collega's uit te voeren. Deze samenwerking kan bestaan uit het volledig samen construeren van een toets. Het is echter ook mogelijk een collega te vragen een geconstrueerde toets te controleren en/of van feedback te voorzien: het zogenaamde *vier-ogen-principe*.

Bij de bepaling van de waardering die de leerlingen voor een leraar hebben, speelt de manier waarop deze omgaat met toetsing en beoordeling een belangrijke rol. Gelegenheid tot vragen stellen in de les ervoor, snel nakijken, duidelijke toetsen en toegankelijk zijn voor bezwaren tegen de correctie zijn daarbij belangrijk. Bij dat laatste moeten leerlingen het gevoel hebben dat er serieus naar hen geluisterd is. De leraar doet er dan ook goed aan zoveel mogelijk te laten zien op welke wijze hij tot zijn beoordeling is gekomen, en ruime aandacht te besteden aan de bezwaren van leerlingen daartegen.

Dit alles is te zien als een verdere uitwerking op het volgende in paragraaf 2.8 genoemde *leerprincipe* uit de leerpsychologie: *terugkoppelen*.

Terugkoppelen – Sluit na de voorafgaande regelmatige terugkoppeling (feedback) over de vorderingen van de leerlingen in de richting van de leerdoelen het onderwijsleerproces af met een valide, betrouwbare en transparante toets die ook de leerling inzicht geeft in wat hij of zij weet en kan en de beoogde leerdoelen in voldoende mate heeft bereikt.

6 Begripsontwikkeling

6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk gaat over de begripsontwikkeling van leerlingen in de verschillende leerstofdomeinen van het vak natuur- en scheikunde in het vmbo en de onderbouw havo/vwo. Welke leerstofdomeinen in het curriculum aan de orde komen, hangt voor het vmbo af van de leerweg en de bijbehorende examenprogramma's (zie hoofdstuk 8) en voor de onderbouw havo/vwo van de school/sectie. Uit de inhoud van die leerstofdomeinen is een selectie gemaakt van onderdelen waarbij nogal eens begripsproblemen bij de leerlingen optreden of onderdelen die in leerboeken nogal eens te weinig aandacht krijgen en daardoor begripsproblemen oproepen. Daarbij besteden we ook aandacht aan de denkbeelden die leerlingen kunnen hebben over begrippen, relaties, theorieën en modellen op grond van hun ervaringen in het dagelijks leven en hoe de betreffende leerstof kan worden behandeld, zonder onderscheid te maken tussen de verschillende leerwegen in het vmbo. Bij de in dit hoofdstuk genoemde leerlingdenkbeelden moet overigens worden aangetekend dat zij niet bij alle leerlingen leven, en dat ze in verschillende mate en op verschillende momenten kunnen opduiken, afhankelijk van onder andere het leerjaar en het voorafgaande natuur- en scheikundeonderwijs.

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: hoe is de begripsontwikkeling van leerlingen – gezien het karakter van de mogelijke leerlingdenkbeelden en didactische benaderingen – in de verschillende leerstofdomeinen te stimuleren?

6.2 Leerlingdenkbeelden

In alle schoolvakken speelt het leren van vakbegrippen en -redeneringen een rol. Uit vakdidactisch onderzoek is bekend dat, als het om begripsontwikkeling gaat, onderwijs minder succesvol is dan wordt gedacht of gehoopt. Leerlingen leren wel de vaktermen te gebruiken, maar de betekenis die ze eraan toekennen verschilt vaak van de geaccepteerde natuurwetenschappelijke betekenis. Dat komt tot uiting in begripsproblemen: veel leerlingen geven heel andere dan de gewenste antwoorden als hen begripsvragen worden voorgelegd. Ze blijken dan vast te houden aan begrippen en redeneringen die voortkomen uit hun alledaagse ervaringen. Een oorzaak daarvan is dat het natuur- en scheikundeonderwijs hen vaak in het ongewisse laat waar de oude redenering tekort schiet, wat het gevolg van dat tekortschieten is voor de betekenis van de gebruikte begrippen en waarom dus een andere betekenisgeving gewenst is. Voor veel leerlingen komt het vak met oplossingen, terwijl er voor hen (nog) geen probleem is. Met als gevolg dat ze te weinig uitgedaagd en gemotiveerd worden om zich in de vakredenering te verdiepen.

De oplossing van dit probleem moet niet gezocht worden in het afwijzen van leerlingredeneringen, maar in het gebruik maken ervan als stuwende kracht bij begripsontwikkeling. Leerlingen moeten uitgedaagd worden hun redeneringen te expliciteren, voorspellingen te doen en die te controleren, bijvoorbeeld door experimenten te bedenken en logische redeneringen toe te passen. Zo worden hun ideeën en de begrippen die eruit voortkomen ter discussie gesteld. Interactie met medeleerlingen en de leraar is daarbij essentieel.

In deze paragraaf gaan we in op vier mogelijke reacties op 'onverwachte' leerlinguitspraken en de bijdrage die deze reacties al dan niet aan de begripsontwikkeling van leerlingen kunnen leveren.

Leraar-reacties

Als leraren in de klas geconfronteerd worden met uitspraken van leerlingen waarin 'leerlingdenkbeelden' doorklinken, zijn er globaal vier manieren waarop zij kunnen reageren: *verwerpen*, *negeren*, *erkennen* en *anticiperen*. Verwerpen en negeren lijken weinig bij te dragen aan begripsontwikkeling. Maar erkennen en anticiperen kunnen ertoe leiden dat leerlingen hun redeneringen expliciteren, zodat die productief gemaakt kunnen worden voor begripsontwikkeling.

Verwerpen – Een leraar (Lr1 in figuur 212) geeft een individuele les aan Els (2-havo) over dichtheid, een onderwerp dat ze in de gewone les niet begrepen had. De leraar heeft de les voorbereid en neemt als voorbeeldsituatie: als water bevriest, zet het uit en dus is de dichtheid van ijs kleiner dan die van water. Els blijkt niet te weten dat water uitzet als het bevriest. Daarom neemt de leraar de situatie dat hij een glazen bak van 750 g met 1000 g water vult en in het vriesvak zet. Hij stelt dat het ijs na enige tijd is bevroren en de bak is gebroken.

Els is op het water gericht en denkt dat het water (1000 g) 'meer' weegt. Ze geeft dus niet het antwoord dat de leraar wil (namelijk 1750 g). Hij verwerpt haar antwoord, wat je kunt zien aan het woord 'maar' waarmee hij zijn zin begint. Meestal leidt een verwerpende reactie ertoe dat de leerling het antwoord niet verder uitwerkt maar de leraar zijn/haar oplossing laat geven. Dat geldt ook voor de volgende reactie.

Lespraktijk

Lr1 Stel nu dat je al dat ijs en de glasscherven gaat wegen, hoeveel denk je dat dat weegt samen?
Els Nou, meer dan dat… lijkt me, meer dan die 1000 g.
Lr1 Maar aan het begin hè, aan het begin hadden we die bak gevuld met water en dat woog 1750 g.

Figuur 212 – Lesprotocolfragment met een verwerpende reactie van de leraar.

Negeren – De leraar richt de aandacht opnieuw op het ijs en de glasscherven, en Els reageert daarop.

De leraar (Lr1 in figuur 213) zegt wel 'ja', maar gaat helemaal niet door op wat Els zegt: hij negeert het. Toch kan het heel goed zijn dat Els hier eigenlijk een argument geeft voor haar idee dat het ijs zwaarder is dan het water. Een typische leerlingredenering is: iets wordt zwaarder als er lucht uit gaat, lucht heeft een soort negatief gewicht. Door het negeren wordt Els weer niet gestimuleerd haar gedachten te verwoorden.

Lespraktijk

Els Oh… Ja, die lucht is eruit [uit het water/ijs]… ehm…
Lr1 Ja, ik ga dat dus gewoon wegen.

Figuur 213 – Lesprotocolfragment met een negerende reactie van de leraar.

Erkennen – Bij Lia, een andere leerling, loopt het anders. Bij haar gaat de les over de vraag of lucht gewicht heeft. Lia heeft een idee dat lijkt op dat van Els. De leraar (Lr2 in figuur 214) begrijpt haar echter niet, vraagt door en daardoor wordt Lia's redenering (een beetje) duidelijk.

Lespraktijk

Lr2 De vraag is dus: wordt een opgepompte bal lichter als je hem leeg laat lopen?
Lia Nee.
Lr2 Hoe kom je daarbij?
Lia Nou, ik heb wel eens een plastic bal in de vijver getrapt en toen bleef ie drijven. En een leren bal ook.
[Lr2 blijft doorvragen, en uiteindelijk zegt Lia]
Lia Maar dat weegt toch niet, lucht?
Lr2 Lucht weegt niet?
Lia Nou, dat is toch zo? Een lekke bal is toch niet zwaarder als je die op een weegschaal zet dan een volle bal, of wel?
Lr2 Nou…
Lia Heb ik zo'n idee, ik bedoel: als ik een lekke bal trap, dat is zwaarder dan als ik gewoon een volle bal trap.

Figuur 214 – Lesprotocolfragment met een erkennende reactie van de leraar.

De leraar toont zich geïnteresseerd in wat Lia bedoelt: hij vraagt door, herhaalt en laat zo merken dat hij luistert. Deze gesprekstechnieken dragen ertoe bij dat Lia zich erkend voelt. Ze stimuleren haar niet alleen tot het verduidelijken van haar redenering, maar hebben ook tot gevolg dat ze een productieve vakactiviteit voorstelt: laten we maar eens wegen!

Anticiperen – Als de leraar kennis heeft van en gevoelig is voor de inhoud van leerlingredeneringen, kan hij/zij erop anticiperen.

De leraar (Lr3 in figuur 215) weet uit de vakdidactische literatuur dat het voor onderbouwleerlingen moeilijk is de energie van elektrische stroom en de stroom zelf van elkaar te onderscheiden. Uit de manier waarop haar leerlingen Mirjam en Fatima uit 3-havo een opgave over een schakeling proberen op te los-

sen, maakt zij op dat dit ook nog een beetje voor hen geldt. Dus bedenkt zij een productieve vaksituatie waarin dit probleem aan de orde kan komen.

Lespraktijk

Lr3	Maakt het dan nog uit of de stroommeter vóór of achter het lampje staat?
Fatima	Volgens mij moet hij er achter staan, want dan heeft het lampje energie verbruikt en dan kun je dus opmeten hoeveel energie er nog in de stroom zit.
Lr3	En wat vind jij Mirjam?
Mirjam	Eh, ja, een lampje gebruikt toch geen stroom? Dus het maakt niet uit.
Lr3	Het maakt niet uit Fatima?
Fatima	Ja, dat is wel waar. Dus de stroom blijft gewoon rondgaan en de energie wordt aan het lampje afgegeven om licht te geven.

Figuur 215 – Lesprotocolfragment met een anticiperende inbreng van de leraar.

Het resultaat is dus dat Fatima zelf haar aanvankelijke idee dat de stroommeter energie meet (en dat stroom dus energie is) corrigeert. Het anticiperen van de leraar bestaat uit het aan de orde stellen van juist die situatie (stroommeter vóór of achter het lampje) die een karakteristiek 'fout' antwoord bij de leerling met het betreffende begripsprobleem uitlokt.

De leraar-reacties erkennen en (vooral) anticiperen vragen om het ontwikkelen van een gevoeligheid voor leerlingredeneringen, door in de lespraktijk voortdurend attent te zijn op 'afwijkende' of onverwachte uitspraken of gedragingen van leerlingen – zie de voorbeelden in figuur 216. Dus: door te reflecteren op observaties in de eigen lespraktijk (en zo mogelijk die van anderen). Kennis van de resultaten van vakdidactisch onderzoek naar leerlingdenkbeelden in de verschillende leerstofdomeinen kan daarbij helpen.

Lespraktijk

Hieronder staan twee observaties van onverwachte gebeurtenissen in de lespraktijk, en hoe je daarmee als leraar kunt omgaan.

Leerlinguitspraken – De leraar geeft een les over het gewicht van lucht. Als onderdeel daarvan weegt zij een glazen bol, pompt de lucht eruit met een vacuümpomp en weegt nogmaals de bol. Tijdens het leegpompen hoort zij enkele leerlingen zeggen: "Die wordt toch niet lichter, maar zwaarder?" Dat is voor haar onverwacht: denken leerlingen dat echt?

Tijdens dezelfde les in een parallelklas vraagt zij daarom, voordat zij de vacuüm gepompte bol gaat wegen: "Wie denkt dat de bol zwaarder is geworden? Vingers!" Ongeveer de helft van de klas steekt zijn vinger op…

Leerlinggedrag – De leraar laat leerlingen een practicum doen waarin ze water in een bekerglas met een brander verwarmen en om de paar minuten de temperatuur meten. Na afloop maken de leerlingen een grafiek van de temperatuur uitgezet tegen de tijd. Hij merkt op dat een groepje een heftige discussie voert als het water kookt: doormeten of stoppen? Hij ziet dat ze besluiten te stoppen en vraagt zich af wat daarachter zit.

Daarom komt hij er de volgende les op terug bij het bespreken van de proef. Hij vraagt het betreffende groepje naar hun grafiek en laat hen die op het bord tekenen. Hun grafiek stopt als de temperatuur van het water eenmaal 100 °C is. De leraar reageert daarop met de vraag: "Waarom zijn jullie daar gestopt met meten?". En dan vertellen ze dat ze niet wilden hebben wat een ander groepje tijdens het practicum overkwam: de thermometer knapte toen ze de temperatuur van de vlam wilden meten. Het betreffende groepje was bang dat hen dat ook zou overkomen, omdat de temperatuur van het water tijdens het koken volgens hen boven de 100 °C zou komen. De grafiek van een ander groepje laat daarna zien dat dat niet het geval is…

Figuur 216 – Voorbeelden van attent zijn en reageren op onverwachte gebeurtenissen in de lespraktijk.

6.3 Kracht, evenwicht en beweging

In het tweede leerjaar wordt het krachtbegrip geïntroduceerd en in het derde en vierde leerjaar verder uitgebouwd. Dat gaat voor veel leerlingen gepaard met begripsproblemen. Het gebruik van instapproblemen en brugvoorbeelden kan hel-

pen om het begrip van de leerlingen te vergroten. Maar een eerste oplossing voor deze begripsproblemen kan ook worden gevonden door het herformuleren van de wetten van Newton voor gebruik in het voortgezet onderwijs.

Kracht

De mogelijke leerlingdenkbeelden rond het begrip kracht zijn samengevat in figuur 217.

Leerlingdenkbeelden

- Leerlingen denken dat alleen levende wezens krachten kunnen uitoefenen. En als leerlingen denken dat niet-levende wezens dat ook kunnen, dan focussen ze op voorwerpen die andere voorwerpen kunnen laten bewegen.
- Een kracht zit in het voorwerp, en is daarmee een eigenschap van het voorwerp. Krachten worden overgedragen van het ene naar het andere voorwerp.
- Een kracht is een eigenschap van één enkel voorwerp, in plaats van een eigenschap van de interactie tussen twee voorwerpen.
- Krachten worden gezien als 'invloeden': wrijving is geen kracht maar iets wat ervoor zorgt dat een voorwerp tot stilstand komt, gravitatie is geen kracht maar iets wat ervoor zorgt dat een voorwerp valt.

Figuur 217 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond het begrip kracht.

Figuur 218 – Een concept cartoon rond kracht bij 'armpje drukken'.

De ontwikkeling van het begrip *kracht* begint in het tweede leerjaar. Opmerkelijk is dat er in leerboeken veel nadruk wordt gelegd op het feit dat je een kracht niet kunt zien, maar voelen des te beter. Het begrip kracht kan dan ook goed geïntroduceerd worden vanuit de zintuiglijke waarneming: een kracht kun je niet zien, maar wel voelen.

Een instap voor het begrip kracht kun je ontlenen aan het fitnesscentrum. Het instapprobleem kan zijn: "Hoe weet je wie het sterkst is? Waaraan zie je dat?" Je kunt een kracht voelen en je weet hoe groot die is door te kijken naar de uitrekking van veren of naar het gewicht van halters of contragewichten.

Bij alledaagse verschijnselen is er sprake van een kracht als:

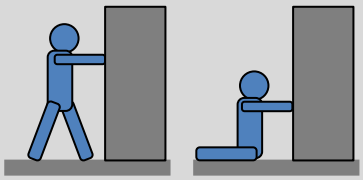
- de *beweging* van een voorwerp wordt veranderd of in stand wordt gehouden;
- een voorwerp van *plaats* wordt veranderd of op zijn plaats wordt gehouden;
- een voorwerp van *vorm* wordt veranderd of in een andere vorm wordt gehouden.

Deze regels gelden omdat in de context van alledaagse bewegingen altijd sprake is van enige en soms veel weerstand.

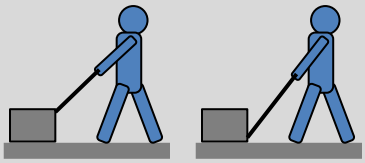
Je kunt een kracht meten door te vergelijken hoe ver een veer wordt uitgerekt door beide krachten. Dit is het mechanisme van een krachtmeter. Bij de kracht hoort de eenheid newton (N). Het blijkt dat een massa van 1,00 kg een gewicht heeft van 9,81 N.

Samenvattend: een kracht voel je met je spieren, het effect van krachten kun je zien, en een kracht meet je met een krachtmeter (in N).

Lespraktijk



Iemand duwt tegen een kast. Maakt het uit op welke hoogte hij duwt?



Iemand trekt met een touw aan een kist. Maakt het uit op welke hoogte het touw is vastgemaakt?

Figuur 219 – Instapprobleem voor het begrip aangrijpingspunt.

Krachten laten zich benoemen naar de aard van het fysische verschijnsel. Je hebt spierkracht van mens of dier (trekken, duwen, tillen, slepen), zwaartekracht, magnetische kracht, elektrische kracht, motorkracht (lier, hijskraan), veerkracht, windkracht enzovoort.

Een kracht kun je je voorstellen als een pijl met beginpunt. Drie kenmerken van een kracht en een pijl komen overeen:

- de lengte van de pijl staat voor de grootte van de kracht;
- de richting van de pijl staat voor de richting van de kracht;
- het beginpunt van de pijl staat voor het aangrijpingspunt van de kracht.

Om het aangrijpingspunt te problematiseren kun je leerlingen het instapprobleem van figuur 219 voorleggen.

Voor puntmechanica is de keuze van het aangrijpingspunt eenduidig. Zodra het gaat om echte voorwerpen of voertuigen is de keuze van het aangrijpingspunt lastiger. Logische keuzes zijn:

- het aangrijpingspunt van de zwaartekracht is het zwaartepunt, meestal het midden van het voorwerp;

- bij een contactkracht is het contactpunt het aangrijpingspunt; bijvoorbeeld met een touw trekken aan een kist, met je handen duwen tegen een kast en de normaalkrachten op een auto.

Lastiger keuzes zijn: de luchtweerstand op een auto, de motorkracht op een auto of de afzetkracht van de wielen op de weg, de opwaartse kracht op een drijvend voorwerp, de windkracht in de zeilen van een boot enzovoort. In het algemeen gelden de volgende twee regels:

- voor de beweging van het zwaartepunt mag je alle uitwendige krachten laten aangrijpen in het zwaartepunt;
- voor de beweging ten opzichte van het zwaartepunt heeft iedere kracht een eigen aangrijpingspunt.

Kracht en druk

Als instapprobleem voor het begrip *druk* kan gebruik gemaakt worden van situaties waarin voorwerpen of voertuigen wegzakken in de ondergrond. Praktijkvoorbeelden zijn rupsbanden van tanks, plankjes onder een steigerpaal, brede banden van een tractor en naaldhakken. Een bruikbaar laboratoriumvoorbeeld is het leggen van bakstenen op een dikke laag schuimrubber.

Als duidelijk is geworden dat het indrukken van de ondergrond niet alleen afhangt van de kracht maar ook van het oppervlak, kan de formule $p = F/A$ worden geïntroduceerd. Als verwerking kunnen andere praktijkvoorbeelden worden besproken, zoals de punaise en het mes.

Figuur 220 – Een concept cartoon rond kracht en druk.

Hefbomen en balansen

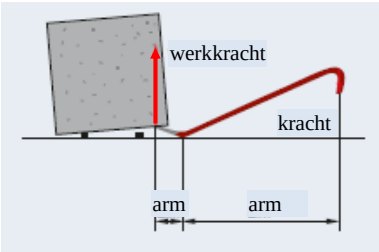
De mogelijke leerlingdenkbeelden rond evenwicht bij een balans zijn samengevat in figuur 221.

Leerlingdenkbeelden

- Bij elke balans moeten de krachten links en rechts van het draaipunt even groot zijn voor evenwicht.

Figuur 221 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond het evenwicht bij een balans.

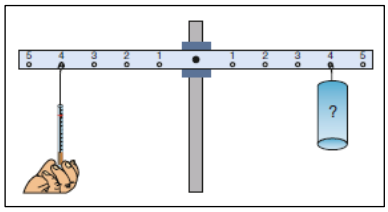
Een eerste toepassing van krachten in gebruiksvoorwerpen is het gebruik van een hefboom zoals in figuur 222. De kracht op de hefboom wordt vergroot overgebracht op de kast. Hierbij zijn drie punten van belang: het aangrijpingspunt van de kracht op de hefboom, het draaipunt van de hefboom en het aangrijpingspunt van de kracht op de last. De hefboomregel luidt: kracht maal arm is gelijk aan last maal arm. Realiseer je wel dat de eerste kracht op de hefboom werkt, en de tweede kracht op de kast. Hier mag je dus niet spreken van actiekracht en reactiekracht, want het gaat niet om een krachtenpaar in een contactpunt.



Figuur 222 – Het gebruik van een hefboom voor het vergroten van een kracht. Bron: *Overal* NaSk vmbo-B, Leerwerkboek 4A (pg. 98).

Een tweede praktijktoepassing van krachten is de (ongelijkarmige) balans. Een goed voorbeeld is de spoorboom met een contragewicht. Wat betreft draaiing zijn de zwaartekrachten op het contragewicht en de boom (beide aangrijpend in het zwaartepunt van deze onderdelen) in evenwicht. Hier geldt de balansregel: het krachtmoment linksom is gelijk aan het krachtmoment rechtsom. Hefbomen en balansen (en ook katrollen) zijn voorbeelden van situaties met krachten die in evenwicht zijn.

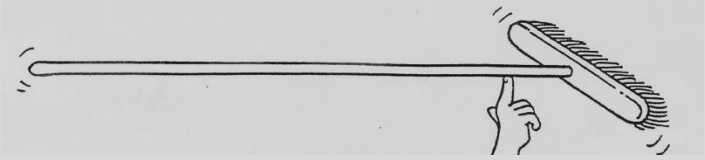
Een mooie manier om het in figuur 221 genoemde leerlingdenkbeeld naar boven te halen is de demonstratie ‘Bezem in balans’ van figuur 224.



Figuur 223 – De balans voor het afleiden van de balansregel. Bron: *Overal* NaSk vmbo-B, Leerwerkboek 4A (pg. 91).

Lespraktijk

De leraar laat zien hoe je een bezem op één vinger kunt laten balanceren door de bezem op een vinger van beide handen te leggen en deze langzaam naar elkaar toe te bewegen.



Hij legt dan de leerlingen de volgende vraag voor: “Nu ga ik de bezem doorzagen op de plaats van het steunpunt. Welk stuk zal daarna dan het zwaarst zijn: het stuk links (het

grootste deel van de steel), het stuk rechts (het stukje steel met het veeggedeelte), of zijn beide stukken even zwaar?"

De leraar laat de leerlingen individueel nadenken over hun antwoord en de antwoorden in twee- of drietallen uitwisselen. Daarna peilt hij klassikaal de meningen. Op basis van de intuïtieve ideeën van leerlingen over evenwicht valt te verwachten dat er een grote voorkeur bestaat voor het laatste antwoordalternatief: beide stukken zijn even zwaar. Daarna zaagt de leraar de bezem door op de plaats van het steunpunt, laat leerlingen de zwaarte van de twee stukken vergelijken (of weegt beide stukken met een weegschaal) en identificeert het juiste antwoordalternatief (of laat leerlingen dat doen). Het verschil tussen het juiste en het door de leerlingen in meerderheid gekozen antwoordalternatief vormt een aanleiding om eens goed te gaan kijken hoe het nu precies zit met dit soort evenwichtssituaties. Dus: aanleiding voor de behandeling van krachtmomenten en de momentenstelling, met uiteindelijk als afsluiting daarvan de uitleg van de gepresenteerde probleemsituatie.

De demonstratie kost in opeenvolgende schooljaren in een aantal parallelklassen veel bezems. De leraar voorkomt dat door het gebruik van een geprepareerde bezem: hij zaagt de bezem vooraf door in het zwaartepunt en zet de beide delen weer aan elkaar vast met een stuk schroefdraad.

Figuur 224 – Voorbeeld van een demonstratie gericht op het oproepen van een leerlingdenkbeeld als motivering voor de behandeling van de nieuwe leerstof.

Krachten op voorwerpen in rust

De mogelijke leerlingdenkbeelden rond krachten op voorwerpen in rust zijn samengevat in figuur 225.

Leerlingdenkbeelden

- Op een voorwerp op een tafel werkt alleen de zwaartekracht, de tafel verhindert het vallen.
- De zwaartekracht op een voorwerp moet groter zijn dan de kracht van de ondergrond op het voorwerp (ofwel de normaalkracht), anders zal het voorwerp gaan zweven.
- Op een voorwerp in contact met de Aarde werkt geen zwaartekracht meer.
- Op een voorwerp in rust werken geen krachten.
- Voorwerpen waarop even grote maar tegengesteld gerichte krachten werken, staan stil.
- Wrijving tussen twee voorwerpen werkt maar op één van die voorwerpen: het voorwerp waarop een kracht wordt uitgeoefend.

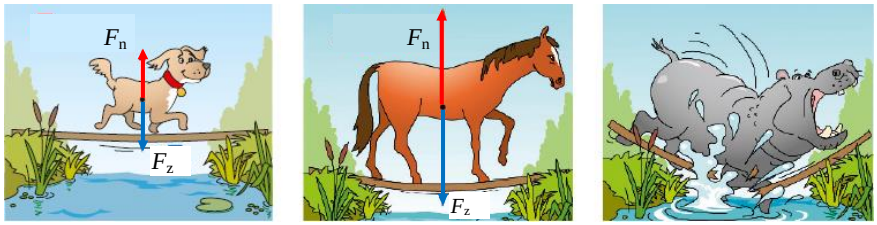
Figuur 225 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond krachten op voorwerpen in rust.

In het derde leerjaar wordt vaak gekeken naar een evenwicht van krachten als een voorwerp in rust is. Je kunt denken aan een voorwerp dat op een tafel staat, een voorwerp dat aan een touw hangt of een voorwerp waar je tevergeefs aan trekt in verband met de wrijving met het grondoppervlak. Fysisch gezien gaat het om een evenwicht tussen zwaartekracht en normaalkracht, tussen zwaartekracht en spankracht, en tussen trekkracht en wrijvingskracht. Maar leerlingen hebben deze nieuwe begrippen niet nodig om de situatie te begrijpen. Voor hen is het vanzelfsprekend dat een voorwerp niet door een tafel zakt (tenzij de tafel het begeeft), dat een voorwerp aan een touw blijft hangen (tenzij het touw breekt) en dat een voorwerp in beweging komt als de trekkracht de wrijvingskracht overwint. Vanuit zichzelf hebben leerlingen geen behoefte aan een verklaring met behulp van evenwicht van krachten. Hier moeten we te hulp komen met wat we 'brugvoorbeelden' kunnen noemen: de laboratoriumsituatie in een drieluik (zie paragraaf 2.3.1).

Normaalkracht – Een instapprobleem voor het begrip *normaalkracht* is een tekening van een plank met een gewicht over een sloot, waarbij de plank iets doorzakt maar niet breekt. De vraag is: "Waarom wordt er een evenwichtsstand bereikt bij een bepaald gewicht?"

Dit kun je goed laten zien met een gewicht op een latje dat doorbuigt. Als je het gewicht optilt, veert het latje omhoog. Je kunt de veerkracht ook voelen. Als je het latje naar beneden duwt, buigt het verder door. Maar als je je hand weer weghaalt, gaat het latje terug naar de evenwichtsstand. Hoe zwaarder het gewicht is, des te groter is de doorbuiging en des te groter is de tegenwerkende veerkracht. Je mag de normaalkracht op een voorwerp dat op tafel ligt voorstellen als

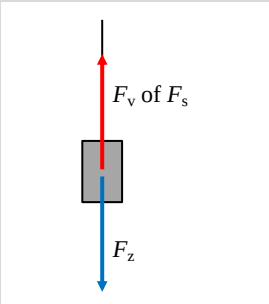
de tegenwerkende veerkracht van een plank, ook al zie je de tafel niet doorbuigen. Zwaartekracht en normaalkracht zijn kracht en tegenkracht die beide op het voorwerp werken. Als het voorwerp te zwaar wordt, breekt de plank.



Figuur 226 – Het doorbuigen van een plank over een sloot. Links: een kleine zwaartekracht F_z, dus een kleine normaalkracht F_n. Midden: een grotere zwaartekracht, dus een grotere normaalkracht. Rechts: een te grote zwaartekracht, de plank breekt. Bron: *Overal* NaSk 1-2 vmbo-kgt, Leerboek (5e editie, pg. 124).

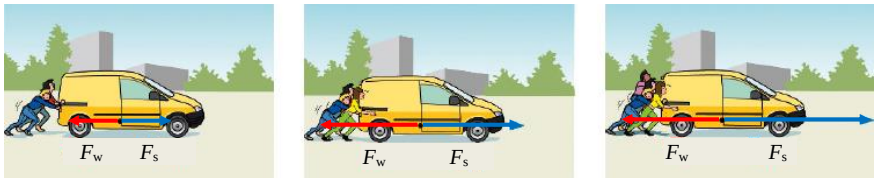
Spankracht – Eenzelfde verhaal geldt voor de spankracht in een touw, die je mag vergelijken met de veerkracht in een elastiekje (ook al rekt het elastiek wel uit en zie je dat niet voor het touw): zie het drieluik van figuur 227.

Drieluik: De bergbeklimmer

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Na een val hangt de bergbeklimmer gelukkig nog aan het touw. Het touw is strak gespannen en uitgerekt.	Bij een gewicht rekt het elastiek uit, totdat de veerkracht even groot is als de zwaartekracht op het voorwerp.	Op een voorwerp dat stil hangt aan een elastiek werken twee even grote krachten: de zwaartekracht F_z en de veerkracht F_v. Voor een voorwerp dat stil hangt aan een touw geldt hetzelfde: de zwaartekracht F_z en de spankracht F_s zijn even groot.

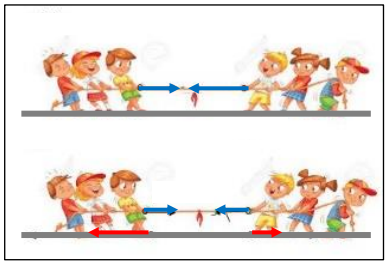
Figuur 227 – Een drieluik voor het begrip veerkracht of spankracht en krachtenevenwicht.

Wrijvingskracht – Het derde voorbeeld betreft een auto die voortgeduwd wordt, zoals in figuur 228. Zolang de (maximale) wrijvingskracht groot genoeg is, beweegt de auto niet. De wrijvingskracht wordt steeds groter bij toenemende duwkracht – totdat de duwkracht groter wordt dan de (maximale) wrijvingskracht en de duwkracht de wrijvingskracht overwint.



Figuur 228 – Voortduwen van een auto. Links: bij een kleine spierkracht F_s is de wrijvingskracht F_w ook klein. Midden: bij een grotere spierkracht is de wrijvingskracht ook groter. Rechts: als de wrijvingskracht maximaal is en je duwt nog harder, komt de auto in beweging. Bron: *Overal* NaSk 1-2 vmbo-kgt, Leerboek (5e editie, pg. 124).

Aandachtspunten – De normaalkracht, spankracht en wrijvingskracht worden *tegenkrachten* genoemd. Tegenkrachten werken op hetzelfde voorwerp als de kracht. Als het gewicht, de trekkracht of de duwkracht groter worden, passen de normaalkracht, spankracht en wrijvingskracht zich bij stilstand aan tot een maximale waarde. Dat is de breekgrens voor een ondergrond of een touw, en de schuifgrens voor een voorwerp waaraan wordt getrokken. Deze kracht en tegenkracht zijn iets geheel anders dan actiekracht en reactiekracht. Bij dat laatste gaat het over de wisselwerking tussen twee voorwerpen, waarbij de actie- en reactiekracht altijd even groot zijn en op verschillende voorwerpen werken.



Figuur 229 – Voorstelling van de krachten bij touwtrekken. Boven: onjuist. Onder: juist.

Een situatie waarin het krachtenevenwicht vaak verkeerd wordt beoordeeld is het touwtrekken zoals in figuur 229. De pijlen geven de kracht aan die de ene groep uitoefent op de ander groep via het touw. Neem aan dat de kinderen links winnen. Je mag dan niet zeggen dat de kinderen links een grotere kracht op de kinderen rechts uitoefenen, dan de kinderen rechts op de kinderen links (zie de bovenste figuur). Dat zijn immers actiekracht en reactiekracht die ongeacht de beweging even groot zijn. Voor een goed begrip moet je naar het systeem als geheel kijken. De afzetkracht van de kinderen links is – als zij winnen – groter dan de afzetkracht van de kinderen rechts. De wisselwerking via het touw heeft even grote krachten (zie de onderste figuur).

Krachten op voorwerpen in beweging

De mogelijke leerlingdenkbeelden rond krachten op voorwerpen in beweging zijn samengevat in figuur 230.

Leerlingdenkbeelden

- Als je een voorwerp duwt of gooit, geef je het een kracht mee die langzaam wordt 'opgebruikt' als de snelheid minder wordt. Als de kracht op is, stopt het voorwerp.
- Als op een voorwerp geen krachten werken, staat het stil of komt het tot stilstand.
- Voorwerpen waarop even grote maar tegengestelde krachten werken, staan stil.
- Om een voorwerp in beweging te houden is een kracht nodig, of ten minste een kracht groter dan een tegenwerkende kracht als de wrijving.
- Een grotere kracht geeft een grotere snelheid. Kracht en snelheid zijn (min of meer) evenredig: $v \sim F$.
- De som van krachten (bijvoorbeeld de som van de achterwaartse krachten op een fiets: lucht- en rolweerstand) wordt als een aparte kracht gezien.

Figuur 230 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond krachten op voorwerpen in beweging.

In het derde en vierde leerjaar wordt vaak gekeken naar de krachten op een voorwerp en de beweging die ze veroorzaken: versnellen (of optrekken), rijden met een constante snelheid en vertragen (of remmen). Als instapprobleem kunnen we de situatie gebruiken van een fietser die met een snelheid van 20 km/h fietst, dan maximale kracht zet en blijft zetten, maar toch niet verder komt dan een snelheid van 30 km/h. De vraag is: "Hoe kun je dit begrijpen met behulp van krachten?"

Voor een goede uitleg is allereerst veel aandacht nodig voor het benoemen van de krachten die in deze situatie werken.

- De spierkracht wordt via trappers, ketting en achterwiel overgebracht naar het contactpunt van achterband en wegdek. De band zet zich af tegen het wegdek. Als er voldoende wrijving is, betekent dat een *voorwaartse kracht* op de fiets. Het aangrijpingspunt van de voorwaartse kracht is het contactpunt van de achterband en het wegdek, maar voor het gemak tekenen we die kracht vanuit het midden van de fietser, horizontaal en voorwaarts gericht. Als een fietser meer kracht op de trappers zet, wordt deze kracht groter.
- Er is sprake van een aantal achterwaartse krachten, die samen een tegenkracht vormen: de *luchtweerstand*, de *rolweerstand*, de *wrijving in de draaiende onderdelen* van de fiets en de *remkracht*.

Allereerst de luchtweerstand. Door het fietsen moet je door de lucht heen bewegen, en voel je een weerstandskracht alsof je tegenwind hebt met een snelheid die gelijk is aan de snelheid waarmee je fietst. Als je in elkaar duikt, gaat het fietsen gemakkelijker. Tegenwind maakt fietsen moeilijker, wind mee maakt het fietsen gemakkelijker.

Vervolgens is er de rolweerstand van band en wegdek. Door het voortdurend in- en uitdeuken van band en wegdek gaat er energie verloren. Dit merkt de fietser als een tegenwerkende kracht: rij maar eens met zachte banden of op een zacht wegoppervlak (zoals een zandpad). Hoewel de kracht aangrijpt in het contactpunt van band en wegdek, tekenen we die kracht weer vanuit het midden van de fietser.

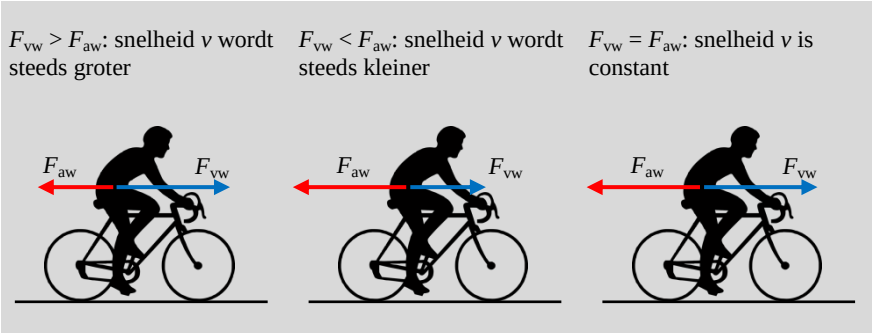
Als derde achterwaartse kracht is er een wrijvingskracht in de draaiende onderdelen van de fiets: de trappers, de ketting en de wielen. Die wordt meestal opgeteld bij de rolweerstand.

En tot slot is er de remkracht. Door je remmen te gebruiken, zorg je voor een extra achterwaartse kracht. Ook deze kracht tekenen we weer vanaf het midden van de fietser.

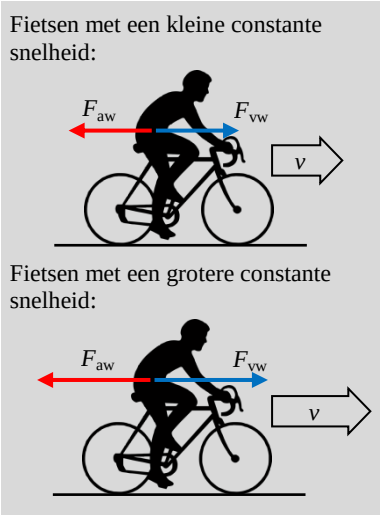
- Ook in de verticale richting zijn er krachten: de zwaartekracht en de normaalkracht. Deze heffen elkaar op.

Je beschouwt eerst de situatie waarin er geen evenwicht van krachten is in de horizontale richting (zie figuur 231). De voorwaartse kracht wordt vaak de kracht genoemd, en de achterwaartse kracht de tegenkracht.

- Als de kracht groter is dan de tegenkracht, zal het voorwerp versnellen: de fiets trekt op vanuit stilstand of versnelt vanuit fietsen met constante snelheid.
- Als de tegenkracht groter is dan de kracht, zal de fiets vertragen: de fiets rijdt uit of remt af tot stilstand.
- Dan moet de snelheid van de fiets wel constant zijn als de kracht en de tegenkracht even groot zijn… hoe gek dit ook lijkt.



Figuur 231 – Vanuit twee voorstelbare situaties zonder krachtenevenwicht naar een voor leerlingen problematische situatie van krachtenevenwicht bij een constante snelheid.



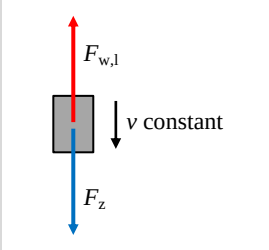
Figuur 232 – Krachtenevenwicht bij fietsen met een constante snelheid: bij een grotere snelheid is de achterwaartse kracht (de luchtweerstand) groter, en is dus ook de voorwaartse kracht groter.

Aandachtspunten – Maar hoe zit het dan met het leerlingdenkbeeld uit figuur 230 dat een grotere kracht een grotere snelheid geeft, en dat kracht en snelheid (min of meer) evenredig zijn?

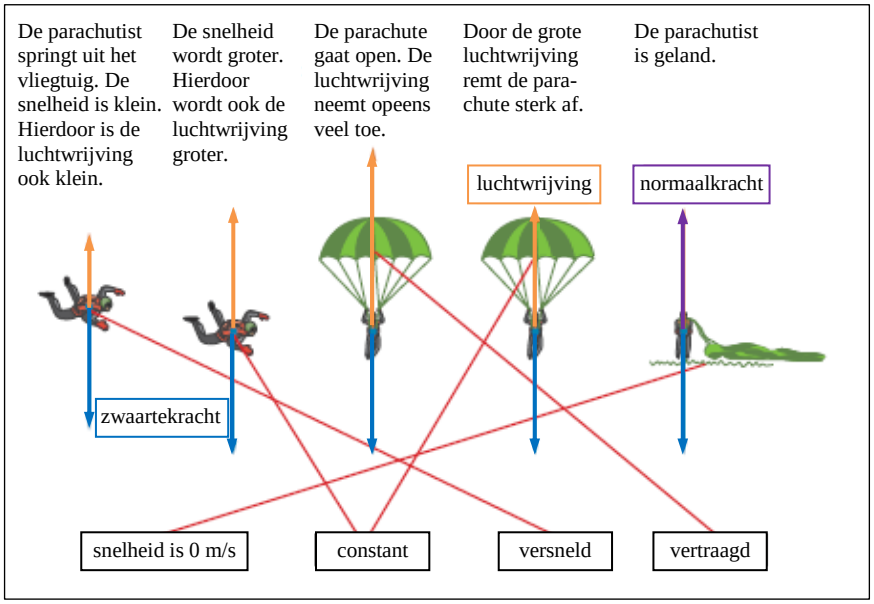
Dat idee is bij leerlingen ontstaan door hun dagelijkse ervaring met fietsen, waarbij ze alleen de voorwaartse kracht 'voelen' (in termen van de kracht die op de trappers moet worden uitgeoefend). En als je alleen naar de voorwaartse kracht kijkt, dan klopt dat idee. Bij fietsen met een kleine constante snelheid is de voorwaartse kracht even groot als de achterwaartse kracht, waarbij we voor die achterwaartse kracht voor het gemak even alleen maar de luchtweerstand nemen. Bij fietsen met een grotere constante snelheid is de voorwaartse kracht weer even groot als de achterwaartse kracht. Maar omdat die achterwaartse kracht (de luchtweerstand) door de grotere snelheid groter is geworden, is ook de voorwaartse kracht groter dan in de situatie van fietsen met een kleine constante snelheid (zie figuur 232).

Het op dagelijkse ervaringen gebaseerde leerlingdenkbeeld dat voor fietsen met een grotere (constante) snelheid een grotere kracht nodig is, is dus niet fout. Alleen is de verklaring van dat verschijnsel wat ingewikkelder dan de leerlingen in eerste instantie geneigd zijn te denken. Met het drieluik van figuur 233 over de parachutespringer en een bijbehorende 'invulopgave' als die van figuur 234 kan bij leerlingen het idee van constante snelheid bij krachtenevenwicht verder worden versterkt.

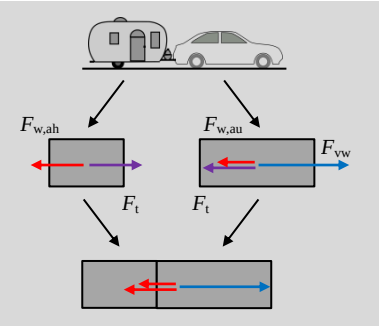
Drieluik: De parachutespringer

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Als de parachute open is, valt de parachutespringer met een constante snelheid naar beneden.	Je kunt een eenvoudige parachute maken van papier, dun draad en plakband. De parachute valt met een constante snelheid naar beneden.	Op een voorwerp dat in lucht naar beneden valt, werkt de zwaartekracht F_z omlaag en een tegenwerkende kracht $F_{w,l}$ als gevolg van de luchtweerstand omhoog. Zodra deze krachten even groot zijn, is de snelheid constant.

Figuur 233 – Een drieluik voor het begrip krachtenevenwicht bij constante snelheid.



Figuur 234 – Voorbeeld van een koppelvraag over de beweging onder invloed van een snelheidsafhankelijke luchtwrijvingskracht.



Figuur 235 – De krachten op de beide deelsystemen (midden) en op het systeem als geheel (onder).

Krachten op systemen en deelsystemen

In het vierde leerjaar gaan leerlingen redeneren met behulp van systemen en deelsystemen. Als instapprobleem kan dienen het trekken van een aanhanger met een auto. De vraag is: “Welke krachten werken op de aanhanger en welke op de auto als je optrekt? En komt dit overeen met $F = m{\cdot}a$ voor het systeem en voor elk van de deelsystemen?”

Op het systeem als geheel werken een voorwaartse kracht (de motorkracht) en twee achterwaartse krachten (de luchtweerstand op de aanhanger en de luchtweerstand op de auto). Als de nettokracht groter is dan nul, is de beweging versneld. Er geldt: $F_{netto} = (m_{au} + m_{ah}){\cdot}a$.

Om de krachten op de aanhanger en de auto afzonderlijk te weten, moet je de spankracht/trekkracht F_t kennen in de verbindingsstang tussen auto en aanhanger (zie figuur 235). Volgens de derde wet van Newton geldt dat actiekracht en reactiekracht gelijk zijn, ongeacht de beweging van de auto en de aanhanger. Dus: de trekkracht van de auto op de aanhanger is altijd even groot als de trek-

kracht van de aanhanger op de auto (maar, uiteraard, tegengesteld gericht).

Als de aanhanger versnelt, dan moet gelden: $F_t > F_{w,ah}$. Als de auto versnelt, dan moet gelden: $F_{vw} > F_t + F_{w,au}$. Als de auto en de aanhanger met constante snelheid rijden, dan wordt het teken 'groter dan' vervangen door het teken 'is gelijk aan'. Of, met andere woorden: voor beide deelsystemen (aanhanger en auto) geldt dat kracht en tegenkracht op het deelsysteem even groot zijn. En ten slotte: als de auto en de aanhanger vertragen, dan wordt het teken 'groter dan' vervangen door het teken 'kleiner dan'.

Voor het systeem als geheel (auto met aanhanger) geldt dat er geen rekening gehouden hoeft te worden met de 'interne krachten' die de twee deelsystemen op elkaar uitoefenen: de trekkracht. Dus: F_{vw} is groter dan, gelijk aan en kleiner dan $F_{w,au} + F_{w,ah}$ bij respectievelijk versnellen, rijden met constante snelheid en vertragen.

Wetten van Newton

De drie door Isaac Newton in 1687 in zijn *Principia* geformuleerde wetmatigheden vormen de grondslag van de klassieke mechanica. Ze zijn ook meestal in iets andere bewoordingen de basis voor het natuurkundeonderwijs.

Eerste wet: de traagheidsregel – Een voor het natuurkundeonderwijs geschikte formulering van de eerste wet van Newton (de traagheidsregel) is: "De ongedwongen beweging van een voorwerp is rust of een rechtlijnige beweging met constante snelheid. Hiervoor is geen verklaring nodig met krachten als oorzaak van bewegingsverandering. Voor een gedwongen beweging is een verklaring van de soort beweging te vinden met behulp van krachten als oorzaak van bewegingsverandering."

Historisch gezien is van belang dat men dacht dat voor de cirkelbewegingen in het zonnestelsel geen verklaring nodig is met krachten als oorzaak van bewegingsverandering, en dat voor de valbeweging op aarde geen verklaring nodig is vanwege het natuurlijke karakter van die beweging. Onbegrijpelijk bleef daardoor de kogelbaan. Tegenwoordig gebruiken we de gravitatiekracht als verklaring voor de beweging van de planeten en de maan (de gravitatiekracht doet dienst als middelpuntzoekende kracht) en de zwaartekracht als verklaring voor de (eenparig versnelde) valbeweging. De kogelbaan zien we als een combinatie van een eenparig versnelde verticale beweging (als gevolg van de zwaartekracht) en een eenparige horizontale beweging.

Aandachtspunten – Voor leerlingen is het erg moeilijk om de rechtlijnige beweging met constante snelheid te zien als een beweging waarvoor geen verklaring met krachten nodig is. Voor het realiseren van een ongedwongen eenparige rechtlijnige beweging is ingewikkelde apparatuur zoals een luchtkussenbaan nodig. De eenparige rechtlijnige beweging van een fiets, auto of slee is altijd een situatie met een voorwaartse kracht die goed herkenbaar is (trapkracht, motorkracht, trekkracht) en een achterwaartse kracht die verborgen is en zich aanpast aan de situatie (rolweerstand, schuifweerstand, luchtweerstand). Vanuit de dagelijkse ervaring is de voorwaartse kracht evenredig met de snelheid (wat globaal klopt), en alleen als er veel aandacht wordt besteed aan de weerstand als achterwaartse kracht kunnen leerlingen van dit idee afstappen.

Dit betekent dat je op twee manieren rust of een beweging met constante snelheid kunt krijgen.

- De ongedwongen beweging. Dit komt voor bij bewegingen zonder wrijving zoals in de ruimte, op een luchtkussenbaan of op een ijsvlakte.
- De gedwongen beweging. Dit komt voor als kracht en tegenkracht even groot zijn, dus als de nettokracht gelijk is aan nul zoals het geval is bij voertuigen die met constante snelheid rijden.

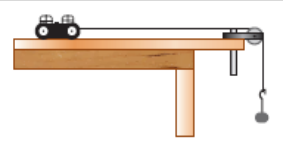
Tweede wet: de versnellingsregel – In het natuurkundeonderwijs wordt de tweede wet van Newton (de versnellingsregel) meestal als volgt geformuleerd: een voorwerp krijgt een versnelling die evenredig is met de nettokracht die op het voorwerp werkt en die omgekeerd evenredig is met de massa van het voorwerp. In formule: $F_{netto} = m \cdot a$.

Een voorwerp krijgt dus een versnelling of vertraging als er een nettokracht

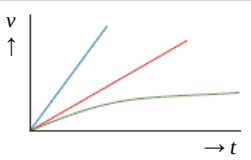
op werkt. De beweging is dan gedwongen. Kracht en tegenkracht zijn verschillend van grootte, en de nettokracht is niet gelijk aan nul. Bij een met constante snelheid bewegend voorwerp op aarde is meestal sprake van een gedwongen beweging. Kracht en tegenkracht zijn dan even groot en de nettokracht is gelijk aan nul.

We stellen voor om de tweede wet van Newton (de versnellingsregel) te introduceren vanuit het idee van een evenwichtssituatie, en het feit of er wel of geen evenwicht van krachten is.

Bij een race moet de bestuurder ervoor zorgen dat hij heel snel zijn topsnelheid bereikt.



Met een karretje en een gewicht kun je onderzoeken hoe de snelheid verandert tijdens het versnellen.



Bij versnellen is het *v*,*t*-diagram een stijgende lijn. De steilste lijn hoort bij de grootste versnelling.

Figuur 236 – Praktijk-, laboratorium- en theoriesituatie bij de versnelde beweging.

Beschouw een voorwerp dat beweegt langs een rechte lijn in het horizontale vlak. Als de voorwaartse kracht groter is dan de achterwaartse kracht, is er een versnelling van de beweging. Als de achterwaartse kracht groter is dan de voorwaartse kracht (bijvoorbeeld bij het wegvallen van de voorwaartse kracht), dan is er een vertraging van de beweging. En dan: wat als beide krachten even groot zijn? Dan kan het niet anders of de snelheid is dan constant, hoe gek dat ook lijkt.

We stellen voor om de massa te introduceren als (zware) massa zonder het verschil tussen zware en trage massa voor leerlingen te problematiseren. Vanuit de zwaartekrachtsregel is de zwaartekrachtsconstante g dan 9,81 N/kg. Later, als de valbeweging zonder wrijving wordt geanalyseerd, kan uit de versnellingsregel worden afgeleid dat de zwaartekrachtsconstante gelijk is aan de zwaartekrachtsversnelling van 9,81 m/s^2.

Aandachtspunten – Wat verstaan we onder traagheid? Voortbouwend op het dagelijks taalgebruik kun je zeggen dat een voorwerp traag is omdat het een tijdje duurt voordat een voorwerp van snelheid verandert. Maar dit is de inhoud van de tweede wet! In de eerste wet is 'volharden' wellicht een beter woord dan traagheid. Als er geen kracht werkt, dan volhardt een voorwerp in zijn bewegingstoestand, wat wil zeggen dat het in dezelfde richting met dezelfde snelheid blijft bewegen.

Omvat de tweede wet de eerste wet? Veel leraren zeggen dat de eerste wet volgt uit de tweede: $F_{\text{netto}} = 0$, dus $a = 0$, dus v = constant. Newton vond het nodig om de eerste wet apart te formuleren, los van de tweede wet. Met de eerste wet benadrukt hij dat een natuurlijke beweging zonder krachtwerking niet een cirkelbeweging is, maar een rechtlijnige beweging met constante snelheid. In de tweede wet geeft hij aan dat de gedwongen beweging voldoet aan de versnellingsregel $F_{\text{netto}} = m{\cdot}a$. Hieruit volgt dat de snelheid constant is van richting en grootte als geldt $F_{\text{netto}} = 0$.

Wat is het verschil tussen trage en zware massa? Voor leerlingen in de onderbouw is het erg moeilijk te begrijpen dat de zwaartekrachtsconstante (9,81 N/kg) gelijk is aan de zwaartekrachtsversnelling (9,81 m/s^2). In de tweede klas hanteren we bij voorkeur 9,81 N/kg, omdat dat ook te begrijpen is zonder de tweede wet van Newton. Eigenlijk stuiten we hier op een fundamenteel natuurkundig probleem: waarom is de zware massa (uit de gravitatiewet) gelijk aan de trage massa (uit de tweede wet van Newton)? Voor leerlingen moeten we dit niet problematiseren, want het antwoord ligt diep verscholen in het equivalentieprincipe zoals geformuleerd in de algemene relativiteitstheorie.

Derde wet: de wisselwerkingsregel – De wisselwerking tussen twee voorwerpen wordt beschreven met een krachtenpaar, aangrijpend op de verschillende

Luchtkussenbaan

Het zal duidelijk zijn dat het met bijvoorbeeld een luchtkussenbaan meten van de kwantitatieve regel $F = m{\cdot}a$ slechts zeer gedeeltelijk kan bijdragen aan begripsvorming rond de tweede wet van Newton. Hierbij wordt er ten onrechte van uitgegaan dat leerlingen de situatie met een voorwaartse kracht en zonder wrijvingskracht kunnen vertalen naar situaties waar het gaat om het evenwicht tussen voorwaartse en achterwaartse kracht.

Andere, meer begripsvormende activiteiten met de luchtkussenbaan zijn: hoe vaak kan een glijder heen en weer bewegen na een zet, hoe verandert dit als je er een kartonnetje op zet (meer luchtweerstand) en een groter kartonnetje (nog meer luchtweerstand), en kunnen we evenwicht maken tussen de trekkracht en de luchtweerstand? Interessante experimenten zijn ook: het voorttrekken van de glijder met een constante kracht zoals die van een slap elastiek, of het plaatsen van een kleine elektromotor met propeller op de glijder van de luchtkussenbaan.

Figuur 237 – De luchtkussenbaan en de tweede wet van Newton.

voorwerpen: de actiekracht en de reactiekracht. De wisselwerkingskrachten zijn even groot en tegengesteld gericht, ongeacht de grootte, de vorm of de bewegingstoestand van de voorwerpen.

Bij de introductie van de derde wet van Newton (de wisselwerkingsregel) is het belangrijk om onderscheid te maken tussen actie- en reactiekracht (de wisselwerkingskrachten) en kracht en tegenkracht. De wisselwerkingskrachten tussen twee deelsystemen grijpen aan op verschillende voorwerpen. Dat betekent dat ze niet in evenwicht kunnen zijn, want ze werken op verschillende voorwerpen. Bijzonder is dat de wisselwerkingskrachten gelijk en tegengesteld gericht zijn, ongeacht de grootte en de vorm van de wisselwerkende voorwerpen en ongeacht de bewegingstoestand van de beide voorwerpen.

Aandachtspunten – Om aan te sluiten bij het dagelijks taalgebruik, kun je voor contactkrachten vaak onderscheid maken tussen actiekracht (als actieve oorzaak) en reactiekracht (als passief gevolg). Bij krachten op afstand is het meestal niet mogelijk om een dergelijk onderscheid te maken. Denk aan de krachten op afstand zoals de aantrekkingskracht tussen twee magneten, of tussen twee hemellichamen. Ten gevolge van de gravitatie trekt de aarde de maan aan, maar ook de maan de aarde, en wel met dezelfde kracht.

Kracht en tegenkracht werken op hetzelfde voorwerp en zorgen samen voor de nettokracht op een voorwerp. In situaties van rust zijn deze krachten even groot. Voorbeelden zijn de zwaartekracht en de normaalkracht op een staand voorwerp, de zwaartekracht en de spankracht op een hangend voorwerp, en de voorwaartse kracht en de schuifwrijvingskracht op een stilstaand voorwerp. Is de kracht te groot, dan breken ondergrond of touw, of gaat een voorwerp schuiven. Duw je bijvoorbeeld tegen een muur dan wordt deze een heel klein beetje ingedrukt, zodat het geheel in rust blijft.

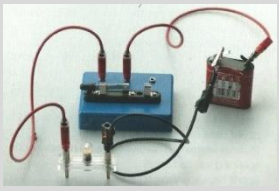
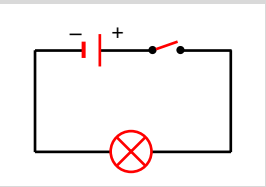
6.4 Elektrische schakelingen

Het is bekend dat in de onderbouw leerlingen sterke eigen denkbeelden hebben over de verschijnselen en wetmatigheden bij elektrische schakelingen. Leraren willen aansluiten bij deze denkbeelden om ze uit te bouwen tot fysisch juiste begrippen en regels (zie paragraaf 6.2). In deze paragraaf gaan we na welke denkbeelden de leerlingen over elektrische schakelingen hebben, welke overgangen in het denken gemaakt moeten worden, en hoe analogieën daarbij kunnen helpen.

Kringregel

Bij techniek in het eerste leerjaar wordt meestal aandacht besteed aan elektrische schakelingen. Voorbeelden zijn een schemerlamp en een zaklamp, in figuur 238 weergegeven in de vorm van een drieluik.

Drieluik: De schemerlamp

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Je kunt de lamp aan- en uitzetten met de snoerschakelaar.	Voor een werkende schakeling zijn nodig: een spanningsbron, lampje, snoeren en een schakelaar.	Voor een werkende schakeling is een stroomkring nodig. De schakelaar kan die stroomkring sluiten en onderbreken.

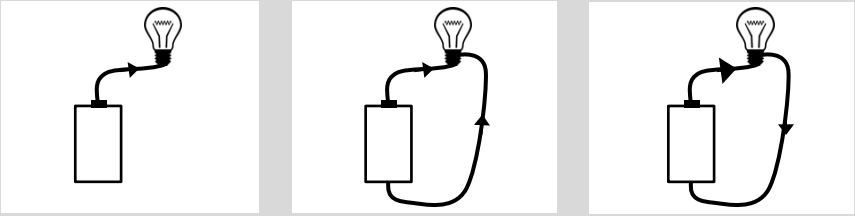
Figuur 238 – Een drieluik rond het begrip stroomkring. Het drieluik voor de zaklamp ziet er vergelijkbaar uit.

De vakregel die hier van toepassing is heet de *kringregel*. Een lamp kan alleen branden, een motor gaat alleen draaien en een elektrische kachel kan alleen warmte afgeven als ze zijn opgenomen in een gesloten stroomkring met een goed werkende spanningsbron. Met deze vakregel kun je begrijpen dat het frame van de fiets ook een deel van de stroomkring is, dat er bij een spanningszoeker toch echt ook sprake is van een stroomkring, dat een schakelaar de stroomkring onderbreekt, dat je bij een fietslamp die het niet doet kunt kijken of het draadje misschien los geraakt is, en dat de zoemer bij een bibberspel lawaai maakt omdat je door de aanraking een stroomkring sluit.

Leerlingdenkbeelden

Leerlingen hebben vaak andere denkbeelden over een stroomkring, zoals weergegeven in de drie figuren hieronder.

- Voor een brandend lampje is één draad van de batterij naar het lampje voldoende (links).
- Er zijn twee stromen die botsen bij het lampje (midden).
- De stroom vóór het lampje is groter dan na het lampje, ofwel: er is sprake van stroomverbruik (rechts).

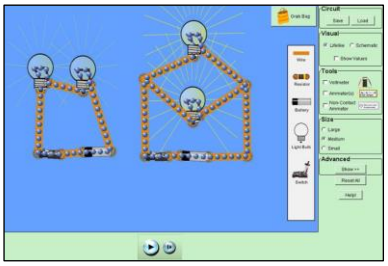


Figuur 239 – Leerlingdenkbeelden over de stroomkring.

Analogie – Het idee van een stroomkring kan versterkt worden door met bierviltjes een stroomkring te simuleren. Stel leerlingen op in een kring. Elke leerling heeft een bierviltje en mag nooit in het bezit zijn van meerdere bierviltjes. Er is een tafel met een stapeltje bierviltjes dat de batterij voorstelt. Het is handig om als leraar zelf voor batterij te spelen. De leraar geeft de bierviltjes zo snel mogelijk aan de eerste leerlingen van de kring, die geven de bierviltjes aan elkaar door, en de laatste leerling van de kring legt de bierviltjes terug op de tafel.

Maak een leerling tot schakelaar. Openen van de schakelaar gebeurt door het bierviltje omhoog te houden en te roepen “Ik sta open”. De stroom bierviltjes in de kring stopt onmiddellijk en overal. Voor stroom moet er een kring zijn.

Maak twee leerlingen tot lampje. Zij laten het bierviltje langzaam in een grote boog boven hun hoofd langs gaan en zeggen ondertussen “Ik brand”. De stroomsterkte voor en na het lampje is gelijk. Er is een groot verschil in stroomsterkte bij gebruik van één lampje of bij gebruik van twee lampjes parallel.

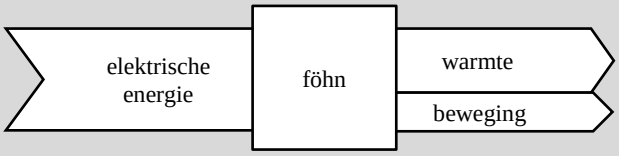


Figuur 240 – Computersimulatie van een stroomkring.

Computersimulatie – Op de website van de University of Colorado vind je verschillende simulaties, waaronder die van de stroomkring. Deze maken de stroom goed voor te stellen.

Energieregel

In het tweede leerjaar komt energie aan de orde. Met elektrische energie kun je allerlei *taken* verrichten, zoals verwarmen, verlichten en bewegen. Dit noem je *energie gebruiken* voor een taak. Daarvoor heb je elektrische apparaten of lampen nodig, bijvoorbeeld een kachel, strijkijzer, lamp, ventilator of motor. Deze apparaten of lampen verbruiken elektrische energie en zetten dit om in andere *energiesoorten*.



Figuur 241 – Schematische voorstelling van een energieomzetting: het energiestroomdiagram.

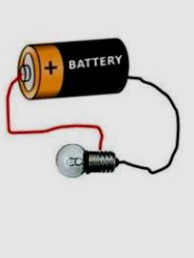
Leerlingdenkbeelden

- In een elektrische schakeling is sprake van stroomverbruik in plaats van energieverbruik.

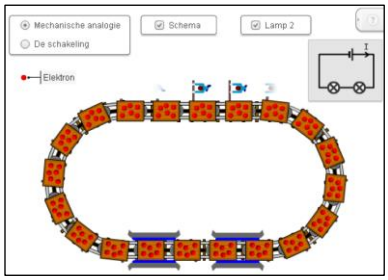
Figuur 242 – Leerlingdenkbeelden over stroom en energie.

De vakregel die hier van toepassing is heet de *energieregel*: de spanningsbron levert elektrische energie aan de stroom, de stroom brengt de elektrische energie naar de lamp of het apparaat, de lamp of het apparaat verbruikt de elektrische energie en zet het om in een andere energiesoort, en de stroom gaat terug naar de spanningsbron.

Analogie – De *centrale verwarming* is een goed bruikbare analogie voor energietransport in een elektrische schakeling. De pomp houdt het water in beweging, de brander geeft warmte mee aan het stromende water, dit warme water stroomt naar de radiatoren, de radiatoren geven de warmte af aan de kamer, en het afgekoelde water stroomt terug naar de brander. Uit deze analogie leren we dat vóór en na de radiator de stroom even groot is, maar dat het water na de radiator afgekoeld is doordat de warmte is afgegeven.

Centrale verwarming		Elektrische stroomkring	
	Ketel, brander en pomp	Batterij, stopcontact, voedingskastje	
	Leidingen	Snoeren	
	Stromend water	Elektrische stroom	
	Warmte	Elektrische energie	
	Kraan	Schakelaar	
	Radiator	Lamp, motor, apparaat	

Figuur 243 – Een vergelijking tussen de centrale verwarming en de elektrische stroomkring.



Figuur 244 – Een computersimulatie met een mechanische analogie. Bron: Edumedia > elektrisch netwerk > mechanische analogie.

Een andere veelgebruikte analogie is die van met volle en lege rugzakken rondlopende mannetjes. Hiervoor worden ook wel treinwagons of vrachtwagens gebruikt.

Sommige leerboeken maken een duidelijk onderscheid tussen *gebruik* en *verbruik* van energie, andere gebruiken alleen energiegebruik of alleen energieverbruik. Het woord *energieverbruik* betekent het verbruik van energiesoorten zoals elektrische energie of chemische energie door een lamp of apparaat. De energiehoeveelheid blijft behouden. Het woord *energiegebruik* betekent het gebruik van energie voor taken zoals verwarmen, bewegen of verlichten. Dan wordt het doel aangegeven.

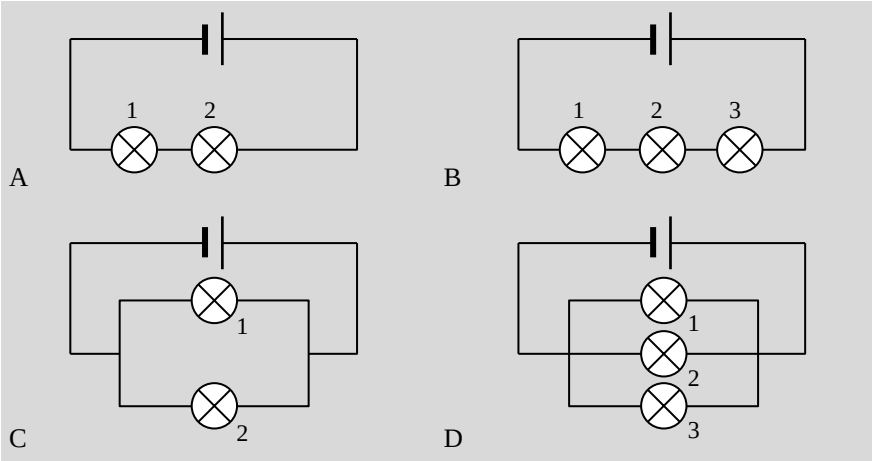
Computersimulatie – In de computersimulatie van figuur 244 duwen de mannen de karren voort en geven energie mee aan de karren. Door wrijving wordt de beweging van de karren tegengewerkt en ontstaat er warmte.

Stroomregel

In het tweede leerjaar wordt veelal een onderscheid gemaakt in serie- en parallelschakelingen. Deze worden door de leerlingen bestudeerd vanuit het begrip stroom. De felheid waarmee een lampje brandt is een prima indicator voor de stroom door het lampje. Als hetzelfde lampje feller brandt, gaat er meer stroom door. Realiseer je dat verschillende lampjes kunnen branden met verschillende felheid, ook al is de stroomsterkte gelijk. De stroom door de lampjes is te meten met een ampère- of stroommeter in serie met het lampje.

De vier schakelingen van figuur 245 vormen een instapprobleem om leerlingdenkbeelden te inventariseren. De opdrachten bij deze schakelingen zijn: “Vergelijk de felheid waarmee de lampjes branden met een lampje dat brandt met de normale lichtsterkte” en “Bedenk wat er gebeurt als je een lampje losdraait.”

Leerlingen hebben moeite met het goed voorspellen van de felheid waarmee de lampjes branden. Ze kunnen het effect van serie of parallel nog niet inschatten. Leerlingen voorspellen bij C en D vaak anders bij het losdraaien van een lampje. Ze denken dan dat de overblijvende lampjes feller gaan branden. Hun intuïtieve idee is dat de spanningsbron een constante stroom geeft. Ze maken geen onderscheid tussen een spanningsbron en een stroombron.



Figuur 245 – De schakelingen bij het instapprobleem voor serie- en parallelschakeling.

Leerlingdenkbeelden

- Spanning, stroom en energie worden niet (goed) van elkaar onderscheiden: spanning is hetzelfde als stroom, en stroom is hetzelfde als energie.
- Een spanningsbron levert een constante stroom: bij een verandering van de weerstand in een schakeling blijft de spanningsbron dezelfde stroom leveren.

Figuur 246 – Leerlingdenkbeelden over spanning en stroom.

Bij het redeneren in met het instapprobleem vergelijkbare situaties helpen de volgende regels.

- In een serieschakeling is de stroom overal gelijk. Meer lampjes op dezelfde spanningsbron geeft een kleinere stroom.
- In een parallelschakeling zijn de lampjes direct aangesloten op de spanningsbron. Ze krijgen dan dezelfde stroom als een lampje dat als enige op de spanningsbron is aangesloten.
- In een parallelschakeling is de hoofdstroom gelijk aan de som van de deelstromen. Meer lampjes op dezelfde spanningsbron geeft dezelfde stroom in elk van de lampjes en meer stroom in de hoofdtak.

Hier kan het begrip *weerstand* geïntroduceerd worden. De stroom wordt meer tegengewerkt door twee lampjes in serie dan door één lampje, en door één lampje weer meer dan door twee lampjes parallel.

Het gebruik van kerstverlichting als voorbeeld van een serieschakeling is tegenwoordig problematisch. Als in een moderne kerstverlichting een lampje stuk gaat, smelt de verbinding aan elkaar en blijven alle overige lampjes branden. Ook de feestverlichting in de straat is verwarrend. Het lijkt een enkel snoer met lampen in serie, maar het is een parallelschakeling met lampen die alle op 230 V werken.

Analogie – De simulatie met bierviltjes kan ook gebruikt worden voor een serie- en parallelschakeling. Een lampje wordt voorgesteld door een leerling die het bierviltje met een langzame beweging boven het hoofd doorgeeft. De stroom bij twee lampjes parallel is dan groter dan bij één lampje, en de stroom bij één lampje groter dan bij twee lampjes in serie.

Een stroomkring met een of twee weerstanden kan ook gesimuleerd worden in de gymzaal. Een omgekeerde bank die gebruikt kan worden als evenwichtsbalk stelt een weerstand voor. Op een bank mogen maximaal twee leerlingen lopen. Dus een nieuwe leerling stapt op de bank als een andere leerling halverwege is en de derde leerling net van de bank gaat. Het groepje met twee banken (weerstanden) parallel is veel eerder klaar dan het groepje met één bank (weerstand) en die weer eerder dan het groepje met twee banken (weerstanden) in serie.

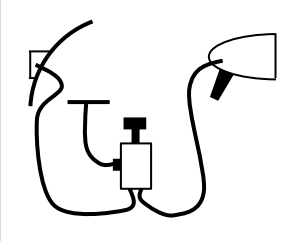
De twee situaties van figuur 247 geven een aardige, maar moeilijke verwerking van de leerstof. De oplossing voor dit probleem vind je door onderscheid te maken tussen een spanningsbron en een stroombron.

Situatie A

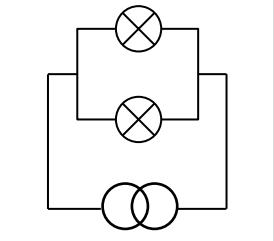
Een handige leerling fietst 's avonds in het donker naar een schoolfeest. De verlichting is uitstekend in orde vanwege de veiligheid, maar meer nog omdat de politie zal controleren. Plotseling begeeft het voorlicht het.
Wat gebeurt er met het achterlicht, en kun je dat uitleggen?

Situatie B

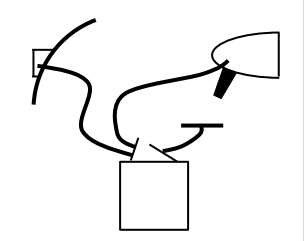
Een andere leerling is zijn dynamo verloren, nadat deze al een tijd los aan de voorvork had gehangen. Maar met een batterij van 4,5 V en na wat knutselwerk branden het voor- en achterlicht. Plotseling begeeft nu ook hier het voorlicht het.
Wat gebeurt er met het achterlicht, en kun je dat uitleggen?



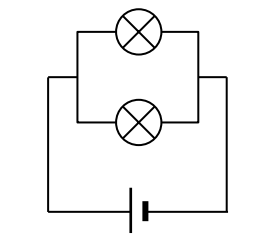
Dynamo met voorlicht en achterlicht parallel



Schakelschema van een stroombron met twee lampjes parallel



Batterij met voorlicht en achterlicht parallel



Schakelschema van een spanningsbron met twee lampjes parallel

Figuur 247 – Twee situaties voor verwerking van de leerstof over serie- en parallelschakeling.

Tot slot het verschil tussen stroomsterkte of debiet en stroomsnelheid. In het dagelijks taalgebruik staat stroomsterkte voor een snelle waterstroom. Maar hier staat stroomsterkte voor debiet. De aanbeveling is: maak bij stroomsterkte een duidelijk onderscheid tussen debiet en stroomsnelheid.

Hoe sterk is de stroom?

Debiet – De hoeveelheid vloeistof die per seconde een bepaald punt passeert (eenheid liter/s, m^3/uur), te meten met een watermeter.

Stroomsnelheid – De snelheid waarmee het water zich langs een stroomlijn voortbeweegt (eenheid m/s), te meten met een snelheidsmeter.

Stroomsterkte – De hoeveelheid elektronen die per seconde een bepaald punt passeert (eenheid A, ampère), te meten met een stroom- of ampèremeter. De eenheid ampère is zo'n $6{,}3 \cdot 10^{18}$ elektronen per seconde.

Figuur 248 – Definities van de begrippen debiet, stroomsnelheid en stroomsterkte.

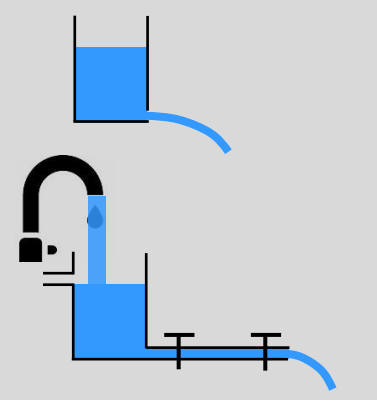
Spanning en stroom

Meestal wordt in het derde leerjaar het begrip *spanning* geïntroduceerd. Er zijn allerlei soorten batterijen die zich onderscheiden naar vorm, levensduur en spanning. Spanning wordt in eerste instantie gezien als een eigenschap van de batterij. Meer batterijen in serie laten een lampje feller branden. Meer batterijen parallel verhogen de *levensduur* van de batterij. De stroomsterkte door het lampje zie je aan de felheid waarmee het lampje brandt en meet je met een stroommeter. De spanning van een batterij zie je aan de vorm van de batterij (en het staat er op) en meet je met een spanningsmeter. De batterij mag je vervangen door een voedingskastje. Dat heeft een instelbare spanning, en is in gebruik goedkoper en milieuvriendelijker.

Analogie – Dat de stroom toeneemt bij een grotere spanning laat zich goed voorstellen met water in leidingen. Zet je meer druk op het water, dan gaat het water sneller stromen en neemt het debiet toe. Ook de invloed van de schakeling op de stroom kun je goed voorstellen met water in leidingen. Als de leidingen dunner zijn, neemt de *weerstand* toe en zal bij dezelfde druk minder water door de leidingen stromen.

Om een beeld te krijgen van spanning is het goed nog eens te kijken naar waterstromen. Een blikje wordt helemaal met water gevuld. Het blikje stroomt leeg door een uitstroomopening onderin, zoals in figuur 249 (boven). De waterstraal wordt steeds minder krachtig als het waterpeil in het blikje daalt. Je kunt de stroomsterkte (in liter/s) meten. De stroomsterkte hangt af van de waterhoogte en dus van de waterdruk.

Het is lastig dat de waterhoogte in het blikje verandert. Dat kunnen we veranderen door een kraan open te zetten boven het blikje, zoals in figuur 249 (onder). We krijgen een constante waterhoogte door aan de zijkant een gaatje op de gewenste hoogte te maken. Aan de uitstroomopening maken we een horizontale slang vast met twee slangklemmen. Door de slang aan te sluiten, neemt de stroomsterkte sterk af. Dat wordt nog sterker als we de slang met de slangklem-



Figuur 249 – Analogie voor het begrip spanning.

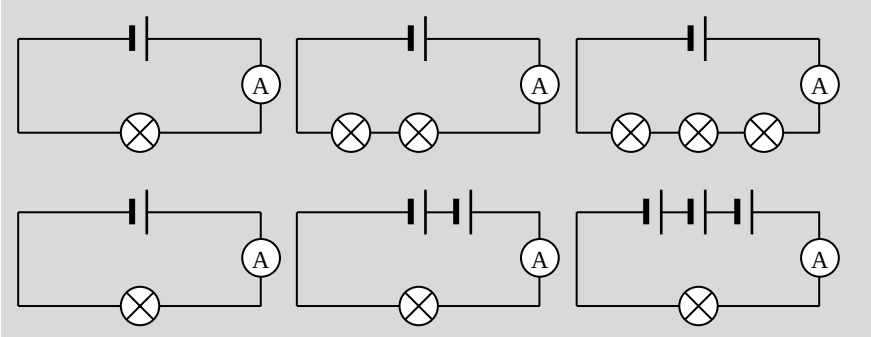
men gedeeltelijk dichtklemmen. Kennelijk werken de slang en de slangklemmen de stroom tegen. Deze tegenwerking noem je *weerstand*.

Tussen waterdruk, weerstand en stroomsterkte bestaat het in de tabel van figuur 250 weergegeven verband. Waterdruk voor water in leidingen kan daardoor als analogie dienen voor spanning in een elektrische schakeling. Bekijk de elektrische schakelingen van figuur 251.

waterdruk	weerstand	stroomsterkte
groter	gelijk	groter
gelijk	groter	kleiner
groter	groter	?

Figuur 250 – Het verband tussen waterdruk, weerstand en stroomsterkte.

- Sluit steeds meer lampjes aan. Het aantal batterijen blijft gelijk. De lampjes branden minder fel. Of anders gezegd: maak de weerstand groter, de spanning blijft gelijk, en de stroomsterkte wordt kleiner.
- Sluit steeds meer batterijen aan. Er blijft één lampje. Het lampje gaat feller branden. Of anders gezegd: maak de spanning groter, de weerstand blijft gelijk, en de stroomsterkte wordt groter.



Figuur 251 – Schakelingen voor het demonstreren van het verband tussen spanning, weerstand en stroomsterkte.

batterijen spanning	lampjes weerstand	felheid stroomsterkte
groter	gelijk	groter
gelijk	groter	kleiner
groter	groter	?

Figuur 252 – Het verband tussen spanning, weerstand en stroomsterkte.

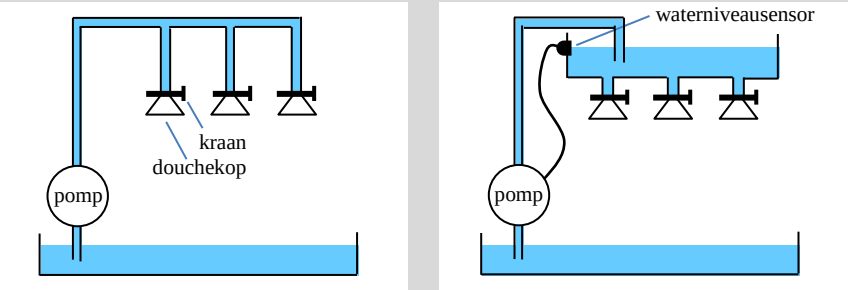
Er geldt: de spanning van de batterij stuwt de stroom voort, en de stroom wordt tegengewerkt door de weerstand van de lampjes, zoals weergegeven in de met figuur 250 vergelijkbare tabel van figuur 252.

De in figuur 253 geschetste situaties kunnen helpen bij het maken van een onderscheid tussen spanningsbron en stroombron.

Kampdouche

Bij de scouting wordt een survivaltocht gehouden. In het kamp wordt een kookplaats gemaakt met een afwasrek, een wc en drie douches. De meest simpele oplossing voor dat laatste is een waterpomp en een slang met drie douchekoppen. Een veel betere oplossing maakt gebruik van een voorraadvat voor water. Wat maakt die laatste oplossing veel comfortabeler?

In de figuur hieronder links gaat het om een waterpomp die water in een slang pompt die zich splitst in drie douchekoppen. Aan een douchekop is een kraan bevestigd die open en dicht gezet kan worden. In de praktijk geeft een pomp water af met horten en stoten. Het water zal dus ook met horten en stoten uit de kraan komen. Bij het openen van meerdere kranen blijft het debiet (stroomsterkte in liter/s) in de hoofdleiding vrijwel onveranderd, maar het debiet in iedere kraan neemt sterk af. Dat komt doordat de waterpomp een tamelijk constant waterdebiet heeft. De waterpomp levert een constante stroom, ongeacht de aangesloten waterleiding.



Een kampdouche in twee varianten: zonder (links) en met (rechts) voorraadvat.

In de figuur hierboven rechts is een voorraadvat toegevoegd aan de kampdouche. Er wordt niet constant gepompt, maar net zo hard dat het waterniveau in het voorraadvat op

peil blijft. Je kunt je afvragen welke invloed het watervat en deze manier van pompen heeft. Allereerst wordt de waterstroom door de douches veel gelijkmatiger. Verder zal bij het openen van meerdere kranen het debiet in de douchekop ongeveer hetzelfde blijven. Het uitstromende water voelt steeds dezelfde waterdruk – als tenminste het water in het voorraadvat steeds voldoende wordt aangevuld.

Figuur 253 – Analogie voor het maken van een onderscheid tussen een spanningsbron en een stroombron.

Het bovenstaande vormt een analogie voor de elektrische stroomkring, inclusief het onderscheid tussen stroom- en spanningsbronnen. Een stroombron levert dezelfde stroom, ook al verandert de schakeling. Een spanningsbron levert dezelfde spanning, ook al verandert de schakeling. Verandert bij een spanningsbron de schakeling, dan zal ook de stroom in de schakeling veranderen.

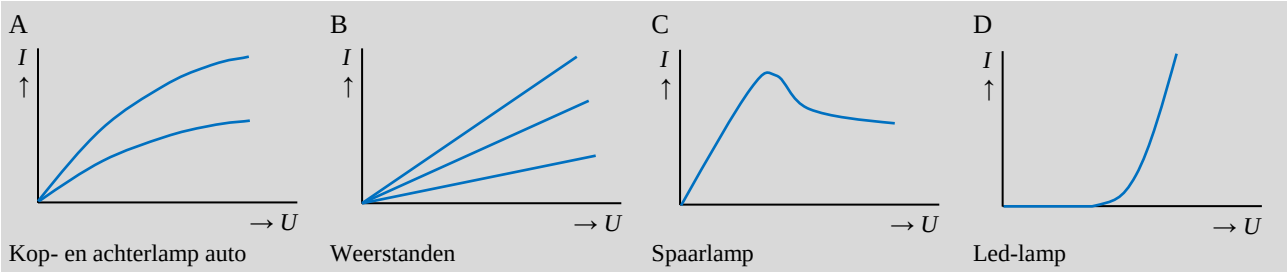
Water in leidingen	Elektrische schakeling
Waterpomp zonder voorraadvat (of watertoren)	Stroombron
Waterpomp met voorraadvat (of watertoren)	Spanningsbron
Leidingen of slangen	Bedrading
Douchekop	Weerstand
Kraan	Schakelaar
Water stroomt	Elektronen stromen
Watermeter	Stroommeter
Debiet (liter/s)	Stroomsterkte (A)
Douchekop heeft weerstand	Lampje of weerstand (object) heeft weerstand (grootheid)

Figuur 254 – Overeenkomsten tussen de analogie van water in leidingen en de elektrische schakeling.

Weerstandsregel

In het voorgaande is weerstand al naar voren gekomen. Weerstand mag je zien als tegenwerking van de stroom, zoals weergegeven in de tabel van figuur 252.

In het derde leerjaar kan de onderlinge afhankelijkheid van spanning, stroomsterkte en weerstand worden weergegeven door de volgende formule die weerstand definieert: $R = U/I$.



Figuur 255 – Het *I*,*U*-diagram van verschillende soorten weerstanden.

Dat voorwerpen verschillende weerstand hebben, is te zien in de *I*,*U*-diagrammen van figuur 255: als de spanning toeneemt, neemt de weerstand van de lampjes toe (warmteontwikkeling), blijft de weerstand van weerstanden constant, heeft de weerstand van een spaarlamp een grillig verloop, en neemt de weerstand van een led-lamp af.

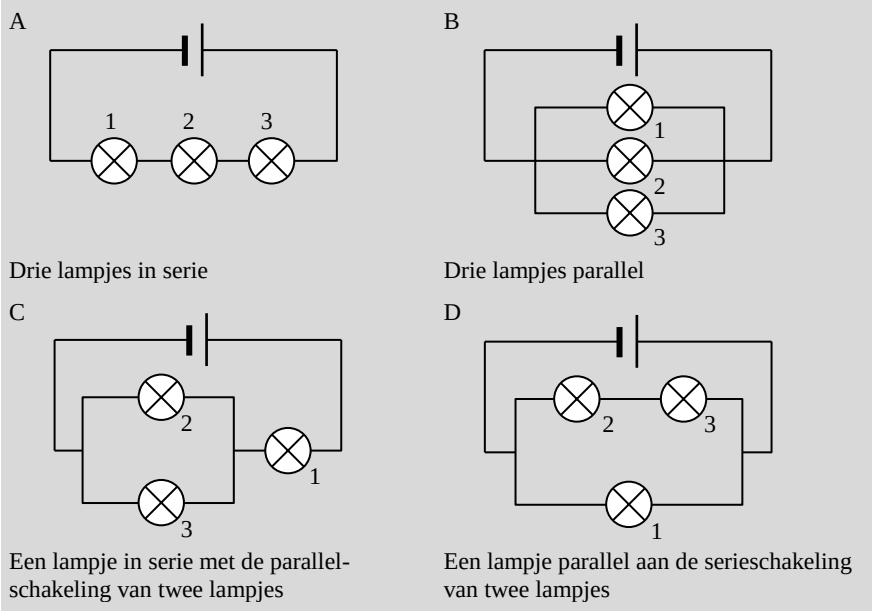
De weerstandsregel luidt $U = I \cdot R$, met U de spanning van de bron (in volt: V), I de stroomsterkte in de stroomkring (in ampère: 1 A = $6{,}3 \cdot 10^{18}$ elektronen/s) en R de weerstand van de lamp, de kachel of het apparaat (in ohm: Ω).

De wet van Ohm luidt: de weerstand is constant voor metaaldraden die op een vaste temperatuur worden gehouden.

Spanningsregel

In het vierde leerjaar rekenen leerlingen aan spanning en stroomsterkte in samen-

gestelde schakelingen. Om de denkbeelden van leerlingen daarover te inventariseren, kun je gebruik maken van opstellingen met de schakelschema's van figuur 256. De richtvragen daarbij zijn: "In welke schakeling kunnen alle lampjes tegelijk normaal branden?" en "Wat gebeurt er met de andere lampjes als je één lampje losdraait?"



Figuur 256 – Schakelingen voor het inventariseren van leerlingdenkbeelden over spanning en stroomsterkte in samengestelde schakelingen.

Leerlingdenkbeelden

Bij het denken over (veranderingen in) elektrische schakelingen kunnen leerlingen *lokaal* en/of *sequentieel* redeneren.

Lokaal redeneren – Ieder punt in een schakeling wordt apart bekeken, onafhankelijk van wat er zich voor of achter dat punt bevindt. Bij een splitsing in een parallelschakeling betekent dat bijvoorbeeld dat de stroom zich gelijk verdeelt over de verschillende parallelle takken, onafhankelijk van de weerstanden in deze takken.

Sequentieel redeneren – Een verandering in een schakeling heeft alleen invloed op dat deel van de schakeling 'achter' het punt waar iets is veranderd, ofwel 'stroomafwaarts'. In het deel van de schakeling vóór de verandering is niets veranderd. In leerlingentaal: "De stroom weet daar nog niet dat er verderop iets is veranderd."

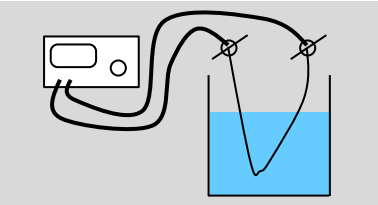
Figuur 257 – Mogelijke redeneerwijzen van leerlingen over elektrische schakelingen.

Leerlingen brengen hier allerlei argumenten naar voren. Voor een volledig antwoord moeten ze gebruik maken van de spanningsregel. Deze *spanningsregel* luidt: bij een rondgang in een stroomkring is de spanning over de batterij gelijk aan de som van de spanningen over de weerstanden. De *stroomregel* blijft: de stroomsterkte in de hoofdtak is gelijk aan de som van de stroomsterktes in de deeltakken. En de *weerstandsregel* wordt uitgebreid tot $U_i = I_i \cdot R_i$, met U_i de spanning die staat over een weerstand met weerstandswaarde R_i en met I_i de stroom door de weerstand.

Realiseer je dat spanning van een eigenschap van de batterij nu een veranderlijke grootheid is geworden in de schakeling.

Energieregel

De proef met de gloeiende draad die je onderdompelt in water (zie figuur 258) is een mooi instapprobleem voor warmteontwikkeling in een weerstand in het vierde leerjaar. Door de spanning van de spanningsbron langzaam op te draaien, gaat de draad gloeien. Let eens op waar wel en waar niet. Door te blazen houdt de draad op met gloeien, en als je weer stopt met blazen begint het gloeien opnieuw. De vraag is wat er gebeurt als je de draad onderdompelt in water. Voor het gemak delen we de draad op in drie delen (in serie): het gedeelte boven water, het gedeelte onder water en andere gedeelte boven water. Wat gebeurt er met de draad onder water? Wat gebeurt er met de draad boven water? Maakt het uit of de draad van ijzer is of van constantaan?



Figuur 258 – De opstelling bij het instapprobleem voor de energieregel.

Voor de oplossing is het van belang dat je een idee hebt van de grootte van de weerstand van water. De orde-grootes zijn: metaaldraad 1 Ω, water 1 kΩ en lucht 1 MΩ. Dit betekent dat het water geen kortsluiting geeft. Waarom is water en elektriciteit dan wel gevaarlijk?

Voor het gedeelte onder water is van belang dat het gloeien afhangt van het evenwicht tussen de geproduceerde warmte door de elektrische stroom en de afgegeven warmte aan de omgeving. De afgifte van warmte onder water is zo goed, dat de temperatuur van de draad ongeveer de watertemperatuur is zodat de draad niet meer gloeit. Boven water verandert de weerstand ook als de draad van ijzer is. Een hogere temperatuur geeft een grotere weerstand.

Lespraktijk

Leerlingen kregen als probleem voorgelegd hoe het kan dat een opgerold verlengsnoer gaat smelten, terwijl in dezelfde situatie een uitgerold verlengsnoer niet smelt.

Een van de leerlingen vond dat heel logisch. Een opgerold verlengsnoer heeft een grotere weerstand (denk maar aan een tuinslag die je oprolt of knikt), en meer weerstand betekent meer warmteontwikkeling.

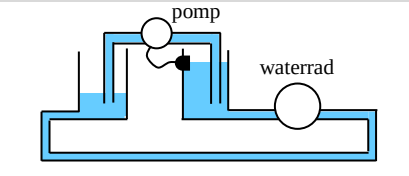
Figuur 259 – Leerlingdenkbeeld over de weerstand van een opgerold snoer.

Een toepassingsprobleem is het gebruik van een verlengsnoer. Een opgerold snoer smelt eerder dan een uitgerold snoer. Leerlingen brengen allerlei ideeën naar voren, soms erg onverwacht – zoals in figuur 259.

Spanning: veroorzaker van stroom of leverancier van energie

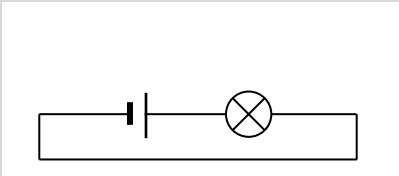
Je zult gemerkt hebben dat je steeds op twee manieren naar het begrip spanning kunt kijken.

- Bij spanning als veroorzaker van stroom zie je spanning in relatie tot weerstand en stroom ($U = I \cdot R$).
- Bij spanning als leverancier van energie zie je spanning als energie die meegegeven wordt aan de stroom ($P = U \cdot I$).



Waterstroomcircuit
Er is een gesloten stroomkring voor de waterstroom: er is geen waterverbruik.

De pomp zorgt voor een hoogteverschil. Voor een waterstroom is een hoogteverschil nodig; bij een groter hoogteverschil is er een grotere stroom.
De pomp geeft het water zwaarte-energie, die wordt afgestaan aan het waterrad.



Elektrische schakeling
Er is een gesloten stroomkring voor de elektrische stroom: er is geen stroomverbruik.
De batterij zorgt voor een spanning. Voor een elektrische stroom is een spanning nodig; bij een grotere spanning is er een grotere stroom.
De batterij geeft de stroom elektrische energie, die wordt afgestaan aan de lamp.

Figuur 260 – In de waterstroomanalogie zijn beide manieren waarop je naar spanning kunt kijken zichtbaar.

Taalgebruik

Spanningsbron – (elektr.) punt van waaruit spanning afkomstig is.

Stroombron – toestel of werking waarmee elektrische energie opgewekt kan worden (bijvoorbeeld een dynamo, een accu, een motor).

Bron – vanzelf uit de grond opwellend water, plaats van oorsprong van een rivier.

Stroom – zich voortbewegende massa van stoffen die aan een watermassa doen denken of er mee worden vergeleken.

Spanning – druk die een gas of vloeistof op de wand van een vat uitoefent, door de neiging zich te willen verspreiden.

Figuur 261 – De betekenis van de woorden spanningsbron, stroombron, bron, stroom en spanning volgens *Van Dale – Groot woordenboek der Nederlandse taal*.

Aandachtspunten – Een bijkomend aspect is het *taalgebruik*. Je kunt er niet om heen dat alle termen die gebruikt worden bij een elektrische stroomkring associaties oproepen met waterstromen. Ter illustratie staat in figuur 261 de betekenis van de woorden spanningsbron, stroombron, bron, stroom en spanning.

Het taalgebruik in de natuurkunde is veel preciezer. De omschrijving van spanningsbron maakt gebruik van de termen die associaties met beweging en stroom oproepen, terwijl wij spanning beschouwen als een statisch gegeven. De elektrische energie staat bij stroombron en niet bij spanningsbron. Een bron is de oorsprong van de stroom, terwijl wij het willen zien als het doorgeven van de stroom (met behoud van stroom). Spanning wordt geassocieerd met de druk die vloeistof of gas in beweging zet, of een druk die ontstaat door het willen wegvloeien van een gas of vloeistof. Denk daarbij aan het opblazen en leeglopen van een ballon. Het woord spanning associeert in het geheel niet met de nu vaker gebruikte opvatting waarin spanning wordt omschreven als meegeven van energie aan een elektrische stroom. In de eerder gebruikte analogieën: boterhammen die meegegeven worden aan leerlingen die met een rugzakje rondlopen, of warmte die meegegeven wordt aan de waterstroom in een centrale verwarming.

Ook het gebruik van *analogieën* vereist extra aandacht. Leerlingen zullen bij hun uitleg gebruik maken van een voorstelling van stroom die analoog is aan de stroming van water door leidingen (bijvoorbeeld water in een tuinslang). Leraren gebruiken vaak een wat meer uitgewerkte analogie (bijvoorbeeld de centrale verwarming). De vraag is of deze voorstelling de leerlingen zal helpen tot een juiste oplossing van het probleem te komen, of dat deze voorstelling aanleiding geeft tot (nog meer) begripsproblemen.

Uit het taalgebruik blijkt dat er bij een elektrische schakeling sprake moet zijn van iets dat stroomt, terwijl je echt niet iets ziet stromen. Dit betekent dat elektrische stroom een theoretisch begrip is, dat niet voortkomt uit de directe waarneming. Je kunt elektrische stroom voorstellen als een stroom van elektronen, vergelijkbaar met water dat in leidingen stroomt.

Een eerste eis die je aan een analogie stelt, is dat de analogie een concrete voorstelling biedt, dat er voldoende overeenkomsten zijn tussen de elektrische stroomkring en de analogie, en dat de leerlingen binnen deze analogie eigen redeneringen kunnen houden die zeggingskracht hebben voor de elektrische stroomkring. Daarmee valt de analogie van een stromende rivier af. Omdat een rivier geen stroom in een afgesloten leiding is, zijn de overeenkomsten met de elektrische stroomkring te gering. Het sluiten van de stuw bij Hagestein wordt in Lopik niet gemerkt, terwijl het afsluiten van de sproeier van een tuinslang overal in de slang gevolgen heeft.

Een analogie voor een elektrische schakeling moet aan een aantal kenmerken voldoen:

- De analogie is eenvoudiger, bekender en concreter voorstelbaar.
- Binnen de analogie moeten leerlingen redeneringen kunnen maken.
- De uitkomsten van de redeneringen zijn ook van toepassing op de elektrische stroomkring.

In figuur 262 zijn voor een aantal analogieën de overeenkomsten met de elektrische stroomkring op een rij gezet, evenals hun beperkingen (waar dus geen overeenkomst meer is).

Analogie	Overeenkomsten	Beperkingen
Verkeersstromen	Wegennet ↔ bedrading Autostroom ↔ elektronenstroom Wegversmalling ↔ dunnere bedrading Ophaalbrug ↔ schakelaar Splitsing ↔ splitsing (stroomregel)	Geen bron
Tuinsproei-installatie	Water in een slang ↔ elektronen in leidingen Waterdruk / hoogte sproeier ↔ spanning Versmalling ↔ dunnere draad Weerstand ↔ weerstand	Geen energietransport
Kampeerdouche, met en zonder voorraadvat	Waterpomp zonder voorraadvat ↔ stroombron Waterpomp met voorraadvat ↔ spanningsbron Waterstroom ↔ elektronenstroom Watermeter ↔ stroommeter Drukmeter ↔ spanningsmeter Waterleiding ↔ bedrading Kraan ↔ schakelaar Douchekop ↔ weerstand	Geen energietransport
Centrale verwarmingsinstallatie	Brander en warmtewisselaar ↔ energiebron Leidingen ↔ bedrading Pomp ↔ stroombron Kringregel voor water ↔ kringregel voor elektronenstroom Warmtetransport ↔ energietransport Radiator ↔ lampje cq apparaat	Geen spanningsbron
Bloedsomloop	Hart ↔ spanning- en stroombron Bloeddruk ↔ elektronenspanning Bloedstroom ↔ elektronenstroom Stroomregel ↔ stroomregel Drukregel ↔ spanningsregel	Geen energietransport (wel stoffentransport)

Figuur 262 – Overeenkomsten en beperkingen van verschillende analogieën voor de elektrische stroomkring.

Een derde aandachtspunt is de *voorkennis* van de leerlingen. Om water in leidingen als analogie te kunnen gebruiken, is voorkennis over enkele eigenschappen van waterstromen nodig. Bijvoorbeeld:

- debiet D: hoeveelheid/seconde;
- hoeveelheid: aantal, volume (m^3) of massa (kg);
- stroomsnelheid v: snelheid van stromende deeltjes (m/s).

Het debiet D wordt dan gegeven door D (in m^3/s) = $A \cdot v$ of door D (in kg/s) = $\rho \cdot A \cdot v$.

Taalgebruik

Analogie – een overeenkomst die men vaststelt en tot grondslag neemt voor een redenering en gevolgtrekking, *bij analogie redeneren* de waarheid van iets uit overeenkomstige gevallen afleiden.

Model – (in de moderne wetenschappelijke opvatting) empirische interpretatie van een mathematisch-logisch systeem, *het model fungeert als eerste aanzet tot theorievorming, een model is een schematisering van de werkelijkheid met een operationeel karakter.*

Theorie – **s**ysteem van denkbeelden of veronderstellingen (hypotheses) waarmee waargenomen feiten of verschijnselen worden verklaard of voorspellingen kunnen worden gedaan.

Figuur 263 – De betekenis van de woorden analogie, model en theorie volgens *Van Dale – Groot woordenboek der Nederlandse taal*.

Een laatste aandachtspunt heeft weer betrekking op het *taalgebruik*, nu van de woorden analogie, model en theorie. Meestal wordt in leerboeken gekozen voor het woord model in plaats van het woord analogie. We hebben een voorkeur voor het woord analogie – met de in figuur 263 gegeven omschrijving – boven het verwarrende woord model. De analogie van water in leidingen gaan we zeker niet gebruiken om de elektrische stroomkring te modelleren en kwantitatieve uitspraken te doen.

Het bovenstaande leidt tot de volgende aanbevelingen voor het vormgeven van onderwijs over elektrische schakelingen:

- Stel je elektrische stroom voor als water in leidingen (en niet als water in rivieren).
- Maak vanaf het begin onderscheid tussen een bron die een constante stroom levert (dynamo, waterpomp) en een bron met een constante spanning en een zich aanpassende stroom (batterij, waterpomp met voorraadvat).
- Stel je spanning voor als drukverschillen bij waterstromen (bloeddruk bij de bloedsomloop) of gasstromen (overdruk bij een opgeblazen ballon) en niet als energie per seconde (warmtetransport bij het centrale verwarmingsmodel).
- Wees je bewust van de overgang van betekenis van de spanning U uit de weerstandsregel $U = I \cdot R$. De betekenis verschuift hierbij van spanning van de bron (pompvoorstelling) naar spanning over een weerstand in de schakeling (drukvoorstelling).

6.5 Arbeid, warmte en energie

Arbeid, warmte en energie zijn begrippen die zowel in het dagelijkse taalgebruik als in de vaktaal een belangrijke rol spelen. Van belang is aan te sluiten op de denkbeelden van de leerlingen vanuit hun dagelijkse ervaring en die uit te bouwen tot wetenschappelijke denkbeelden. Daarbij helpt een overzicht over de opbouw van het begrip energie in de opeenvolgende leerjaren.

De leerstofschema's in deze paragraaf bevatten een aantal kernbegrippen en een aantal relaties tussen die begrippen. De kernbegrippen zijn geplaatst in een ovaal, de lijnen geven aan dat begrippen bij elkaar horen. Leesvolgordes worden aangegeven met een pijl. Objecten (systemen) zijn getekend als een rechthoek.

Leerlingdenkbeelden

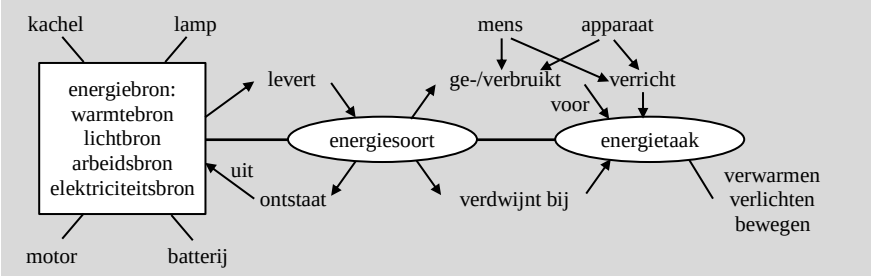
- Energie is alleen gekoppeld aan levende wezens, als iets dat nodig is om te leven en actief te kunnen zijn.
- Energie is iets dat opgeslagen ligt in bepaalde voorwerpen, en dat veranderingen kan veroorzaken.
- Energie is gekoppeld aan kracht en beweging (geen beweging betekent geen energie), kracht en energie (en ook arbeid en vermogen) zijn synoniemen.
- Energie wordt gezien als brandstof: 'brandstof is energie' in plaats van 'bevat energie' of 'is een energiebron'.
- Energie wordt opgevat als een soort 'vloeistof': het 'vloeit' vanuit het ene voorwerp naar het andere.
- Het idee van energiebehoud wordt niet als noodzakelijk gezien: in plaats van energiebehoud is sprake van 'energieverlies' of 'opraken van energie'.

Figuur 264 – Mogelijke leerlingdenkbeelden over energie, energieomzettingen en energiebehoud.

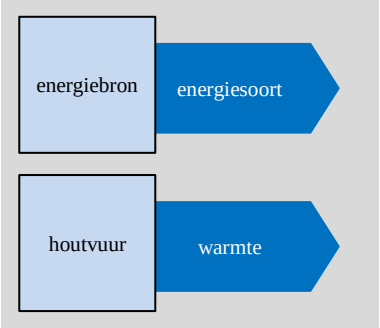
Energiebron, energietaak en energiesoort

In de natuurkunde is energie een buitengewoon abstracte en complexe grootheid. In het tweede leerjaar kan een belangrijk aspect van energie worden begrepen door aan te sluiten bij het taakbegrip uit het dagelijks leven. Daarbij gaat het om het neerzetten van het volgende beeld: een *energiebron* kan een *energietaak* uitvoeren door het leveren van een *energiesoort* (zie figuur 265). Voorbeelden van energietaken zijn iets verwarmen, verlichten, in beweging zetten en bestralen. Voorbeelden van energiebronnen zijn warmtebronnen (zoals een kachel), licht-

bronnen (zoals een lamp of een kaars), arbeidsbronnen (zoals een motor of een trekdier) en elektriciteitsbronnen (zoals een batterij of accu, met daaraan gekoppeld een elektrische kachel, motor of lamp). De energiebron levert een energiesoort die verbruikt wordt voor de energietaak.



Figuur 265 – Leerstofschema rond energiebronnen, energiesoorten en energietaken.



Figuur 266 – Eenvoudig leerstofschema voor een energiebron en voor een warmtebron.

In leerboeken wordt een energiebron met een energiesoort vaak weergegeven met een vereenvoudigd leerstofschema, zoals in figuur 266. In het leerstofschema van een warmtebron zet je in het vierkant de warmtebron en in de pijl de warmte.

Voor het benoemen van energiesoorten zijn drie verschillende mogelijkheden. Je kunt energiesoorten benoemen naar:

- de energiebron, zoals fossiele brandstof, windenergie, waterkrachtenergie, zonne-energie, getijde-energie en biomassa;
- de energiesoort die in de bron aanwezig is, zoals veerenergie, gravitatie-energie, magnetische energie, elektrische energie, bewegingsenergie, inwendige energie en kernenergie;
- de energiesoort die de bron levert, zoals straling, arbeid, warmte en elektrische energie.

Een consequente naamgeving zoals in figuur 267, kan het begrip bij leerlingen bevorderen.

Bron die energie levert	Naam volgens de bron	Naam volgens de energiesoort die in de bron aanwezig is	Naam volgens de energiesoort die de bron levert
zon	zonne-energie	kernenergie	stralingsenergie
windmolen	windenergie	bewegingsenergie	elektrische energie
steenkool	brandstof	chemische energie	warmte
kerncentrale	kernenergie	kernenergie	elektrische energie
stuwmeer	waterkracht	zwaarte-energie	elektrische energie
biomassa	biomassa	chemische energie	warmte

Figuur 267 – Mogelijkheden voor de naamgeving van energiesoorten.

Aandachtspunten – Een probleem doet zich voor bij het gebruik van het woord *energiebron.* In het algemeen is een energiebron alles wat energie levert. Bij het woord energiebron ligt het accent op het beschikbaar komen van een *energiehoeveelheid.* Hier maken we onderscheid in soorten energiebronnen zoals warmtebron, lichtbron, arbeidsbron of elektriciteitsbron. Hierbij ligt het accent op het beschikbaar komen van de *energiesoort.*

Verder is het lastig dat bij het benoemen van energiesoorten al onderscheid gemaakt moet worden tussen energie die in de bron aanwezig is, de energiebron zelf en energie die de bron levert. Als voorbeeld daarvan nemen we hieronder drie verschillende warmtebronnen, die verschillende soorten energie verbruiken.

- In brandstoffen zit chemische energie. Een houtkachel, een gasfornuis en een bunsenbrander verbruiken chemische energie en leveren warmte.
- Een stopcontact levert elektrische energie. Een verwarmingsapparaat zoals een strijkijzer of een waterkoker verbruikt elektrische energie en levert warmte.

- De zon levert zonne-energie. In de zon vinden kernreacties plaats. De zon verbruikt kernenergie en levert stralingsenergie. Deze stralingsenergie kan voorwerpen verwarmen. Zo word je warm als je in de zon zit.

Energieoverdracht

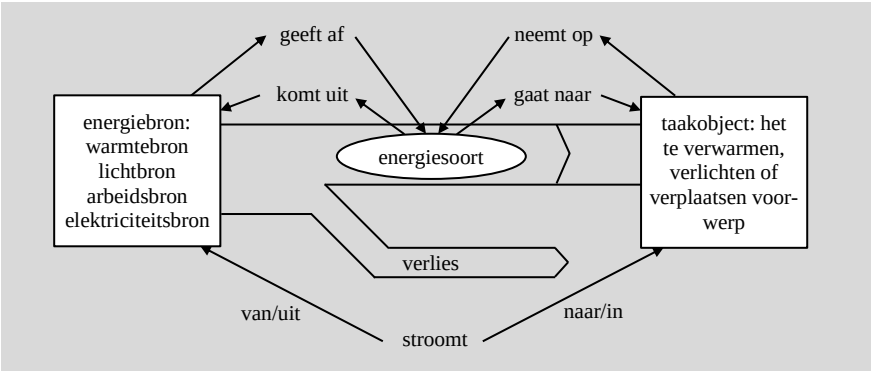
In het derde leerjaar wordt aan het begrip energie het beeld toegevoegd dat energie stroomt. Vanuit de energiebron gaat een (quasi-materiële) *energiestroom* naar het taakobject. Stromingsenergiesoorten zijn warmte, elektrische energie, stralingsenergie en arbeid. In figuur 268 is een energiestroomschema weergegeven. De hoeveelheid energie wordt gemeten in joule (J). De breedte van de pijlen staat voor de *energiehoeveelheid*.

Bij energieoverdracht geldt voor de energiestroom *energiebehoud*. De energie die bij de bron ontstaat, stroomt in zijn totaliteit ergens naar toe. De energiestroom bestaat uit een bruikbaar deel dat naar het taakobject stroomt, en een verliesdeel dat naar elders (bijvoorbeeld de omgeving) stroomt en daar verloren gaat voor gebruik. Dit heet *overdrachtsverlies*. De efficiëntie van de overdracht wordt aangegeven met het rendement.

Voor energieoverdracht wordt het omzettingsrendement in formulevorm gedefinieerd als:

$$\eta = \frac{E_{\text{bruikbaar}}}{E_{\text{totaal}}}$$

In deze formule is $E_{\text{bruikbaar}}$ de energie die benut wordt voor de taak en E_{totaal} de energie die de energiebron levert.



Figuur 268 – Leerstofschema rond energieoverdracht en stroming van energie.

Aandachtspunten – Er is discussie mogelijk over het gebruik van de woorden *energieverbruik* en *energiegebruik*. Beide woorden zijn bruikbaar. Bij energiegebruik ligt de nadruk op de taak die de energie zal uitvoeren: de energie wordt ergens voor gebruikt. Bij energieverbruik ligt de nadruk op het verbruik van energiesoorten waarvoor betaald moet worden.

Het gebruik van de woorden *energiebehoud* en *energieverlies* lijkt tegenstrijdig. Energiebehoud betekent dat de totale hoeveelheid energie behouden blijft. Een deel van de energie gaat echter verloren als warmte die wordt afgegeven aan de omgeving, en niet meer nuttig te gebruiken is.

Energieomzetting

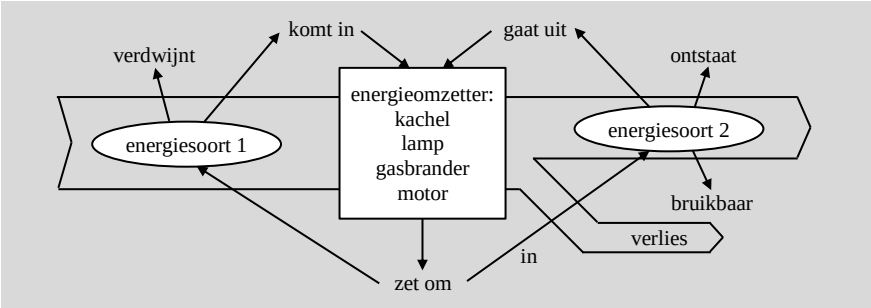
Als de voor het verrichten van een taak benodigde stromingsenergiesoort niet (direct) beschikbaar is, dan kan gebruik gemaakt worden van een omzetter om de ene energiesoort om te zetten in de andere. Voorbeelden zijn een warmtemotor, elektromotor, dynamo, dompelaar en lamp. Bij energie-omzetting is sprake van het verdwijnen van de ene energiesoort en het gelijktijdig ontstaan van andere energiesoorten (zie figuur 269). De omzetter wordt geplaatst tussen de energiebron en het taakobject.

Voor een energieomzetting geldt dat de hoeveelheid energie behouden is. De energie-uitstroom bestaat echter uit een bruikbaar deel en een verliesdeel. Een deel van de energie gaat verloren als warmte afgegeven aan de omgeving, en is

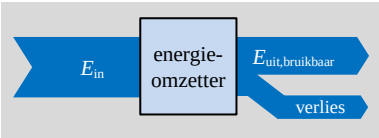
niet meer nuttig. De efficiëntie van de omzetting wordt aangegeven met het rendement van de energieomzetter:

$$\eta = \frac{E_{\text{uit,bruikbaar}}}{E_{\text{in}}}$$

Sommige energiebronnen zoals de elektrische lamp (lichtbron) of elektromotor (arbeidsbron) kunnen ook als omzetter van stromingsenergiesoorten beschreven worden.



Figuur 269 – Leerstofschema rond energieomzetting en stroming van energie.



Figuur 270 – Eenvoudig leerstofschema voor een energieomzetter.

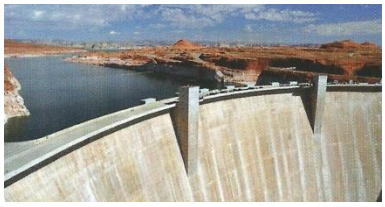
In leerboeken wordt gebruik gemaakt van een vereenvoudigd leerstofschema, zoals in figuur 270.

Aandachtspunten – Evenals bij energieoverdracht is er bij energieomzettingen discussie mogelijk over het gebruik van de woorden *energieverbruik* en *energiegebruik*. Ook hier zijn beide woorden in dezelfde betekenis bruikbaar.

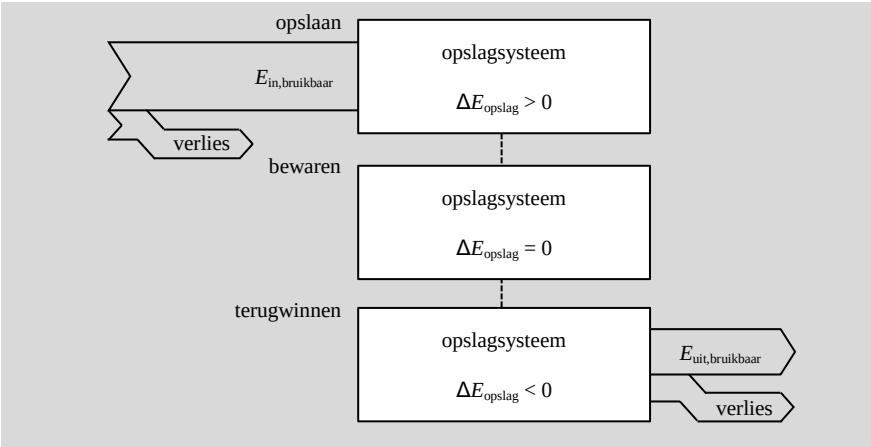
Het gebruik van de woorden *energiebehoud* en *energieverlies* is ook hier verwarrend. Bij energiebehoud ligt het accent op het feit dat de hoeveelheid energie behouden blijft. De energiesoorten blijven zeker niet behouden: bij een omzetting verdwijnt de ene energiesoort en ontstaan andere energiesoorten. Bij energieverlies ligt het accent op de warmte die bij iedere omzetting verloren gaat in de omgeving.

Energieopslag

In het derde of vierde leerjaar wordt het energiebegrip weer verder uitgebreid: naast het taak-, stroom- en omzettingsaspect heeft energie ook een opslagaspect. In fossiele brandstoffen is energie aanwezig, maar ook in stuwmeren of in bewegende lucht. Energie wordt bruikbaarder als je het een tijd kunt opslaan en op een geschikt moment weer kunt gebruiken.



Figuur 272 – Energieopslag in een stuwmeer.

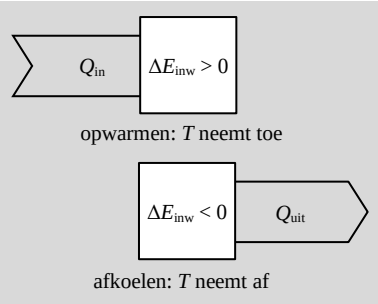


Figuur 271 – Leerstofschema rond energieopslag.

Een opslagsysteem kan een energiestroom opnemen en een tijd later deze weer in (bijna) even grote hoeveelheden afgeven (zie figuur 271). Kennelijk is de energie een tijdje omgezet in een opslag-energiesoort. Voorbeelden van opslag-

systemen zijn een waterspaarbekken, vliegwiel en accu. Voorbeelden van opslag-energiesoorten met de bijbehorende energiestroom zijn warmte en inwendige energie bij opwarmen, arbeid en zwaarte-energie bij een hijskraan, arbeid en bewegingsenergie bij een vliegwiel, arbeid en inwendige energie bij een fietspomp, en elektrische energie en elektrochemische energie bij een accu.

In natuurlijke energiebronnen zoals brandstoffen, zon en wind, is de energie van nature aanwezig. In kunstmatige bronnen zoals een accu of waterspaarbekken wordt eerst energie opgeslagen die later wordt teruggewonnen.

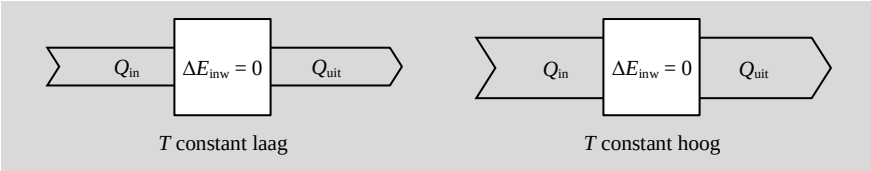


Figuur 273 – Leerstofschema voor het opwarmen en afkoelen van een voorwerp.

Warmte, temperatuur en inwendige energie

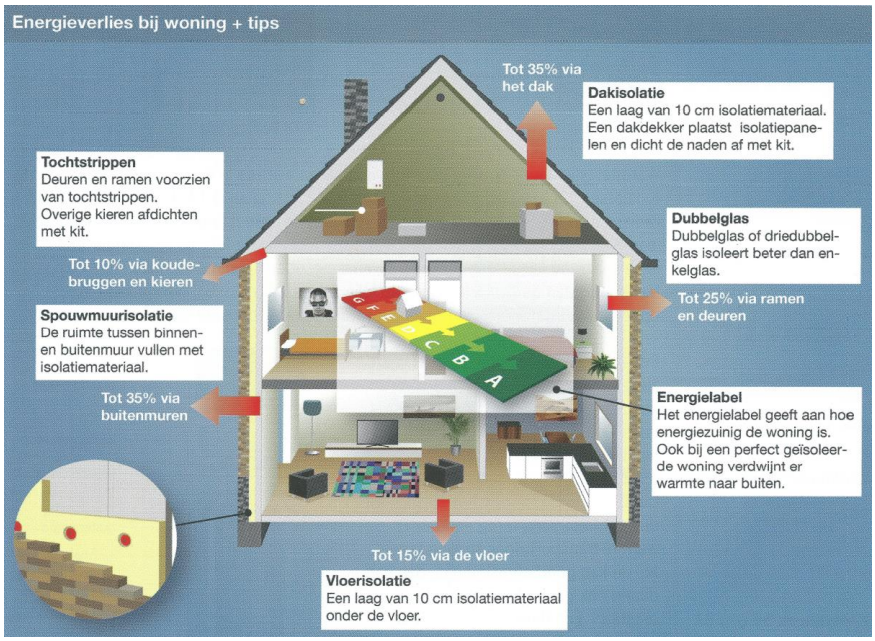
Energieopslag speelt een rol bij het opwarmen, afkoelen en op temperatuur houden van ruimten (zie figuur 273). Bij het opwarmen van een voorwerp wordt warmte aan het voorwerp toegevoerd. De temperatuur van het voorwerp en de inwendige energie die opgeslagen wordt in het voorwerp nemen toe. Bij het afkoelen van een voorwerp geeft het voorwerp warmte af. De temperatuur van het voorwerp en de inwendige energie die opgeslagen is in het voorwerp nemen af.

Als een voorwerp een constante temperatuur heeft, dan is de inkomende warmte even groot als de uitgaande warmte. Voor een hogere constante temperatuur is een grotere instroom en uitstroom van warmte nodig (zie figuur 274).



Figuur 274 – Leerstofschema voor het op temperatuur houden van een voorwerp.

Een interessant praktijkvoorbeeld is het isoleren van een woning om energie te besparen (zie figuur 275). Door de uitstroom van energie te beperken, wordt het energieverbruik lager. Vanzelfsprekend draagt het lager zetten van de thermostaat ook bij aan energiebesparing.



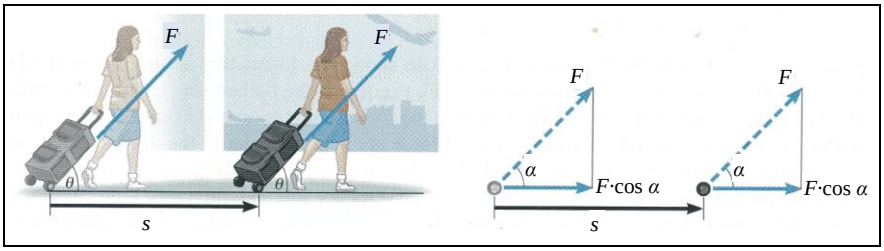
Figuur 275 – De uitstroom van warmte beperken door isolatie. Bron: *Overal* NaSk 3 vmbo-kgt (5e editie, pg. 59).

Arbeid

In leerboeken wordt arbeid vaak ingevoerd door te kijken naar het voorbeeld waarin iemand met een touw een kar een eind voorttrekt over een horizontale weg. Arbeid wordt dan gedefinieerd met de arbeidsregel:

$W = (F \cdot \cos\alpha) \cdot s$

In deze formule is W de door de kracht verrichte arbeid, F de op het voorwerp uitgeoefende kracht, $F \cdot \cos \alpha$ de component van de kracht in de richting van de verplaatsing, en s de verplaatsing van het voorwerp (of preciezer: de verplaatsing van het aangrijpingspunt van de kracht) zoals weergegeven in figuur 276.



Figuur 276 – Arbeid verricht door een kracht bij verplaatsing van een voorwerp.

Aandachtspunten – Het is goed om je te realiseren dat bij het begrip *arbeid* in het kader van energiebronnen, energiestromen en energieomzettingen een andere voorstelling hoort dan bij de arbeid uit de arbeidsregel. In energietermen staat arbeid voor de overdracht van energie door krachtwerking van de omgeving (degene die de kar trekt) naar het gekozen systeem (de gesleepte kar) over de systeemgrenzen heen. Daarbij mag je arbeid voorstellen als een energiestroom, net zoals je warmte mag voorstellen als een energiestroom. Degene die de kar trekt levert via arbeid energie aan de kar. Dit zie je terug in het taalgebruik: een kracht *verricht* arbeid, een arbeidsbron zoals de mens of een motor *levert* arbeid.

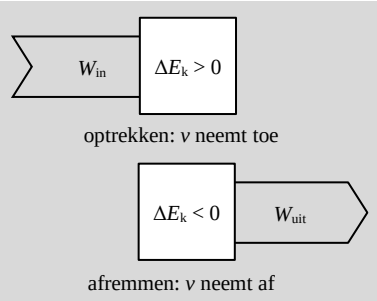
Arbeid, snelheid en bewegingsenergie

Om een voorwerp in beweging te krijgen, moet iets of iemand een kracht uitoefenen. Het voorwerp krijgt dan snelheid, en dus bewegingsenergie. De bewegingsenergie (of kinetische energie) hangt af van de massa en de snelheid van het voorwerp:

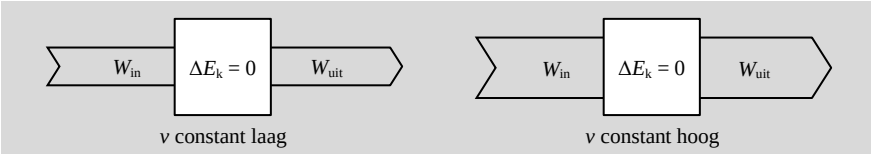
$$E_k = \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Bij het optrekken van een voertuig zoals een auto levert de motor inkomende arbeid, en de bewegingsenergie van de auto neemt toe (zie figuur 277). Als een voertuig remt, dan neemt de snelheid en dus de bewegingsenergie af. De remkracht verricht uitgaande arbeid tijdens het remmen. De uitgaande arbeid die de remkracht verricht, is even groot als de afname van de bewegingsenergie.

Bij een evenwichtssituatie met een constante snelheid is de ingaande arbeid even groot als de uitgaande arbeid. Voor een grotere constante snelheid is een grotere in- en uitstroom van arbeid nodig (zie figuur 278).



Figuur 277 – Leerstofschema voor het optrekken en afremmen van een voertuig



Figuur 278 – Leerstofschema voor het met constante snelheid rijden van een voertuig.

Aandachtspunten – Het is voor het begrijpen van evenwichtssituaties van belang om in de uitleg niet alleen in te gaan op de evenwichtssituatie, maar eerst de niet-evenwichtssituaties van optrekken en afremmen te bespreken. De verandering van de bewegingsenergie bij optrekken en afremmen is gemakkelijker te begrijpen dan het constant zijn van de bewegingsenergie bij constante snelheid. Ook is het nodig om te beschrijven hoe je van de ene evenwichtssituatie met een bepaalde snelheid komt in een andere evenwichtssituatie met een hogere of lagere snelheid.

In de formule voor de bewegingsenergie staat de snelheid in het kwadraat. Dit betekent dat snelheidsverandering een veel grote invloed heeft op de bewegingsenergie dan een verandering van de massa.

Arbeid, hoogte en zwaarte-energie

Als water uit een stuwmeer naar beneden stroomt, verdwijnt zwaarte-energie en

ontstaat elektrische energie. Bij het omhoog pompen van water verdwijnt elektrische energie en ontstaat zwaarte-energie.

Zwaarte-energie is de energie die een voorwerp heeft als het hoogte heeft boven het aardoppervlak:

$E_z = m \cdot g \cdot h$

Door een voorwerp op te tillen, vergroot je de zwaarte-energie door arbeid te leveren. Als een voorwerp valt, neemt de zwaarte-energie af.

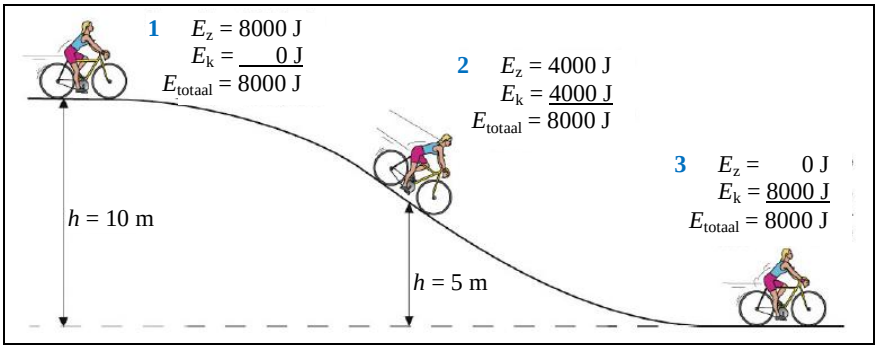
Aandachtspunten – Energieoverdracht bij zwaarte-energie is gemakkelijk in te zien bij het optillen van een voorwerp. Degene die tilt levert arbeid die omgezet wordt in zwaarte-energie. Het is lastiger om te zien wat er gebeurt bij afname van de zwaarte-energie. Bij een valbeweging is er namelijk geen sprake van energieoverdracht van het vallende voorwerp naar een ander systeem, maar van een energieomzetting van zwaarte-energie in bewegingsenergie – zoals hieronder bij 'Behoud van mechanische energie' wordt besproken.

Dezelfde situatie doet zich voor bij traplopen. Het is gemakkelijk in te zien dat degene die de trap oploopt arbeid levert die wordt omgezet in zwaarte-energie. Lastiger is te begrijpen wat er gebeurt bij het naar beneden lopen. Daar wordt zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie, maar bij iedere stap remt degene die de trap afloopt af en wordt bewegingsenergie omgezet in warmte.

Behoud van mechanische energie

Je staat met je fiets bovenaan een helling. Je hebt daar zwaarte-energie. Om de helling af te dalen hoef je geen moeite te doen. Terwijl je de helling afdaalt wordt de zwaarte-energie steeds kleiner, maar de bewegingsenergie wordt ondertussen steeds groter. In dit voorbeeld wordt de zwaarte-energie omgezet in bewegingsenergie. Dit is de *wet van behoud van mechanische energie*. Deze wet geeft aan dat de totale hoeveelheid mechanische energie niet verandert als er geen uitwendige krachten werken, dus dat dan zwaarte-energie en bewegingsenergie in elkaar worden omgezet.

In figuur 279 zie je dat de bewegingsenergie onderaan de helling gelijk is aan de zwaarte-energie bovenaan de helling: $E_z = E_k$. Dit geldt echter alleen als de wrijving niet wordt meegerekend. Dat is in de werkelijkheid niet het geval. Bij elke beweging komt ook altijd warmte vrij, en neemt de totale hoeveelheid mechanische energie af.



Figuur 279 – De wet van behoud van mechanische energie in het theoretische geval van afwezigheid van warmteontwikkeling door wrijving.

Aandachtspunten – De arbeid van de zwaartekracht is een interne kracht die de omzetting van zwaarte-energie in bewegingsenergie beschrijft. In dit geval geldt: $W_z = -\Delta E_z = +\Delta E_k$. Van belang is om in te zien dat hier geen sprake is van energieoverdracht van een arbeidsbron naar een voorwerp. De arbeid van de zwaartekracht kun je dus niet beschrijven als een energiestroom. Op het moment dat je een voorwerp optilt in het zwaartekrachtsveld is er wél sprake van energieoverdracht, namelijk van degene die tilt naar het getilde voorwerp. Dan mag je de arbeid van de spierkracht wel beschrijven als een energiestroom.

Praktijkvoorbeelden

Praktijkvoorbeelden laten zich soms gemakkelijker begrijpen met behulp van

warmte, arbeid en energie dan met behulp van kracht, snelheid en versnelling. Hieronder bespreken we een aantal voorbeelden uit sport en verkeer.

Figuur 280 – Gewichtheffen.

Gewichtheffen – Een gewichtheffer verbruikt chemische energie die was opgeslagen in de koolhydraten in de spieren. De koolhydraten worden verbrand en omgezet in warmte (als de lichaamstemperatuur tenminste niet is veranderd) en in zwaarte-energie. Tijdens het optillen van het gewicht levert het lichaam arbeid. Maar daarna, bij het hooghouden van het gewicht, niet meer – ondanks alle inspanning die de gewichtheffer daarvoor moet doen. De tilkracht zorgt dan niet meer voor energieoverdracht naar een de halter. Er is namelijk geen sprake meer van een verplaatsing in de richting van de tilkracht, ook niet als de gewichtheffer zich voor- of achteruit zou gaan bewegen.

Hoogspringen – Ondanks de ingewikkelde beweging van een hoogspringer is de beweging van het zwaartepunt van een hoogspringer betrekkelijk eenvoudig. Het zwaartepunt volgt een kogelbaan waarbij bewegingsenergie en zwaarte-energie in elkaar worden omgezet. Realiseer je dat het zwaartepunt van de springer onder de lat door beweegt.

Figuur 281 – Polsstokhoogspringen.

Polsstokhoogspringen – Bij het polsstokhoogspringen zorgt de polsstok ervoor dat een groot deel van de bewegingsenergie van de springer via veerenergie wordt omgezet in zwaarte-energie. Bij de aanloop wordt de bewegingsenergie omgezet in veerenergie van de polsstok. Daarbij levert de springer arbeid aan de polsstok. Bij het uitveren van de polsstok levert de stok arbeid aan de springer en wordt veerenergie omgezet in bewegingsenergie en zwaarte-energie.

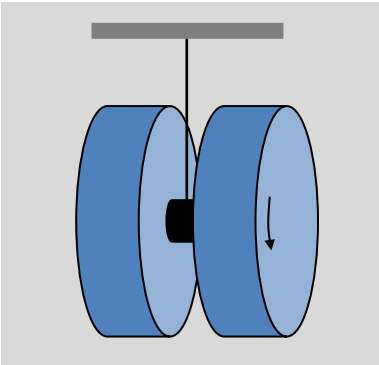
Fietsen met constante snelheid – Een fietser fietst met een snelheid van 20 km/h. Door op een gegeven moment uit alle macht te trappen neemt de snelheid van de fietser toe tot een topsnelheid van bijvoorbeeld 30 km/h wordt bereikt. De vraag is dan: “Waarom is er sprake van een maximale snelheid en neemt de snelheid niet onbeperkt toe, ook al blijf je uit alle macht trappen?” En deze vraag geldt niet alleen voor fietsen, maar ook voor andere voertuigen zoals scooters en auto’s.

Om dit te begrijpen is het nodig om in te zien dat er een tegenwerkende kracht is, waardoor energie in de vorm van warmte wordt afgevoerd naar de omgeving. De tegenwerkende kracht wordt veroorzaakt door weerstand van de lucht, maar ook door de weerstand van de band op het wegdek. De luchtweerstand neemt toe met de snelheid.

Trap je niet, dan neemt de snelheid van de fiets af tot stilstand. Als je remt sta je nog veel eerder stil. Trap je wel, dan neemt de snelheid van de fiets toe tot het moment dat je met de trapkracht evenveel energie toevoert aan de fiets als er door de weerstand wordt afgevoerd. Dan is de bewegingsenergie van de fiets constant. Ga je harder trappen, dan neemt de toevoer van energie en daarmee de bewegingsenergie van de fiets toe. Bij een toename van de snelheid wordt de luchtweerstand echter groter, en dus ook de afvoer van energie. De snelheid van de fiets wordt weer constant als aanvoer en afvoer van energie even groot zijn.

Vanuit een krachtenbeschouwing is het moeilijk voor te stellen hoe een in- en uitdeukende band kan zorgen voor een tegenwerkende kracht. Vanuit een energiebeschouwing is het gemakkelijker in te zien. Door het in- en uitdeuken van de band wordt warmte ontwikkeld in de band en wordt energie afgevoerd. Dit correspondeert met een tegenwerkende kracht.

De fiets met fietser is een van de efficiëntste energieomzetters. Een fietser heeft een rendement van zo’n 20%. Dat wil zeggen dat 20% van de omgezette chemische energie omgezet wordt in arbeid en daarmee in mechanische energie van de fiets met fietser.


Figuur 282 – Jojo.

Vliegwielbus – Bij afremmen wordt de bewegingsenergie van een voertuig omgezet in warmte die wordt afgevoerd naar de omgeving. Bij een stadsbus die regelmatig optrekt en afremt, loont het de moeite om de bewegingsenergie op te slaan in een vliegwiel, en deze opgeslagen energie bij het optrekken weer te benutten. Er blijft natuurlijk energieverlies optreden bij het aan- en afkoppelen van het vliegwiel. De opslag van energie in een vliegwiel is te vergelijken met wat er gebeurt bij een jojo. Zonder wrijvingskracht is er bij het dalen sprake van een omzetting van zwaarte-energie naar bewegingsenergie (ook in de vorm van

rotatie-energie) en bij het stijgen een omzetting van bewegingsenergie naar zwaarte-energie.

Botsen en kreukelzonde – Als een auto bij een crashtest tegen een botsblok botst, vervormt de kreukelzone van de auto en komt de auto tot stilstand. De auto heeft dan geen bewegingsenergie meer. Tijdens de botsing werkt er een grote kracht op de auto. Deze kracht verricht arbeid over de afstand die de auto indeukt. Daardoor neemt de bewegingsenergie af en wordt nul zodra de auto stilstaat. Als de kracht over een grotere afstand werkt, dan is de kracht kleiner en is er minder schade. De kreukelzone mag niet te slap zijn, maar ook niet te stug.

Figuur 283 – Crashtest.

Aandachtspunten – In de in deze paragraaf geschetste leerstofopbouw is de begripsvorming in eerste instantie gericht op verheldering van de praktijknabije situaties, uitgaande van de omgangstaal. Later wordt de begripsvorming steeds meer gericht op een opbouw van de vaktheorie met een veel preciezere vaktaal. Vaktheorie en praktijktoepassingen komen na verloop van tijd verder uit elkaar te liggen. De begrippen ontwikkelen zich van concreet en contextspecifiek naar abstract en voor meer contexten geldend (bijvoorbeeld: apparaat, omzetter, systeem).

Aan het begrip *energie* worden geleidelijk steeds meer kenmerken onderkend. Het begrip wordt daardoor steeds complexer. Voor de leerstofschema's betekent dit dat begrippen door steeds meeromvattende relaties met elkaar in verband worden gebracht.

6.6 Deeltjesmodel en molecuultheorie

In de natuurkundelessen wordt in het tweede leerjaar bij het onderwerp faseovergangen meestal het deeltjesmodel voor stoffen geïntroduceerd. Het dient dan tevens als een voorbeeld voor het werken met modellen in de natuurkunde. Met behulp van eenvoudige proefjes worden eigenschappen van de stoffen verkend (gassen, vloeistoffen of vaste stoffen). Deze eigenschappen van stoffen worden omgezet in eigenschappen van de deeltjes uit het deeltjesmodel. Een proefje als het even opendraaien van de gaskraan leidt tot de constatering dat gassen zich willen verspreiden in de ruimte waarin ze zich bevinden. De corresponderende eigenschap van de deeltjes is dan dat ze met veel tussenruimte kris kras door elkaar bewegen en dus na enige tijd overal in de ruimte zullen zijn. Een eigenschap van een gas is zo inzichtelijk gemaakt (verklaard) met eigenschappen van de deeltjes in het deeltjesmodel.

Hieronder worden enkele didactische problemen verwoord die zich voordoen bij de boven geschetste aanpak, en enkele suggesties gegeven voor een oplossing.

Taalgebruik

Model – In de moderne wetenschappelijke opvatting: empirische interpretatie van een mathematisch logisch systeem (dus van een set wiskundige vergelijkingen met beginvoorwaarden en randvoorwaarden).

Deeltje – Klein deel of gedeelte.

Figuur 284 – De betekenis van de woorden model en deeltje volgens *Van Dale – Groot woordenboek der Nederlandse taal*.

Natuurverschijnselen en deeltjesverklaringen

Allereerst geeft bovenstaande aanpak een karikatuur van het modelleren in de natuurkunde. De betekenis van het woord modelleren staat omschreven in het woordenboek (zie figuur 284). In deze zin is er bij het deeltjesmodel geen sprake van modelleren. In welke zin dan wel?

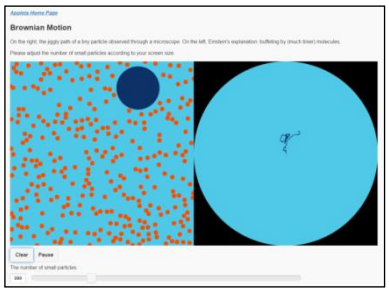
In de natuurwetenschappen blijkt de overgang van een beschrijving van de natuurverschijnselen vanuit de waarneming naar een inzichtelijke beschrijving vanuit de theorie over het algemeen pas mogelijk na een moeizaam en langdurig denkproces. Vanuit het gezichtspunt van de theorie kunnen ineens een groot aantal beschreven verschijnselen begrepen worden in onderlinge samenhang, met een beperkt aantal concepten en regels uit de theorie. In het geval van faseovergangen kunnen verschijnselen als smelten, stollen, verdampen en condenseren begrepen worden uit de beweging van de moleculen van de stof.

Leerboeken suggereren vaak ten onrechte dat de overgang van beschreven verschijnselen naar het begrijpen vanuit de theorie een soepele en vanzelfsprekende overgang is. Bovendien suggereren ze dat een enkel experiment al tot die stap kan leiden en een-op-een verbonden kan worden met eigenschappen van moleculen. In werkelijkheid zijn er vele experimenten gedaan met een schat aan

beschreven verschijnselen voordat de overstap naar een nieuwe theorie werd gemaakt.

Vervolgens is het woord ‘deeltje’ erg verwarrend. Eigenlijk betekent het woord deeltje een klein deel of gedeelte, wat suggereert dat het deeltje nog steeds een stof is maar dan een heel klein beetje. We willen juist de notie aanbrengen dat in het deeltjesmodel een deeltje niet dezelfde eigenschappen als de stof heeft, maar dat de eigenschappen van de verzameling van deeltjes overeenkomen met de eigenschappen van een stof.

Verder wordt in de leerboeken vaak impliciet en veelvuldig overgeschakeld tussen een beschrijving vanuit de eigenschappen van een stof en een beschrijving vanuit de eigenschappen van de deeltjes (micro-macro denken), met als risico dat eigenschappen van de stof worden toegekend aan het deeltje en andersom.



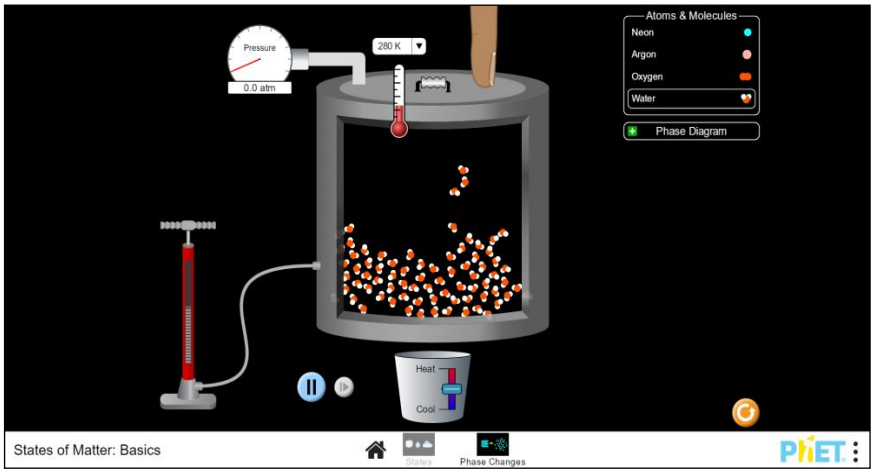
Figuur 285 – Schermbeeld van de computersimulatie ‘Brownian motion’.

Stofeigenschappen en molecuultheorie

Als instapprobleem voor het invoeren van moleculen kan gekozen worden voor de Brownse beweging. Toon het verschijnsel dat een rookdeeltje kris-kras beweegt, bijvoorbeeld met een computersimulatie als Brownian motion (zie figuur 285). De Brownse beweging is alleen te begrijpen door gebruik te maken van de voorstelling van een gas als bewegende moleculen die elastisch botsen.

Voor de behandeling van het deeltjesmodel als onderdeel van het onderwerp faseovergangen pleiten we voor de volgende kenmerken.

- De woorden *deeltje* en *model* worden niet meer gebruikt. In plaats hiervan wordt gebruik gemaakt van de woorden *molecuul* en *theorie*. Een molecuul is opgebouwd uit atomen die we ons voorstellen als harde bolletjes. Als analogie voor het botsen van moleculen tegen elkaar en de wand kunnen we het biljart gebruiken. Een computersimulatie als Molecular motion met bewegende en botsende bolletjes geeft ook een duidelijke voorstelling (zie figuur 286). Een trilmachine met fietskogeltjes is een redelijk alternatief, maar de aandacht wordt afgeleid door het feit dat je ziet dat er van buitenaf energie moet worden toegevoerd om de beweging van de fietskogeltjes in stand te houden.



Figuur 286 – Schermbeeld van de computersimulatie ‘Molecular motion’.

- De stoffen en faseovergangen worden eerst vanuit het rechtstreeks waarneembare beschreven, zowel de praktijkvoorbeelden uit de dagelijkse omgeving als de geschematiseerde voorbeelden uit het laboratorium. Dit leidt tot een in figuur 287 weergegeven samenhangende verzameling van stofeigenschappen, rechtstreeks gekoppeld aan het waarneembare. Bij de behandeling daarvan moet echter wel rekening worden gehouden met de in figuur 288 weergegeven leerlingdenkbeelden.

Eigenschappen van stoffen

- Een gas is samendrukbaar, verspreidt zich in de ruimte, mengt met andere gassen, kan kracht uitoefenen. Van een gas neemt de druk toe als je het samenperst, maar ook de

Leerlingdenkbeelden

- Bij faseovergangen is geen sprake van iets als massabehoud.
- Een gas heeft geen gewicht (of heeft minder gewicht dan de stof waaruit het verdampt is).
- De bubbels in kokend water bevatten lucht.
- Het water aan de buitenkant van een koud glas komt daar terecht via diffusie van binnenuit door de glaswand.
- Warmte (en ook koude) is een soort vloeistof, een substantie.
- Verwarmen betekent altijd dat de temperatuur stijgt. Ook bij kokend water blijft de temperatuur stijgen als je blijft verwarmen.
- Temperatuur is een mix van warmte en koude.
- Temperatuur is een stofeigenschap: sommige materialen zijn kouder dan andere.

Figuur 288 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond stoffen en faseovergangen.

Leerlingdenkbeelden

- De kleinste deeltjes van een stof hebben dezelfde macroscopische eigenschappen als die stof, inclusief bijvoorbeeld kleur.
- De deeltjes in een gas of vloeistof bewegen met dezelfde snelheid. In een vaste stof staan ze stil.
- Bij verwarmen worden de moleculen groter.
- Vacuüm bestaat niet, of trekt aan materialen in de buurt om zich te vullen.
- Tussen moleculen zit lucht (of iets anders: zuurstof, materie).

Figuur 290 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond moleculen.

temperatuur. Van een gas neemt de druk toe als je de temperatuur verhoogt.

- Een vloeistof is niet samendrukbaar, je kunt het schenken en laten uitvloeien, het vormt druppels, het kan krachten doorgeven in alle richtingen. De meeste vloeistoffen zetten uit bij verwarmen en krimpen bij afkoelen.
- Een vaste stof is niet samendrukbaar, vanuit zichzelf behoudt het zijn vorm, je kunt het in stukken verdelen. De meeste vaste stoffen zetten uit bij verwarming en krimpen bij afkoelen.
- Een vaste stof zoals ijs gaat smelten als je warmte toevoert. Tijdens het smelten is de temperatuur constant; daarna kun je de vloeistof verder verwarmen totdat de vloeistof gaat koken en verandert in een damp of gas.
- Bij de omgekeerde weg komt bij condenseren en stollen warmte vrij; dit is evenveel als op de heenweg was opgenomen.
- Eigenschappen van een stof zijn onder andere: temperatuur, volume, massa, hardheid, kleur, smaak, geur …

Figuur 287 – Een samenhangende verzameling van waarneembare stofeigenschappen.

- De molecuultheorie wordt als een samenhangende voorstelling gebracht, zoals weergegeven in figuur 289. Daarbij wordt niet gesuggereerd dat die voorstelling rechtstreeks en logisch volgt uit de waarnemingen. Wel is het zo dat geordende waarnemingen nodig waren om een nieuwe voorstelling te ontwikkelen. Ook bij de behandeling van deze molecuultheorie moet rekening worden gehouden met leerlingdenkbeelden zoals in figuur 290.

Eigenschappen van moleculen

- Een stof is een verzameling moleculen. Moleculen zijn een of meerdere atomen die aan elkaar vast zitten. Atomen mogen we ons voorstellen als harde bolletjes.
- In een gas bewegen de moleculen kris-kras door elkaar; ze botsen tegen elkaar en tegen de wand en veranderen voortdurend van snelheid. Bij de botsingen gaat geen energie verloren, dus de moleculen blijven in beweging. Tussen de moleculen in een gas is een grote tussenruimte. Bij ideale gassen trekken de moleculen elkaar niet aan. Als ze botsen met elkaar of met de wand dan is er een grote afstotende kracht.
- In een vloeistof zitten de moleculen tegen elkaar aan, maar ze kunnen wel langs elkaar heen bewegen. De moleculen trekken elkaar aan en het kost moeite ze uit elkaar te halen. Om van een vloeistof een gas te maken moet je dus de vloeistof verwarmen.
- In een vaste stof zitten de moleculen op een vaste plaats; ze trillen om hun evenwichtsstand. Dit betekent dat de moleculen samen een star geheel vormen. Bij verwarmen gaan de moleculen zo hard trillen dat ze los komen van hun vaste plaats en langs elkaar kunnen gaan bewegen; het is dan een vloeistof geworden.

Figuur 289 – Een samenhangende verzameling van niet-waarneembare eigenschappen van moleculen.

- De samenhangende groep van eigenschappen van de stof wordt inzichtelijk beschreven vanuit de samenhangende voorstelling van een verzameling moleculen.

Stofeigenschappen en molecuultheorie

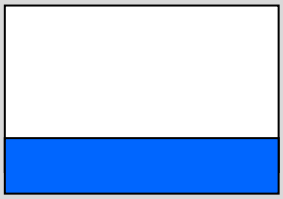
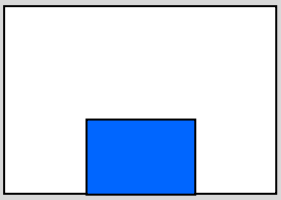
- Een gas is samendrukbaar vanwege de grote tussenruimte tussen de gasmoleculen; een vloeistof en een vaste stof zijn dat niet of nauwelijks vanwege het dicht op elkaar zitten van de vloeistof- en vaste-stof-moleculen.
- De druk van een gas kunnen we ons voorstellen als het voortdurend botsen van gasmoleculen tegen de wand van de ruimte waarin het gas zit.
- Temperatuur komt overeen met de gemiddelde bewegingsenergie van de moleculen. Verwarmen van een stof betekent dat de moleculen harder gaan bewegen. De toegevoerde warmte wordt omgezet in bewegingsenergie van de moleculen. Bij smelten en verdampen blijft de temperatuur constant maar neemt het volume toe. De toegevoerde warmte wordt omgezet in vanderwaalsenergie (plaatsenergie ten gevolge van de onderlinge elektrische krachten).

Figuur 291 – De koppeling tussen stofeigenschappen en de molecuultheorie.

Bovenstaande overwegingen geven aanwijzingen voor een leerstofopbouw waarin rekening wordt gehouden met de werkelijkheidsgerichte didactiek die gekenmerkt wordt doordat het leerproces begint en eindigt in de werkelijkheid van de

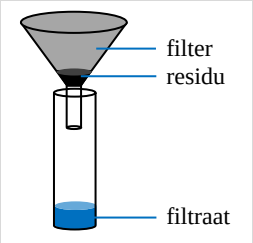
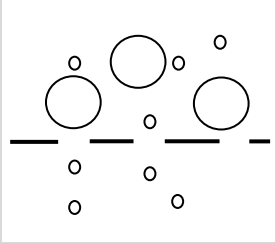
dagelijkse omgeving (zie figuur 292 en 293), en waarin aandacht wordt besteed aan het onderscheiden van vier beschrijvingsniveaus: beschrijven van praktijkvoorbeelden uit de dagelijkse omgeving vanuit de waarneming, beschrijven van schematische voorbeelden uit het laboratorium vanuit de waarneming, inzichtelijk beschrijven vanuit wetmatigheden voor stoffen en inzichtelijk beschrijven vanuit wetmatigheden voor moleculen (zie figuur 294).

Drieluik: IJs, water en waterdamp

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
Het water verdampt en het zout blijft achter.	Kokend water.	Een gas verspreidt zich in het vat. Een gas heeft geen vaste vorm en geen eigen volume.
		
Waterval.	Kraanwater.	Een vloeistof vult de bodem van het vat. Een vloeistof heeft een eigen volume maar geen eigen vorm.
		
Gletsjer.	IJsblokje.	Een vaste stof staat op de bodem van het vat. Een vaste stof heeft een eigen volume en een eigen vorm.

Figuur 292 – Suggesties voor een leerstofopbouw die start vanuit de dagelijkse omgeving.

Drieluik: Filtreren

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Het aquariumfilter zorgt voor schoon water.	Een filter maak je van een rond papiertje en een trechter.	Bij filtreren kunnen de grote deeltjes niet door het filter en de kleine wel.

Figuur 293 – Voorbeeld van de koppeling tussen de dagelijkse praktijk en de theorie via een laboratoriumsituatie.

Leer-jaar	Beschrijven van de praktijkvoorbeelden uit de dagelijkse omgeving	Beschrijven van de schematische voorbeelden in het laboratorium	Inzichtelijk beschrijven met wetmatigheden voor stoffen	Inzichtelijk beschrijven met wetmatigheden voor moleculen
	→ oriënteren	→ verwerven		→ verwerven
	← toepassen	← verwerken		← verwerken
2	Neerslag: hagel, sneeuw, regen, mist IJs in het vriesvak Condens in de badkamer IJs op de autoruit	Proefjes: • smelten van ijs tot water • verdampen van water op een horlogeglas • fluitketel met glasplaat in de stoom	Stoffen • gassen • vloeistoffen • vaste stoffen Verschillen wat betreft • vormbehoud • volumebehoud Faseovergangen • smelten en stollen • verdampen en condenseren • vervluchtigen en rijpen	Moleculen zijn opgebouwd uit atomen die je mag voorstellen als kleine harde bolletjes Eigenschappen: • kleine harde bolletjes • bewegen kris-kras door elkaar • botsen met elkaar en de wand • blijven in beweging
	Centrale verwarming Luchtstromen en klimaat Luchtstromen en binnenklimaat	Proefjes: • stroombuis • luchtstroomspiraal • geleidingskruis • gloeilamp	Warmtetransport • materiestroming • stofgeleiding • straling	Warmtetransport: • bewegende moleculen verplaatsen zich • bewegende moleculen geven beweging aan elkaar door • geen rol voor moleculen
3	Thermoskan Spouwmuurisolatie	Opstellingen met • joulemeter • temperatuurmeting bij faseovergangen	Warmtetoevoer en -afvoer bij faseovergangen $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ $Q = m \cdot r_{s,v}$ $Q_{in} = Q_{uit}$ Warmte-isolatie en temperatuurevenwicht Q_{in} en $Q_{uit} \leftrightarrow \Delta T$	De moleculen hebben twee soorten energie: • bewegingsenergie $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ • plaatsenergie E_{vdW} De temperatuur van een stof is evenredig met de gemiddelde kinetische energie van de moleculen De vanderwaalsenergie hangt samen met de elektrische kracht tussen moleculen vanwege aanwezige dipolen

Figuur 294 – Suggesties voor een leerstofopbouw met aandacht voor het voor het onderscheiden van de verschillende beschrijvingsniveaus.

6.7 Licht en beeldvorming

In deze paragraaf schetsen we een leerlijn ‘licht en beeldvorming’ voor het tweede en derde leerjaar. Gestart wordt met het begrip ‘zichtlijn’ dat ook in de wiskunde wordt gebruikt. Veel aandacht wordt besteed aan lichtbundels en lichtstralen als basis om de beeldvorming bij spiegels en lenzen te begrijpen. Speciale aandacht wordt gegeven aan mogelijke begripsproblemen bij leerlingen en aan suggesties om deze te voorkomen.

Het begrip ‘zien’ komt in allerlei variaties aan de orde, zoals het zien van lichtbundels of het zien van gekleurde voorwerpen. De natuurkundige beschrijving van het zien van voorwerpen komt relatief laat in de leerlijn.

Zichtlijnen

Als je een voorwerp ziet, kun je een rechte lijn trekken van je oog naar het voorwerp. Deze lijn heet een zichtlijn. Voorwerpen achter een ondoorzichtig voor-

werp zie je niet. Kijk je door de opening van een raam of een openstaande deur dan heb je een beperkt gezichtsveld. Het gezichtsveld wordt begrensd door de zichtlijnen langs de rand van de opening. Om een hoekje kun je niet kijken, tenzij je een spiegel gebruikt.

Aandachtspunten – Leerlingen denken soms dat ogen licht geven en dat er een lichtbundel vanuit het oog naar het te bekijken voorwerp gaat. Het idee van zichtlijn sluit aan bij kijken als activiteit van het oog. In een later stadium wordt duidelijk dat het licht van het voorwerp naar het oog gaat en niet andersom.

Lichtbundels

Met de demonstratie in de in figuur 295 geschetste lespraktijk worden drie belangrijke eigenschappen van licht duidelijk. Allereerst: een lichtbundel zie je niet. Dat is anders dan veel leerlingen denken. Zij zien wel lichtbundels op plaatjes van schijnwerpers, zaklampen en vuurtorens. De lichtbundel wordt pas zichtbaar als het licht op een voorwerp valt: het plafond, de rand van de koker of het stof in de lichtbundel. Kennelijk moet het licht weerkaatst worden naar je oog om gezien te worden. Een tweede eigenschap van licht is dat een lichtbundel rechte grenslijnen heeft die lopen van de lamp via de kokeropening naar het plafond. En ten slotte: je ziet een lichtbron als licht van de lichtbron rechtsreeks in je oog valt.

Lespraktijk

Een leraar heeft een koker over een lamp gezet en het lokaal verduisterd. Op het plafond is een grote ronde lichtvlek te zien. Tot verbazing van de leerlingen zie je geen lichtbundel. Wel is licht te zien aan de bovenrand van de koker. Als de leraar een vel papier in de lichtbundel houdt, zie je wel licht. Ook met wat stof wordt de lichtbundel zichtbaar. Onderzoek aan de lichtbundel laat zien dat het een kegelvorm is met rechte zijkanten.

De leraar vervolgt met de vraag waar je de lichtbron kunt zien en waar niet. Het blijkt dat je de lichtbron kan zien als je je hoofd in de lichtbundel houdt. Er is dan een zichtlijn van oog naar lamp. Je wordt dan verblind door het licht van de lichtbron.

Het klassengesprek wordt afgesloten met een discussievraag: “De zon schijnt op een raam. Waarom is het dan overal in de kamer licht?”

Figuur 295 – Demonstratie van de eigenschappen van licht.

Schaduw

In de in figuur 296 geschetste lespraktijk spelen twee belangrijke eigenschappen van licht een rol. Allereerst: je vindt de schaduw door de grenslijnen te trekken van de lichtbron langs het voorwerp tot de schaduwplek. Het hele gebied achter het voorwerp is schaduw. Dat is meer dan de schaduw die je ziet op de grond of de muur. Ten tweede: als je in de schaduw zit, zie je de lichtbron niet. Die lichtbron zit achter het voorwerp dat de schaduw maakt. Voor leerlingen is nieuw dat je de lichtbron niet ziet in de schaduw.

Lespraktijk

Een leraar start de les over schaduw met de volgende situatie. Op een zomerse dag staat de zon halfhoog aan de hemel en je bent buiten op zoek naar schaduw. Waar vind je de schaduw? Eindelijk heb je een schaduwplekje gevonden onder een boom. Teken de zon, de boom en het schaduwplekje. Kun je de zon nog zien op je schaduwplekje?

Tijdens de les worden de volgende voorbeelden gebruikt: lopen langs een lantaarn, schimmenspel, beschermen tegen de zon, en een potlood onder een TL-buis.

Het klassengesprek wordt afgesloten met een discussievraag: “Op een bewolkte dag is er geen schaduw. Hoe komt dat?”

Figuur 296 – Demonstratie van de eigenschappen van licht en schaduw.

Spiegels en lichtbundels

Uit de in figuur 297 geschetste lespraktijk blijkt dat de spiegel het licht van de zon in een gerichte bundel weerkaatste. En gek genoeg is de lichtvlek niet rechthoekig. Verder blijkt dat je het zonlicht weerkaatst door het spiegeltje schuin in de lichtbundel te houden. Dit is nader te onderzoeken met een smalle lichtbundel of lichtstraal die je op de spiegel laat vallen, zoals in het drieluik van figuur 298. Dan blijkt dat de hoek van inval *i* gelijk is aan de hoek van terugkaatsing *t*, soms ten onrechte hoek van uitval genoemd. In vervolg daarop kan ook de terugkaatsing van licht door een holle spiegel aan de orde komen, zoals in het drieluik van figuur 299.

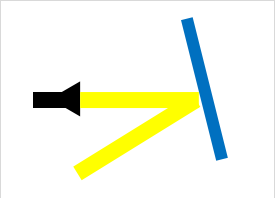
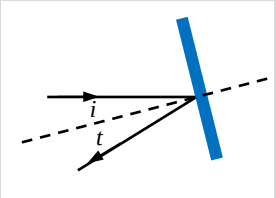
Lespraktijk

Op een zonnige dag schijnt de zon in het lokaal. De leraar geeft de leerlingen kleine rechthoekige zakspiegeltjes, met de vraag of ze alle wanden van het lokaal kunnen beschijnen.

Na heel wat spelen met de spiegeltjes blijkt dat de wand tegenover het raam het moeilijkst te beschijnen is. Met twee spiegeltjes lukt het wel.

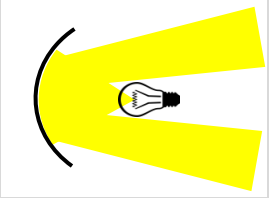
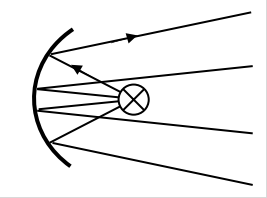
Figuur 297 – Demonstratie van de terugkaatsing van licht.

Drieluik: Een discobal

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Een discobal weerkaatst het licht.	De vlakke spiegel weerkaatst de lichtbundel.	Een lichtstraal weerkaatst volgens hoek van inval = hoek van terugkaatsing.

Figuur 298 – Drieluik over de weerkaatsing van licht op een vlakke spiegel.

Drieluik: Een lamphouder

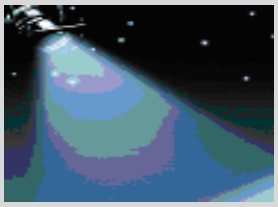
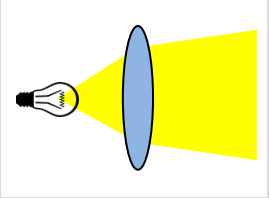
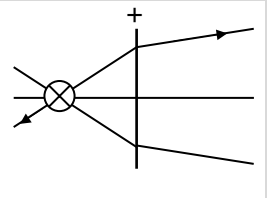
Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
De lamphouder weerkaatst het achterwaartse licht naar voren.	De holle spiegel convergeert de divergente lichtbundel.	Een lichtstraal weerkaatst volgens hoek van inval = hoek van terugkaatsing.

Figuur 299 – Drieluik over de weerkaatsing van licht op een holle spiegel.

Lenzen en lichtbundels

Schijnwerpers worden in het theater gebruikt. Maar hoe krijg je zo'n mooie gerichte lichtbundel? Dat wordt duidelijk uit het drieluik van figuur 300 over de breking van licht door een bolle lens.

Drieluik: De schijnwerper

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
De schijnwerper geeft een gerichte lichtbundel.	De bolle lens convergeert de divergente lichtbundel.	De bolle lens breekt de lichtstraal naar het midden van de lens.

Figuur 300 – Drieluik over de breking van licht door een bolle lens.

Aandachtspunten – In het voorgaande is veel aandacht besteed aan lichtbundels en de invloed van spiegels en lenzen op een lichtbundel. Tegelijkertijd is de lichtstraal geïntroduceerd als een zeer smalle lichtbundel. Een lichtstraal kun je maken met een smalle spleet. Dit idee van een lichtstraal kan worden versterkt door te kijken naar een laser. Begrip van lichtbundels en lichtstralen is nodig als basis voor het verdere onderwijs over licht: de beeldvorming met spiegels en lenzen.

Licht en kleur

In het theater worden gekleurde lichtbundels gebruikt. Hoe maak je die? Met een

Leerlingdenkbeelden

- Bij het zien van een voorwerp lopen er lichtstralen vanuit het oog naar het voorwerp.
- Als het helemaal donker is kun je voorwerpen wel zien, als je maar lang genoeg wacht.
- Het licht van een lichtbron komt tot een bepaalde afstand en stopt dan geheel. Deze afstand hangt af van de helderheid van de lichtbron, en of het dag of nacht is.
- Een schaduw is 'iets': een echt voorwerp of een donkere reflectie van een voorwerp.
- Lichtstralen kunnen de hoek om buigen: als zonlicht naar binnen valt, kan het de hele kamer verlichten.
- Laserstralen zijn rechtstreeks waarneembaar (dat er stofdeeltjes in de lucht nodig zijn, wordt niet opgemerkt).
- De kleur van een voorwerp wordt bepaald door het voorwerp, en niet door het licht dat op het voorwerp invalt.
- Licht kaatst alleen terug op een spiegel en een glad oppervlak, niet op een ruw oppervlak.

Figuur 301 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond licht en zien.

prisma kun je laten zien dat wit licht bestaat uit licht met alle kleuren van de regenboog. Laat je wit licht invallen op een kleurfilter, dan worden alle kleuren tegengehouden behalve de kleur van het filter.

Leerlingen weten uit eigen ervaring dat je de kleur van kleren soms beter buiten de winkel kunt bekijken dan binnen de winkel in kunstlicht. Ook auto's veranderen van kleur als ze verlicht worden door de gele natriumlampen van straatlantaarns. Dit kunnen ze beter begrijpen als ze weten dat voorwerpen licht absorberen en reflecteren. De kleur van het voorwerp die je ziet is de kleur van het gereflecteerde licht. Een witte lamp op een rood voorwerp geeft de rode kleur, maar een gele lamp op een rood voorwerp niet. Een afsluitende discussievraag kan zijn: "Wat is het verschil tussen het weerkaatsen van licht op een spiegel en op een vel wit papier?"

Zien

Het ligt voor de hand om leerlingen al eerder te vragen wanneer je een boek dat op tafel ligt kunt zien. De vragensteller wil vanuit een natuurkundig standpunt uitkomen bij het inzicht dat je een voorwerp alleen kunt zien als licht via het voorwerp in je oog komt. Leerlingen zeggen meestal dat je het boek kunt zien als je er naar kijkt, als er voldoende licht is, en als er niets tussen de waarnemer en het boek staat. Meestal dus een weinig vruchtbaar startpunt voor de ontwikkeling van het begrip 'zien'.

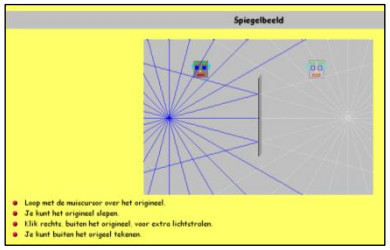
Het kijken naar gekleurde voorwerpen onder een gekleurde lamp lijkt een uitstekende situatie om het zichtconcept te introduceren. De weerkaatsing en absorptie van licht op het voorwerp gebruik je voor de verklaring van de kleur van gekleurde voorwerpen in gekleurd licht. Het zien van een voorwerp houdt kennelijk in dat licht via het voorwerp in je oog komt. Hoewel de situatie van het boek op tafel geen vruchtbare start oplevert voor begripsontwikkeling, is het wel geschikt om na te gaan of het zichtconcept begrepen is. En een discussievraag: "Kun je een wit vel papier zien in een aardedonkere kelder?"

Kijken in spiegels

Een leraar stelt de vraag in welke situaties je spiegels gebruikt om niet naar jezelf te kijken. De leerlingen noemen de autospiegel en de winkelspiegel bij de kassa. Spiegels gebruik je dan om achterom te kijken of om een hoekje te kijken.

Een mooie proef om de plaats van het spiegelbeeld te bepalen is een kaars voor een glazen ruit. In het spiegelbeeld kun je je vinger in de vlam houden of een bekerglas over het spiegelbeeld zetten. Het is duidelijk dat het spiegelbeeld even ver achter de spiegel zit als het voorwerp ervoor. Lichtstralen gaan van het voorwerp via de spiegel naar het oog, maar ze lijken te komen uit het beeld.

Leerlingen denken soms dat het spiegelbeeld op de spiegel zit. Teken met hen bijvoorbeeld de omtrek van je hoofd op de spiegel. Ook kun je laten zien dat je de persoon voor de spiegel moet verlichten en niet de spiegel. Discussievragen zijn onder andere: "Op welke afstand stel je scherp als je een foto van je spiegelbeeld maakt?", "Moet je jezelf of de spiegel verlichten als het donker is?", "Als je de omtrek van je hoofd als spiegelbeeld tekent, hoe ziet dat er dan uit?" en "Hoe groot moet een verticale passpiegel zijn om jezelf helemaal te zien?"



Figuur 302 – Een computerprogramma kan een mooi hulpmiddel zijn bij het tekenen van de stralengang en het bepalen van de plaats van het beeld bij een vlakke spiegel.

Camera obscura

Een spectaculaire camera obscura kan worden gemaakt door een lokaal te verduisteren en in de verduistering een klein rond gat aan te brengen. De buitenwereld wordt afgebeeld op de wand tegenover het gat. Leerlingen verbazen zich over de bewegende beelden en vragen zich af hoe het beeld gevormd wordt. De beeldvorming in een camera obscura kan begrepen worden met het begrip lichtstraal en dat je een beeld opbouwt uit allemaal kleine vlekken. Het verdient aanbeveling om te kijken (als demonstratie of als Youtube-film) wat er verandert als je het gat groter maakt of een andere vorm geeft, wat er gebeurt als je een dunne bolle lens voor het gat houdt, en waar het scherpe beeld dan ligt.

Lenzen en beeldvorming

In een camera wordt een voorwerp klein afgebeeld op een beeldchip. Bij een

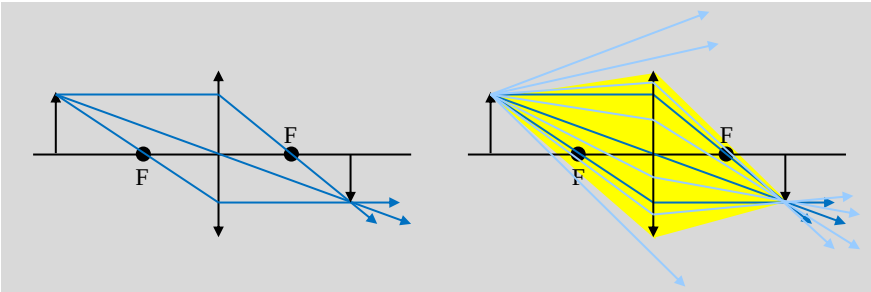
Leerlingdenkbeelden

- Het kunnen zien van het spiegelbeeld van een voorwerp hangt alleen af van de posities van de spiegel en het voorwerp, niet van de positie van de waarnemer.
- Hoe verder je van een spiegel af gaat staan, des te meer je van jezelf kunt zien.
- Het beeld in de spiegel bevindt zich als een afbeelding op het oppervlak van de spiegel (achter de spiegel is toch niets).
- Alle lichtstralen die op een lens invallen gaan door het brandpunt aan de andere kant van de lens.
- Het licht van een voorwerp gaat in zijn geheel door de lens, wordt daar omgedraaid en vergroot of verkleind en komt ten slotte als beeld op een scherm. Zonder scherm is er geen beeld.
- Bij beeldvorming met een lens is er altijd een scherp beeld: hoe groter de afstand tussen de lens en het scherm is, des te groter is het (altijd scherpe) beeld.
- Het beeld wordt altijd gevormd in het brandpunt van de lens.
- De grootte van het beeld hangt af van de diameter van de lens.
- Als een lens gedeeltelijk wordt afgedekt, zal hetzelfde deel van het beeld verdwijnen (of juist het tegenovergestelde deel omdat de lens boven en onder omwisselt).

Figuur 303 – Mogelijke leerlingdenkbeelden rond beeldvorming bij spiegels en lenzen.

beamer wordt de lcd-dia groot afgebeeld op een scherm. Leerlingen staan er van te kijken dat je een kaarsvlam met een bolle lens kunt afbeelden op de muur. Bijzonder is het bewegende beeld. Voor leerlingen is het goed om te zien dat het beeld onscherp wordt als je het scherm verplaatst. Ook kun je het beeld veranderen door de afstand tussen de kaars en de lens groter of kleiner te maken. De beeldvorming kun je construeren met de constructiestralen en berekenen met de lenzenformule.

Computersimulaties waarbij je kunt schakelen tussen lichtbundels en lichtstralen helpen bij leggen van een relatie tussen de loop van de lichtstralen en de beeldvorming. Bijpassende discussievragen zijn: “Hoe verandert het beeld als je de helft van de lens afdekt?” en “Op welke plaatsen kun je het scherm zetten voor een scherp beeld?”



Figuur 304 – De drie constructiestralen bij een bolle lens (links), als speciale gevallen van een veelheid aan lichtstralen in de (gele) lichtbundel die bij de beeldvorming betrokken is (rechts).

Beeld

Zowel bij de spiegel als bij de lens wordt het begrip ‘beeld’ geïntroduceerd vanuit de waarneming. Een spiegelbeeld staat even ver achter de spiegel als het voorwerp voor de spiegel staat. Vanuit het zichtconcept wordt een lichtstraal getekend vanuit het spiegelbeeld naar het oog en vanuit het voorwerp naar de spiegel. Dan blijkt de terugkaatsingswet voor een lichtstraal te gelden.

Aandachtspunten – De combinatie van lamp, lcd-dia en lens zorgt voor een afbeelding op het scherm. In eerste instantie noemen we dat wat je op het scherm ziet een beeld. Dat beeld kan scherp of onscherp zijn. Dat kun je instellen met de afstanden tussen voorwerp, lens en scherm. Pas later identificeren we vanuit een theoretisch standpunt een beeld met het snijpunt van lichtstralen. Dan is een beeld dus per definitie scherp.

Lenzenformule

Voor inzicht in de beeldvorming bij een bolle lens is het van belang enkele bijzondere situaties te onderscheiden wat betreft de voorwerpsafstand v, de beeldafstand b, de brandpuntsafstand f en de vergroting N. Deze situaties zijn weergegeven in figuur 305.

$1/f = 1/b + 1/v$ $S = 1/f$		$N = b/v$	Voorbeeld
v groot	$b \approx f$	klein	camera
$v > 2 \cdot f$	$f < b < 2 \cdot f$	$N < 1$	camera
$v = 2 \cdot f$	$b = 2 \cdot f$	$N = 1$	
$f < v < 2 \cdot f$	$b > 2 \cdot f$	$N > 1$	projector
$v \approx f$	b groot	groot	projector
$v < f$	geen beeld	geen beeld	

Figuur 305 – Te onderscheiden situaties bij de beeldvorming met een bolle lens.

De juiste getallen invoeren in een formule en komen tot het juiste antwoord betekent lang niet altijd dat de leerling natuurkundig inzicht heeft in de berekende

situatie. Daarom is het goed ook naar globale verbanden te vragen: “Hoe verandert de ene grootheid als ik de andere grootheid verander?” Dat kan bijvoorbeeld in de volgende situaties.

- Met het oog scherp stellen op een voorwerp dat verder weg staat. Beeldafstand b is vast en v groter, dus f groter, dus lenssterkte kleiner (lens platter): veraf kijk je met een platte ooglens. Beeldafstand b is vast en v groter, dus N kleiner: een voorwerp veraf zie je kleiner.
- Bij een projector het scherm verder weg zetten. Brandpuntsafstand f vast en b groter, dus v kleiner, dus N groter: voor een groter beeld zet je het scherm verder weg.
- Met een camera scherp stellen op een voorwerp verder weg. Brandpuntsafstand f vast en v groter, dus b kleiner, dus N kleiner: een voorwerp verder weg staat kleiner op de foto.

Aandachtspunten – Rekenen met de lenzenformule is voor leerlingen lastig vanwege het rekenen met breuken door de inversen in de formule. Bij eenvoudige getallen kun je berekeningen uitvoeren door de breuken gelijknamig te maken en de inverse te berekenen door teller en noemer om te draaien. Leerlingen vinden het rekenen met breuken lastig. Dat je teller en noemer met hetzelfde getal mag vermenigvuldigen is meestal voor hen een mysterieuze truc. Ook het omdraaien van teller en noemer om de inverse te berekenen is voor hen moeilijk in te zien.

Rekenen met de rekenmachine levert vaker een goed antwoord. Leerlingen gebruiken de deeltoets [÷] en de inversetoets [1/x]. Dan reken je $1/f$ uit met $(1[\div]b) + (1[\div]v)$, en reken je f uit door hiervan de inverse te nemen [1/x].

6.8 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: hoe is de begripsontwikkeling van leerlingen – gezien het karakter van de mogelijke leerlingdenkbeelden en didactische benaderingen – in de verschillende leerstofdomeinen te stimuleren?

Een antwoord op deze vraag is allereerst het herkennen en erkennen van de mogelijke leerlingdenkbeelden in een bepaald leerstofdomein, en het daarop anticiperen door het aan de orde stellen van praktijksituaties, het stellen van vragen en het voorleggen van opgaven die die denkbeelden – indien aanwezig bij (een deel van) de leerlingen – oproepen en daarmee bespreekbaar maken. Bij dat oproepen en bespreken kan gebruik worden gemaakt van instapproblemen en drieluiken (die de verbinding leggen tussen praktijk-, laboratorium- en theoriesituaties) en van checkvragen, discussievragen en concept maps (zie hoofdstuk 2). Of, met andere woorden: onderwijsleeractiviteiten die het denken van leerlingen zichtbaar maken (al dan niet aansluitend op al bekende leerlingdenkbeelden) en waarop direct feedback te geven is aan de individuele leerling.

Een tweede antwoord op deze vraag is het zorgen voor een zorgvuldige leerstofopbouw binnen elk van de leerjaren en over de opeenvolgende leerjaren heen. De mogelijkheden daarvoor zijn echter beperkt: de leerstofopbouw, zeker die over de leerjaren heen, wordt voor een groot deel bepaald door het op school gebruikte leerboek. Toch is het voor de begripsontwikkeling van de leerlingen van groot belang dat de begripsvorming in eerste instantie gericht is op verheldering van de praktijktoepassingen uitgaande van de omgangstaal, en later steeds meer gericht is op een opbouw van de vaktheorie met een veel preciezere vaktaal. Daarbij zoek je naar onderwijsleeractiviteiten die bij leerlingen de behoefte oproepen om een verschijnsel te verklaren, eerst concreet en informeel in alledaagse taal en daarna abstract en formeel in vaktaal. Een dergelijke leerstofopbouw kun je zien als een aanvulling op het in paragraaf 2.8 genoemde vijftal *leerprincipes* uit de leerpsychologie: *opbouwen*.

Opbouwen – Laat de kennisverwerving van de leerlingen plaatsvinden in een zorgvuldig doordachte leerstofopbouw van concreet en contextspecifiek naar abstract en meer algemeen binnen elk leerjaar en over de leerjaren heen.

7 Vaardigheidsontwikkeling

7.1 Inleiding

Naast de leerstofopbouw en begripsontwikkeling in de verschillende leerstofdomeinen uit hoofdstuk 6 gaat het in dit hoofdstuk om de vaardigheidsontwikkeling. Het aanleren van *procedurele vaardigheden* zoals werken met grootheden, eenheden, tabellen, diagrammen en formules, werken met meetinstrumenten en meten met de computer is in hoofdstuk 2 al aan de orde geweest. In dit hoofdstuk gaat het om de algemene vaardigheden probleemoplossen, onderzoeken, 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 ontwikkelen van algemene vaardigheden of karakteristieke werkwijzen is een zaak van lange adem, en is dan ook – als het goed is – ondergebracht in een aantal *leerlijnen* 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 vaardigheden 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 probleemoplossen, onderzoeken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming – mogelijke leerlijnen 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. Daarnaast 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 éénstapsvragen 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 Ω loopt een stroom van 5,0 A. Hoe groot is de spanning over de weerstand?
- Een lamp van 40 W is aangesloten op het stopcontact, dat een spanning van 230 V levert. Hoe groot is de stroomsterkte door de lamp?
- Een auto met een massa van 900 kg rijdt met een snelheid van 28 m/s. Bereken de kinetische energie van de auto.
- Een auto rijdt met een snelheid van 100 km/h. Hoe groot is deze snelheid in m/s?
- Op een voorwerp met een massa van 8,0 kg wordt een kracht van 5,0 N uitgeoefend. Hoe groot is daardoor de versnelling van het voorwerp?

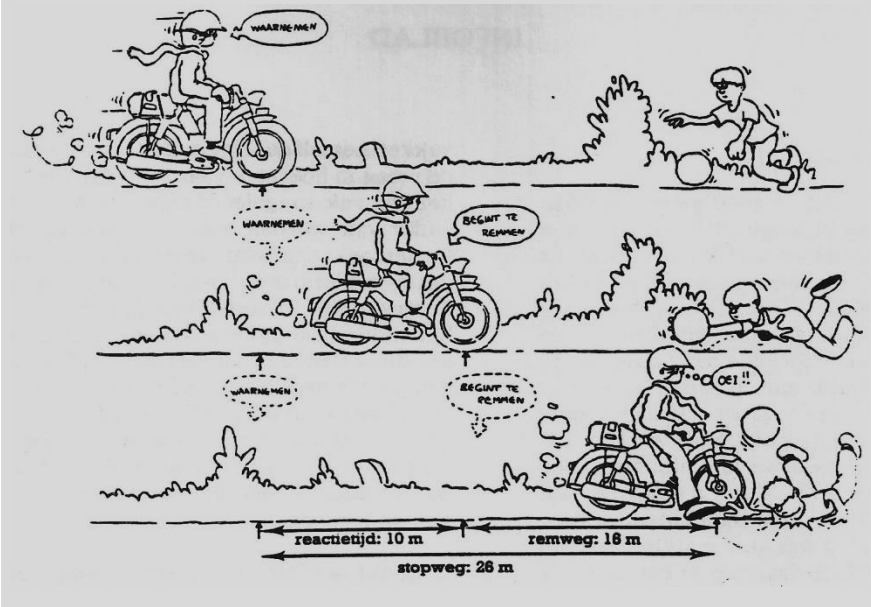
Figuur 306 – Voorbeelden van standaardvraagstukken.

Problemen

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

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

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

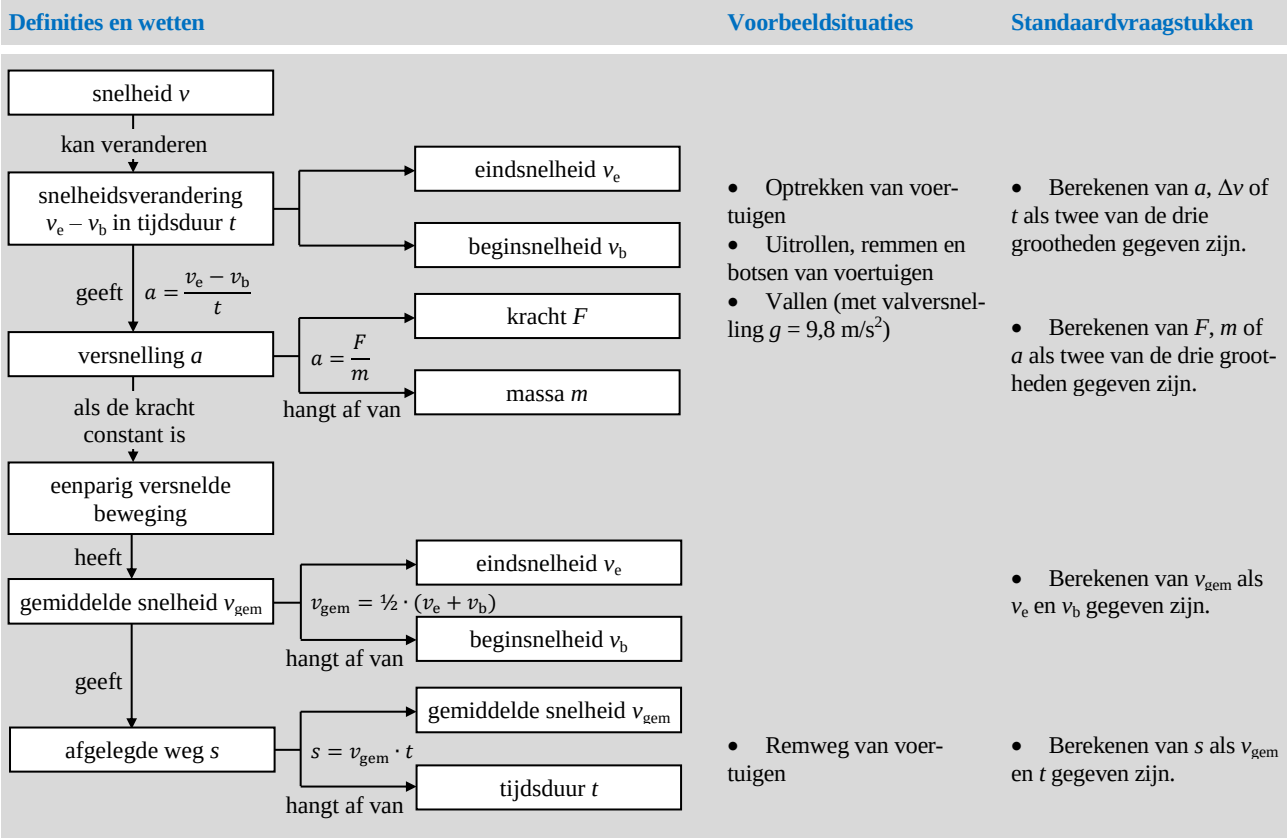
In het vmbo zullen veel opgaven of opgave-onderdelen standaardvraagstukken zijn (zie paragraaf 2.7). Dat geldt ook voor de onderbouw havo-vwo, maar daar komen met het oog op de voorbereiding op de bovenbouw wat vaker opgaven voor die om meer dan één denkstap vragen.

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 stroom-sterkte? 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.



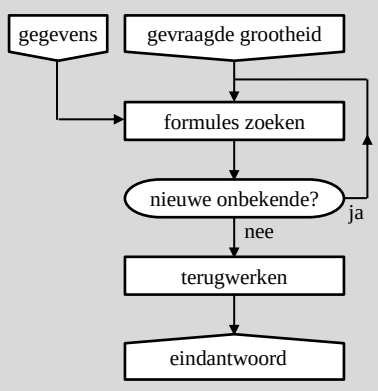
Figuur 308 – Gedeelte van de kennisbasis voor het leerstofdomein kracht en beweging.

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.



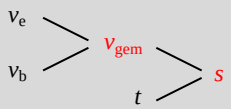
Figuur 309 – Stroomschema voor probleemoplossen 'vanuit het gevraagde'.

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

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.

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 km/h = 36·10^3/3600 = 10 m/s Eindsnelheid: v_e = 0 m/s Remtijd: t = 3,0 s
Plannen	Gevraagd: remweg s. • De remweg is te berekenen met $s = v_{gem} \cdot t$. De tijdsduur t is gegeven, en de nieuwe onbekende is dan de gemiddelde snelheid v_{gem}. • De gemiddelde snelheid is te berekenen met $v_{gem} = ½ \cdot (v_e + v_b)$. 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.



Figuur 311 – 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.

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.

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

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 het 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.

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.

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: $R_v = R_1 + R_2 + \ldots$
- Bereken met die vervangingsweerstand de stroomsterkte in de schakeling: $I = U/R_v$
- Bereken met die stroomsterkte de spanningen over elk van de weerstanden: $U_1 = I \cdot R_1$, $U_2 = I \cdot R_2$, …

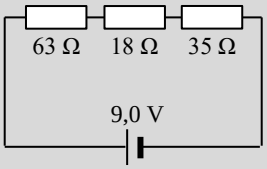
Controleren – Ga in de volgende stap na of de berekende spanningsverdeling over de in serie geschakelde weerstanden juist is.

- 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: $U = U_1 + U_2 + \ldots$

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.

Spanningsverdeling

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

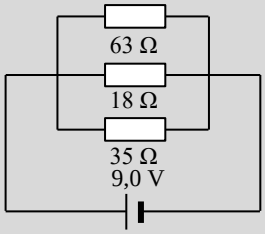


Bereken de spanning over elk van de drie weerstanden.

Figuur 314 – Voorbeeld van een opgave over spanningsverdeling.

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: $I_1 = U/R_1$, $I_2 = U/R_2$, …

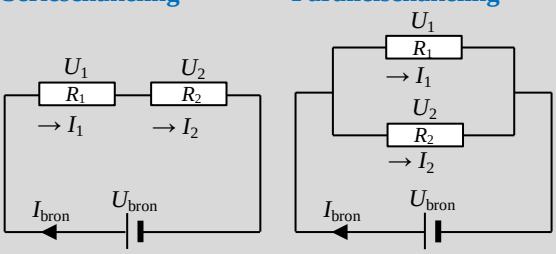
Controleren – Ga in de volgende drie stappen na of de berekende stroomverdeling over de parallel geschakelde weerstanden juist is.

- Bereken de vervangingsweerstand: $1/R_v = 1/R_1 + 1/R_2 + \ldots$
- 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: $I = I_1 + I_2 + \ldots$

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.

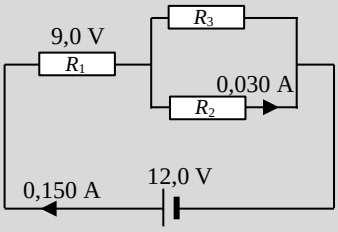


	Serieschakeling	Parallelschakeling
Spanningsregel	$U_{bron} = U_1 + U_2$	$U_{bron} = U_1 = U_2$
Stroomregel	$I_{bron} = I_1 = I_2$	$I_{bron} = I_1 + I_2$
Weerstandsregel	$R_{tot} = R_1 + R_2$	$1/R_{tot} = 1/R_1 + 1/R_2$

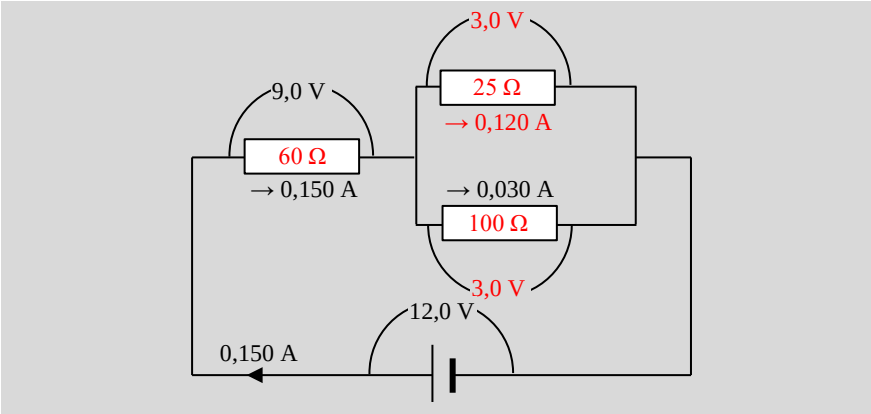
Figuur 316 – De spannings-, stroom- en weerstandsregel in serie- en parallelschakelingen.

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.

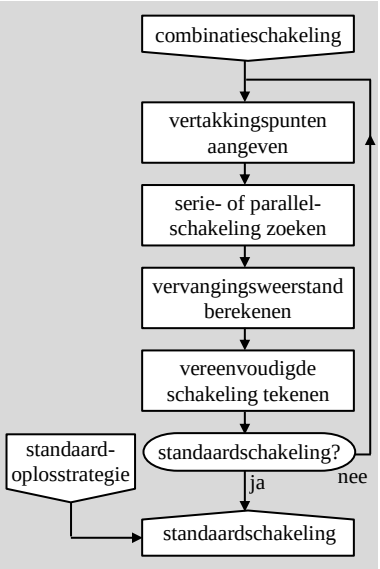
	U (V)	I (A)	R (Ω)	
Bron	12,0	0,150	80	← $U_{bron} = I_{bron} \cdot R_{tot}$
R_1	9,0	0,150	60	← $U_1 = I_1 \cdot R_1$
R_2	3,0	0,030	100	← $U_2 = I_2 \cdot R_2$
R_3	3,0	0,120	25	← $U_3 = I_3 \cdot R_3$
$R_2 + R_3$	3,0	0,150	20	← $U_{2,3} = I_{2+3} \cdot R_{2+3}$
	U-regel ↑	I-regel ↑	R-regel ↑	

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:

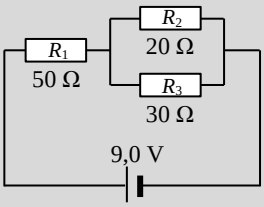
- Teken de gegeven *combinatieschakeling*.
- Geef in die tekening de *vertakkingspunten* aan: de punten waar de stroom zich splitst in twee (of meer) stromen en de punten waar twee (of meer) stromen weer bij elkaar komen.
- Zoek tussen twee vertakkingspunten naar een *serieschakeling* of een *parallelschakeling*.
- 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 standaardschakeling ontstaat.



Figuur 322 – Stroomschema voor het vereenvoudigen van een combinatieschakeling tot een standaardschakeling.

Combinatieschakeling

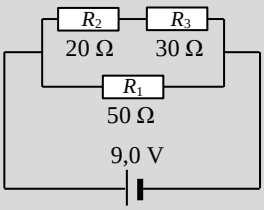
In de figuur hiernaast zie je een schakeling van drie weerstanden, aangesloten op een spanningsbron.
Bereken de stroomsterkte in de weerstanden R_2 en R_3.



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.

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.

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.

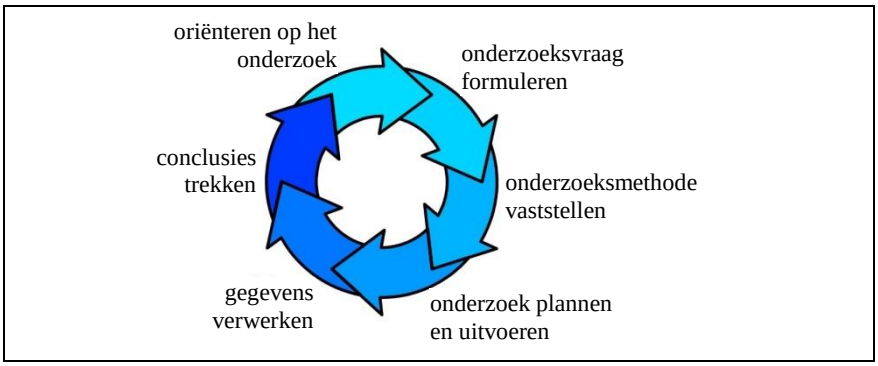
Onderzoeksmethode vaststellen – Bij deze stap kiezen de leerlingen een onderzoeksopzet en werken die uit. Ze bepalen hoe het object waaraan ze gaan meten eruit moet zien, welke meetapparatuur ze gaan gebruiken, wat ze precies gaan meten en hoeveel metingen ze gaan doen. Ook bedenken ze hoe de meetgegevens 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

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.

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.

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: *Welke stoffen isoleren goed?*
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 oplostijd).
- Ze gebruiken 5 gram witte kristalsuiker.
- Ze gebruiken 100 ml water van 80 ^{o}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 oplostijd 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 328 – Onderwijsleeractiviteit voor het oefenen in het beoordelen van de betrouwbaarheid van meetgegevens.

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: Show*de*fysica 2 (pg. 48).

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 textielgarens, 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
Opdrachtenblad

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

Inzicht

6 Als je een verband wilt aantonen let je op .....
.....

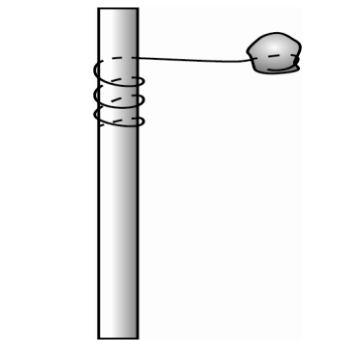
7 Instelbare grootheden zijn .....
.....
Afhankelijke grootheden zijn .....
.....

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 aantoont.

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

Practicumwerkblad
De specht
Opdrachten- en verslagblad



Vanmiddag gaan we in het techniekklokaal 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 stuiteren. 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.

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

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	

Benodigdheden

- Stopwatch

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
……
……

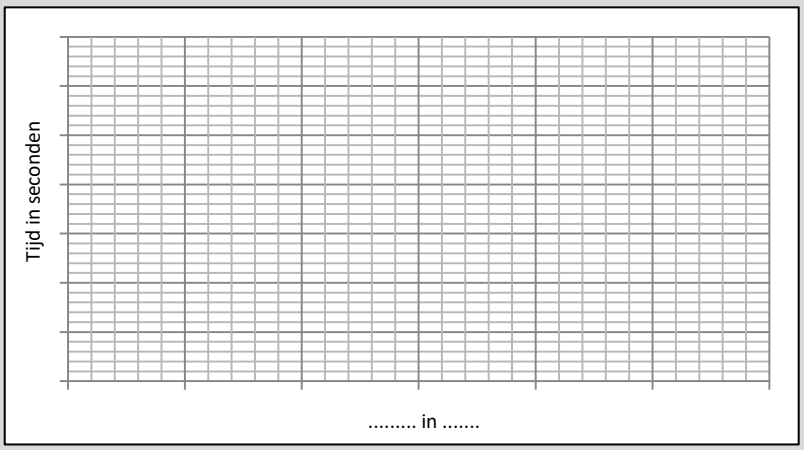
Uitvoering

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.



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*.

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.

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.

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

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 werkbespreking, 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.

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 er in? 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.

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	Reflectievragen
Voorbereiding	
• Begrijpen wat een duidelijke onderzoeksvraag is en hoe een dergelijke vraag is op te stellen.	• Is je onderzoeksvraag duidelijk geformuleerd? Heb je alle begrippen in de onderzoeksvraag duidelijk omschreven?
• Begrijpen wat een variabele is, welke variabele moet worden gevarieerd, welke variabele moet worden gemeten en welke variabele(n) constant moet(en) worden gehouden.	• Welke variabelen ga je variëren en welke ga je meten? Welke variabelen moeten constant 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.	• Is het meetinstrument dat je wilt gebruiken wel geschikt voor wat je wilt meten?
• Begrijpen wat een geschikte opstelling is en hoe je een geschikte opstelling bouwt voor wat je wilt gaan meten.	• Is de opstelling die je wilt gebruiken wel geschikt voor wat je wilt gaan meten?
Uitvoering	
• Begrijpen dat het herhalen van metingen noodzakelijk is voor de betrouwbaarheid.	• Zijn de metingen die je gedaan hebt herhaalbaar? En komt er dan ongeveer hetzelfde uit?
• Begrijpen hoe je uit je metingen het gemiddelde bepaalt.	• 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.
- Heb je het goede type grafiek gekozen?
- Heb je de goede conclusie getrokken?
- Heb je aangegeven binnen welk gebied je onderzoeksresultaten 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.
- 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

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

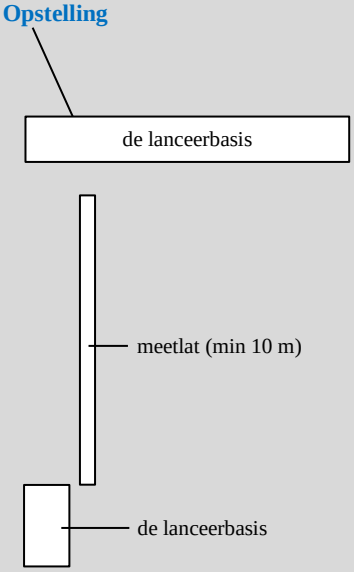
Hypothese

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

Werkwijze

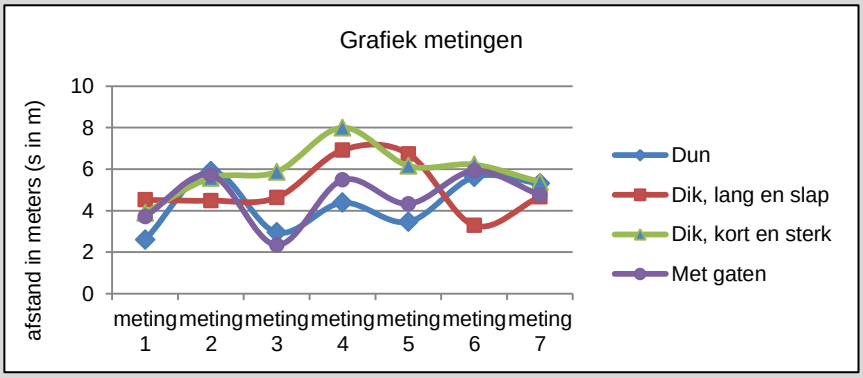
Eerst sorteert iemand de elastieken in verschillende categorieën. Dan spant Ties of Kaluen een elastiek, dan meten zij de kracht op (in kilogram). Daarna schieten zij het elastiek af en meten Bas en Tom de afstand.

Opstelling



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



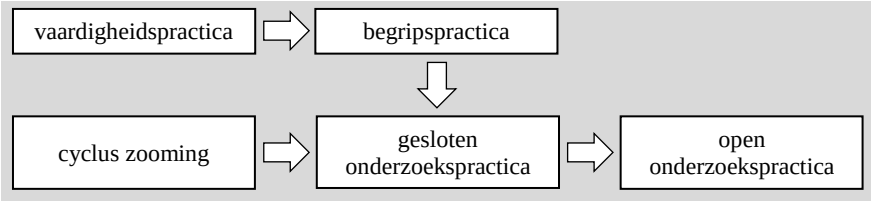
Conclusie

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 volgordes 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

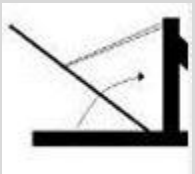
Het proces van ontwerpen wordt ook wel de 'ontwerpcyclus' genoemd. Daarbij doorlopen de leerlingen de volgende zes stappen.

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 ontwerptaak aansluit bij de belevingswereld 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.

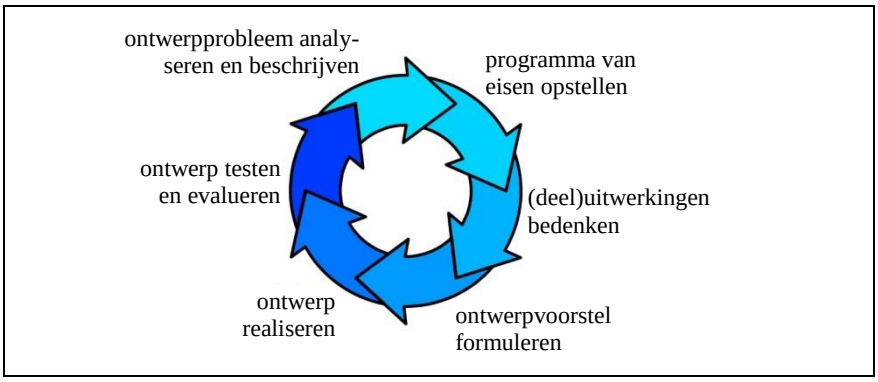
Ontwerpvoorstel formuleren – De vierde fase betreft het *formuleren van een ontwerpvoorstel* op basis van een optimale combinatie van deeluitwerkingen, bijvoorbeeld op basis van de ideeëntabel. Hierbij hoort uiteraard een grondige onderbouwing, waarbij duidelijk de gemaakte afwegingen in kaart worden gebracht. Inzichten die tijdens de vorige fase op basis van divergent denken zijn ontstaan, leiden nu via convergent denken tot een oplossing voor het ontwerpproblem. 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)

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 uitgeprobeerd. 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

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) spaghettislierten.

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

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

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 ontwerppracticum *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

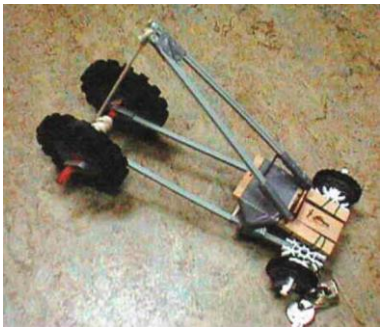
Figuur 343 – Voorbeeld van een ontwerpopdracht beperkt tot het opstellen van een programma van eisen met deelfuncties en deeloplossingen. Bron: *NVOX 28*(5), 206-209.

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 muizenvallen 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 buurtspeeltuin

- 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

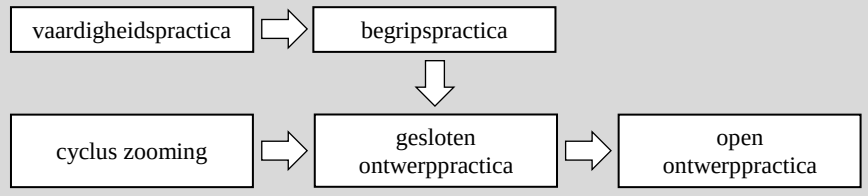
Je wordt beoordeeld op:

- 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 volgordes 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 ledlamp?
- Rekenmachine op batterij of zonnecel?
- Helm-plicht voor fietsers?
- Zonneboiler voor warm water?
- Ondergrondse CO_2-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 weggooiverpakkingen?
- Afval weggooien of hergebruiken?

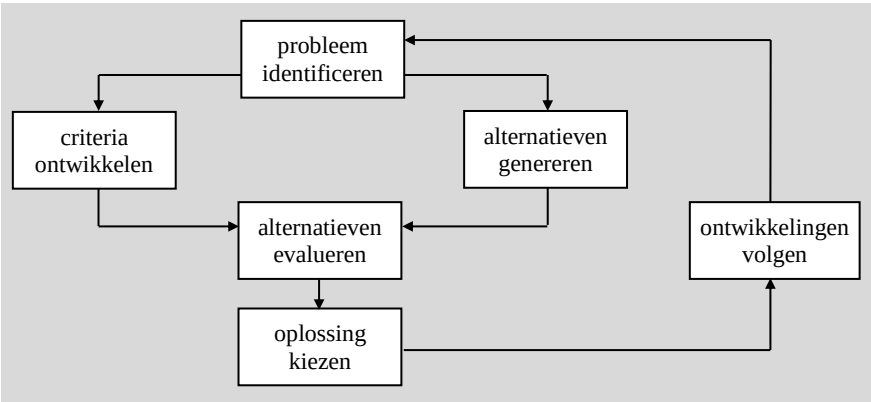
Figuur 348 – Voorbeelden van keuzesituaties.

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 vo* valt dat onder de karakteristieke werkwijze *waarderen en oordelen*: “in een waardering of oordeel kennis, waarden en emoties onderscheiden en afwegingen 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 en een keuze maken – zoals in figuur 349.



Figuur 349 – Normatief model van een besluitvormingsprocedure.

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 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 *satisfycing 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 *satisfycing* – zonder een onderscheid te maken tussen meer en minder belangrijke criteria.

Figuur 350 – Afwijkingen van het normatieve model voor besluitvorming.

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.

Een voorbeeld van de manier waarop zo'n 'instrument' kan worden ontwikkeld staat in figuur 351: een lessenserie rond besluitvorming over verpakkingsafval 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.

Verpakkingsafval

De keuzesituatie die in de lessenserie *Verpakkingsafval: 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 verpakkingsafval. Om daarna te constateren dat hun voorkennis nog tekort schiet bij het vergelijken van de twee gegeven verpakkingsalternatieven op die milieucriteria. Het resultaat is een onderzoeksvraag voor een literatuuronderzoek naar de criteria-gerelateerde eigenschappen van verpakkingen en verpakkingsmaterialen (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 weergeven 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 verpakkingsafval 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.

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 verpakkingsafval: preventie van verpakkingen, hergebruik van het verpakkingsmateriaal (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 verpakkingsmaterialen. 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 verpakkingsalternatieven en milieucriteria, en het gebruik van volledige en juiste eigenschappen van die alternatieven in de vergelijkingen per criterium.

Presentatie – Een duidelijke weergave van de verpakkingsalternatieven 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.

6 Een beter milieu…

Met een keuze uit verpakkingsalternatieven 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 verpakkingsalternatieven?

7 … begint bij verpakkingskeuze

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	
verpakkingsalternatieven	fles	pak
verpakkingsmaterialen	……	……
	……	……
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

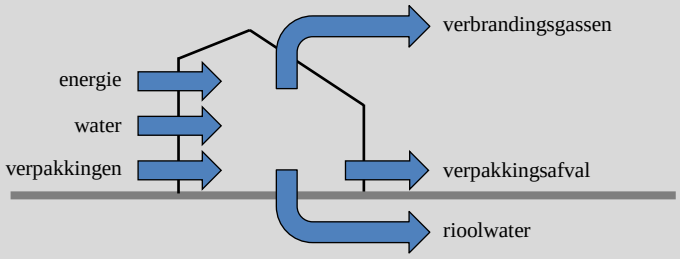
Je kunt met je keuze uit verpakkingsalternatieven een bijdrage leveren aan 'een beter milieu'. Dan moet je die verpakkingsalternatieven vergelijken op de twee milieu-criteria. Maar: dan moet je meer weten over de vijf meest gebruikte verpakkingsmaterialen.

- 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 (verkeerslawaai, 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.

Standaard

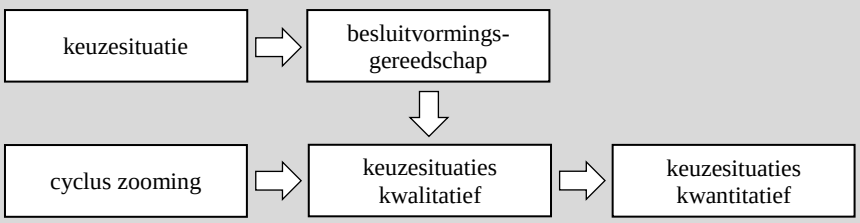
Inhoud – Volledigheid en relevantie wat betreft alternatieven en criteria, en het gebruik van volledige en juiste kwalificaties van die alternatieven in de vergelijkingen per criterium.

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.

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

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 vervolglessenseries 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 ontwerppractica (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.

8 Leerplan en leermiddelen

8.1 Inleiding

Voor het vormgeven van lesonderdelen, lessen en lessenseries, maar ook voor de begrips- en vaardigheidsontwikkeling van de leerlingen maak je gebruik van *leermiddelen*: het leerplan van het vak en de daarop gebaseerde leerboeken. Daarnaast zijn er de vmbo-examens (als bron voor oefen- en toetsopgaven, ook voor de onderbouw havo/vwo), multimediale leermiddelen op internet (zoals webquests en simulaties), meet- en modelleersoftware, en lesmaterialen van musea, science centers en bedrijven. In dit hoofdstuk geven we een (ongetwijfeld onvolledig) overzicht van deze leermiddelen.

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: Wat is er voor het natuurkunde-onderwijs beschikbaar aan leermiddelen, en waar vind je die?

8.2 Leerplan en leerplanontwikkeling

Een leerplan of curriculum geeft een overzicht van ten minste de doelen en inhouden die geleerd worden gedurende het te volgen vakonderwijs. In figuur 358 staat een overzicht van de verschillende niveaus waarop je kunt spreken van een leerplan.

Niveau	Beschrijving	Voorbeelden
Supra	Landoverstijgend, internationaal	Europees referentiekader voor science-onderwijs
Macro	Systeem, nationaal	Kerndoelen, eindtermen Examenprogramma's
Meso	School, opleiding	Schoolleerplan, vakleerplan
Micro	Groep, leraar	Plan voor les of lessenserie Leerboek
Nano	Leerling, individu	Persoonlijk leerplan Individuele leerweg

Figuur 358 – Overzicht van de verschillende leerplanniveaus.

De hogere leerplanniveaus kunnen de lagere beïnvloeden, met name als ze een verplichtende status hebben zoals examenprogramma's, kerndoelen en eindtermen. Auteurs van leerboeken houden in hoge mate rekening met deze macro-kaders. De relatie van macro naar meso naar micro is tamelijk los. Dat komt ook doordat in Nederland de overheid wel de eindtermen bepaalt, maar dat de scholen met het oog op de vrijheid van inrichting van onderwijs de leerweg naar de eindtermen kunnen bepalen.

Examenprogramma

Een belangrijk leerplandocument is het examenprogramma. In figuur 359 is een fragment uit het eindexamenprogramma vmbo nask1 weergegeven, met een aanduiding van het verschil tussen de verschillende leerwegen BB, KB en GL/TL: de basisberoepsgerichte leerweg (BB), de kaderberoepsgerichte leerweg (KB), de gemengde leerweg (GL) en de theoretische leerweg (TL). In het voorbeeld

gaat het om de inhoud van het vakonderwijs. Het examenprogramma specificeert echter ook de door de leerlingen te verwerven vaardigheden of karakteristieke werkwijzen.

		BB	KB	GL/TL
NASK1/K/9	**Kracht en veiligheid**	CE	CE	CE
14	De kandidaat kan: • de werking van verschillende soorten krachten en de druk van een voorwerp op de ondergrond beschrijven en in evenwichts-situaties kwalitatief de hefboomwet toepassen • bij een bewegend voorwerp diagrammen interpreteren, krachten samenstellen en de gemiddelde snelheid berekenen • veiligheidsmaatregelen in het verkeer uit-leggen en toepassen	x		
15	De kandidaat kan: • de werking van verschillende soorten krachten en de druk van een voorwerp op de ondergrond berekenen en in evenwichtssituaties kwalitatief de hefboomwet toepassen • bij een bewegend voorwerp diagrammen interpreteren, krachten samenstellen en de gemiddelde snelheid berekenen • veiligheidsmaatregelen in het verkeer uit-leggen en toepassen en verschijnselen van traagheid verklaren		x	x

Figuur 359 – Fragment uit het examenprogramma vmbo nask1.

Vakleerplan

Binnen het vakleerplan zijn vaak leerlijnen aan te wijzen, zoals voor probleem-oplossen, onderzoeken en ontwerpen. De *Stichting Leerplan Ontwikkeling* (SLO) verricht veel werk op dit gebied. Als voorbeeld is in figuur 360 de doorlopende leerlijn voor ‘materie’ van primair onderwijs naar vmbo nask1 weergegeven.

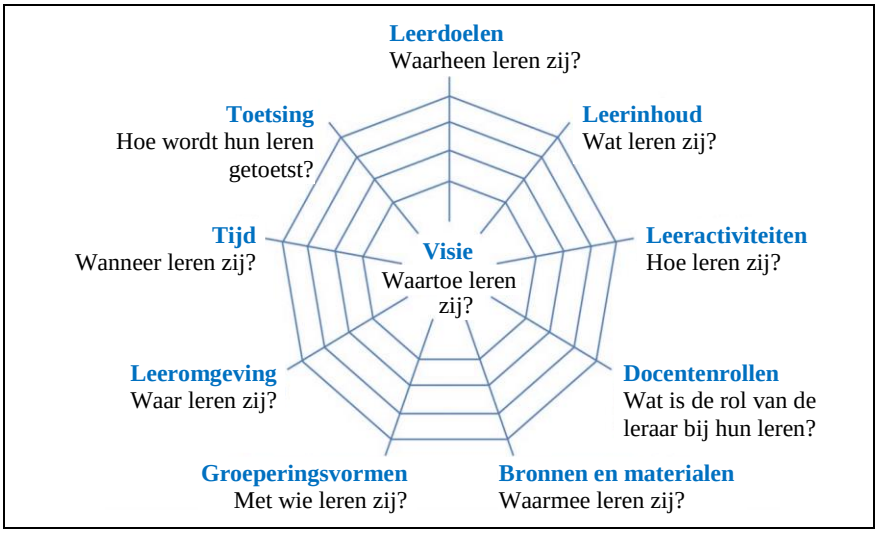
Materie		
PO | Oriëntatie op jezelf en de wereld, met name Natuur en techniek	**Onderbouw VO | Mens en natuur**	**VMBO | nask1**
42 Leren onderzoek doen aan materialen. 44 De leerlingen leren bij producten uit hun eigen omgeving relaties te leggen tussen de werking, de vorm en het materiaalgebruik.	29 De leerling leert kennis te verwerven over en inzicht te verkrijgen in sleutel-begrippen uit het gebied van de niet-levende natuur en leert deze sleutel-begrippen te verbinden met situaties in het dagelijks leven. 31 De leerling leert o.a. door praktisch werk kennis te verwerven over en inzicht te verkrijgen in processen uit de niet-levende natuur en hun relatie met omgeving en milieu. 32 De leerling leert werken met theorieën en modellen door onderzoek te doen naar het verschijnsel materie.	K/4 (5, 6) Stoffen en materialen in huis: • soorten materialen en hun stofeigen-schappen herkennen en toepassen; • chemische processen herkennen; • *zinken-zweven-drijven toepassen met behulp van dichtheid*. K/10 (16, 17) Bouw van de materie: • De bouw van stoffen en materialen beschrijven in termen van moleculen en atomen; • Het gedrag van atomen en moleculen in de verschillende fasen uitleggen; • De bouw van een atoom beschrijven.

Figuur 360 – Voorbeeld van een doorlopende leerlijn voor ‘materie’.

De kern van het vakleerplan betreft de doelen en inhouden van het leren. Veranderingen in die kern veronderstellen meestal ook veranderingen in andere aspecten van het leerplan. Dit wordt gevisualiseerd in het leerplan-spinnenweb van

figuur 361. Bij elk onderdeel van dit spinnenweb hoort een vraag over het leren van de leerlingen.

In het spinnenweb is de visie de verbindende schakel tussen de onderdelen, die in het ideale geval ook samenhangen. Vernieuwingen kunnen bij ieder onderdeel beginnen, maar het in stand houden van de onderlinge samenhang is steeds cruciaal.



Figuur 361 – Het leerplan-spinnenweb.

De visie op leren en onderwijzen wordt in eerste instantie geformuleerd door de school en de vaksectie. Toch valt rond visie en uitgangspunten veel te leren van de vernieuwingsprojecten van de laatste tientallen jaren, zoals blijkt uit figuur 362 met een historisch overzicht vanaf de jaren 70 van de vorige eeuw tot nu. Daarbij hebben we ons beperkt tot enkele grote vernieuwingsinitiatieven met duidelijk nieuwe uitgangspunten voor de vakdidactiek. Van een deel van die vernieuwingsprojecten zijn de ontwikkelde lesmaterialen en hulpmiddelen nog steeds beschikbaar (zie de website bij dit praktijkboek). Dat materiaal is lang niet altijd meer direct bruikbaar in de klas, maar kan wél een rijke inspiratiebron zijn voor het vormgeven van lessen en lessenseries.

Uitgangspunten voor leerplanontwikkeling

Een goed ingericht natuurkundelokaal had tot de jaren 70 van de vorige eeuw de vorm van een amfitheater met een grote demonstratietafel en een groot krijtbord. Alles was gericht op het geven van klassikale uitleg, in het gunstigste geval gecombineerd met mooie demonstratieproeven ter ondersteuning van de theorie.

In de jaren 70 begint de opkomst van het practicum. Het experimentele werk wordt gezien als behorend bij het schoolvak natuurkunde en als belangrijke actieve werkvorm voor het leren van natuurkunde. Amfitheaters worden afgebroken en vervangen door practicumtafels met voorzieningen als elektriciteit, water en gas.

Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde: CMLN – Binnen de CMLN werden onder andere de volgende uitgangspunten geformuleerd:

- een gestapeld programma van mavo, havo en vwo;
- niet alleen frontaal lesgeven met passieve leerlingen, maar ook een leraar als begeleider van actieve leerlingen;
- niet alleen maar oefenen met rekenopgaven, maar ook bespreken van kwalitatieve opgaven;
- meer aandacht voor de onderzoekende werkwijze en dus het leerlingenpracticum;
- minder formele natuurkunde en meer natuurkunde uit het dagelijks leven.

Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde: PLON – Het PLON was in de periode 1972-1986 een groot curriculumproject, met als uitgangspunten:

- leerstof is verrassend en uitdagend;
- onderwijs is leerlinggericht met betekenisvolle leerstof;
- leerstof sluit aan bij de ervaringswereld, bij de voorkennis en bij de cognitieve structuur van leerlingen;

- er is een verscheidenheid aan werkvormen met veel inbreng van de leerlingen die kunnen samenwerken aan eigen problemen in eigen tempo.

Dus: een geheel nieuwe benadering van het natuurkundeonderwijs met leefwereldgericht, thematisch vakonderwijs (concept-contextbenadering, maatschappelijke betrokkenheid) met minder rekenen en meer leerlingenpracticum (onderzoekende werkwijze, participerende werkvormen, zelfwerkzaamheid).

Natuurkunde in de samenleving: NAS – In het NAS-project uit de jaren 70 stond de dynamische wisselwerking tussen natuurkunde, techniek en samenleving centraal, met aandacht voor wat tegenwoordig de *nature of science* wordt genoemd en voor het als burger vormen van een weloverwogen oordeel over belangrijke beleidsproblemen (energie, geluidhinder, transport, wapens enzovoort) en meedoen aan democratische besluitvorming.

Differentiatie binnen klassenverband: DBK – Het tweede grote vernieuwingsproject naast PLON was vanaf 1974 het vanuit *mastery learning* geïnspireerde DBK-project, met als uitgangspunten:

- binnen de heterogene klas differentiëren door leerlingen verschillende leerlijnen te geven;
- versterken van de motivatie door een practicumgerichte opzet: practicum gaat vooraf aan de theorie;
- indeling van de leseenheden in Practicum, Theorie en Werkblad (met opgaven);
- opbouw per blok van basisstof, diagnostische toets, keuze uit herhaling, verdieping of anders, eindtoets.

Meisjes, Natuurkunde en Techniek: MENT – Het MENT-project, gestart in 1981, was gericht op het bevorderen van de deelname van meisjes in de exacte vakken.

Werkgroep Examenprogramma's Natuurkunde: WEN – De WEN had vanaf 1987 als taak het doen van voorstellen voor het herzien van de examenprogramma's mavo, havo en vwo, met als uitgangspunten:

- invoeren van het open experimenteel onderzoek (de voorloper van het huidige sector- en profielwerkstuk);
- toevoegen van contexten aan de leerstoflijst, zoals autogordel en kreukelzone;
- meer omgevingsnatuurkunde en bewust consumentengedrag.

Basisvorming – Vanaf 1993 werd gewerkt aan het tot stand komen van de basisvorming voor de onderbouw van het voortgezet onderwijs, met als uitgangspunten:

- dezelfde basisstof voor alle schooltypen, uitgestelde keuze;
- actief en in toenemende mate zelfstandig leren, samenwerkend leren;
- een nieuw vak natuur- en scheikunde, denken over leergebieden;
- toepassing: het geleerde kunnen toepassen in relevante contexten;
- vaardigheid: niet alleen kennen, maar ook kunnen;
- samenhang: meer samenhang tussen de vakken.

Tweede fase en studiehuis – Vanaf 1986 werd gewerkt aan het tot stand komen van een vernieuwde tweede fase (bovenbouw havo/vwo) en het studiehuis, met als uitgangspunten:

- leerlingen gaan meer zelfstandig leren, opkomst studiewijzer, breed gebruik van antwoordenboekjes;
- leraren zijn minder aan het woord en laten leerlingen meer zelf doen;
- de examens veranderen: meer plaatjes, meer leesteksten en meer contexten;
- de leerboeken veranderen: veel plaatjes en veel kleur, het boek begeleidt de leerling meer, minder leerstof en meer context;
- invoering van praktische opdrachten, die bij natuurkunde meestal de practica zijn.

Taalgericht vakonderwijs – Taalgericht vakonderwijs stelt expliciete taaldoelen, is contextrijk, zit vol interactiemogelijkheden en biedt de benodigde taalsteun. Deze didactiek sluit sterk aan bij andere didactische ontwikkelingen, zoals activerende didactiek en samenwerkend leren, maar heeft als onderscheidend kenmerk de simultane opbouw van taalvaardigheid en vakspecifieke inzichten en vaardigheden.

Competentiegericht leren – Vanaf 2005 komt het competentiegericht leren op, gericht op het bijbrengen van competenties die aansluiten bij de beroepspraktijk. Deze vorm van onderwijs wordt in Nederland vooral geschikt geacht voor volwasseneneducatie en het beroepsonderwijs. Het onderwijs wordt niet verzorgd via afzonderlijke vakken, maar via op de beroepspraktijk geënte opdrachten die soms ook in bedrijven worden uitgevoerd. Daarbij probeert men bovendien nadrukkelijker dan voorheen aan te sluiten bij al bij de leerlingen aanwezige competenties. Deze op de praktijk en beroepen gerichte benadering heeft in Nederland vooral opgang gemaakt binnen het middelbaar beroepsonderwijs (mbo) en later het hoger beroepsonderwijs (hbo).

Nieuwe Natuurkunde: NiNa – Net als eerder de WEN had NiNa vanaf 2013 als taak het doen van voorstellen voor een nieuw examenprogramma havo/vwo, met als uitgangspunten:

- wetenschappelijk en maatschappelijk relevant;
- een beeld geven van wat natuurkundigen doen;
- moderne toepassingsgebieden toevoegen zoals nanotechnologie en medische beeldvorming.

Figuur 362 – Historisch overzicht van vernieuwingsprojecten binnen het vak natuurkunde.

In elk van de vernieuwingsprojecten worden belangrijke uitgangspunten voor het (vak)onderwijs verwoord, en in een aantal gevallen ook verwezenlijkt. Vaak blijkt er echter een kloof te bestaan tussen de uitgangspunten van deze projecten en de realisatie ervan in de klas. Vernieuwingsprojecten kunnen alleen slagen als er binnen de school en de vaksectie een innovatieve sfeer is met een adequate facilitering door de schoolleiding. Een vernieuwing is vaak een complex geheel van in elkaar grijpende onderdelen, die alle mee moeten groeien.

Bij vernieuwingsprojecten is een visiediscussie vooraf door de uitvoerende leraren noodzakelijk. Veranderingen moeten aansluiten bij wat leraren al goed doen. De aanleiding voor de verandering moet helder omschreven zijn, om veranderen om te veranderen te voorkomen. Verder is het van belang dat de verandering gemonitord wordt. Dat kan alleen als de aanleiding en het doel van de verandering duidelijk zijn geformuleerd. Als kern moet worden nagegaan of leerlingen er beter door leren en of het onderwijs door hen als relevanter wordt ervaren.

Curriculum.nu

Het meest recente curriculumvernieuwingsproject is *Curriculum.nu*. Dat project adviseert de overheid over de kaders voor een nieuw curriculum voor het basisonderwijs en de onderbouw van het voortgezet onderwijs, met een indicatie van de consequenties voor de bovenbouw. Daartoe is een concept-voorstel voor het leergebied ‘mens en natuur’ geformuleerd, met een visie op het leergebied en de uitwerking daarvan. Hier beperken we ons tot de hulpmiddelen die het project Curriculum.nu aanreikt om te komen tot een evenwichtige keuze van leerdoelen, onderwijseenheden en leerstofopbouw.

Het project beschrijft de leerdoelen vanuit vier invalshoeken: perspectieven, werkwijzen, denkwijzen en concepten. Perspectieven zijn (maatschappelijke) vraagstukken en (wetenschappelijke en technologische) ontwikkelingen. Ze spelen een duidelijke rol bij de socialiserende functie van het onderwijs en de persoonlijke ontwikkeling van de leerling. Werkwijzen zijn voor het leergebied kenmerkende handelingen en activiteiten. Denkwijzen zijn voor het leergebied kenmerkende manieren van kijken, ordenen en/of redeneren. Concepten zijn de (abstracte) kernbegrippen van het leergebied (principes, beginselen, theorieën, ideeën, beelden, wetten, structuren, ordeningen of systemen) die een kader vormen voor de kennisopbouw in het leergebied**.**

Deze vier invalshoeken zijn verder onderverdeeld in tien ‘grote opdrachten’, en elke grote opdracht is weer onderverdeeld in ‘bouwstenen’ met een beschrijving van de te verwerven kennis en vaardigheden. Het overzicht van deze invalshoeken, grote opdrachten en bouwstenen staat in figuur 363.

Invalshoeken	Grote opdrachten	Bouwstenen
Perspectieven	1 Aard van natuurwetenschappen & technologie	1.1 Wetenschap 1.2 Technologie
	2 Maatschappelijke vraagstukken	2.1 Gezondheid 2.2 Duurzaamheid
Werkwijzen	3 Werkwijzen	3.1 Onderzoeken 3.2 Ontwerpen 3.3 Modelgebruik en -ontwikkeling 3.4 Praktisch handelen

Denkwijzen	4	Denkwijzen	4.1 Patronen 4.2 Systemen 4.3 Schaal, verhouding en hoeveelheid 4.4 Gevolg en oorzaak 4.5 Doel-middel
Concepten	5	Signalen & informatie	5.1 Golven en straling 5.2 Signaalverwerking in het organisme 5.3 Automatische systemen
	6	Energie & wisselwerking	6.1 Kracht 6.2 Energie 6.3 Voeding
	7	Overleven van organismen	7.1 Instandhouding van een organisme 7.2 Relatie tussen organismen 7.3/9.3 Leefomgeving en biodiversiteit
	8	Natuurlijke grondstoffen & materialen	8.1 Stoffen en reacties 8.2 Winning, productie en bewerking
	9	Aarde & klimaat	9.1 Aarde 9.2 Weer en klimaat 9.3/7.3 Leefomgeving en biodiversiteit
	10	Heelal & tijd	10.1 Heelal, oorsprong en hemellichamen 10.2 Tijd en ritmes

Figuur 363 – Perspectieven, doelgebieden en bouwstenen in het concept-voorstel van Curriculum.nu.

De te ontwikkelen onderwijseenheden met de daarbij behorende leerstofordening hebben de volgende kenmerken:

- er is een doorlopende leerlijn van onderbouw basisonderwijs, bovenbouw basisonderwijs en onderbouw voortgezet onderwijs;
- onderwijseenheden bevatten leerdoelen uit meerdere bouwstenen, verdeeld over drie of vier invalshoeken;
- naast een duidelijke leerlijn voor de concepten heeft de leerstofordening duidelijke leerlijnen voor de perspectieven, werkwijzen en denkwijzen.

In figuur 364 staan drie voorbeelden van mogelijke onderwijseenheden met deze kenmerken.

Onderwijseenheden

Koken – Combinatie van gezondheid (perspectief), praktisch handelen (werkwijze) en voeding (concept).

Al bij heel jonge kinderen is het belangrijk dat ze leren hoe ze gezond kunnen leven. Bepaalde gewoonten zoals wat en hoeveel zij eten, zijn van invloed op hun gezondheid. Samen eten klaarmaken en koken is voor kinderen gezellig en leerzaam. Hierbij leren ze praktische vaardigheden als bijvoorbeeld schillen, snijden en het gebruik van maatbekers en de weegschaal. Leerlingen kunnen kennismaken met een breed palet aan gezonde voedingsmiddelen en ervaren dat verschillende voedingsmiddelen op elkaar lijken.

Afhankelijk van het gekozen recept kunnen hier verschillende denkwijzen aan de orde komen, bijvoorbeeld schaal, verhouding en hoeveelheid bij het afwegen van ingrediënten en gevolg-oorzaak bij veranderingen door koken of bakken.

Waterkringlopen – Combinatie van onderzoeken (werkwijze), systemen (denkwijze) en weer en klimaat (concept)

Leerlingen verwonderen zich over waar regen vandaan komt en waar het regenwater blijft. Door experimenten te doen met bijvoorbeeld plantjes in een klein kasje zien leerlingen dat water niet verdwijnt uit een gesloten systeem maar alleen verdampt en weer condenseert. Zo leren leerlingen dat het water uit een regenplas ook niet verdwijnt, en maken ze de verbinding naar regen en de waterkringloop op grote schaal.

Hier kan vervolgens vanuit verschillende perspectieven naar gekeken worden: bijvoorbeeld vanuit het perspectief van (over)gebruik van waterbronnen (duurzaamheid), vanuit het aanvullen van drinkwater (gezondheid) of vanuit het ingrijpen in de waterkringloop voor bijvoorbeeld elektriciteitsopwekking (technologie).

Deeltjesmodellen – Combinatie van wetenschap (perspectief), modelgebruik en -ontwikkeling (werkwijze), doel-middel (denkwijze) en stoffen en reacties (concept).

Om meer te begrijpen van modelvorming is een benadering vanuit de geschiedenis van de wetenschap geschikt. Door de progressie in modellen van materie te bespreken, krijgen leerlingen een beeld van het proces en de voorlopigheid van wetenschap en hoe wetenschappers door samenwerking tot steeds nieuwe inzichten komen. Leerlingen zien dat een steeds grotere groep aan eigenschappen verklaard kan worden vanuit de structuur van steeds complexere materiemodellen en dat het oude model dus niet *fout* is, maar ontoereikend.

Figuur 364 – Voorbeelden van mogelijke onderwijseenheden op basis van het conceptvoorstel van Curriculum.nu.

8.3 Leerboeken en multimediale leermiddelen

Voor natuurkunde in het vmbo en de onderbouw havo/vwo zijn er heel wat verschillende leerboeken, ofwel *methodes*. Een overzicht van de titels van veelgebruikte methodes van educatieve uitgeverijen staat in figuur 365. Realiseer je wél dat er met name in het vmbo ook vakkencombinaties zijn zoals natuur- en scheikunde, natuurkunde en biologie (science), en natuurkunde en techniek. Daarnaast zijn veel door leraren gemaakte eigen methodes.

Methodes

- *Banas* (Educatief)
- *Impact* (ThiemeMeulenhoff)
- *Newton* (ThiemeMeulenhoff)
- *Nova* (Malmberg)
- *Overal* (Noordhoff)
- *Polaris* (Boom)
- *Pulsar* (Noordhoff)

Figuur 365 – Overzicht van methodetitels voor vmbo en onderbouw havo/vwo.

Methodes

De manier waarop leraren een methode gebruiken verschilt nogal, zoals blijkt uit de in figuur 366 geschetste lespraktijk. Sommigen volgen de methode heel nauwkeurig, anderen gaan vrij met de methode om en hebben veel eigen activiteiten en materialen. Het is leerzaam om die verschillen in kaart te brengen. Dat kan door per onderdeel van de methode na te gaan hoe jij en je collega's de methode gebruiken en hoe tekortkomingen van de methode worden ondervangen.

De meeste methodes bestaan uit onderdelen als leerboek, werkboek, practicumwerkbladen, toetsopgaven, uitwerkingenboek, toetsenbundel en website. Het leerboek heeft vaak zes tot tien hoofdstukken, per hoofdstuk ingedeeld in een opening, een aantal paragrafen en een afsluiting. De opening wordt vaak vormgegeven als een openingsfoto met opdrachten. De paragrafen hebben onder andere een inleiding en richtvraag, een tekst met kernbegrippen, afbeeldingen en samenvattingen, voorbeeld-kaders, vaardig-kaders, practicumopdrachten, website-opdrachten, opgaven met niveau-indeling en hints, en eindtermen. De afronding heeft bijvoorbeeld een eindopdracht, voorbeeld-toetsvragen en een samenvatting. Elk van deze elementen in een hoofdstuk heeft een eigen didactische functie, zoals weergegeven in figuur 367.

Lespraktijk

In een sectievergadering kwam ter sprake hoe iedereen de methode gebruikt. Dat was nogal verschillend. De één laat in de klas zelf werken aan opgaven, de ander laat opgaven als huiswerk maken en bespreekt het gemaakte huiswerk. De één doet een practicum voor de theorie als ervaringsbasis, de ander doet practicum na de theorie als verwerking. De één bespreek de theorie uitgebreid aan de hand van de kernbegrippen uit de tekst, de ander laat de theorie thuis bestuderen en checkt het begrip aan het begin van de volgende les. Het kan kennelijk allemaal. Maar wat is beter?

Figuur 366 – Verschillen in de manier waarop leraren een methode gebruiken.

	Didactische elementen	Didactische functie
Hoofdstukopening	Openingsfoto en opdrachten	Stellen van het onderwerp, inventariseren van dagelijkse ervaringen en voorkennis.
Paragraaf	Inleiding en richtvraag	Stellen van het onderwerp. De richtvraag wordt in de paragraaf beantwoord en dient als *organiser* voor het bestuderen van de paragraaf.
	Tekst met kernbegrippen, afbeeldingen en samenvattingen	Uitleg van de theorie aan de hand van goedgekozen voorbeelden. Afbeeldingen visualiseren de leerstof. Kernbegrippen en samenvattingen geven de kern van de leerstof.
	Voorbeeld-kaders	Uitgewerkte opgaven als voorbeeld voor zelf te maken opgaven.
	Vaardig-kaders	Omschrijving van vaardigheden in korte stappenplannen.

	Practicumopdrachten	Opdrachten voor het uitvoeren van practicum. Doelen kunnen zijn kennismaken met verschijnselen, het leren van vaardigheden, het leren onderzoeken.
	Site-opdrachten	Gevarieerde opdrachten met videoclips en simulaties, ter herhaling en verwerking van de leerstof. Vragen om te oefenen en om beheersing na te gaan.
	Opgaven met niveau-indeling en hints	Gevarieerde opgaven verdeeld over niveaus zoals RTTI om leerstof te verwerken en probleemaanpak te oefenen. Hints geven steun bij moeilijke opgaven.
	Eindtermen	Leerdoelen die na de bestudering van de paragraaf beheerst moeten worden. Deze geven richting aan de studie van de leerlingen.
Hoofdstuk-afronding	Eindopdracht	Opdracht om het geleerde toe te passen door onderzoek en presentatie.
	Voorbeeld-toetsvragen	Oefenen voor de toets.
	Samenvatting	Hulpmiddel bij het leren voor de toets.

Figuur 367 – Didactische functie van de elementen van een hoofdstuk in een leerboek.

Lespraktijk

In een vergadering van de sectie natuurkunde is besproken of we dezelfde methode houden of dat we gaan veranderen. De huidige methode hebben we nu vijf jaar en we mogen van de directie een andere methode kiezen.

We kennen elkaars meningen. We houden allemaal van een duidelijk en overzichtelijk boek waarin begrippen goed worden uitgelegd en waarin veel oefensommen staan. Alle practica en toetsen hebben we zelf gemaakt. We willen wel meer werk maken van de elektronische leeromgeving. Alleen over contextgebruik verschillen we sterk van mening. De één vindt veel contexten nodig omdat natuurkunde alleen zinvol is als je het kunt toepassen, de ander wil zo min mogelijk contexten omdat deze verwarrend zijn voor de begripsvorming en meestal te moeilijk voor leerlingen om te begrijpen.

Figuur 368 – Methodekeuze.

Methodes vergelijken

Voor het gebruik van een methode in de klas is het van belang dat de leraar de didactische keuzes die een uitgever heeft gemaakt voor een leerboek doorgrondt. Dan kan een leraar optimaal gebruik maken van de gebruiksmogelijkheden van de methode. Sterke kanten van de methode worden benut, en de zwakke kanten van de methode worden ondervangen.

Bij het vergelijken van methodes met het oog op een methodekeuze gaat het om het beoordelen van de methodes op de volgende criteria: samenstelling en vormgeving van het methodepakket, leerstofkeuze en leerstofordening, didactische aanpak, vaardigheden (practicum, ict, eindopdrachten en projectopdrachten), oefenen en toetsen, en samenhang met andere vakken. Allereerst zul je elke methode op deze criteria (en mogelijk nog andere) in kaart moeten brengen, daarna bedenken hoe belangrijk je elk van die criteria vindt, en ten slotte nagaan welke methode dan het meest recht doet aan jouw ideeën en wensen en die van de sectie.

Samenstelling en vormgeving van het methodepakket – De kern van het methodepakket is het *leerboek* voor de leerlingen. Het leerboek is soms gesplitst in tekstboek en werkboek. De eerste indruk van de methode wordt bepaald door de aanblik. Ziet het boek er goed uit? Is het boek overzichtelijk ingedeeld? Herken ik de hoofdstuktitels als relevant? Ziet de methode er aantrekkelijk uit (lay-out, illustraties, overzichtelijkheid enzovoort)? Welke opmaakelementen heeft een paragraaf? Is er practicum en ict? Zie ik verschil tussen het havo-boek en het vwo-boek?

De meeste leraren vinden dat *practicum* een vanzelfsprekend onderdeel is van hun natuurkundeonderwijs. Vaak wordt gebruik gemaakt van zelfgemaakt materiaal, maar ondersteunt ook de methode het practicum? Hoe vaak een leraar practicum doet is heel verschillend. Ook de rol van practicum kan heel verschillend zijn. Is het gericht op ontdekken van nieuwe verschijnselen, het toepassen van geleerde theorie, het oefenen van vaardigheden, of het doen van onderzoek? En vaak is de vormgeving van de practicumopdrachten verschillend. Staat de instructie volledig in het leerboek? Zijn er werkbladen? Wordt er een verslag verwacht en zijn er verslaginstructies? Is het practicum uitvoerbaar met de spullen op school?

Tegenwoordig kan natuurkundeonderwijs niet goed zonder gebruik te maken van ict-rijke activiteiten. Ondersteunt de methode dat met een *website*? Wat staat er dan op die website: simulaties met opdrachten, extra oefenopgaven, videoclips

met kijkvragen, zoekopdrachten op internet, samenvattingen en toetsvragen? Zijn de ict-activiteiten gemakkelijk op te nemen in de elektronische leeromgeving van de school? Van belang is verder hoe vanuit het leerboek wordt verwezen naar de website, hoe zelfstandig leerlingen kunnen werken met de website, en hoe de feedback op de opdrachten is geregeld.

Voor het nakijken van huiswerk maken veel leraren gebruik van een *uitwerkingenboek*, omdat het klassikaal bespreken van al het huiswerk vaak niet effectief is. Staan er veel fouten in het uitwerkingenboek? Voor leerlingen betekenen fouten in het uitwerkingenboek vaak onnodig oponthoud.

Leraren moeten hun onderwijs aanpassen aan de beschikbare tijd en faciliteiten. De leerstof en de activiteiten moeten passen in de beschikbare lesuren. Bovendien wil iedere leraar zijn eigen onderwijs vormgeven naar eigen smaak. Dat betekent dat een methode *flexibel* moet zijn. Dus: is er in voldoende mate sprake van mogelijkheden voor flexibel gebruik, zoals keuze in plaats en aantal van de practica, keuze in aantal en niveau van de opgaven, wel of niet behandelen van verdiepingsstof of verbredingstof, wel of geen projectmatige eindopdracht ter afronding van het hoofdstuk? Voor leerlingen kunnen er keuzes zijn in de te maken opgaven, bijvoorbeeld een gemakkelijke route en een moeilijker route. Of in de volgorde van leren, bijvoorbeeld eerst opgaven en dan theorie, of eerst theorie en dan opgaven. Tegenwoordig worden deze onderwijsleeractiviteiten steeds vaker omgedraaid: *flipping the classroom*. Dus thuis vooral theorie bestuderen, en in de klas veel opgaven maken. In welke mate ondersteunt de methode deze benaderingen?

Voor de didactische ondersteuning heeft een leraar de beschikking over een *docentenhandleiding*. Geeft deze bij elk hoofdstuk achtergrondinformatie, didactische tips en toetsvragen? En wordt er voor de leraar en de technisch onderwijsassistent (TOA) informatie gegeven over de uitvoering en benodigde materialen van practica?

Leerstofkeuze en leerstofordening – Voor de leerstofkeuze baseert een methode zich op de *eindtermen* van het centraal examen en het schoolexamen, en de specificaties daarvan in de syllabus. Daar worden begrippen en regels, contexten en vaardigheden genoemd. De begrippen dekken de belangrijkste leerstofdomeinen. Is er voldoende variatie in contexten: worden er zowel leefwereldcontexten als beroepscontexten en wetenschappelijke contexten gebruikt? Zijn deze contexten realistisch, relevant voor de leerstof en aansprekend voor de leerlingen?

De tekst en de opgaven in een leerboek beperken zich meestal tot de examenstof. Er is veel uitbreiding en/of verdieping mogelijk, maar leraren vinden de omvang van de examenstof al erg omvangrijk. Is er sprake van een aanbod van keuzemogelijkheden, bijvoorbeeld per hoofdstuk in de vorm van een keuzeparagraaf voor verbreding, een keuzeparagraaf voor verdieping en enkele keuzeexperimenten? Zijn er keuzemogelijkheden per leerjaar in de vorm van bijvoorbeeld een keuzehoofdstuk of een keuzeproject?

Methodes onderscheiden zich door de manier waarop ze *concepten* en *contexten* met elkaar verbinden. De meeste methodes hebben een begripsmatige opbouw. Dat wil zeggen dat de vakbegrippen en de vakstructuur leidend zijn voor de ordening van de leerstof. Sommige methodes zijn contextarm. De voorbeelden zijn erg geïdealiseerd en ver verwijderd van de dagelijkse werkelijkheid. Andere methodes zijn contextrijk, en de voorbeelden worden gekozen uit allerlei contexten met als argument het wendbaar maken van de vakbegrippen. Weer andere methodes zijn ook contextrijk, maar nu worden de voorbeelden gekozen uit een grote context zoals ‘Verkeer en veiligheid’ of ‘Duurzame energievoorziening’ om samenhang te krijgen tussen de vakbegrippen en de contexten. Een vierde mogelijkheid is het thematisch uitwerken van een context over meerdere inhoudsgebieden. Vaak is de methode dan onderzoekend van karakter en geneigd om de vakgrenzen te doorbreken. Welke van deze benaderingen is in de methode zichtbaar?

De leerstofordening in een leerboek is meestal *concentrisch*. In de onderbouw komt een gedeelte van de examenstof aan bod. De leerstof is vooral gericht op kwalitatief kennismaken met verschijnselen. Het aantal formules is beperkt en er wordt gewerkt met woordformules en met symbolen, maar nog niet met sym-

Karakteristieke denkwijzen

Onderwerpen als duurzaamheid, risico’s, gezondheid en veiligheid zijn in het examenprogramma geen aparte domeinen, en er zijn in het leerboek meestal ook geen aparte hoofdstukken hierover opgenomen. Toch wordt bij verschillende leerstofdomeinen aandacht besteed aan deze relevante onderwerpen. Zo’n onderwerp wordt gezien als een dwarsverband (ook wel: *cross-cutting concept* of *karakteristieke denkwijze*) tussen verschillende leerstofdomeinen (zie paragraaf 9.8).

Figuur 369 – Dwarsverbanden tussen leerstofdomeinen.

boolformules. Als er per hoofdstuk sprake is van een keuzeparagraaf voor verdiepen, dan betreft dat meestal leerstof voor de bovenbouw. In de bovenbouw komt de volledige examenstof aan bod. De leerstof uit de onderbouw wordt kort herhaald, waarna de uitbereiding tot de volledige examenstof volgt. De behandeling in de bovenbouw is op examenniveau. Er wordt meer gerekend en de formules zijn symboolformules. Is er sprake van een *begripsleerlijn* waarin centrale vakbegrippen zoals energie, straling en interactie over de leerjaren heen meerdere keren aan bod komen en op ieder niveau complexer en abstracter worden uitgewerkt? Sluiten onderbouw en bovenbouw op elkaar aan? Wordt de nieuwe leerstof opgebouwd vanuit aanwezige en weer opgeroepen voorkennis? Is er in het vierde leerjaar vmbo aandacht voor de examenvoorbereiding, waarbij de leerling grotere eenheden leerstof in samenhang leert overzien en gewend raakt aan het maken van examenopgaven?

Oriëntatie op het beroep

Aandacht voor oriëntatie op het beroep is in een leerboek meestal verwerkt in de gebruikte contexten: illustraties, toepassingsvoorbeelden en opgaven. Daarbij wordt als actor in een opgave vaak een beroepsbeoefenaar genoemd. Daarbij kun je denken aan bouwvakker, verpleger, automonteur, metselaar, stralingswerker, chauffeur enzovoort.

Figuur 370 – Beroepenoriëntatie via praktijkcontexten.

Vaardigheden – Naast kennis en het toepassen van kennis in opgaven heeft het natuurkundeonderwijs ook doelen op het gebied van vaardigheden. Daarbij gaat het om practicumvaardigheden zoals meten met meetinstrumenten, om verslagvaardigheden zoals het weergeven van waarnemingen in grafieken, of om onderzoeksvaardigheden zoals eerlijk experimenteren. In hoeverre besteedt de methode aandacht aan deze vaardigheden? Is er sprake van een beschrijving daarvan in de vorm van bijvoorbeeld stappenplannen? Worden de practicumopdrachten beschreven in het leer- of werkboek? Kan de leraar werkbladen voor de leerlingen downloaden, aanpassen en printen? Is er per leerjaar een projecthoofdstuk waarin leerlingen zelf onderzoek doen, of zijn er in elk hoofdstuk eindopdrachten met een onderzoeks- of ontwerpkarakter?

Ook bij het ontwikkelen van natuurwetenschappelijke vaardigheden is het de vraag of er sprake is van herkenbare *leerlijnen* voor het leren onderzoeken en ontwerpen (en eventueel modelleren), en het leren leren. Is er sprake van een opbouw en variatie over de leerjaren heen? Neemt de complexiteit van de opdrachten toe met de leerjaren? Is er voldoende afwisseling tussen gesloten opdrachten (voor het leren van vaardigheden) en open onderzoeks- en ontwerpopdrachten, ook in de lagere leerjaren?

Didactische aanpak – In het algemeen laat een methode veel ruimte voor de didactische aanpak door de leraar. Belangrijke keuzes voor de volgordes in het leren maakt de leraar zelf. Doe ik het practicum voor of na de theorie? Behandel ik de theorie of laat ik de theorie zelf bestuderen in het huiswerk? Ook de leerling maakt die keuzes. Bestudeer ik eerst de theorie of ga ik meteen opgaven maken? Maken de hoofdstuk- en paragraafindeling (meestal eenzelfde drieslag: inleiding, kern en afronding) dergelijke variaties mogelijk?

De leraar kiest zelf zijn *werkvormen* en zorgt daarbij ook voor activerende werkvormen, zoals opgaven maken, denken-delen-uitwisselen, expert-methode, practicum en spelvormen. Welke ondersteuning biedt de methode daarbij?

De leraar kiest zelf de manier waarop hij wil *omgaan met verschillen*. Wat te doen met grote niveauverschillen? Of met verschillen in belangstelling? Biedt de methode aanknopingspunten voor differentiatie zoals verdiepings- en verbredingsopdrachten (met respectievelijk extra theorie en nieuwe contexten), keuze uit practica, keuze uit verschillende routes door de vraagstukken, en keuze uit eindopdrachten?

Speciale aandacht vraagt het *taalgebruik*. Is het afgestemd op de doelgroep? Is het niet onnodig moeilijk en niet overdreven gemakkelijk?

Oefenen en toetsen – Voor het beheersen van de leerstof is oefening nodig. Daarvoor dienen onder andere de opgaven die soms in een werkboek staan, maar meestal in het leerboek. Is er voldoende variatie naar begripsniveau zoals reproductie, toepassing en inzicht (RTTI)? Is er voldoende variatie tussen kwalitatieve en kwantitatieve vragen (uitleggen en redeneren tegenover berekenen), gesloten en open vragen, vragen met weinig en veel denkstappen, en vragen over eenvoudige en complexe toepassingssituaties?

De toetsing gedurende het leerproces is van groot belang. Te denken valt aan het stellen van checkvragen direct na een uitleg, het kort overhoren van leerwerk aan het begin van de les, het diagnostisch toetsen gedurende het leerproces en het afsluitend toetsen op het eind van een hoofdstuk. Ondersteunt de methode een

dergelijke formatieve en summatieve toetsing? Leerboeken voor de examenklas besteden vaak extra aandacht aan examenvoorbereiding. Biedt de methode daarvoor oefenstof? En oriënteert die oefenstof ook op het karakter van examenopgaven, voor een deel gericht op het geven van een redenering en voor een ander deel op het uitvoeren van berekeningen?

Samenhang met andere vakken – Het leren van natuurkunde gebeurt in een school waarbij in andere vakken overeenkomstige dingen worden geleerd. Bij de andere bètavakken zoals biologie en scheikunde gaat het om een leerlijn onderzoeken met gelijke termen voor bijvoorbeeld practicum, onderzoek en verslaggeving. Bij techniek gaat het om het benutten van natuurkundekennis om technische producten te begrijpen en te ontwerpen. Bij wiskunde gaat het om rekenvaardigheden en het gebruik van diagrammen en grafieken, functies en formules. Bij Nederlands gaat het om de rol van taal. Binnen natuurkunde wordt nieuwe vaktaal aangeleerd, wordt begrijpend lezen van teksten en opdrachten gevraagd, en moet in verslagen en proefwerken heel wat geschreven worden. Bij studie- en beroepskeuze gaat het om een beeld van de natuurwetenschappelijke en technische beroepen die verband houden met natuurkunde. Biedt de methode ondersteuning bij het op schoolniveau vormgeven van een dergelijke samenhang tussen de verschillende vakken?

De antwoorden op de hierboven gestelde vragen (en mogelijk nog eigen aanvullende vragen) voor elk van de beschikbare methodes maken een weloverwogen methodekeuze mogelijk. En tegelijkertijd geven die antwoorden aan voor welke aanpassingen aan en aanvullingen op de gekozen methode je als leraar of als sectie zelf nog zal moeten zorgen. Want: geen enkel leerboek zal in de ogen van de individuele leraar of de sectie perfect zijn.

Multimediale leermiddelen

Internet is tegenwoordig een belangrijke bron van leermiddelen. Met *Google* en *Google Scholar* is veel informatie te vinden die je kunt gebruiken in (het voorbereiden van) je lessen. De betrouwbaarheid van de gevonden informatie is overigens heel verschillend. Over het algemeen is de informatie van Wikipedia redelijk betrouwbaar, evenals de informatie op websites van grotere instellingen. Check belangrijke informatie op meer dan één website.

Films, webquests, quizzen, spellen en games, kennisclips en simulaties – ook allemaal te vinden op internet. Handig voor het maken van digitale presentaties en het tonen van foto's, films en simulaties met het digibord. Met een digibord kun je net als met een beamer alles wat je op je laptop ziet ook zichtbaar maken voor leerlingen. Daarnaast heeft het digibord eigen software met allerlei hulpmiddelen voor in de les. Bovendien kun je op het digibord schrijven en dat weer opslaan. Veel kan echter ook met een laptop en beamer.

Laptop, beamer en digibord zijn veelzijdige vervangers van de aloude overheadprojector en het krijtbord. En daarnaast is er dan ook nog het mobieltje, te gebruiken als stemkastje of als meetinstrument.

Internet is niet alleen een bron van achtergrondinformatie, maar ook van foto's, tekeningen, schema's enzovoort. Daarnaast is *YouTube* een rijke bron van filmpjes en animaties over de meest uiteenlopende onderwerpen, maar ook van demonstratie-experimenten. Nadat je een voor je onderwijs bruikbare afbeelding of film hebt gevonden, kun je deze het beste direct downloaden – want je weet maar nooit of die na een week nog op dezelfde plek te vinden is. Naast YouTube zijn er speciaal op het onderwijs gerichte websites met films. Een voorbeeld daarvan is *Teleblik*: het audiovisuele portal voor het basisonderwijs, voortgezet onderwijs en MBO.

Auteursrecht

Het is volgens de Auteurswet in principe niet toegestaan om materiaal van anderen te gebruiken zonder toestemming of zonder ervoor betaald te hebben. Voor gebruik in de les gelden vaak geen of minder strenge beperkingen.

Zorg in elk geval bij het gebruik van materiaal van anderen voor een duidelijke bronvermelding.

Figuur 371 – Voorwaarden voor het gebruik van materiaal van anderen.

8.4 Examenprogramma's en examens

Het examenprogramma natuur- en scheikunde voor vmbo bestaat uit een preambule met algemene onderwijsdoelen, gevolgd door een aantal leerstofdomeinen. Een overzicht van deze leerstofdomeinen voor de verschillende leerwegen

in het vmbo staat in figuur 372. Daarbij is aangegeven of een leerstofdomein onderdeel is van een examenprogramma (donkergrijs) en bedoeld is voor het centraal examen (CE) of voor het schoolexamen (SE). De leerstofdomeinen voor het CE mogen ook op het SE worden getoetst.

De vier leerwegen in het vmbo zijn de basisberoepsgerichte leerweg (BB), de kaderberoepsgerichte leerweg (KB), de gemengde leerweg (GL) en de theoretische leerweg (TL). De leerwegen zijn routes die een bepaald niveau en een bepaald programma bieden: van heel praktisch tot vooral theoretisch. De theoretische leerweg is het best te vergelijken met de oude mavo.

Voor iedere leerweg is uitgebreide informatie over het examenprogramma en de examens te vinden op www.examenblad.nl, waaronder:

- het examenprogramma en de specificatie daarvan in de syllabus;
- de toegestane hulpmiddelen zoals rekenmachine en informatieboek (BiNaS);
- examendocumenten zoals opgaven, uitwerkbijlage, correctievoorschrift en omzettingstabel normering;
- de evaluatie van het examen in de vorm van een quick-scan.

In de vakinformatie voor het staatsexamen staat ook een specificatie van de domeinen van het schoolexamen. Dit is handig, omdat deze specificatie niet in de syllabus staat.

Domeinen	BB		KB		GL/TL	
Oriëntatie op leren en werken		SE		SE		SE
Basisvaardigheden		SE		SE		SE
Leervaardigheden in het vak natuurkunde	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Stoffen en materialen	CE		CE		CE	
Elektrische energie	CE		CE		CE	
Verbranden en verwarmen		SE	CE		CE	
Licht en beeld		SE		SE		SE
Geluid	CE		CE		CE	
Kracht en veiligheid	CE		CE		CE	
Bouw van de materie		SE		SE		SE
Straling en stralingsbescherming				SE		SE
Het weer				SE		SE
Veiligheid in het verkeer					CE	
Constructies					CE	
Verwerven, verwerken en verstrekken van informatie						SE
Vaardigheden in samenhang					CE	

Figuur 372 – Overzicht van de leerstofdomeinen in de examenprogramma's van de verschillende leerwegen in het vmbo.

Alle natuurkunde-examens (inclusief de bijbehorende correctievoorschriften en eventuele uitwerkingsbladen) voor vmbo, havo en vwo van de afgelopen tientallen jaren zijn ook te vinden op www.nvon.nl, de website van de *Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen* (NVON).

Deze examens vormen – naast bijvoorbeeld de toetsen van collega's, de docentenhandleiding bij het leerboek en andere leerboeken – een rijke bron van opgaven voor de eindtoets van een hoofdstuk in het leerboek. Bedenk daarbij wel dat deze toetsvragen zullen moeten aansluiten bij het gegeven onderwijs, en dus kritisch op hun bruikbaarheid moeten worden beoordeeld en nogal eens om aanpassingen vragen. Bedenk ook dat examenopgaven moeilijk kunnen zijn, en bij havo en vwo vaak verschillende leerstofdomeinen van de natuurkunde binnen een opgave combineren. Dat vraagt om minder of meer ingrijpende aanpassingen. Wat dit betreft leveren de vmbo-examens minder een probleem: daarin beperken de opgaven zich vaak tot één leerstofdomein.

8.5 Computersoftware

Voor het weergeven en analyseren van meetgegevens is *Excel* goed bruikbaar. Met de CMA-software *Coach* kan dat ook, maar die software geeft bovendien de

mogelijkheid van meten met de computer, videometen en modelleren. En je kunt er zelfs simulaties mee maken. Een belangrijk hulpmiddel bij het onderwerp technische automatisering is het *systeembord* van CMA, al dan niet aangevuld met het gebruik van de stuurtaal in *Coach* of kleine computers als de *Arduino*.

Excel

Excel is een buitengewoon krachtig computerprogramma waarmee je meetgegevens kunt weergeven en analyseren. Met weergeven bedoelen we het maken van een grafische voorstelling, met analyseren het vergelijken met de theorie.

Werken met Excel heeft als voordeel dat je snel allerlei bewerkingen kunt uitvoeren met de meetgegevens en dat je de keuze voor een diagram kunt aanpassen, zoals in de in figuur 373 geschetste lespraktijk en de bijbehorende Exceldiagrammen van figuur 374. Soms heeft een handmatig getekende grafiek de voorkeur. Dat gaat snel en er zijn geen hulpmiddelen nodig, maar je hebt niet de vele bewerkingsmogelijkheden.

Lespraktijk

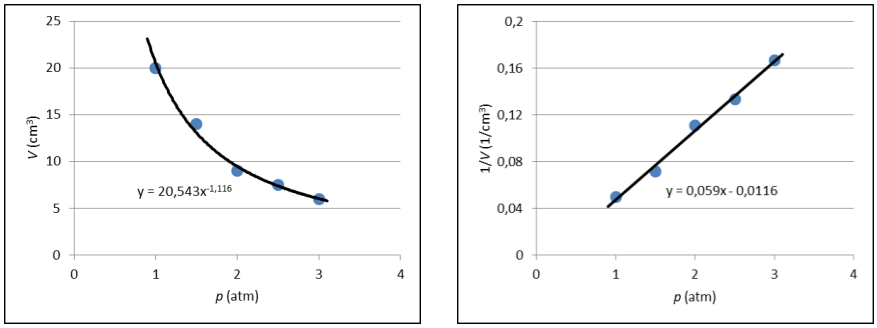
Een leraar heeft een demonstratieopstelling voor het meten van druk en volume van een afgesloten hoeveelheid lucht. Het apparaat heeft de vorm van een grote injectiespuit. Hij wil daarmee de wet van Boyle controleren: $p \cdot V = c$.

Tijdens de demonstratie laat hij een leerling de meetgegevens invoeren in Excel.

Daarna laat hij zien dat er twee manieren zijn om te kijken of deze metingen voldoen aan de formule $p \cdot V = c$.

- Voer een functiefit uit en interpreteer de gevonden constantes (zie figuur 374 links).
- Maak een grafiek van p tegen $1/V$ en ga na of er een rechte lijn ontstaat (zie figuur 374 rechts).

Figuur 373 – Voorbeeld van het gebruik van Excel.



Figuur 374 – Twee manieren om met Excel de wet van Boyle te controleren.

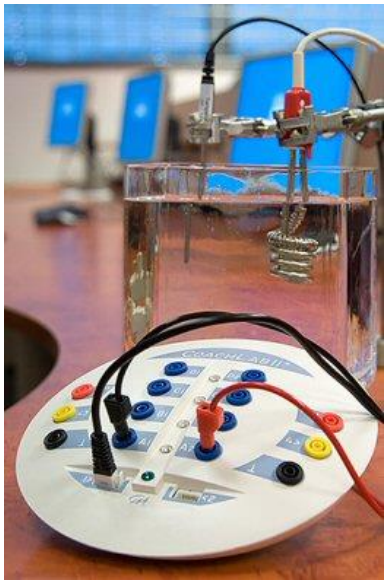
Coach

Voor het meten met de computer bestaan verschillende softwarepakketten, zoals *Labquest* en *Coach*. We nemen hier Coach als uitgangspunt.

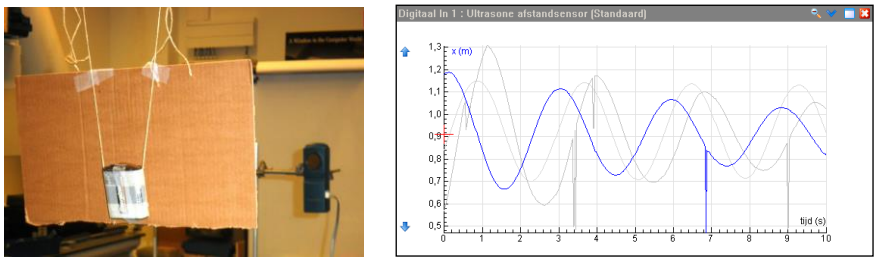
Meten – Een meetopstelling waarin Coach wordt gebruikt voor meten met de computer, bestaat uit drie onderdelen.

- Een sensor als spanningbron, zoals een temperatuursensor die een temperatuurafhankelijke spanning afgeeft. Grootheden als weerstand, stroomsterkte, afstand, geluidssterkte, pH of lichtsterkte kunnen alleen gemeten worden als ze door de sensor 'vertaald' zijn in een spanning.
- Een interface. Dit onderdeel is feitelijk een AD-omzetter die een aantal keer per seconde de spanning van de aangesloten sensor meet. Meestal kunnen meerdere sensoren tegelijk op de interface worden aangesloten.
- Een computer met Coach-software. De interface is via een seriële poort op de computer aangesloten.

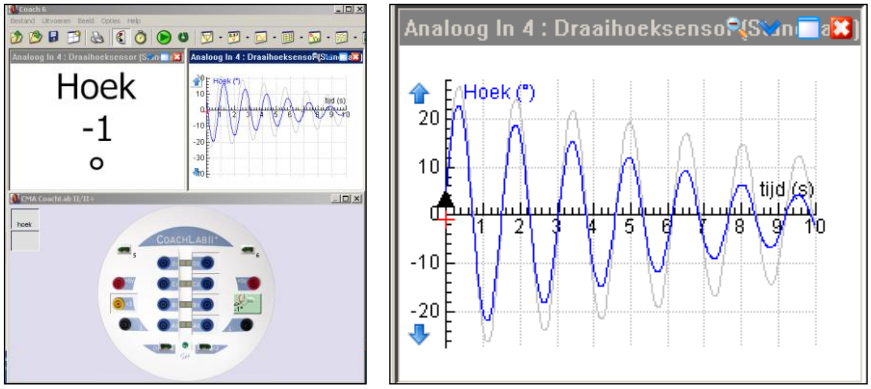
Voorbeelden van meten met de computer staan in figuur 375, 376 en 377: het meten van de watertemperatuur met een temperatuursensor bij verwarmen en de registratie van de gedempte trilling van een slinger met een ultrasone afstandssensor of met een draaihoeksensor.



Figuur 375 – Voorbeeld van een meetopstelling met Coach: temperatuurmeting.



Figuur 376 – Registratie van de gedempte trilling van een slinger (rechts) met behulp van een ultrasone afstandssensor (links). De pieken in de registratie ontstaan als er geen goede reflectie is tegen de slinger.



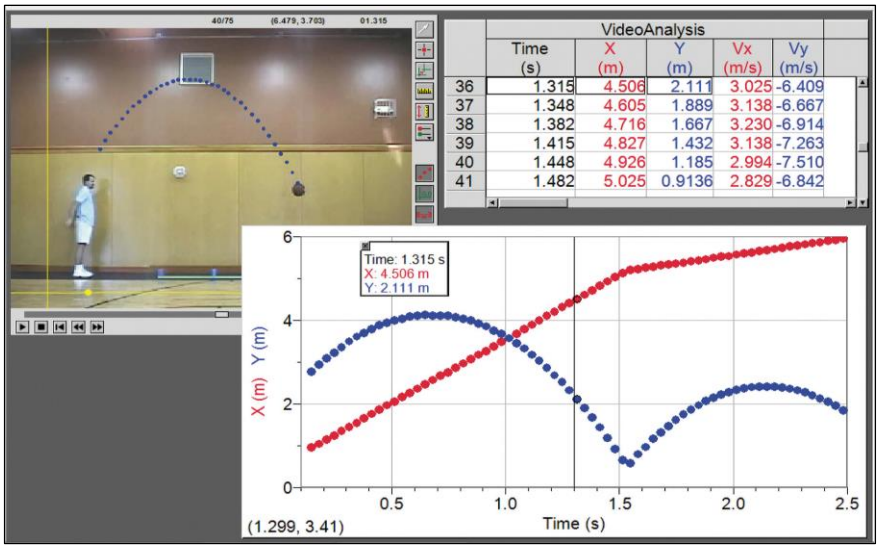
Figuur 377 – Registraties van de gedempte trilling van een slinger die aan een draaihoeksensor hangt.

De beide metingen in figuur 377 links zijn moeilijk te vergelijken, omdat ze ongelijk beginnen. Daarom werk je in dit geval met een trigger. Een trigger stel je in zodat een meting op de ingestelde waarde begint met de up- of down-richting van de meting, zoals in figuur 377 rechts. De grafieken zijn nu heel goed te vergelijken. Aanvullende experimenten zijn het vergroten van de luchtweerstand, het verlengen van de slinger of het verzwaren van de slingermassa.

Verwerken en analyseren – Bij meten en weergeven ligt het accent op het goed weergeven van meetresultaten in een diagram. Bij verwerken en analyseren probeer je de metingen vanuit de theorie te begrijpen. Vanuit de theorie kun je bijvoorbeeld met een functie-fit nagaan of het experiment klopt met de theorie.

Binnen Coach zijn er verschillende analysemogelijkheden, zoals het verwijderen of rekenkundig bewerken van meetgegevens, het maken van een functiefit (met trendlijn), het bepalen van de helling van een grafiek, het bepalen van de oppervlakte onder een grafiek en het uitvoeren van een frequentieanalyse op een signaal.

Videometen – Coach biedt de mogelijkheid om metingen te doen aan bewegingen die zijn opgenomen met een digitale videocamera. Door te werken met realistische bewegingen, die in principe zelf gefilmd kunnen worden, kun je leerlingen niet alleen gemakkelijk motiveren, maar ook op vrij eenvoudige wijze de gelegenheid bieden om hun eigen onderzoek te bedenken en uit te voeren.



Figuur 378 – Een voorbeeld van videometen.

Bij het ontwikkelen van een Coach-project om bewegingen te onderzoeken is het aanbrengen van een duidelijke structuur van belang. Hoe kun je de opdracht opbouwen zodat de leerlingen de leerdoelen bereiken? Denk hiervoor bijvoorbeeld aan een inleiding met motiverende context en doel van de opdracht, het

bedienen van Coach bij videometen, verkennen van videometen aan de hand van een voorbeeld, een opdracht voor onderzoek met duidelijke richtlijnen, een werkplan laten opstellen en controleren, rapportage over de uitvoering van het onderzoek, controle of de doelen bereikt zijn, en beoordeling.

Aandachtspunten bij het ontwikkelen van een dergelijk Coach-project voor videometen zijn:

- Formuleer voorkennis en leerdoelen. In leerdoelen benoem je een *inhoud* (bijvoorbeeld versnelling) en gedrag (hoe kun je merken dat de leerling de inhoud beheerst).
- Laat leerlingen een realistische beweging onderzoeken. Hierbij kun je hen gebruik laten maken van bestaande filmpjes, maar je kunt ze ook zelf een filmpje laten maken.
- Zorg ervoor dat leerlingen gebruik moeten maken van bestudeerde natuurkundetheorie.
- Laat leerlingen zo mogelijk hun eigen onderzoeksvraag formuleren en daarbij een eigen onderzoeksplan (dat een aantal vaste onderdelen bevat) maken.
- Bied leerlingen voldoende structuur om zelfstandig aan de slag te kunnen.
- Zet zoveel mogelijk de instructies voor leerlingen in het Coach-project zelf.

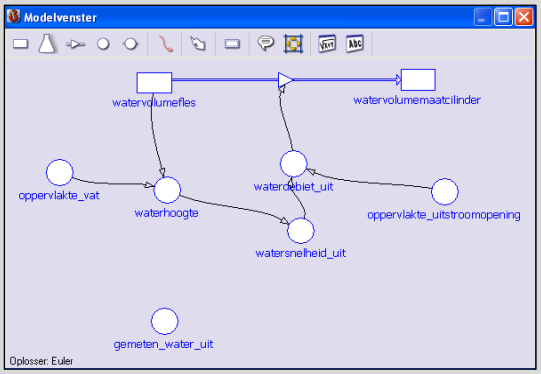
Geef zo nodig eerst enige knoppeninformatie en -training, zodat de leerlingen geen Coach-handleiding hoeven te gebruiken.

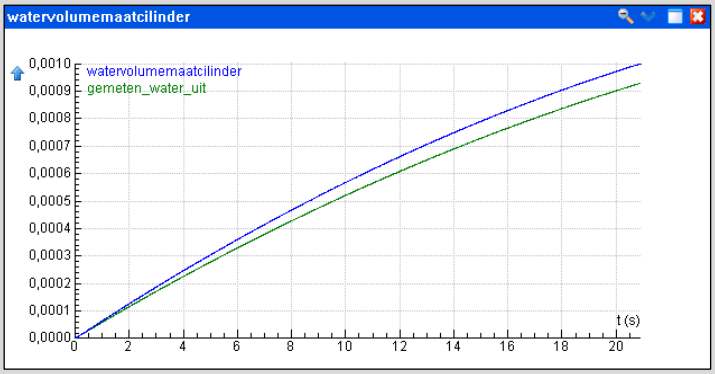
Modelleren – In de natuurwetenschappen worden vaak modellen gebruikt. Een model geeft een beschrijving van een verschijnsel met behulp van wetmatigheden. Bij een dynamisch model gaat het om de ontwikkeling van het verschijnsel in de loop van de tijd. Met experimenten kan worden gecontroleerd of het model een goede beschrijving geeft.

Binnen Coach is het maken van dynamische modellen op twee manieren mogelijk: in een tekstmodus en in een grafische modus. Een voorbeeld van dat laatste staat in figuur 379, inclusief het vergelijken van de model- en de meetresultaten.

Debietmeting

Neem als opstelling een cilindervormige fles met open bovenkant, gevuld met water. Als verschijnsel bekijken we het leeglopen van de fles. We kunnen het leeglopen meten met een stopwatch en een maatcilinder. We kunnen het leeglopen ook modelleren met behulp van de formules uit de theorie. Het model in de grafische modus van Coach staat hieronder links. Het resultaat staat in de figuur hieronder rechts. We zien dat in het model het water sneller uit de fles stroomt dan bij de metingen.





In symbolen staat in het computermodel het volgende:

- het watervolumefles neemt af omdat er water uitstroomt;
- het waterdebiet_uit (liter/seconde) bepaalt het tempo van leegstromen;
- de watersnelheid_uit en de oppervlakte_uitstroomopening bepalen het waterdebiet_uit;
- Het watervolumefles en de oppervlakte_vat bepalen de watersnelheid.

De onderliggende formules in het computermodel zijn:

- $Q = V/t$, met Q het debiet (in m^3/s), V het volume (in m^3) en t de tijd (in s);
- $Q = A \cdot v$, met Q het debiet (in m^3/s), A de oppervlakte (in m^2) en v de snelheid (in m/s);

- $v_{uit} = \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$, met v_{uit} de uitstroomsnelheid (in m/s), g de zwaartekrachtscontante (9,8 m/s^2) en h de hoogte van het water boven de uitstroomopening (in m).

Uitgeprobeerd kan worden hoe het model wordt beïnvloed door de grootte van de uitstroomopening en de lengte van het uitstroomtuutje.

Figuur 379 – Voorbeeld van het vergelijken van model- en meetresultaten.

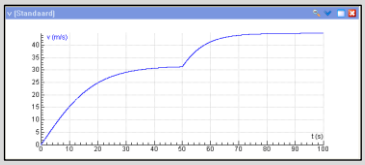
Modelleren maakt het mogelijk om leerlingen complexe, realistische verschijnselen te laten onderzoeken. Verschijnselen die op schoolniveau niet met formules beschreven kunnen worden, zoals bewegingen onder invloed van onder andere een snelheidsafhankelijke luchtweerstand. Voorbeelden daarvan staan in figuur 380 en 381: een model voor het optrekken met de fiets en een model van een parachutesprong.

Zelf modelleren is voor een deel van de leerlingen in de onderbouw mogelijk te hoog gegrepen, en in de examenprogramma's vmbo staat er niets over. Echter, het door de leerlingen laten onderzoeken van dit soort verschijnselen met een gegeven computermodel behoort zeker tot de mogelijkheden. Ze moeten dan wel iets weten van de manier waarop in zo'n model de grootte van de variabelen kan worden ingesteld.

Fietsen

Fietsen: daar weet je waarschijnlijk alles van af! Je weet dat je vooruit gaat als je kracht op de pedalen uitoefent. Bij een kleine trapkracht krijg je een kleine topsnelheid, bij een grote trapkracht een grote topsnelheid. Bij de topsnelheid zijn de voorwaartse kracht en de achterwaartse kracht op de fiets even groot. Dan geldt: $F_{netto} = F_{vw} - F_{aw} = 0$ N.

Hieronder zie je het resultaat van een computermodel voor het volgende verschijnsel. De fietser fietst met constante snelheid. Dan gaat de fietser krachtiger trapper, en de fiets versnelt tot een nieuwe topsnelheid van 45 m/s. Het diagram geeft de snelheid van de fiets in de loop van de tijd.

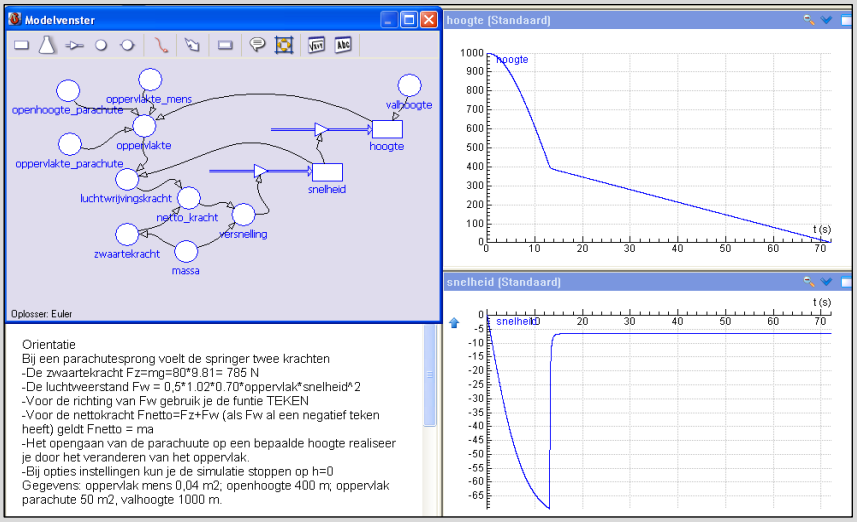


Figuur 380 – Voorbeeld van de modelresultaten voor de beweging van een fiets.

Parachutesprong

Hieronder staat het computermodel van een parachutesprong. De parachutist springt uit het vliegtuig op hoogte van 1000 m. Tijdens zijn val voelt hij de zwaartekracht en de luchtweerstand. Op een hoogte van 400 m trekt hij de parachute open.

Opvallend is dat de beweging dan bijna direct een beweging met constante snelheid wordt.



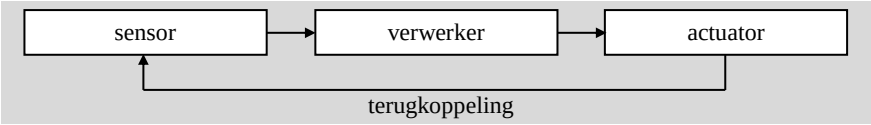
Figuur 381 – Voorbeeld van een gemodelleerde parachutesprong in de grafische modus van Coach.

Arduino

Technische (automatische) systemen zijn overal om ons heen en daarmee niet weg te denken uit de samenleving. Eenvoudige voorbeelden zijn het reservoir van het toilet dat zich automatisch vult na doortrekken en de buitenlamp die reageert op beweging maar dan wel alleen als het donker is. Dergelijke systemen hebben fysische eigenschappen en komen terug in de examenprogramma's. In het examenprogramma voor vmbo worden specifieke elektrische schakelingen genoemd, zoals het inbraakalarm en de automatische deurbediening. In het examenprogramma voor havo wordt technische automatisering genoemd als keuzedomein: "De kandidaat kan meet-, stuur- en regelsystemen construeren en de functie en werking van de componenten beschrijven."

Geautomatiseerde systemen worden gekenmerkt door de in figuur 382 weergegeven structuur. Ze kunnen door leerlingen gemaakt worden met het *systeem-*

bord van CMA, al dan niet aangevuld met het gebruik van de stuurtaal in *Coach* of kleine computers als de *Arduino*.



Figuur 382 – Schematische weergave van een geautomatiseerd systeem met terugkoppeling.

De Arduino is een goedkope microcontroller die het mogelijk maakt om elektronica uit te lezen en aan te sturen. De bekende EN/OF-poorten van het systeembord blijven bestaan, maar in plaats van het verbinden van draden met verwerkingsblokken worden deze nu geprogrammeerd. Dit heeft het voordeel dat er veel grotere en meer complexe prototypes en systemen gemaakt kunnen worden. Het nadeel is dat een leerling moet kunnen/leren programmeren. Op het moment dat de programmeertaal, gebaseerd op C, geen probleem meer is voor de leerling, kunnen er diverse goedkope sensoren gebruikt worden en is vrijwel elk elektronisch systeem met een beetje geheugen na te bouwen. Zo ontstaat al snel een verkeerslicht met een voetgangersoversteekplaats of een inbraakalarm dat afgaat als er beweging gedetecteerd wordt.

De kracht van de Arduino ligt in de mogelijkheden die het werken ermee biedt. Veel sensoren kosten maar een paar euro. Leerlingen kunnen daardoor eenvoudig projecten opzetten en realiseren. De Arduino is ook goed in te zetten bij technisch ontwerpen: leerlingen kunnen er snel een volledig prototype mee maken. Het werken met de Arduino geeft veel overlap met onderdelen uit het leerstofdomein elektriciteit. Leerlingen gaan aan de slag met spanningsdelers die uitgelezen worden, ze maken serieschakelingen om bijvoorbeeld een LED niet op te blazen en er worden diverse elektrische componenten gebruikt die in het examenprogramma staan. Het is ook mogelijk om vakoverstijgende projecten te doen met het vak informatica of om practica te ontwerpen met gebruik van de Arduino als regel- of meetinstrument.

Bij het leren werken met de Arduino wordt het laten knipperen van een LED gezien als de '*Hello, World!*' van het programmeren. Hierop volgt vaak het aansturen van een knipperlicht, wat voor zowel de schakeling als het programmeren maar een kleine uitbreiding is op het knipperen van een enkele LED en inzicht geeft in de programmeertaal. Een verdere uitbreiding van de schakeling met een drukknop maakt het al mogelijk een reactietijdspel te maken of een verkeerslicht met een voetgangersoversteekplaats. Het uitlezen van de drukknop is te relateren aan het uitlezen van een sensor. Vanuit deze basis is het een kleine stap naar het uitlezen van sensoren en het aansturen van bijvoorbeeld een elektromotor.

Lespraktijk

Leerlingen hebben vaak ideeën voor projecten, maar ze hebben moeite om deze op te breken in kleine stukken waarvan ze weten hoe ze de schakeling moeten bouwen of waarvoor ze de code kunnen opschrijven. Bij het uitbouwen naar grotere projecten of het opsporen van fouten in de schakeling of in de code wordt weer veel begeleiding gevraagd, waarbij (ook hier) niet bekend is wat je als leraar het beste kunt doen: laten aanmodderen, voorzeggen, of nog iets anders?

Figuur 383 – Begeleiden van leerlingen bij het werken met de Arduino.

Projecten

Een aantal mogelijke projecten met de Arduino zijn: een inbraakalarm dat reageert op licht en aan- en uitgezet kan worden, een reactietijdmeter, een weerstation gekoppeld aan een thermostaat. Een vrijere opdracht kan zijn: *hack-a-toy*. Wat wil zeggen dat de leerlingen een stuk speelgoed pakken en dat voorzien van (extra) elektronica.

Figuur 384 – Voorbeelden van projecten met de Arduino.

8.6 Musea, science centers en bedrijven

Buiten het formele onderwijs valt er ook veel over natuurkunde te leren. Dat kan zijn door een bezoek aan een sterrenwacht, wetenschapsmuseum of science center, het kijken naar een televisieprogramma of naar YouTube-films op internet, het bijwonen van een publiekslezing, het bezoeken van een wetenschapsfestival of een excursie naar een bedrijf. Dit soort activiteiten wordt *informele wetenschapseducatie* genoemd.

Als leraar kun je gebruik maken van wat informele wetenschapseducatie aan mogelijkheden te bieden heeft. Vaak zijn op andere locaties materialen of situaties aanwezig die je op school niet beschikbaar hebt. Dat kunnen bijvoorbeeld de onderzoeksfaciliteiten op een universiteit zijn, of een les met gebruik van echt radioactief materiaal, de sfeer en context van een tentoonstelling in een museum of de authentieke ervaring van het werken aan een echte satelliet. Of je maakt gebruik van de aantrekkingskracht van bepaalde media, zoals YouTube-films waarin op een aansprekende manier natuurkunde wordt uitgelegd (bijvoorbeeld *Minute Physics*), een artikel in een populair-wetenschappelijk tijdschrift zoals

Sterrenwacht

Bouchra is op bezoek in een sterrenwacht. Ze wandelt op eigen houtje door de tentoonstellingsruimtes. Een tentoonstelling met foto's van Mars bekijkt ze vluchtig, maar als ze in de zaal komt met een oud planetarium raakt ze geïnteresseerd. Ze kijkt naar de glimmende koperen bolletjes die de planeten moeten voorstellen en die allemaal in hun eigen tempo om de Zon heen draaien.

Naast het antieke planetarium staat een planetarium waaraan je zelf mag draaien. Ze probeert uit hoe ze de Zon, de Aarde, de Maan en Jupiter moet neerzetten zodat iemand op Aarde de planeet als een stipje naast de Maan ziet. Nog best lastig, maar ze houdt vol. Haar broertje komt erbij staan en ze legt uit wat ze aan het doen is. Samen lukt het hen om de Zon en de planeten te plaatsen zoals ze willen. Mede-bezoekers horen een enthousiaste schreeuw van de twee als het gelukt is.

Figuur 385 – Een voorbeeld van informele wetenschapseducatie.

KIJK of *Quest*, of een aflevering van een televisieprogramma over wetenschap. Hierin worden wetenschappelijke onderwerpen op een laagdrempelige en aantrekkelijke manier uitgelegd, wat een aanvulling kan vormen op de uitleg van een leraar. Dergelijke media kunnen ook een rol spelen binnen *flipping the classroom* (zie paragraaf 4.2.1). Aantrekkingskracht kan ook een rol spelen bij een bezoek aan een museum, science center of bedrijf. Het feit dat leerlingen op een plaats komen waar ze echte voorwerpen tegenkomen en waar ze zelf bepaalde wetenschappelijke fenomenen kunnen ervaren, zorgt ervoor dat ze vaak ook meer open staan voor leren.

Naast het gebruik maken van het aanbod van informele wetenschapseducatie kun je als leraar ook de sterke punten van informele wetenschapseducatie in je eigen lessen verwerken: vrije keuze, sociale interactie en het opdoen van authentieke ervaringen. Je kunt leerlingen binnen onderzoekend leren (zie paragraaf 9.4) meer vrijheid geven in de keuze voor onderwerpen of onderzoeksvragen. En binnen de concept-contextbenadering (zie paragraaf 9.3) kun je heel goed zorgen voor authentieke ervaringen waarbij echte objecten gebruikt worden. Haal bijvoorbeeld een echte fiets de klas in als het gaat om hefbomen, laat leerlingen aan echte apparaten sleutelen als het over elektriciteit gaat en laat leerlingen zelf observaties doen aan de Maan of planeten voordat je het over hun banen gaat hebben.

Buiten- en binnenschoolse programma's

Er zijn verschillende mogelijkheden om informele wetenschapseducatie in het onderwijs in te zetten. Oplopend van minder naar meer betrokkenheid en inbreng van de leraar kun je met je klas op bezoek bij een instelling voor informele wetenschapseducatie en/of bestaand aanbod van informele wetenschapseducatie de klas in halen.

Buitenschoolse programma's – Allerlei wetenschapsmusea, onderzoeksinstellingen en universiteiten hebben programma's die specifiek gericht zijn op schoolklassen. Je bezoekt met je klas de instelling en het programma voor het bezoek wordt volledig verzorgd door de educatoren ter plaatse. Vaak is er materiaal beschikbaar voor een voorbereidings- of verwerkingsles op school. Tijdens dat soort programma's krijgen leerlingen bijvoorbeeld een rondleiding door een deel van het museum waarna ze in een practicumlokaal aan de slag gaan met modellen van oude meetinstrumenten, of leerlingen kunnen in een echt universiteitslaboratorium werken met geavanceerde onderzoeksapparatuur of een 3D-printer.

Binnenschoolse programma's – Je kunt als leraar ook bestaand aanbod van instellingen of organisaties in de klas inzetten, ofwel één-op-één overnemend, ofwel ingebed in het eigen onderwijs. Verschillende organisaties hebben programma's, lessen of activiteiten ontwikkeld die in de klas uitgevoerd kunnen worden. Er is allerlei lesmateriaal beschikbaar over uiteenlopende onderwerpen die relevant zijn voor de natuurkunde. Een voorbeeld is het bezoek door een echte wetenschapper. Verschillende universiteiten, regionale bètasteunpunten en wetenschapsknooppunten organiseren programma's waarbij een wetenschapper op school een lezing geeft of een activiteit aanbiedt. Er bestaan ook verschillende presentaties of shows over bijvoorbeeld kernfusie (Fusion Roadshow) of natuurkunde bij lage temperaturen (RINO). Een ander voorbeeld van aanbod dat geschikt is voor in de klas zijn zogenaamde *citizen science* projecten, waarin het gewone publiek kan meedoen aan wetenschappelijk onderzoek. Veel van deze projecten hebben educatief materiaal ontwikkeld, waardoor leerlingen data verzamelen of analyseren en tegelijkertijd leren over het onderwerp en de procedure van het onderzoek. Een voorbeeld is een project waarbij leerlingen in hun omgeving metingen doen aan licht- en luchtvervuiling. Dat levert een authentieke ervaring op die kan zorgen voor extra motivatie.

8.7 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: Wat is er voor het natuurkundeonderwijs beschikbaar aan leermiddelen, en waar vind je die?

Het antwoord op het eerste deel van deze vraag behoeft geen verdere toelichting. En die leermiddelen zijn te vinden via de links op de website van dit praktijkboek. De onderwijsmaterialen en ideeën op deze websites vormen een rijke bron van inspiratie voor het vormgeven van gevarieerde lessen en lessenseries, geïntegreerd met, aanvullend op en/of als alternatief voor het op de school gebruikte leerboek.

Uit de in dit hoofdstuk gegeven voorbeelden blijkt echter dat er bij de gevonden leermiddelen regelmatig iets moet worden gewijzigd of aangevuld, zoals de vraagstelling bij een toetsopgave, een werkblad bij een internetopdracht, een kijkvraag bij een YouTube-film of een instructie voor een meet- of modelleeropdracht met Coach. Dan ben je bezig met het *ontwerpen* van leermiddelen.

Vakdidactisch ontwerpen – Het ontwerpen van onderwijsactiviteiten kan kleinschalig zijn, zoals het geval is bij de onderdelen van lessen in de hierboven gegeven voorbeelden. Maar het kan ook gaan om het uitvoeren van grootschalige ontwerptaken in de vorm van complete lessen en lessenseries, bijvoorbeeld vanuit een onderwijsvisie die afwijkt van wat ‘gebruikelijk’ is. Dat is dan ook het onderwerp van het volgende hoofdstuk van dit praktijkboek.

9 Vakdidactisch ontwerpen

9.1 Inleiding

In het voorwoord van dit praktijkboek is ‘de vakdidactiek’ op lespraktijkniveau gedefinieerd als ‘het op grond van een heldere, expliciete onderwijsvisie ontwerpen, uitvoeren en evalueren (en op grond daarvan bijstellen) van vakspecifieke onderwijsleerprocessen in een diversiteit aan leerstofdomeinen binnen het vakgebied – al dan niet aan de hand van de door de vaksectie op school gekozen lesmethode’. De meeste leerboeken houden er uit marktoverwegingen geen uitgesproken didactiek op na, afgezien van de leerstofindeling in hoofdstukken en paragrafen. En het ontwerpen door de leraar beperkt zich in de praktijk vaak tot het vormgeven van lesonderdelen (zoals werkbladen voor practicum of simulaties) en lessen, en soms lessenseries en projecten. Een meer uitgesproken, ‘afwijkende’ didactiek zoals de concept-contextbenadering, onderzoekend leren, probleemstellend of probleemgeoriënteerd leren, taalgericht vakonderwijs en/of aandacht voor natuurwetenschappelijke werk- en denkwijzen is vaak (nog) niet in leerboeken doorgedrongen, en moet je als leraar desgewenst zelf ontwerpen. Dit hoofdstuk geeft een beeld van wat dat ‘vakdidactisch ontwerpen’ kan inhouden en de ‘vakdidactische benaderingen’ waar het daarbij om kan gaan.

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: Hoe maak je een verantwoord ontwerp van leermiddelen voor lesonderdelen en lessen, maar ook voor lessenseries waarin een bepaalde onderwijsvisie tot uitdrukking komt?

9.2 Leermiddelen ontwerpen

Didactiek wordt vaak omschreven als de kunst van het lesgeven. Maar wie is nu de vakdidacticus? Is dat de vakdocent die de kunst van het lesgeven in praktijk brengt, is dat de auteur die leerboeken schrijft, is dat de onderzoeker die het lesgeven bestudeert of wellicht de lerarenopleider die lesgeeft in vakdidactiek?

Het is kenmerkend voor onze hoogontwikkelde samenleving dat voor deelprocessen specialisten zijn aangesteld, vaak georganiseerd in afzonderlijke instituten. De SLO voor leerplanontwikkelaars, het Cito voor toetsontwikkelaars en de lerarenopleidingen voor het opleiden van leraren. Het zou goed zijn als een groter deel van deze taken weer teruggingen naar de school en daar gaan behoren tot de taak van senior-leraren.

In de ambachtelijke samenleving werd lesmateriaal door de leraar zelf ontworpen, gemaakt en gebruikt. Een voordeel daarvan is de praktijknabijheid van het ontwikkelde lesmateriaal. Met als nadeel dat het dan vaak nauw aansluit bij de bestaande onderwijspraktijk, zonder nieuwe mogelijkheden te bieden. Een ontwerper van lesmateriaal heeft de mogelijkheid om een aantal alternatieve oplossingen te bedenken, voordat een keuze gemaakt wordt voor de variant die gemaakt gaat worden. In deze zin kan men ontwerpen het beste omschrijven als ‘het aangeven van de beste oplossing om in een behoefte te voorzien’. Natuurlijk moet bij de keuze van de oplossing rekening gehouden worden met wetenschappelijke kennis en met de beschikbare middelen.

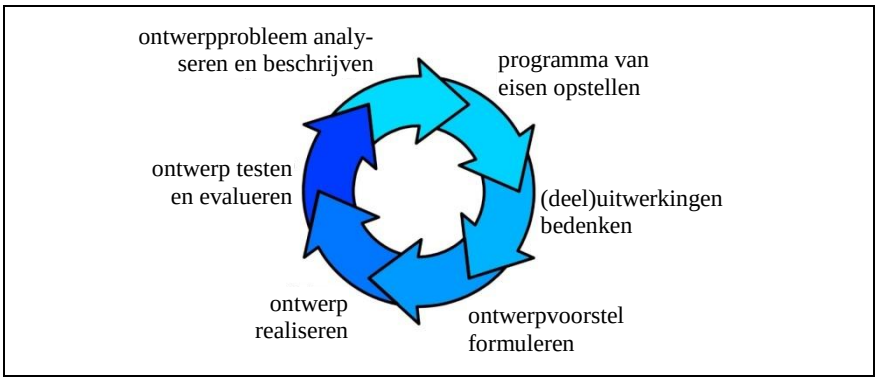
Didactische producten

In deze paragraaf gaat het in eerste instantie om het ontwerpen van aanvullende onderwijsleeractiviteiten voor (een deel van) een les. Daarbij valt te denken aan relatief kleine en gemakkelijk in de les inpasbare didactische producten als een afbeelding van een toepassing, een concept-cartoon, een inhoudelijke presentatie,

een projectopdracht, een demonstratie met draaiboek, een opdrachtenblad bij een simulatie of een onderzoekspracticum, een webquest, een ontwerpopdracht enzovoort. Daarna besteden we aandacht aan het ontwerpen van lessenseries. Daarbij beperken we ons tot een *didactische fasering* die bruikbaar lijkt als 'ontwerpheuristiek' om op hoofdlijnen richting te geven aan een ontwerp.

Ontwerpcyclus

Bij vakdidactisch ontwerpen van lesmateriaal is sprake van een zekere mate van analogie met de ontwerpcyclus bij 'ontwerpen' (zie paragraaf 7.4 en de daaruit overgenomen figuur 386), waarbij je zelf de opdrachtgever en de ontwerper bent en de *ontwerpopdracht* formuleert naar aanleiding van een geconstateerd vakdidactisch probleem.



Figuur 386 – De ontwerpcyclus.

Programma van eisen opstellen – Het ontwerpen begint met het analyseren van het probleem om te komen tot een (voorlopig) *programma van eisen.* Aan de hand van een zorgvuldig opgesteld (voorlopig) programma van eisen kun je een helder beeld krijgen van de functies die het lesmateriaal moet vervullen, rekening houdend met de randvoorwaarden (zoals groeperingsvorm, beschikbare lestijd, beschikbare ruimte, eindtermen en doelgroep) waarbinnen het materiaal gebruikt gaat worden. Bovendien kun je daarmee – als de eisen concreet en eenduidig zijn geformuleerd, zodat zij meetbaar getest kunnen worden – in elke fase van het ontwerpproces toetsen of je op de goede weg zit.

Een belangrijk onderdeel van het opstellen van het programma van eisen is het bepalen van de *hoofdfunctie* van het lesmateriaal. Zo heeft een opdrachtenblad bij een simulatie bijvoorbeeld als hoofdfunctie om de leerlingen door het werken met de simulatie een begrip aan te leren. Dat lesmateriaal bestaat uit een aantal onderdelen (bouwstenen) die ieder een eigen *deelfunctie* vervullen in het onderwijsleerproces en die in een goed overdachte volgorde zijn geplaatst. Om de deelfunctie van een bouwsteen te vinden, is het vaak handig je af te vragen wat er mis gaat als de bouwsteen ontbreekt. Zo heeft een opdracht bij een simulatie de volgende bouwstenen: inleiding met afbeelding simulatie, bediening, verkennen, verdiepen, achtergrondinformatie. Als het onderdeel 'bediening' ontbreekt, lopen de leerlingen vast bij het 'verkennen' en 'verdiepen', en als het onderdeel 'verdiepen' ontbreekt, blijft de leeractiviteit steken bij het spelen met de simulatie zonder duidelijke explicitering van wat er uit de simulatie te leren valt.

(Deel)uitwerkingen bedenken – De volgende stap is het voor elke bouwsteen bedenken van meerdere *uitwerkingen* om de deelfunctie te kunnen realiseren. Bij een inleiding op bijvoorbeeld het onderwerp 'bolle lenzen' zijn er verschillende mogelijkheden, zoals het klassikaal bekijken en bespreken van de bouw van een diaprojector of fototoestel, het uitvoeren van een practicum met een bolle lens, of het bespreken van het gebruik van een brandglas en loep. Om een duidelijk overzicht te krijgen van alle bouwstenen met hun deelfuncties en mogelijke uitwerkingen wordt vaak gebruik gemaakt van een *ideeëntabel*. Elke uitwerking wordt in de tabel met enkele trefwoorden en/of een schets omschreven. Zo'n ideeëntabel 'dwingt' tot creativiteit.

Ontwerpvoorstel formuleren – Na de voorgaande voorbereidende stappen volgt het opstellen van het definitieve programma van eisen en het beargumenteerd kiezen van de, gezien de gestelde eisen, meest veelbelovende combinatie van alternatieve uitwerkingen uit de ideeëntabel: het *ontwerpvoorstel*.

Ontwerp realiseren – Bij het realiseren van het ontwerp gaat het om het uitwerken van het ontwerpvoorstel tot concreet lesmateriaal.

Ontwerp testen en evalueren – Bij het testen van het ontwerp gaat het om de vraag of het lesmateriaal werkt in de klas. In de meeste gevallen moet je na dat testen eerst nog enkele verbeteringen in het lesmateriaal aanbrengen voordat het goed genoeg is. En dan ten slotte het beoordelen van het eindresultaat: voldoet het lesmateriaal, achteraf gezien, (nog steeds) aan het programma van eisen? Of, met andere woorden: is het probleem dat aanleiding gaf tot het ontwerpen van het lesmateriaal nu opgelost?

Het lijkt er misschien op dat de hierboven genoemde fasen opeenvolgend moeten worden doorlopen. In grote lijnen is dat ook zo, maar het is belangrijk dat je als ontwerper in verschillende fasen van het ontwerpproces teruggaat naar eerdere fasen om je ideeën en voorstellen tussentijds bij te stellen.

Onderwijsleeractiviteiten ontwerpen

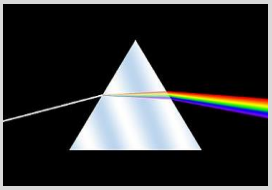
Bij het ontwerpen van aanvullende onderwijsleeractiviteiten nemen we het leerboek als uitgangspunt. Daardoor ligt de inhoud en volgorde van de leerstof vast. Daaraan kun je dan een aantal van de in dit praktijkboek genoemde elementen toevoegen, zoals differentiatie, flipping the classroom, activerende werkvormen, practica, simulaties, games, webquests, checkvragen en begripstests, al dan niet binnen uitgezette leerlijnen voor probleemoplossen, onderzoeken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming.

Ook bij het ontwerpen van dit soort aanvullende onderwijsleeractiviteiten met een beperkte omvang is het doorlopen van de ontwerpcyclus zinvol, met speciale aandacht voor het identificeren van de opeenvolgende bouwstenen en hun functies en het opstellen van een ‘tot creativiteit dwingende’ ideeëntabel voor de uitwerking van elk van die bouwstenen. Als voorbeeld staat in figuur 387 een drieluik in een les over kleurschifting bij de regenboog en in figuur 388 een ideeëntabel voor de uitwerking van de verschillende bouwstenen van dit drieluik.

Praktijksituatie

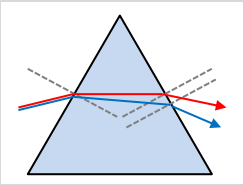
Bij een regenboog is het zonlicht gesplitst in verschillende kleuren.

Laboratoriumsituatie



Het prisma breekt het licht van verschillende kleuren verschillend.

Theoriesituatie



Het prisma breekt de blauwe lichtstraal sterker dan de rode lichtstraal.

Figuur 387 – Drieluik: de regenboog en kleurschifting.

Bouwsteen met functie		Uitwerkingen		
		1	2	3
1	Inleiden dagelijks leven: regenboog	verhaal	afbeelding	concept cartoon
2	Uitleg laboratorium: Prisma	tekening	foto	demonstratie
3	Uitleg theorie: kleurschifting	leestekst	videofragment	leraar

4	Oefenen schematisch kleurschifting	opgaven	simulatie	practicum
5	Toepassen werkelijk kleurschifting	opgaven	foto	

Figuur 388 – Ideeëntabel voor de uitwerking van een drieluik over de regenboog en kleurschifting.

De ontwerpcyclus is uiteraard ook bruikbaar voor het ontwerpen van meer omvangrijke didactische producten: een andere didactische benadering (zoals onderzoekend of probleemgeoriënteerd leren) als *aanvulling* op (een hoofdstuk van) het leerboek, of een andere didactische benadering (zoals een concept-contextbenadering met een 'centrale context' of probleemstellend leren) als *alternatief* voor (een hoofdstuk van) het leerboek. In het eerste geval moet je rekening houden met de aansluiting tussen je ontwerp en het leerboek – en soms kan dat wringen. In het tweede geval heb je veel meer vrijheid, maar wel veel meer ontwikkeltijd nodig.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk proberen we een beeld te geven van wat die 'andere didactische benaderingen' kunnen inhouden, en welke *ontwerpprincipes* daarbij als zeer globale richtlijn dienst kunnen doen. Daarbij kan de *didactische fasering* zoals hieronder weergegeven als een algemeen ontwerpprincipe worden gezien.

Didactische fasering

Bij het ontwerpen van lesmateriaal moet eerst, uitgaande van de doelgroep, worden vastgesteld wat de beginsituatie van de leerlingen zal zijn (voorkennis) en welke leerdoelen worden beoogd – en bij dat laatste is het verstandig om al in een vroeg stadium te bedenken hoe die leerdoelen dan uiteindelijk concreet getoetst gaan worden, om te voorkomen dat er sprake is van onrealistische verwachtingen van de leeropbrengst van het te ontwerpen lesmateriaal en het bijbehorende onderwijsleerproces. Daarmee samenhangend kan nu de vakinhoud van het lesmateriaal worden vastgesteld in de vorm van een logisch, doorlopend 'verhaal', en moeten keuzes worden gemaakt rond de vakdidactische benadering (of onderwijsvisie): cursorisch of projectmatig, welke concept-contextbenadering, wel of niet onderzoekend leren, wel of niet een probleemgeoriënteerde of zelfs probleemstellende benadering, welke vorm van differentiatie, welke activerende werkvormen, welke aanpak voor begripsontwikkeling enzovoort.

Daarna kan begonnen worden met het uitlijnen van het beoogde lesmateriaal. Een hulpmiddel daarbij kan dan zijn een globale *fasering* van het onderwijsleerproces en de *didactische functie* van elk van de daarin te onderscheiden fasen, of – kortweg – om een *didactische fasering*.

Globaal motief – Oriënteren op en oproepen van een globale interesse en globaal motief voor het bestuderen van het betreffende onderwerp.

Kennisbehoefte – Het inperken en toespitsen van dit globale motief tot een inhoudsspecifieke behoefte aan meer kennis.

Kennisuitbreiding – Het uitbreiden van de bestaande kennis van de leerlingen, in het licht van het globale motief en de specifieker geformuleerde kennisbehoefte.

Kennistoepassing – Het toepassen van de nieuwe kennis in situaties waarvoor de kennisuitbreiding bedoeld was.

Deze fasen zijn, mogelijk met uitzondering van het oproepen van een kennisbehoefte, ook herkenbaar in de eerder gegeven fasering van begripsleren (zie paragraaf 2.3.1). De didactische fasering lijkt daarmee bruikbaar als 'ontwerpheuristiek' die op hoofdlijnen enige richting geeft aan een ontwerp.

Op de bovengenoemde didactische fasering zijn nog twee aanvullingen mogelijk, die te maken hebben met *macro-micro-denken* en de ontwikkeling van *metacognitieve kennis* bij vaardigheidsontwikkeling.

Macro-micro-denken – Afhankelijk van het onderwerp kan er sprake zijn van

verschillende soorten kennis. Een voorbeeld is het onderwerp radioactiviteit, met kennis over het verschijnsel radioactiviteit op macroscopisch niveau en kennis over de verklaring van dat verschijnsel op microscopisch niveau (zie paragraaf 9.5). Eenzelfde tweedeling is zichtbaar bij een onderwerp als stoffen en materialen, met enerzijds de macroscopische eigenschappen van materie en anderzijds de verklaring van die eigenschappen met een deeltjesmodel (zie paragraaf 6.6). In dit soort gevallen kan de didactische fasering worden gebruikt als ontwerpheuristiek voor het lesmateriaal over het verschijnsel op macroscopisch niveau, gevolgd door eenzelfde didactische fasering in het lesmateriaal over de verklaring van dat verschijnsel op microscopisch niveau. Het kan echter zijn dat in deze 'tweede ronde' de fase 'kennisbehoefte' kan komen te vervallen, als er in de 'eerste ronde' bij leerlingen al voldoende vragen zijn opgekomen (of opgeroepen) naar een verklaring voor de macroscopische verschijnselen. Het is natuurlijk mogelijk om deze 'tweede ronde' te verplaatsen naar een later moment in het curriculum.

Metacognitieve kennis – Afhankelijk van het onderwerp kan er sprake zijn van een wens tot het ontwikkelen van de metacognitieve kennis van de leerlingen. Een voorbeeld is de lessenserie over oordeels- en besluitvorming in keuzesituaties (zie paragraaf 7.5). Daarbij is sprake van twee gekoppelde leerprocessen die elkaar als het ware aandrijven. In de lessenserie over besluitvorming over afval is het ene leerproces (in de eerste vier fasen van de bovengenoemde didactische fasering) gericht op nieuwe natuurwetenschappelijke kennis over afval, het andere (in een toegevoegde laatste fase, maar voorbereid in de voorafgaande fasen) op de inzichtelijke ontwikkeling van een metacognitief 'instrument' waarmee men kan nadenken over de vraag of men wel een verstandig besluit heeft genomen. Van het ontwikkelen van metacognitieve kennis kan ook sprake zijn bij de vaardigheden probleemoplossen, onderzoeken en ontwerpen.

Ontwikkeling van metacognitie vraagt om een vijfde fase in de beschreven didactische fasering. Daarin wordt, in het licht van het globale motief uit de eerste fase van de didactische fasering, de behoefte opgeroepen om te reflecteren op de kwaliteit van de ontwikkelde vaardigheid: hoe goed kunnen we nu uit verpakkingsalternatieven kiezen, een mechanicaprobleem oplossen, de oplosbaarheid van suiker onderzoeken of een muizenvalauto ontwerpen? In respons op die behoefte wordt een 'metacognitief instrument' ontwikkeld door bijvoorbeeld, terugkijkend naar wat er in de eerste vier fasen van de didactische fasering gedaan is, een aantal stappen te benoemen die het uitvoeren van deze vaardigheid (blijken te) sturen (zie hoofdstuk 7). Dat instrument is daardoor in eerste instantie beperkt tot een specifieke context, maar is vervolgens te generaliseren tot een hulpmiddel voor het op een hoger niveau kunnen uitvoeren van de vaardigheid. Het toevoegen van een dergelijke fase is echter alleen zinvol als leerlingen in latere lessenseries de mogelijkheid krijgen om zo'n metacognitief instrument dan ook daadwerkelijk in te zetten.

9.3 Concept-contextbenadering

In de *concept-contextbenadering* spelen praktijksituaties (zie paragraaf 2.3.1) een belangrijke rol. De context van een natuurkundig begrip of een natuurkundige regel kun je zien als een samenhangende verzameling van praktijksituaties waarin je dat begrip of die regel kunt toepassen. De praktijkcontext wordt aan de orde gesteld omdat een stuk leerstof erin kan worden aangeleerd of toegepast. Zo is de kreukzone van een auto voor het begrip traagheid een praktijksituatie binnen de context verkeersveiligheid. En voor het begrip terugkaatsing van geluid is echoscopie een praktijksituatie binnen de context medische beeldvorming.

Er zijn verschillende redenen om contexten een rol te geven in het onderwijs: ze dragen bij een aan beter beeld bij leerlingen van bèta en techniek, ze geven betekenis aan concepten, en ze versterken bij veel leerlingen de motivatie en attitude. Afwisseling in contexten is nodig om aan de interesse van zoveel mogelijk leerlingen tegemoet te komen, en om transfer van kennis van de ene naar de andere context mogelijk te maken.

Soorten contexten

De eenvoudigste manier om geschikte contexten voor de eigen klas te ontdekken is het de leerlingen zelf te vragen door middel van bijvoorbeeld een digitale of papieren enquête. Verder staan de leerboeken (zowel de nieuwe als de wat oudere) vaak vol met suggesties, en kunnen nieuws-websites een rijke bron van inspiratie vormen – en dan is er ook nog het al wat oudere PLON-materiaal als bron voor contexten in de natuurkunde.

Kijkend naar het karakter van de context, is er een onderscheid te maken tussen vier soorten contexten.

Leefwereld – De leefwereldcontexten zijn afkomstig uit het dagelijks leven van de leerlingen, zoals mobiele telefoons en hun apps, scooters en uitgaan.

Samenleving – De maatschappelijke contexten zijn ontleend aan thema's die relevant zijn in het maatschappelijk leven en de samenleving, zoals milieuproblematiek en medische hulpmiddelen (zonnecellen, insulinepompjes).

Beroepen – De beroepscontexten zijn afkomstig uit de beroepspraktijk van mensen in een bepaald vakgebied, zoals dat van forensisch onderzoeker, civiel technicus en automonteur (CSI, weg- en waterbouw, autotechniek).

Wetenschap – De wetenschappelijke contexten komen uit de praktijk van de wetenschap, zoals nieuwe ontdekkingen in de natuurkunde, onderzoeksmethoden en hun uitkomsten (gravitatiegolven, CERN, onderzoek naar rampen).

Voor het vmbo en de onderbouw havo/vwo lijken de eerste drie soorten contexten het meest bruikbaar, met in eerste instantie een accent op de leefwereldcontexten. Daarbij kan het overigens nodig zijn om de context wat aan te passen en te vereenvoudigen, om de leerling niet teveel in verwarring te brengen. Maar ook om te voorkomen dat de concepten te ver buiten het curriculum vallen.

Er zijn veel manieren om de concept-contextbenadering in praktijk te brengen, meestal ondersteund door andere didactische benaderingen zoals projectmatig werken, onderzoekend leren en activerende werkvormen. Een in de leerboeken veel gehanteerde manier om iets van context in de lessen aan te brengen is het geven van een praktijkvoorbeeld bij elk natuurkundig concept en de bijbehorende regel of formule. Een andere, redelijk veel voorkomende manier is de start van een theorieles met een filmpje, plaatje of verhaal uit de leefwereld van de leerling. Het hierin naar voren komende natuurkundige probleem vraagt dan om nieuwe concepten, die door de leraar worden uitgelegd of waarover de leraar met de klas een onderwijsleergesprek voert. En vervolgens gaan de leerlingen met de vragen en opgaven uit het boek aan de slag. Een wat verdergaande variant daarvan is dat de leraar het nieuwe concept niet gaat uitleggen, maar de leerlingen aan het werk zet om zelf het antwoord op de vraag te vinden en hen daarbij waar nodig begeleidt – zoals in de in figuur 389 geschetste lespraktijk. De leraar had overigens ook de film ter illustratie kunnen laten zien aan het einde van een standaard theorieles met vragen uit het leerboek over versnelling en G-krachten.

De verschillende manieren waarop de leraar de gefilmde praktijksituatie van het breken van het snelheidsrecord in de les kan inzetten wijst min of meer vooruit naar de verschillende manieren waarop de concept-contextbenadering in een lessenserie kan worden uitgewerkt.

Lespraktijk

De leraar laat een film zien van een raketracewagen op een zoutmeer. De bestuurder van de wagen wordt van dichtbij gefilmd: we zien zijn gezicht vervormen. Na afloop van de race is het snelheidsrecord gebroken en wordt de coureur weggedragen. De leraar stelt dan de vraag: "Hoe komt het dat het gezicht van de coureur zo vervormd wordt en waarom is hij daarvan onwel geworden?" De leraar vraagt om een antwoord in natuurkundige termen. De leerlingen zoeken dit uit, en komen terug met G-krachten.
Dan vraagt de leraar om met behulp van de gegevens uit de film uit te zoeken hoeveel G er dan op de coureur werkte.

Figuur 389 – Voorbeeld van een concept-contextbenadering met een leerlinggestuurde beantwoording van de opgeroepen vraag.

Concept-contextvenster

Bij contextrijke lessenseries zijn er verschillende keuzes mogelijk wat betreft de selectie en de inrichting van de leerinhoud. In het concept-contextvenster van figuur 390 worden op grond daarvan vier verschillende concept-contextbenaderingen onderscheiden: zijn de keuzes ten aanzien van de selectie en inrichting van de leerinhoud gemaakt op basis van de conceptuele vakstructuur (het netwerk van samenhangende begrippen in (een deel van) het vakgebied) of op basis van de gekozen context?

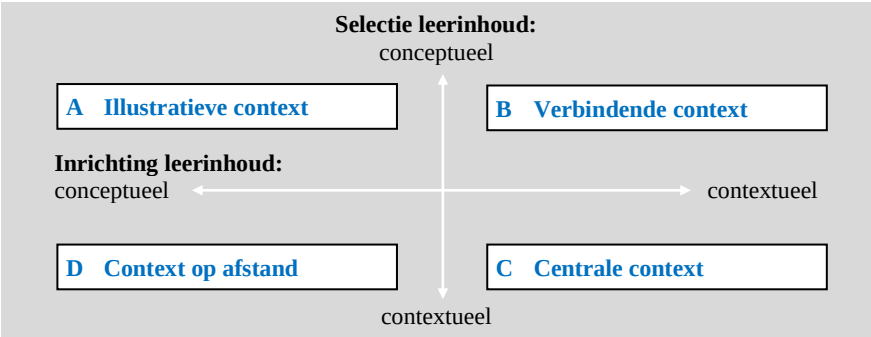
Illustratieve context – In deze concept-contextbenadering staat de conceptuele vakstructuur centraal. Verschillende contexten worden gebruikt als ad-hoc illustraties van begrippen en regels uit het vakgebied. Bij een vakgebied als de

mechanica worden de begrippen daaruit dan geïllustreerd met een variëteit aan praktijksituaties ontleend aan alledaagse bewegingen (lopen, fietsen), aan bewegingen in de sport (hardlopen, hoogspringen, kogelstoten) en aan bewegingen in het verkeer (optrekken, remmen, botsen).

Verbindende context – Ook in deze concept-contextbenadering staat de conceptuele vakstructuur centraal. Nu is er echter sprake van een keuze voor één context: praktijksituaties uit óf de sport, óf het verkeer of nog iets anders. Deze verbindende context brengt een pragmatische samenhang aan in de verzameling vakbegrippen en regels.

Centrale context – In deze concept-contextbenadering staat één context centraal, en dient als vraagstelling en selectiecriterium voor concepten. Daardoor zal, afhankelijk van de vraagstelling, niet altijd de conceptuele vakstructuur van (een deel van) het vakgebied volledig aan bod komen. Daarnaast kan het zijn dat concepten uit verschillende delen van het vakgebied – of zelfs uit verschillende vakgebieden – nodig zijn om de gestelde vraag te beantwoorden. De voorbeelden van figuur 391 en 392 geven een beeld van deze benadering.

Context op afstand – Ook in deze concept-contextbenadering staat één context centraal, maar deze context komt pas laat – bijvoorbeeld aan het eind van een lessenserie – aan bod. Dan worden de eerder vrij contextloos aangeboden vakbegrippen en regels gebruikt om een aan de als een soort van afsluiting geïntroduceerde context ontleende vraagstelling te beantwoorden.



Figuur 390 – Het concept-contextvenster met vier te onderscheiden varianten van de concept-contextbenadering.

In de leerboeken is meestal sprake van de twee hierboven als eerste genoemde concept-contextbenaderingen, en soms van een context op afstand als afsluiting van een hoofdstuk. De benadering met een centrale context komt niet tot nauwelijks voor, terwijl deze toch net wat meer mogelijkheden lijkt te bieden voor het realiseren van voor leerlingen aantrekkelijk en relevant onderwijs. Daarom werken we deze benadering hieronder wat verder uit in de vorm van enkele voorbeelden, ter inspiratie.

Centrale context

Het lesmateriaal van figuur 391 geeft het begin van een lessenserie over 'Brandstofverbruik in het verkeer'.

Brandstofverbruik in het verkeer

Inleiding

Elke dag zijn in Nederland een paar miljoen mensen onderweg van huis naar school, bedrijf of kantoor, naar vrienden of familie. Mensen verplaatsen zich lopend, met de fiets of brommer, met de auto, bus, trein of boot. Een groot deel van dat verkeer is gemotoriseerd. Met behulp van een motor kunnen we ons gemakkelijk en snel over grote afstanden verplaatsen. Daarvoor is *brandstof* nodig, zoals benzine, dieselolie en lpg.

1 Snelheid en brandstofverbruik
Vanaf september 2012 mogen automobilisten op de helft van de snelwegen 130 km/h rijden, in plaats van 100 of 120 km/h. Tegenstanders vinden deze maatregel slecht voor het milieu en voor de veiligheid. Ook is een hogere snelheid duur in

Figuur 1 Brandstofverbruik in het verkeer hangt onder andere af van de snelheid waarmee wordt gereden.

Figuur 2 De nieuwe maximumsnelheid op de helft van de snelwegen in Nederland.

brandstofverbruik. Met dat laatste is niet iedereen het eens, zo blijkt uit het fragment van een krantenartikel hieronder.

> "Gelul", meent Kees de Kok (34) inzake de laatste overweging. "Als ik hard rij, ben ik tien minuten eerder thuis. Dan verbruik ik dus voor tien minuten minder benzine." Zie daar maar eens een speld tussen te krijgen.

Bron: *de Volkskrant*, 3 september 2012

a Eerst maar eens die "tien minuten eerder thuis" (vanaf zijn werk, nemen we maar aan) bij een snelheid van 130 in plaats van 120 km/h op de snelweg. Hoe ver zou Kees dan op zijn minst van zijn werk wonen? Hoe realistisch lijkt je dat?

b Dan dat "voor tien minuten minder benzine" verbruiken. Welke denkfout maakt Kees hier volgens jou?

c Probeer een schatting te maken van de toename van het brandstofverbruik bij een verhoging van de snelheid van 100 naar 130 km/h. Bedenk daarbij dat de luchtweerstandskracht op een voertuig afhangt van het kwadraat van de snelheid.

2 Elektrische auto

Auto's die op benzine, dieselolie of lpg rijden, stoten het broeikasgas CO_2 uit. Dat kan niet anders bij het verbranden van fossiele brandstoffen. Een alternatief is de elektrische auto. Voorstanders daarvan zeggen nogal eens iets als: "Elektrische auto's zijn milieuvriendelijk, want ze rijden niet op fossiele brandstof en stoten dus geen CO_2 uit. Bovendien zijn ze een oplossing voor het probleem dat fossiele brandstoffen opraken."

a Geef je commentaar op deze uitspraken. Bedenk daarbij hoe in Nederland elektriciteit wordt geproduceerd.

b Leg uit waardoor een elektrische auto toch milieuvriendelijker zou kunnen zijn dan een auto die op fossiele brandstof rijdt.
Dé manier om milieuvriendelijk met een elektrische auto te rijden staat in het fragment van een krantenartikel hieronder.

> "Leg zonnepanelen op uw dak of plaats een windturbine. Gebruik deze stroom om uw elektrische auto op te laden en u heeft duurzame en honderd procent CO_2-neutrale stroom om op te rijden."

Bron: *de Volkskrant*, 12 januari 2011

c Welk commentaar en welke vragen roept deze uitspraak bij je op?

Milieueffecten

Brandstofverbruik zorgt voor *uitputting* van de voorraden brandstof. Eens zal de voorraad steenkool, aardolie en aardgas opraken. Wanneer het zover is, valt niet met zekerheid te zeggen. Er worden nog steeds nieuwe voorraden ontdekt. Bovendien kan ook het brandstofverbruik in de toekomst veranderen.
Brandstofverbruik zorgt ook voor *vervuiling* van het milieu. Bij het verbranden van brandstof ontstaan onder andere stikstofoxiden (NO_x) en koolstofdioxide (CO_2). Deze stoffen komen in de lucht terecht. Stikstofoxiden in de lucht veroorzaken zure regen. Dit kan bossen en land- en tuinbouwgewassen aantasten. Koolstofdioxide in de lucht zorgt voor versterking van het broeikaseffect. Hierdoor kan de temperatuur in de atmosfeer van de aarde stijgen. Het gevolg hiervan kan een stijging van het zeeniveau en een verandering van het klimaat zijn. Of deze effecten inderdaad zullen optreden, is nog onduidelijk.
De bijdrage van het verkeer aan uitputting van de brandstofvoorraad en aan luchtvervuiling hangt onder andere af van de hoeveelheid brandstof die wordt verbruikt. Hoe kleiner het brandstofverbruik is, des te kleiner zijn de milieueffecten.

Brandstofverbruik

Het *brandstofverbruik* van een voertuig is de hoeveelheid brandstof die nodig is om een bepaalde afstand (bijvoorbeeld 100 km) af te leggen. Hoe groot dat brandstofverbruik is, hangt af van de eigenschappen van het voertuig (zoals de vorm, afmetingen en massa) en van het rijgedrag van de bestuurder (zoals de snelheid). Deze factoren bepalen de grootte van de tegenwerkende wrijvingskrachten en daarmee de grootte van de benodigde voorwaartse kracht op het voertuig. Want: bij rijden met een constante snelheid is er sprake van krachtenevenwicht. Het brandstofverbruik wordt dan bepaald door de arbeid die de motor moet leveren en door het rendement van de motor.
Brandstof is een bron van energie. Bij het gebruik ervan wordt deze energie omgezet in andere vormen van energie. Brandstofverbruik in het verkeer is dus ook te zien als een energieomzetting.

Menselijk lichaam als motor

Je komt brandstofverbruik niet alleen tegen in het gemotoriseerde verkeer. Ook het menselijk lichaam verbruikt brandstof: voedsel. Door het verbranden van voedsel kan het lichaam arbeid leveren. Bij bewegingen als lopen en fietsen bepalen de geleverde arbeid, het mechanisch vermogen en het rendement van het menselijk lichaam de benodigde inspanning.

Figuur 3 Ook bij fietsen is sprake van brandstofverbruik.

Dit hoofdstuk gaat over brandstofverbruik in het verkeer, en de mogelijkheden om dat brandstofverbruik zo laag mogelijk te maken.

Hoofdstukvragen

- Welke invloed hebben de geleverde arbeid en het rendement van de motor op het brandstofverbruik van een voertuig?
- Hoe maak je dat brandstofverbruik van een motorvoertuig zo laag mogelijk?

Figuur 391 – Start van een lessenserie met brandstofverbruik in het verkeer als centrale context.

In de inleiding van de lessenserie wordt de context brandstofverbruik in het verkeer geïntroduceerd door middel van onder andere een tweetal praktijk- of probleemsituaties. De verwachting is dat de leerlingen de vragen rond deze situaties nog niet volledig kunnen beantwoorden, wat voor hen een motivering zou moeten zijn om met de inhoud van het hoofdstuk aan de slag te gaan. De hoofdstukvraag met een voornamelijk contextueel karakter wijst erop dat de gerezen vragen met de inhoud van het hoofdstuk (uiteindelijk) wel te beantwoorden zouden moeten zijn. Vandaar dat de twee in inleiding geïntroduceerde praktijk- of probleemsituaties in de afsluitende paragraaf weer zullen moeten terugkomen.

De vervolgparagrafen zullen dan gericht moeten zijn op het aanleren/verwerken van achtereenvolgens de volgende leerinhouden binnen de gekozen centrale context van brandstofverbruik in het verkeer (beperkt tot rijden met constante snelheid over een horizontale weg):

- krachtenevenwicht tussen voorwaartse kracht en rol- en luchtweerstand bij rijden met een constante snelheid: $F_{vw} = F_{w,l} + F_{w,r} = ½ \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + c_r \cdot m \cdot g$
- arbeid verricht door de voorwaartse kracht: $W_{Fvw} = F_{vw} \cdot s$
- energieomzetting en rendement verbrandingsmotor: $\eta = W_{Fvw}/E_{ch}$
- verbrandingswarmte: $r_v = E_{ch}/V$

Het resultaat hiervan is samen te vatten in de volgende formule (die door de leerlingen uit het voorgaande af te leiden is):

$$E_{ch} = r_v \cdot V = \frac{W_{Fvw}}{\eta} = \frac{F_{vw} \cdot s}{\eta} = \frac{(F_{w,l} + F_{w,r}) \cdot s}{\eta} = \frac{(½ \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + c_r \cdot m \cdot g) \cdot s}{\eta}$$

Deze leerinhoud is desgewenst in te perken door de rolweerstand buiten beschouwing te laten (en dit de leerlingen dan ook mee te delen, samen met de opmerking dat deze rolweerstand bij grote snelheden klein is ten opzichte van de luchtweerstand). Daarnaast kan ook de formule voor de luchtweerstand worden beperkt tot $F_{w,l} = c \cdot v^2$.

In de afsluitende paragraaf moeten de twee in de inleiding geïntroduceerde praktijk- of probleemsituaties weer terugkomen, bijvoorbeeld op de in figuur 392 geschetste manier. Deze afsluiting kan desgewenst nog worden aangevuld met een aantal eindopgaven rond praktijksituaties als een wereldrecord zuinig rijden, fietsen op zonne-energie en brandstofverbruik van een vliegtuig – om de wendbaarheid van de leerlingen in de toepassing van de geleerde vakbegrippen en regels te vergroten.

Brandstofverbruik in het verkeer

Afsluiting

24 De hoofdstukvraag was: Welke invloed hebben de geleverde arbeid en het rendement van de motor op het brandstofverbruik van een voertuig, en hoe maak je dat brandstofverbruik zo laag mogelijk?
Geef een uitgebreid en compleet antwoord op deze hoofdstukvraag.

25 Kijk terug naar je antwoorden bij opdracht 1 en 2 van dit hoofdstuk. Bij welke vragen in die opdrachten zou je nu een ander antwoord geven? En welk ander antwoord is dat dan? (Zie zo nodig ook de eindopgaven 26 en 27.)

Eindopgaven

26 Om de milieueffecten van het verkeer te beperken is onder andere voorgesteld om de maximumsnelheid van 130 km/h op autosnelwegen (weer) terug te brengen tot 100 km/h. In deze opgave ga je na hoeveel daardoor het brandstofverbruik afneemt.

Figuur 21 Een lagere maximumsnelheid betekent minder brandstofverbruik in het verkeer.

Een personenauto heeft (leeg) een massa van 800 kg. De rolweerstandskracht wordt gegeven door: $F_{w,r} = 0{,}015 \cdot F_n$. De luchtweerstandskracht op de redelijk gestroomlijnde auto wordt gegeven door: $F_{w,l} = 0{,}45 \cdot v^2$. Het rendement van de benzinemotor is 0,25 (of 25%).

a Bereken het brandstofverbruik (in L/100 km) bij een snelheid van 130 en 100 km/h.

b Wat is je conclusie: met hoeveel procent neemt het brandstofverbruik af door een lagere maximumsnelheid (100 in plaats van 130 km/h)?

27 Een elektrische auto wordt pas echt "schoon" als de benodigde elektrische energie wordt geproduceerd met duurzame energiebronnen als zon en wind. De opbrengst aan elektrische energie van zes zonnepanelen op het dak van een woning is 1200 kWh per jaar.

a Bereken de jaarproductie van elektrische energie in J.
De door de zonnepanelen geproduceerde elektrische energie wordt via opslag in accu's volledig gebruikt voor de aandrijving van een elektrische auto. De auto heeft (leeg) een massa van 800 kg. De rolweerstandskracht wordt gegeven door: $F_{w,r} = 0{,}015 \cdot F_n$. De luchtweerstandskracht op de redelijk gestroomlijnde auto wordt gegeven door: $F_{w,l} = 0{,}45 \cdot v^2$. Het rendement van de elektrische auto is 0,70 (of 70%).

b Bereken de afstand die de auto met een snelheid van 100 km/h kan afleggen op de door de zonnepanelen geleverde elektrische energie.

c Wat is je conclusie: is het aantal zonnepanelen groot genoeg voor het afleggen van een afstand van (bijvoorbeeld) 12.000 km per jaar? En zo nee: welke maatregelen zou de automobilist/bewoner kunnen nemen om de per jaar af te leggen afstand groter te maken?

Figuur 392 – Afsluiting van een lessenserie met brandstofverbruik in het verkeer als centrale context.

Kenmerken

Lesmateriaal dat past in kwadrant C van het concept-contextvenster kan worden gekarakteriseerd zoals in figuur 393. De centrale context van het hierboven weergegeven lesmateriaalvoorbeeld is 'brandstofverbruik in het verkeer', en dat heeft consequenties voor de natuurkundige inhoud: extra ten opzichte van de gebruikelijke inhoud van het deelgebied 'energie en arbeid' is het begrip 'brandstofverbruik'. Daarnaast zijn de formules voor de rol- en luchtweerstand nodig. Deze beide laatste concepten (of vakbegrippen) komen uit een ander deelgebied van de natuurkunde: 'kracht en beweging'. Maar in het examenprogramma vmbo komen beide begrippen daar wel kwalitatief maar niet kwantitatief voor. Ook hierbij is dus sprake van iets extra's ten opzichte van de gebruikelijke leerinhoud. Niet binnen de gekozen context passende natuurkundige inhoud – vanwege de keuze voor een inperking tot rijden met constante snelheid op een horizontale weg – betreft de begrippen kinetische energie en zwaarte-energie (inclusief formules), één van de twee formules voor chemische energie, de wet van arbeid en kinetische energie en de verschillende soorten verticale bewegingen. Het begrip kinetische energie en de wet van arbeid en kinetische energie zouden passen in een lessenserie met (bijvoorbeeld) 'remmen en botsen' of 'verkeersveiligheid' als centrale context. Het begrip zwaarte-energie en de tweede formule voor de chemische energie zouden passen in een hoofdstuk met (bijvoorbeeld) 'energievoorziening' als centrale context, maar het begrip zwaarte-energie zou ook binnen de gekozen centrale context aan bod kunnen komen door het toevoegen van praktijksituaties rond 'rijden op een helling'.

Het lesmateriaalvoorbeeld lijkt redelijk te voldoen aan de vier in figuur 393 beschreven kenmerken: er is sprake van één centrale context met bijpassende, samenhangende concepten vanuit verschillende deelgebieden van het vakgebied. In dit geval vraagt de gekozen centrale context echter niet om een behandeling van concepten en/of vakbegrippen uit andere vakgebieden. Hierbij moet worden opgemerkt dat zoiets in het lesmateriaalvoorbeeld in principe wel mogelijk zou zijn door inpassing van verbrandingsreacties (verbrandingsmotor) en redoxreacties (accu, brandstofcel) vanuit het vakgebied scheikunde.

In het lesmateriaalvoorbeeld wordt 'context' opgevat als een persoonlijke en/of maatschappelijke probleemstelling waarbij de nog te presenteren fysische

Centrale context

De context staat centraal, en dient als vraagstelling en selectiecriterium voor concepten:
- Er is sprake van één centrale context.
- Alle concepten volgen uit de keuze van de centrale context.
- De concepten kunnen uit verschillende deelgebieden van een vak of uit meerdere vakken komen, en hangen via de centrale context met elkaar samen.
- Concepten uit een deelgebied van het vak die niet onder de centrale context vallen, komen niet aan de orde.

Figuur 393 – Kenmerken van lesmateriaal met een centrale context.

inhoud tot een oplossing gaat leiden. Daarmee is hier sprake van een 'handelingsperspectief': mede met het antwoord op de hoofdstukvraag kan de leerling beslissingen nemen over zijn of haar (toekomstig) gedrag wat betreft (bijvoorbeeld) rijsnelheid en/of zijn of haar standpunt bepalen in maatschappelijke discussies over (bijvoorbeeld) maximumsnelheid en elektrisch rijden. Dit is overigens geen specifiek kenmerk van lesmateriaal in kwadrant C, maar lijkt daar desgewenst wel goed bij te passen.

Aan het realiseren van voldoende 'wendbaarheid' in het toepassen van de natuurkundige inhoud in verschillende contexten wordt in het lesmateriaalvoorbeeld geen aandacht besteed. Dit zou dus op curriculumniveau nog moeten plaatsvinden in (bijvoorbeeld) een hoofdstuk 'examenvoorbereiding'. In een dergelijk hoofdstuk kan – na het op een rij zetten van de natuurkundige inhoud van het deelgebied 'energie en arbeid' – in de vorm van een aantal opgaven ontleend aan een variëteit aan contexten gewerkt worden aan het realiseren van voldoende wendbaarheid, voor zover vereist op het centraal examen.

In het lesmateriaal worden in de inleiding twee praktijk- of probleemsituaties geschetst. Op zich kan dat, maar ze hadden ook gebruikt kunnen worden als starter voor twee afzonderlijke lessenseries: één over brandstofverbruik en rijsnelheid naar aanleiding van de als eerste geschetste praktijksituatie, en één over elektrisch rijden naar aanleiding van de als tweede geschetste praktijksituatie – en misschien was dat zelfs wel beter, want voor de leerlingen duidelijker en eenduidiger geweest.

Bij een lessenserie over elektrisch rijden kun je overigens nog ten minste twee kanten op. Allereerst: een vergelijking tussen het brandstofverbruik van een benzineauto en een elektrische auto als de elektrische energie daarvoor wordt opgewekt met een conventionele, brandstof-gestookte elektriciteitscentrale. Een andere mogelijkheid is het bepalen van het benodigde oppervlak aan zonnecellen voor de energievoorziening van een elektrische auto. Bij al deze varianten zal de natuurkundige inhoud in grote lijnen hetzelfde zijn, maar op details om aanpassingen aan de specifieke praktijksituatie vragen.

Ontwerpprincipe

Bij het ontwerpen van lesmateriaal met een centrale context zoek je naar een praktijk- of probleemsituatie uit het dagelijks leven, de samenleving of de wereld van beroepen en wetenschap die – al dan niet na vereenvoudiging – met een deel van de voor de doelgroep gangbare inhoud van het vakgebied – al dan niet met enkele noodzakelijke aanvullingen – oplosbaar is, waarbij de lessenserie zich beperkt tot die noodzakelijke inhoud en wordt afgesloten met het gebruik daarvan voor het oplossen van de in het begin geschetste praktijk- of probleemsituatie.

9.4 Onderzoekend leren

Onderwijs gebaseerd op de principes van *onderzoekend leren* heeft als doel zowel natuurkundige kennis, begrip en concepten aan te leren, als ook onderzoeksvaardigheden te verbeteren en een meer onderzoekende houding te ontwikkelen bij leerlingen. Onderzoekend leren vraagt een omslag in het lesmateriaal dat in de klas wordt gebruikt, en daarnaast vooral ook een omslag in de houding van de leraar ten opzichte van het lesgeven. Want onderzoekend leren is meer dan 'practicum doen' en kan in elke les worden toegepast.

In de traditionele manier van leren ligt de nadruk op kennis van de natuurkunde en het kunnen toepassen van die kennis. Daar tegenover staat onderzoekend leren, waarbij bijvoorbeeld aan leerlingen wordt gevraagd een voorspelling te doen bij een experiment. Na uitvoeren van het experiment moet de leerling de uitkomst een plaats geven in zijn of haar bestaande kennis. Het idee is dat de leerling zich hierdoor een beter conceptueel netwerk van kennis en begrip vormt. De basis van onderzoekend leren is daarmee dat leerlingen zichzelf vragen stellen, voorspellingen doen, observeren, interpreteren, communiceren en reflecte-

ren. Dit zijn *onderzoeksvaardigheden*. En door dit vaker te doen kun je daar beter in worden. Daarnaast speelt ook het aanleren van een *onderzoekende houding* een rol: door onderzoekend leren worden leerlingen kritischer, en leren ze vol te houden, door te zetten en tegenslagen te verwerken. En met het verkrijgen van deze houding zouden leerlingen de aard van de natuurkunde en natuurkundig onderzoek beter leren kennen. Door onderzoekend te leren ervaart de leerling (beter) hoe natuurwetenschap 'werkt'.

Soorten lessen

Onderzoekend leren wordt vaak geassocieerd met praktisch werk. Dat is inderdaad ook een logisch vetrekpunt om met onderzoekend leren aan de slag te gaan. We zullen hieronder enkele principes van onderzoekend leren behandelen aan de hand van het doen van practicum. Daarbij kijken we allereerst naar fysieke practica, maar ook naar de mogelijkheden van digitale laboratoria.

Practicumlessen – Practicum is niet altijd onderzoek doen, en ook zal een willekeurig practicum niet direct onderzoekend leren omvatten. De klassieke 'kookboekpractica' zijn juist een voorbeeld van het tegenovergestelde: de leerling voert de hem opgedragen handelingen uit, vindt de data, en is daarmee tevreden zonder een verklaring te zoeken voor de gevonden data of een relatie te leggen met de hem bekende natuurkundige theorie.

Het practicum is echter wel een goede werkvorm waarmee de leraar kan beginnen met het introduceren van onderzoekend leren in de les. Dat kan door bijvoorbeeld een bestaand kookboekpracticum 'om te bouwen' tot een onderwijsleeractiviteit die meer denkwerk van de leerlingen vraagt, zoals in de in figuur 394 geschetste lespraktijk.

Lespraktijk

In een van zijn optica-lessen gebruikte een leraar altijd een practicumwerkblad dat netjes voorschrijft welke stappen de leerling moet zetten om tot de lenzenformule en de vergrotingsformule te komen. Geïnspireerd door het PRIMAS-project heeft hij dit omgegooid door de leerlingen in eerste instantie de practicummaterialen te verstrekken en hen te laten kijken wat ze er mee kunnen. Na tien minuten inventariseert de klas plenair wat er aan onderzoeksmogelijkheden bedacht is. Verschillende groepjes noemen de vergroting, andere een mogelijke relatie tussen voorwerpsafstand en beeldafstand.

Na een discussie over de mogelijkheden en welke vragen onderzocht kunnen worden gaan de leerlingen aan de slag met de relatie tussen vergroting en voorwerpsafstand/beeldafstand en de relatie tussen beeldafstand en voorwerpsafstand, met het doel om te bedenken hoe ze een onderzoek moeten aanpakken om de vraag te kunnen beantwoorden. Tien minuten later neemt de leraar de voorgestelde aanpakken klassikaal door en gaan de leerlingen aan de slag. De les wordt uiteindelijk besloten met een terugblik op wat de leerlingen tijdens hun onderzoekjes hebben gevonden.

Reflectie

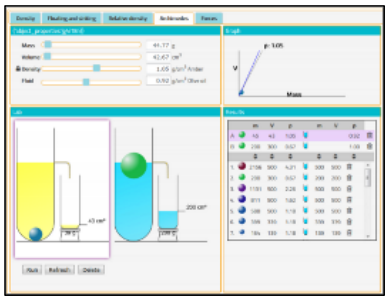
Door structuur te bieden, maar nu tijdens de les in plaats van in het practicumwerkblad, is het de leerlingen gelukt om tot de relatie tussen v, b en N en de lenzenformule te komen, zij het met sturing door de leraar. De leerlingen hebben nu een beter begrip van de relatie bij vergroting en bij de lenzenformule. Althans, dat is de sterke indruk van de leraar: "Toe nu toe is het practicum helemaal voorgekauwd, waarbij de leerlingen alleen maar doen wat er staat, zonder na te denken over wat ze doen en waarom. Nu zien ze meer wat ze doen en waarom. Ze zijn meer eigenaar van het leerproces en ontwikkelen een beter begrip. Je creëert op deze manier bij de leerlingen 'hands on, minds on' in plaats van 'hands on, minds off'."

Figuur 394 – Voorbeeld van een ingreep in de bestaande lessituatie die ervoor zorgt dat leerlingen nadenken over wat ze doen en wat dat betekent voor het leren.

Het ligt voor de hand dat leerlingen onderzoekend leren wanneer ze zelf, al dan niet met sturing door de leraar, een onderzoek mogen doen. Zo'n onderzoek kan van leerlingen vragen om zelf een onderzoeksvraag op te stellen (vragen stellen), zelf een plan te maken (kritisch zijn), zelf het onderzoek uit te voeren (onderzoeken), zelf de data te analyseren, en daarover te rapporteren (evalueren). Maar zoals veel leraren met bijvoorbeeld het sector- of profielwerkstuk merken, doen leerlingen dat niet vanzelf. Het kost veel oefentijd om de deelvaardigheden die

voor het doen van een onderzoek nodig zijn te leren. Sommige scholen hebben om die reden een complete leerlijn onderzoeksvaardigheden. Daarbij doen leerlingen voorafgaand aan het sector- of profielwerkstuk al verschillende onderzoeken, waarbij ze steeds zelfstandiger opereren, en waarbij de ondersteuning door de leraar afneemt (zie paragraaf 7.3).

Digitale laboratoria – Het vak natuurkunde heeft een rijke traditie als het gaat om het gebruik van computersimulaties in de klas. Simulaties kunnen fenomenen laten zien die normaal niet (gemakkelijk) kunnen worden getoond met een experiment. Maar ook simulaties vragen een geschikte leeromgeving om leerlingen onderzoekend te laten leren. Een mooi voorbeeld van een project waarin een poging is gedaan om leerlingen op een onderzoekende manier met simulaties te laten werken is GO-LAB. In dat project staat een simulatie niet op zichzelf, maar bestaat meestal uit een soort van digitaal laboratorium waarin de leerling veel factoren kan veranderen. Ook is er aandacht voor de begeleiding: voor de leerling in de vorm van instructiemateriaal, en voor de leraar in de vorm van een docentenhandleiding met aanwijzingen om de leerlingen te begeleiden.



Figuur 395 – Het digilab *Splash*, waarin leerlingen op een virtuele manier leren over de principes van Archimedes.

Als leraren zelf (aanvullend) materiaal willen ontwikkelen, dan kunnen ze gebruik maken van apps binnen de website die helpen om het materiaal op een onderzoekende manier op te zetten. Naast de onderzoekscyclus zelf worden ook scenario's gevolgd als 'zoek de fout', waarbij leerlingen wordt gevraagd om fouten te vinden in elkaars materiaal, en 'leer door kritiek te geven', waarbij leerlingen wordt gevraagd een experimentele opstelling te bekritiseren. Ten slotte kan er ook sprake zijn van een spel-benadering waarin leerlingen samenwerken om bepaalde leerdoelen te bereiken.

Theorielessen – Onderzoekend leren hoeft echter niet beperkt te blijven tot practica en leerlingonderzoek. Een onderzoekende houding wordt het beste door leerlingen aangeleerd als het andere onderwijs ook (deels) op een onderzoekende basis wordt ingericht doordat het lesmateriaal leerlingen tot een onderzoekende werkwijze stimuleert en de leraar de leerlingen op een voor onderzoekend leren geschikte manier begeleidt. In het PRIMAS-project is materiaal ontwikkeld voor onderzoekend leren dat direct in een 'gewone' theorieles kan worden ingezet (zie figuur 396). Een ander deel van het projectmateriaal bestaat uit oefeningen die leraren vertrouwd maken met de begeleidende rol die onderzoekend leren van hen vraagt.

Giganten en Lilliputters

In het boek *Gullivers reizen* ontmoet Gulliver zowel reuzen als lilliputters. Uit het boek mogen we verwachten dat reuzen en lilliputters relatief met elkaar zijn te vergelijken. Dit betekent dat jij je bijvoorbeeld kunt afvragen hoeveel een lilliputter van 10 cm kan tillen als je weet dat 4 m lange reus 800 kg kan tillen.

- Formuleer een goede vraag waarin je reuzen en lilliputters met elkaar vergelijkt.
- Bedenk een mogelijk antwoord op jouw vraag.
- Bedenk een manier waarop je kunt testen of jouw mogelijke antwoord redelijk correct is.

Figuur 396 – Een voorbeeld van lesmateriaal voor onderzoekend leren op de PRIMAS-website.

Het lesmateriaalvoorbeeld is een mooie opdracht die niet alleen lastig is om op te lossen, maar die de leerling ook de ruimte biedt om eigen ideeën te onderzoeken. De één zou de schoenmaat kunnen vergelijken, de ander de hoeveelheid eten die een reus of een lilliputter elke dag nodig heeft. En hoewel de leerling zelf zijn problemen kiest, stuurt de opdracht toch ook in de kennis en het begrip die met deze opdracht wordt aangeleerd. In dit geval betreft dat een beter begrip van grootheden zoals massa, lengte, oppervlak en volume, het maken van vergelijkingen en het omgaan met machten.

Coaching

Onderzoekend leren kan dus als leidraad dienen tijdens practica en leerlingonderzoek, maar ook tijdens 'gewone' theorielessen. De vraag is dan wat de overeenkomst is tussen die verschillende onderzoekende lessen, en wat het ver-

schil is met reguliere lessen. Bij onderzoekend leren is een leerling bezig met wetenschappelijk georiënteerde vragen, vindt onderbouwing van een antwoord belangrijker dan het antwoord zelf, vormt verklaringen van bewijs, verbindt verklaringen aan wetenschappelijke kennis, en communiceert en verantwoordt verklaringen. Dit betreft een diepere laag die in de lessen moet worden ingebouwd. Daarmee vraagt onderzoekend leren veel van de leerling, en die doet dat niet zomaar. Het vraagt om een cultuur in de klas waarbinnen de leerling al samenwerkend met medeleerlingen die onderzoekende houding kan hebben en/of ontwikkelen door kritisch en creatief aan de slag te gaan met als realistisch en relevant ervaren open probleemsituaties met meer dan één 'juiste oplossing' en waarin er ruimte is voor het maken van fouten en het daarvan leren.

Onderzoekend leren vraagt niet alleen om ander lesmateriaal, maar ook om een andere benadering van de leerlingen door de leraar. Deels heeft die andere benadering natuurlijk te maken met het meer open karakter van dat lesmateriaal. De belangrijkste verandering is echter dat de rol van de leraar verschuift van informatieverstrekker naar begeleider van het leerproces. Hij stelt daarbij vragen die onderzoekend leren en een onderzoekende houding stimuleren. Omdat samenwerken een onderdeel van onderzoekend leren kan zijn, is ook het begeleiden daarvan een aandachtspunt. En natuurlijk speelt toetsing en evaluatie een belangrijke rol bij onderzoekend leren. Door de begeleidende, ondersteunende rol van de leraar is het van belang dat hij al tijdens het leerproces door middel van formatief toetsen (zie paragraaf 2.4.1) oog heeft voor het kennis- en begripsniveau van de leerlingen.

Ontwerpprincipe

Bij het ontwerpen van lesmateriaal voor onderzoekend leren zoek je naar onderwijsleeractiviteiten waarbij leerlingen kritisch en creatief aan de slag gaan met als realistisch en relevant ervaren open probleemsituaties met meer dan één 'juiste oplossing' door het stellen van vragen, het doen van voorspellingen en het zoeken naar antwoorden door te observeren, interpreteren, communiceren en reflecteren.

9.5 Probleemstellend leren

Het motiveren van leerlingen is een belangrijk onderdeel van het geven van onderwijs. Meestal is daarbij sprake van *externe* en/of *procedurele motivering*. Bij externe motivering gaat het om diverse vormen van beloning voor eigen activiteiten van leerlingen en/of straf in geval van te weinig activiteit. Het geven van cijfers voor geleverde prestaties is in dit geval een bekend voorbeeld. Bij procedurele motivering gaat het om het aanbieden van aansprekende werkvormen (zoals groepswerk, creatief schrijven, practicum, spectaculaire demonstraties, webfilms enzovoort) en het aanbieden van keuzemogelijkheden (differentiatie naar capaciteiten, soort opdrachten, interesse enzovoort). Maar dat zijn niet de enige twee mogelijkheden. We kunnen ook proberen om leerlingen *inhoudelijk* te motiveren, bijvoorbeeld door middel van *probleemstellend onderwijs*.

Inhoudelijke motivering

Een inhoudelijke motivering gaat verder dan het oproepen van inhoudelijke interesse in het onderwerp en deze vasthouden. Iedere leraar probeert dit in meer of mindere mate te doen, bijvoorbeeld met behulp van aansprekende toepassingen van de leerstof of intrigerende demonstratie-experimenten waardoor de leerlingen nieuwsgierig raken. Soms probeer je als leraar ook uit te leggen waarvoor de nieuwe leerstof nodig is (of zal blijken te zijn), en word je daar zelfs toe gedwongen als leerlingen vragen: "Waarom moeten we dit doen?" Maar eigenlijk ben je dan al te laat, omdat je liever zou zien dat het doel voor leerlingen de hele tijd al duidelijk was.

Ook in leerboeken wordt geprobeerd om leerlingen zicht te geven op wat ze gaan leren en om dit op de een of andere manier voor leerlingen te legitimeren met een pakkende inleiding of prikkelende vragen. Het soms (relatief) saaie

vervolg van het hoofdstuk heeft echter voor leerlingen vaak al snel weinig meer met zo'n inleiding te maken. Bovendien blijft het voor hen regelmatig onduidelijk waarom bepaalde experimenten gedaan moeten worden en waartoe dat zou moeten leiden. Een goede inhoudelijke motivering gaat dus verder dan een pakkende inleiding. In de *probleemstellende benadering* wordt gestreefd naar een onderwijsleerproces dat enerzijds voor leerlingen een duidelijke inhoudelijke lijn en samenhang heeft, en dat anderzijds uiteindelijk uitkomt bij de gewenste kennis en vaardigheden.

De kern van probleemstellend onderwijs is dat leerlingen op inhoudelijke gronden de zin zien van wat ze aan het doen zijn. Als hieraan is voldaan, mogen we verwachten dat nieuwe kennis niet geforceerd aan leerlingen wordt opgedrongen, maar dat zij deze zullen accepteren op gronden die zij zelf begrijpen. Wanneer leerlingen steeds de zin zien van wat ze aan het doen zijn, kunnen zij min of meer de reden/opzet van elke activiteit begrijpen en bepalen waarom het zinvol is om deel te nemen aan die activiteit. De verwachting is dat daardoor niet alleen hun actieve betrokkenheid bij het onderwijsleerproces toeneemt, maar dat ook de kwaliteit van hun begrip verbetert.

Een dergelijk onderwijsleerproces is concreet vorm te geven door met opzet bij leerlingen bepaalde problemen op te roepen. Deze problemen gaan dan fungeren als doelen voor vervolgactiviteiten. Juist door het zoeken naar oplossingen voor zulke specifieke hoofd- en deelproblemen kunnen leerlingen goede redenen ontwikkelen om hun kennis verder uit te breiden in de door de leraar gewenste richting. Deze aanpak vraagt om een reeks goed doordachte activiteiten, zodanig dat de oplossing van elk deelprobleem aanleiding geeft tot een volgend deelprobleem, dat het achtereenvolgens oplossen van deelproblemen uiteindelijk leidt tot de oplossing van het hoofdprobleem, en dat de door de ontwerper beoogde doelen door leerlingen bereikt zijn wanneer het hoofdprobleem is opgelost.

De problemen worden hierbij dus niet door de leraar aangedragen. In plaats daarvan moeten de activiteiten zo worden ontworpen dat leerlingen de problemen zelf gaan stellen en zelf belangrijk gaan vinden. Het is overigens niet te verwachten dat elke leerling elk gepland probleem helemaal zelf formuleert of dat elke leerling elke oplossing helemaal zelf bedenkt. Wel wordt er gestreefd naar een situatie waarbij elk probleem minstens door enkele leerlingen wordt geformuleerd en waarbij alle leerlingen het voldoende belangrijk vinden om dit probleem op te lossen. Verder moeten het lesmateriaal en de leraar de leerlingen natuurlijk ondersteunen bij het vinden van oplossingen.

Functionele kennis en vaardigheid

Bij een probleemstellende benadering komt er dus veel nadruk te liggen op het formuleren van een centrale vraagstelling (en dan ook nog bij voorkeur door de leerlingen zelf) en de functionaliteit van de in het daarop volgende onderwijsleerproces te verwerven kennis en vaardigheid. Hieronder eerst in figuur 397 een voorbeeld op hoofdlijnen over het onderwerp radioactiviteit.

Radioactiviteit

Veel leerboeken beginnen hun hoofdstuk over radioactiviteit met een inleiding om de belangstelling voor het onderwerp op te roepen. Bijvoorbeeld door aan te kondigen dat het zal gaan over toepassingen en gevaren van straling. Soms wordt deze inleiding al snel gevolgd door een behandeling van atoombouw: stoffen bestaan uit moleculen, die zelf uit atomen bestaan, die op hun beurt weer bestaan uit… enzovoort. Vervolgens worden isotopen behandeld, waarna aan de orde komt dat sommige isotopen instabiel zijn en veranderen door straling uit te zenden. Pas aan het eind van het hoofdstuk komen de toepassingen en beschermingsmaatregelen aan de orde. De gedachte achter deze opbouw lijkt de volgende te zijn: om toepassingen en beschermingsmaatregelen beter te begrijpen, moeten leerlingen eerst weten wat radioactiviteit eigenlijk is, en daarvoor is het nodig om eerst iets aan atoombouw te doen. Dit klinkt logisch, maar het gevolg is dat leerlingen eerst een aantal lessen bezig zijn met tamelijk abstracte leerstof (waarvan ze de zin nog niet kennen) voor zij toekomen aan wat hen in de inleiding beloofd is. Bovendien ligt het voor de leerlingen helemaal niet voor de hand om te beginnen met atoombouw.

Verpakkingsafval

Ook de in paragraaf 7.5 besproken lessenserie *Verpakkingsafval* is een voorbeeld van de probleemstellende benadering. Door de leerlingen in het begin van de lessenserie een tweetal verpakkingsalternatieven te laten vergelijken op de twee (door henzelf op grond van hun voorkennis vastgestelde) milieucriteria uitputting en vervuiling, komen ze tot de ontdekking dat hun voorkennis daar nog tekort schiet. Dat leidt tot de door henzelf geformuleerde onderzoeksvragen naar de criteria-gerelateerde eigenschappen van verpakkingen en verpakkingsmaterialen – waar ze in de rest van de lessenserie een antwoord op gaan zoeken, om deze verworven kennis daarna in te zetten bij het opnieuw bekijken van de betreffende keuzesituatie.

Figuur 398 – Een voorbeeld van een probleemstellende benadering van het onderwerp verpakkingsafval.

Is het wel noodzakelijk om eerst op fundamenteel niveau te weten wat radioactiviteit is, voordat je toepassingen en beschermingsmaatregelen beter kunt begrijpen? Die microscopische kennis heeft niet veel praktisch nut. Wat heb je er in de praktijk aan om te weten dat een radioactieve stof instabiele atoomkernen heeft? Er is immers geen directe manier om dat na te gaan. Er zijn alleen maar indirecte methoden, zoals meten met een Geigerteller. En als je wilt weten of een bestraald voorwerp stralingsgevaar oplevert voor de omgeving, dan is het vooral relevant om te constateren dat een voorwerp door bestraling niet radioactief wordt. Veel relevanter in elk geval dan een verhandeling over de processen die zich afspelen bij de absorptie van heliumkernen, elektronen of elektromagnetische straling.

Een alternatieve opbouw

Op grond van overwegingen zoals die hierboven is een geheel andere opbouw van een lessenserie over radioactiviteit ontstaan. Na de inleiding wordt meteen gewerkt in de richting van wat in de inleiding is aangekondigd. Namelijk door leerlingen te laten ervaren dat ze weliswaar al behoorlijk wat weten, maar toch nog te weinig om toepassingen en beschermingsmaatregelen echt goed te begrijpen. Zo zijn leerlingen het er vrijwel unaniem over eens dat kerncentrales en röntgenapparaten iets met radioactiviteit te maken hebben. Maar of een batterij radioactief is, of een laser, of een magneet, daarover zijn ze niet zo zeker of verschillen ze van mening. Die twijfels en meningsverschillen worden gebruikt om bij leerlingen de behoefte op te roepen aan een objectief criterium om vast te stellen of iets radioactief is of niet. Dat criterium wordt de Geigerteller, die leerlingen ook in het vervolg van de lessenserie in staat stelt hun uitspraken experimenteel te controleren.

Na enkele andere inleidende activiteiten wordt aan leerlingen gevraagd om een appel radioactief te maken (zie figuur 399). Tot hun verbazing lukt dat niet door de appel in de buurt van een radioactief voorwerp te leggen. Hierdoor ontstaat bij leerlingen de vraag hoe iets dan wel radioactief gemaakt kan worden. In het vervolg wordt nadrukkelijk aan de oplossing van dit probleem gewerkt. Daarbij ontwikkelen leerlingen gaandeweg een macroscopische theorie over radioactiviteit, waarin de kernbegrippen gevormd worden door ‘radioactieve stof’, ‘straling’, ‘bestraling’ en ‘besmetting’. Verder leren leerlingen die theorie toepassen en denken ze bijvoorbeeld na over de vraag of je je tegen bestraling op dezelfde manier moet beschermen als tegen besmetting.

Die macroscopische theorie beantwoordt dus vragen van leerlingen, maar roept ook nieuwe vragen bij hen op. Bijvoorbeeld: “Waarom gaat een bestraald voorwerp geen straling uitzenden? Wat gebeurt er dan met die straling? Waarom is bestraald worden wel schadelijk? Wat is straling eigenlijk?” Kortom, het zijn problemen die ook in de gebruikelijke benadering centraal staan, namelijk theoretische problemen van de soort: wat is radioactiviteit? Maar terwijl in de gebruikelijke benadering het boek of de leraar die problemen stelt, worden ze in deze benadering voornamelijk door leerlingen zelf naar voren gebracht. En dat was op voorhand ook de bedoeling.

Nadat de macroscopische theorie voldoende ontwikkeld is, krijgen leerlingen enkele hints waarmee ze hun theoretische problemen in microscopische termen kunnen proberen op te lossen. Bijvoorbeeld de hint dat straling niets anders is dan snel bewegende deeltjes. Leerlingen kunnen hiermee zelf verklaren dat een bestraald voorwerp wel schade ondervindt ten gevolge van straling, maar zelf geen stralingsgevaar vormt voor de omgeving. Het is overigens niet zo dat om de theoretische problemen van leerlingen op een voor hen bevredigende manier te beantwoorden een gedetailleerde behandeling van atoombouw nodig is.

Figuur 397 – Een voorbeeld van een probleemstellende benadering van het onderwerp radioactiviteit.

Bouwen van een kerncentrale

1 Veilig in de buurt van een kerncentrale wonen

Kerncentrales staan soms in de buurt van een stad. Maar de inwoners van zo’n stad mogen daar geen straling van ontvangen.
Hoe zorgt men daarvoor?

……..

……..

2 Een ‘kerncentrale’ in het klein

In de klas ligt wat radioactief materiaal. Stel nu eens dat het radioactief materiaal in een kerncentrale is. De radioactieve spullen liggen dus al klaar. Er is alleen één probleem: de kerncentrale zelf is er nog niet. Jullie mogen die ‘kerncentrale’ straks zelf gaan bouwen. Of beter gezegd: een opslagruimte in die ‘kerncentrale’. Een ruimte dus om die radioactieve spullen veilig in te bewaren.

De opslagruimte moet aan één belangrijke eis voldoen. Dichtbij jullie ‘kerncentrale’ mag je er geen straling van ontvangen.
Bedenk een bouwplan voor de opslagruimte in jullie ‘kerncentrale’. Zorg er wel voor dat jullie dat plan straks echt uit kunnen voeren.
Schrijf hieronder jullie plan op.
……..
……..

3 Wat jullie bij het uitvoeren van de bouwplannen hebben geleerd
Jullie bouwplannen zijn nu uitgevoerd. Schrijf hieronder op wat jullie daarbij geleerd hebben.
……..
……..

Ongelukken met kerncentrales

Jammer genoeg gebeuren er af toe ongelukken met kerncentrales. Zoals in 1986 met een Russische kerncentrale in Tsjernobyl. Door een explosie werd een deel van die kerncentrale vernield. Misschien kunnen jullie je dat nog herinneren. In kranten en op het nieuws werd daar toen veel aandacht aan besteed.

4 Informatie over het ongeluk in Tsjernobyl
Hiernaast staan enkele stukjes uit kranten van die tijd.
Bekijk die stukjes eens om je geheugen wat op te frissen.

5 Ook in Nederland konden we er de gevolgen van merken
Niet alleen voor de omgeving van Tsjernobyl had het ongeluk gevolgen. Ook in Nederland kregen we er last van. En dat terwijl Nederland op meer dan 1500 km van Tsjernobyl ligt.

a Na het ongeluk werd in Nederland meer straling dan normaal gemeten. Hoe zou dat gekomen kunnen zijn?
……..
……..

b In Nederland werd ook afgeraden verse groenten te eten. En de spinazie die toen geoogst werd moest doorgedraaid worden. Ook mocht er geen verse melk worden verkocht. Al die verse spullen waren te radioactief.
Hoe zouden die verse spullen radioactief geworden kunnen zijn?
……..
……..

6 Nabootsingen van het ongeluk in Tsjernobyl

a Jullie hebben bij opdracht 2 een ‘kerncentrale’ gebouwd. Waar die staat noemen we even ‘Rusland’. En de andere kant van het lokaal noemen we ‘Nederland’.
Hoe kan men in ‘Nederland’ straling meten door jullie ‘kerncentrale’? Wat zou daarvoor moeten gebeuren?
Schrijf hieronder een plan op. Of meer plannen als jullie er meer kunnen bedenken. (Zorg ervoor dat jullie plannen straks echt uitgevoerd kunnen worden.)
……..
……..

b Zouden jullie met de spullen in de klas iets radioactief kunnen maken? Bijvoorbeeld een appel.
Schrijf hieronder een plan op. Of meer plannen als het volgens jullie op meer manieren zou kunnen. (Jullie plannen moeten wel weer uitvoerbaar zijn.)
……..
……..

7 Resultaten van de nabootsingen
Schrijf hieronder op welke plannen zijn uitgevoerd en wat daarbij gebeurde.
……..
……..

Figuur 399 – Enkele opdrachten uit het begin van de lessenserie *Radioactiviteit*. In de voorafgaande onderwijsleeractiviteit is door de leerlingen nagegaan met welk meetinstrument is vast te stellen of een voorwerp radioactief is, en hoe het meetresultaat verandert als de afstand tot een radioactief voorwerp groter wordt.

Uit het voorbeeld van figuur 397 wordt duidelijk dat een pakkende inleiding leerlingen wel inhoudelijk kan motiveren, maar dat er meer nodig is om hen ook gemotiveerd te houden. Ten eerste moet er nadrukkelijk in de richting van de inleiding worden verder gewerkt op een manier die herkenbaar is voor leerlin-

gen. Het voorbeeld laat zien dat dit wel degelijk mogelijk is. Voor toepassingen en beschermingsmaatregelen is het in eerste instantie voor leerlingen niet relevant om iets te leren over atoombouw. Wel is het relevant om te weten welke voorwerpen straling uitzenden en dat bestraald worden wel schadelijk is, maar dat een bestraald voorwerp zelf geen straling uitzendt. Ten tweede moeten er in dat vervolg steeds nieuwe doelen ontstaan die voor leerlingen zinvol zijn op basis van het voorgaande. In het voorbeeld zijn dit nieuwe vragen die ontstaan tijdens de activiteiten, zoals: "Hoe maak je dan iets radioactief?" en "Waarom zendt een bestraald voorwerp geen straling uit?"

In het voorbeeld over radioactiviteit is te zien dat niet elke pakkende inleiding zomaar geschikt is om leerlingen inhoudelijk te motiveren. Want nadrukkelijk verder werken in de richting van die inleiding kan uitkomen bij heel andere kennis dan gangbaar bij een dergelijke inleiding wordt beoogd. Als je atoombouw wilt behandelen, is aan het voorbeeld te zien dat de context van radioactiviteit in eerste instantie niet zo geschikt is. Voor de behandeling van atoombouw moet dus naar een andere, meer geschikte inleiding gezocht worden – wat misschien nog niet zo eenvoudig is. Ook het laten ontstaan van zinvolle tussendoelen voor leerlingen (bijvoorbeeld in de vorm van vragen die richting geven aan het vervolg) is niet zo eenvoudig. Dit is namelijk iets heel anders dan bijvoorbeeld de huidige praktijk van lijstjes met leerdoelen: "Dit moet je aan het eind van het hoofdstuk kennen/kunnen." Dergelijke doelen geven wel aan wat er in het hoofdstuk geleerd gaat worden, maar leerlingen kunnen vaak nog niet beoordelen waar dat voor nodig zou kunnen zijn of waarom dat interessant kan worden. We moeten dus zoeken naar andere tussendoelen, die voor leerlingen wel begrijpelijk en interessant gemaakt kunnen worden en naar activiteiten die voor leerlingen duidelijk toewerken naar het bereiken van die doelen.

In het ideale geval zouden inleidende teksten of vragen niet alleen interesse moeten oproepen, maar ook daadwerkelijk verwijzen naar een voor leerlingen zinvolle richting waarin het onderwijs verder zal gaan. En dat in het vervolg steeds nieuwe doelen bij leerlingen ontstaan, die het voor hen zinvol maken om juist die kennis te ontwikkelen die wij hen willen onderwijzen.

Probleemstellend onderwijs kunnen we dus omschrijven als 'een reeks goed doordachte activiteiten' die voor leerlingen inzichtelijk op elkaar voortbouwen. Het ontwerpen van de start van een probleemstellend onderwijsleerproces vraagt om een zo goed mogelijke inschatting van de voorkennis van leerlingen – en dan niet alleen hun natuurwetenschappelijke, maar ook hun *common sense* kennis en vaardigheid – en die is lang niet altijd even duidelijk. Het ontwerpen van het vervolg van het leerproces vraagt om een – moeilijke en niet gebruikelijke – voortdurende verplaatsing in het standpunt van de leerlingen: "Wat zal een activiteit (of opdracht of vraag binnen zo'n activiteit) aan inhoudelijke leerlingreacties gaan opleveren, en sluit dat voldoende aan bij of is dat voldoende voorbereiding op de volgende activiteit?" Een hulpmiddel daarbij is een overzicht van de leerlingdenkbeelden bij het betreffende onderwerp, zoals dat van figuur 400 voor het onderwerp radioactiviteit.

Een probleemstellende benadering voor een hele lessenserie vraagt veel voorbereiding. De aan te bieden activiteiten moeten goed doordacht zijn en eigenlijk eerst meerdere keren zijn uitgetest en verbeterd, voordat een bevredigend resultaat kan worden verwacht. Vaak blijkt zo'n lessenserie sterk af te wijken van de gangbare aanpak in de bestaande leerboeken, zodat het boek niet of in elk geval minder goed bruikbaar is. Daarnaast stelt deze benadering hoge eisen aan de leraar, met name door het gebruik van werkvormen als discussies met de hele klas. Discussies die noodzakelijk lijken om recht te kunnen doen aan de vereiste inhoudelijke inbreng van de leerlingen, en om deze inbreng functioneel te kunnen gebruiken in het door de leraar (be)geleide gemeenschappelijke proces van kennis- en vaardigheidsontwikkeling.

Leerlingdenkbeelden

Leerlingen redeneren in het algemeen in termen van basale noties over 'veroorzaken': een veroorzaker heeft een effect op een voorwerp met behulp van instrumenten – een redeneerwijze die op zich correct is. Meer specifiek wordt dit denkschema in het geval van radioactiviteit dan als volgt ingevuld:

- Röntgenapparaten, kerncentrales, vaten radioactief afval, bestraald voedsel enzovoort zijn potentiële veroorzakers. Ze kunnen effecten op mensen hebben, omdat ze er op de een of andere manier de oorzaak van zijn dat er iets schadelijks in die mensen is terecht gekomen.
- Dat 'schadelijke iets' wordt vooral 'straling' genoemd, maar ook wel 'radioactiviteit' of 'radioactieve stof'. Dit 'schadelijke iets' dat in een voorwerp doordringt, doet dienst als het instrument waarmee een veroorzaker uiteindelijk het effect op het voorwerp heeft.
- De ongelukken met de kerncentrales in Tsjernobyl en Fukushima zijn veroorzakers doordat daarbij grote hoeveelheden van het 'schadelijke iets' zijn vrijgekomen. Bestraald voedsel is een potentiële veroorzaker doordat het 'schadelijk iets' bevat, en door dat voedsel te eten komt dat 'schadelijk iets' in ons lichaam terecht.
- Er zijn effecten zolang het 'schadelijk iets' in het voorwerp aanwezig is.
- De effecten kunnen worden gereduceerd door een weerstand: iets dat het 'schadelijk iets' tegenwerkt, ofwel door te voorkomen dat het 'schadelijk iets' het voorwerp binnendringt (loden muren, speciale pakken) ofwel door het tegen te werken als het 'schadelijk iets' al binnengedrongen is (jodiumtabletten).

Bij deze redeneerwijze functioneren ook semi-kwantitatieve relaties als: 'hoe sterker de veroorzaker is, des te groter is het effect op een voorwerp', 'hoe langer de veroorzaker werkt op het voorwerp, des te groter is het effect', 'hoe kleiner de afstand tussen het voorwerp en de veroorzaker is, des te groter is het effect' en 'hoe sterker de weerstand is, des te kleiner is het effect'.

Figuur 400 – Leerlingdenkbeelden over radioactiviteit.

Ontwerpprincipe

Bij het ontwerpen van lesmateriaal voor probleemstellend leren zoek je naar een reeks goed doordachte activiteiten die voor leerlingen inzichtelijk op elkaar voortbouwen, waarin zij door het zoeken naar oplossingen voor – bij voorkeur

zoveel mogelijk door henzelf geformuleerde – specifieke hoofd- en deelproblemen goede redenen ontwikkelen om hun kennis verder uit te breiden in de gewenste richting.

9.6 Probleemgeoriënteerd leren

De probleemstellende benadering zoals hierboven in paragraaf 9.5 geschetst is nogal *hoogdrempelig* als het gaat om het ontwerpen van het onderwijsleerproces. Er is ook een meer laagdrempelige variant van de probleemstellende benadering mogelijk. Daarbij worden, ten behoeve van een gemakkelijkere inpasbaarheid in de gangbare lespraktijk, concessies gedaan aan de consistentie en vasthoudendheid waarmee het probleemstellende ideaal wordt nagestreefd dat leerlingen steeds op inhoudelijke gronden weten waar ze mee bezig zijn en waarom. Bij de laagdrempelige variant gaat het niet om volledige lessenseries met uitdagende werkvormen, maar om kleinschaliger probleemstellende activiteiten waarmee ook 'klein' begonnen kan worden, zoals het gebruik van problematische praktijksituaties bij de introductie van een nieuw hoofdstuk of een nieuwe paragraaf. Daarmee gaat de probleemstellende benadering in de richting van de in hoofdstuk 4 geschetste *probleemgeoriënteerde* benadering.

Problematische praktijksituaties

Een voorbeeld van een problematische praktijksituatie voor het onderwerp mechanica, dat ingezet kan worden bij de introductie van het hoofdstuk 'Krachten en evenwicht', is weergegeven in figuur 401. De geschetste praktijksituatie roept bij leerlingen vragen op die ze nu nog niet (volledig) kunnen beantwoorden. Leerlingen beseffen bij dit voorbeeld wel dat je massa echt niet minder wordt naarmate de weegschaal schuiner staat, maar hoe kan het dan dat deze toch minder aangeeft? Hiervoor moeten leerlingen meer gaan leren over krachten die niet in dezelfde of precies tegengestelde richting werken. Ook is het zinvol om nog wat meer te leren over de krachten in dit voorbeeld (zwaartekracht, veerkracht, wrijvingskracht) en de eigenschappen (richting en aangrijpingspunt) en over het onderscheid tussen massa, zwaartekracht en gewicht. De vragen van de leerlingen kunnen door de leraar – met meer of minder moeite – worden 'omgevormd' tot iets als een 'centrale vraagstelling' voor het te behandelen hoofdstuk: Wat gebeurt er met een voorwerp als er meerdere krachten in verschillende richtingen op een voorwerp werken?

We kunnen deze introductie probleemstellend noemen, wanneer bij leerlingen de verwachting ontstaat dat de bij de behandeling van het onderwerp te verwerven kennis en vaardigheid (zoals kort aangegeven in de introductie van het hoofdstuk door het leerboek en/of de leraar) functioneel zullen zijn voor het beantwoorden van die vragen en het (uiteindelijk) oplossen van het probleem. We noemen een dergelijk ontwerp van een probleemstellend onderwijsleerproces laagdrempelig, omdat het na die introductie volgende onderwijs in grote lijnen het bestaande leerboek kan volgen – al zal lang niet alles wat in het leerboek aan de orde komt nodig zijn voor het oplossen van het in de praktijksituatie geschetste probleem, met het nadeel dat dit het zicht van de leerlingen op hun leerproces vertroebelt.

Dat is mogelijk op te lossen door elke paragraaf van het hoofdstuk ook weer te starten met een 'kleinere', bij de centrale vraagstelling voor het hoofdstuk aansluitende en voor de leerlingen aansprekende praktijksituatie. Dit wordt geprobeerd in het voorbeeld van figuur 402. In deze praktijksituatie wordt vooral gebruik gemaakt van de verwachting dat de leerlingen het onderling niet meteen eens zullen zijn. De leerlingen gaan met elkaar in discussie over de vraag in welke situatie er meer kracht geleverd moet worden. Om hier uit te komen kan de situatie in de klas gerealiseerd worden door leerlingen zelf. Als duidelijk is dat schuin trekken meer kracht kost, wordt het interessant om te bedenken waaraan dat ligt. Onder de verschillende antwoorden die leerlingen op basis van hun voorkennis en leefwereldervaring kunnen formuleren, zullen er ook enkele zijn in de trant van: "Je trekt gedeeltelijk omhoog en gedeeltelijk opzij" en "Als de

Afvallen op een schuine plank

Maarten staat op een weegschaal, die op het uiteinde van een plank geplaatst is. Binnen in de weegschaal zit een veer die ingedrukt wordt doordat Maarten op de weegschaal staat. Maarten ziet dat zijn massa 61 kg is. Wanneer het uiteinde van de plank langzaam omhoog getild wordt, blijkt de weegschaal steeds iets minder aan te geven.

- Hoe kan dat? Kun je uitleggen waarom de weegschaal minder aanwijst?

We kijken in deze situatie naar de krachten die op Maarten werken. Maarten beredeneert dat er minstens drie krachten op hem werken.

- Aan welke krachten denkt Maarten dan? Wat weet je over die krachten?

Figuur 401 – Voorbeeld van een problematische praktijksituatie bij de introductie van het onderwerp krachten en evenwicht.

krachten schuin zijn, dan werken ze minder goed samen." Deze antwoorden vormen een goede aanzet om te gaan leren over ontbinden en samenstellen van krachten. Het onderwijsleerproces moet uiteraard worden afgesloten met een reflectie op de in het begin gepresenteerde praktijksituatie: is het daarin gestelde probleem met de nu verworven kennis en vaardigheid wél op te lossen?

Bierkrat heffen

Twee personen tillen samen een krat bier op. Op de foto's zie je dat ze eerst dicht bij elkaar lopen, en daarna verder uit elkaar. Op de eerste foto werken de krachten in één lijn, op de tweede foto in verschillende richtingen.

- Op welke foto moeten ze de grootste kracht leveren? Waarom?
- Lukt het om het bierkrat zo hoog te tillen dat hun armen horizontaal zijn?

Nu maken ze aan beide kanten van het krat een touw vast. Ze trekken het krat omhoog door elk aan een touw te trekken.

- Kennelijk geldt: hoe groter de hoek tussen de krachten, des te harder moet er getrokken worden. Waarom moet de kracht steeds groter worden?
- Kunnen ze nu het krat zo ver omhoog trekken dat de touwen horizontaal zijn?

Figuur 402 – Voorbeeld van een problematische praktijksituatie bij de introductie van een paragraaf over samenstellen en ontbinden van krachten.

We sluiten deze paragraaf af met enkele tips voor het gebruik van problematische praktijksituaties. Allereerst: begin met een probleem waarvan je denkt dat het uitdagend is, bijvoorbeeld een situatie uit een opgave. Voor de introductie van een heel hoofdstuk zijn geschikte opgaven vaak te vinden aan het eind van dat hoofdstuk, omdat daarin de behandelde kennis van meerdere paragrafen geïntegreerd is. Stel enkele vragen waarover leerlingen kunnen discussiëren. Luister goed naar wat ze zeggen en probeer daaruit af te leiden waar eventuele begripsproblemen zitten. Leg de nadruk niet op het goede antwoord, maar op de redenering achter de antwoorden. Gebruik delen van antwoorden om zicht te geven op de kennis die nog nodig is om het probleem te kunnen oplossen. En ten slotte: gebruik de waarnemingen in de klas om die te vergelijken met die van collega's. Het kan inspirerend zijn om over concrete gevallen van begripsontwikkeling te praten en samen nieuwe ideeën te krijgen voor de verbetering van specifieke probleemsituaties.

Ontwerpprincipe

Bij het ontwerpen van lesmateriaal voor probleemgeoriënteerd leren zoek je naar een samenhangende opeenvolging van hoofdstuk- en paragraafvragen die de verhaallijn van het hoofdstuk weergeven, samen met de bijpassende instap- en toepassingsproblemen.

9.7 Taal en vaktaal

Eén van de manieren waarop je als leraar begripsontwikkeling kan ondersteunen, is het creëren van een situatie waarin de leerling een behoefte voelt om een verschijnsel te verklaren. Een bekende demonstratie waarbij de leraar gebruik maakt van die aanpak is bijvoorbeeld het gelijktijdig laten vallen van een kippenveertje en een steentje in een vacuümbuis. Tot verbazing van de leerlingen zijn die twee voorwerpen even snel beneden. Nu kun je vanuit de optiek van de leerling natuurlijk alles met apparaten voor elkaar krijgen, maar de leerling zal zich onwillekeurig toch afvragen: "Hoe kan dat nou?" Dat opent de mogelijkheid om de begrippen zwaartekracht en luchtweerstand met elkaar in verband te brengen

en zo die begrippen bij de leerlingen te ontwikkelen. Daarbij sluiten we aan bij de denkbeelden die de leerling al heeft en breiden we die denkbeelden uit.

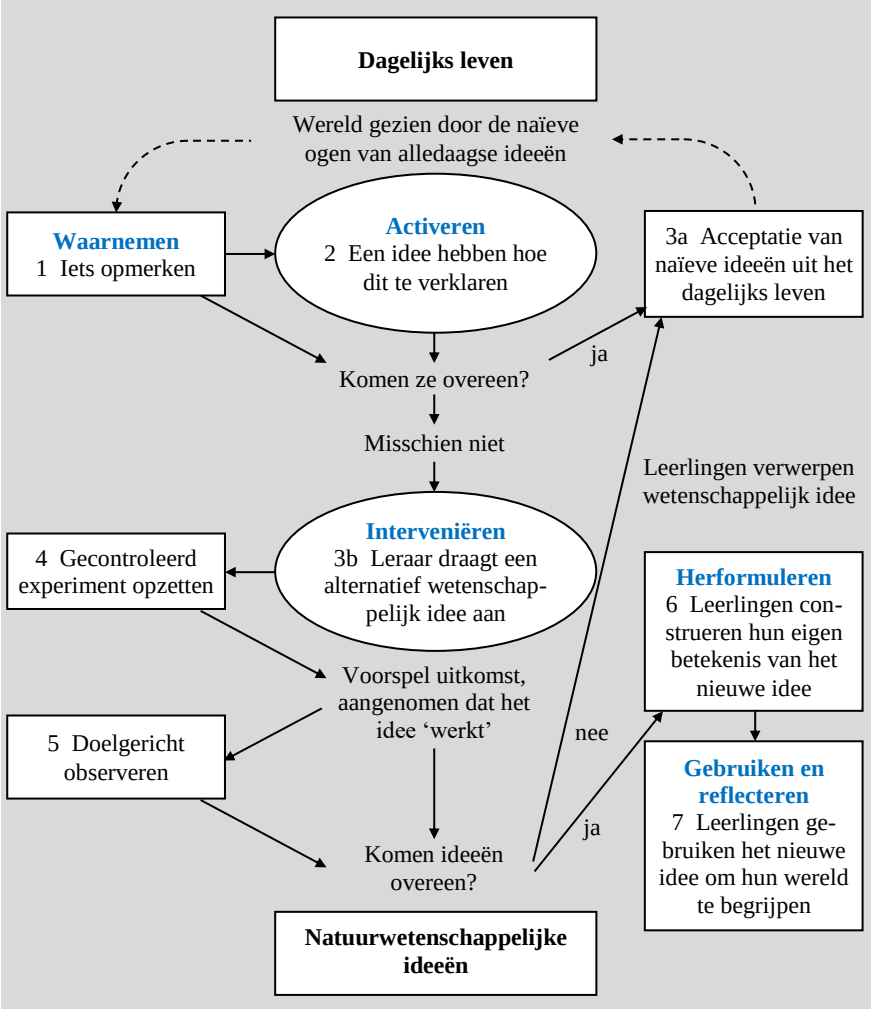
Leerlingen begrijpen verschijnselen vaak op een manier die in het dagelijks leven volstaat, maar die tijdens het bedrijven van natuurwetenschappen onvoldoende houvast biedt. Uitspraken als “Als je de schakelaar uit zet, loopt de stroom niet verder dan dat punt” of “Warmte stoot af op een witte huid” veroorzaken in het dagelijks leven geen problemen, maar zijn onvoldoende nauwkeurig als we verschijnselen op een natuurwetenschappelijke manier willen begrijpen. Die wetenschappelijke denkwijze kenmerkt zich bijvoorbeeld door een minimum aan logische tegenspraak en zoveel mogelijk eenduidige definiëring van begrippen. Vooral in de lagere onderwijsniveaus krijgen leerlingen vaak onvoldoende steun bij het ontwikkelen van de natuurwetenschappelijke denkwijze en de bijbehorende taalvaardigheid, met als gevolg dat hun prestaties voor natuurkunde achterblijven.

Als leerlingen zien waarom hun ‘manier van begrijpen en verwoorden’ ontoereikend is om een verschijnsel adequaat te verklaren, geeft dat een handvat om een nieuwe, natuurwetenschappelijk correcte, manier van begrijpen te introduceren. We creëren dus eerst een vorm van verbazing of verwarring. Daarna helpen we de leerling om bestaande denkbeelden te verfijnen of te verwerpen door middel van de introductie van natuurwetenschappelijke concepten waarmee de leerling het verschijnsel wel kan verklaren. In de proef met de vacuümbuis kan bijvoorbeeld de hoeveelheid lucht in de buis worden gevarieerd, waarna de begrippen luchtweerstand, snelheid, versnelling en zwaartekracht met elkaar in verband worden gebracht. Een schematische voorstelling van dit type onderwijs staat in figuur 404.

Cognitief conflict

In de vakliteratuur wordt bij het oproepen van verbazing bij de leerlingen vaak gerefereerd aan de term ‘cognitief conflict’. We beschrijven hier echter geen aanpak waarbij systematisch wordt gestreefd naar een conflicterende ervaring, waarna naïeve denkbeelden of misconcepten worden vervangen door natuurwetenschappelijke concepten. We geven er de voorkeur aan om voort te bouwen op bestaande denkbeelden en daarom spreken we liever van het ‘creëren van een verklaringsbehoefte’.

Figuur 403 – De didactische functie van het oproepen van verbazing of verwarring bij leerlingen.



Figuur 404 – Onderwijsleerproces gericht op aansluiten bij en uitbreiden van leerlingdenkbeelden.

Overigens moeten we niet de illusie hebben dat we met een eenmalige interventie van dit type er in slagen om natuurwetenschappelijke denkbeelden te ontwikkelen die beklijven. We kunnen leerlingen bijvoorbeeld confronteren met verschijnselen in een wrijvingsloze toestand. Van daaruit kunnen we het denkbeeld ontwikkelen dat een voorwerp waarop een nettokracht van 0 N werkt een constante snelheid zal hebben. Maar in het dagelijkse leven wordt dat denkbeeld altijd weer ondermijnd, bijvoorbeeld als een fiets tot stilstand komt zodra je stopt met trappen. De aanpak die we hier beschrijven zal dus moeten worden ingebed in een didactiek waarbinnen continu aandacht wordt geschonken aan denkbeelden van leerlingen. Tevens willen we voorkomen dat leraren zich laatdunkend uitlaten over de denkbeelden waarmee leerlingen de les binnenkomen.

In deze paragraaf wordt een stappenplan beschreven dat kan worden gebruikt om lessen te ontwerpen die zijn gebaseerd op het principe van het uitlokken van een verklaringsbehoefte. Nieuwe denkbeelden met bijbehorende begrippen zijn echter niet slechts nieuwe woorden, of oude woorden met een voor leerlingen nieuwe eenduidige betekenis. De begrippen krijgen voor de leerlingen betekenis in ervaringen, in zinnen en in contexten. Het is voor het ontwikkelen van begrippen essentieel dat leerlingen de begrippen actief gaan gebruiken, zowel schriftelijk als mondeling, dat ze daarop feedback krijgen en dat ze herformuleren. We noemen dit een vorm van betekenisonderhandeling: in gesprek wordt samen besproken wat een begrip wel en niet inhoudt, de betekenis wordt afgebakend. Het ontwikkelen van een nieuw begrip omvat feitelijk een vorm van taalontwikkeling. Iedere stap is daarom voorzien van suggesties om die taalontwikkeling te ondersteunen met strategieën uit het ‘taalgericht vakonderwijs’. Dat is onderwijs waarin expliciete taaldoelen worden gesteld, dat contextrijk is, dat rijk aan interactie is, en waarin taalsteun wordt geboden. Het is tevens onderwijs waarin vakinhoud en taalvaardigheid tegelijkertijd worden ontwikkeld. De onderstaande tekst probeert dus duidelijk te maken dat aandacht voor taal tot betere vakdidactiek leidt, maar ook dat leraren in de natuurwetenschappen een bijdrage kunnen leveren aan de taalontwikkeling van leerlingen. Dit is noodzakelijk in verband met de doorlopende leerlijnen rekenen en taal waar scholen aan werken en waaraan alle vakken een bijdrage moeten leveren (ook wel genoemd de referentiekaders). De vakdidactische insteek van de tekst is echter het creëren van een verklaringsbehoefte.

Stappenplan

De zes fasen in het stappenplan voor het creëren van een verklaringsbehoefte zijn achtereenvolgens: oriënteren, voorkennis activeren en zichtbaar maken, interveniëren, herformuleren, toepassen en transfer bevorderen, en reflecteren.

In deze paragraaf zullen deze stappen eerst worden toegelicht. Daarna volgt een concreet voorbeeld waarbij het begrip ‘verbrandingsvoorwaarden’ wordt ontwikkeld. Tot slot wordt een aantal natuurwetenschappelijke theorieën en begrippen genoemd waarvoor deze didactiek toepasbaar is.

Oriënteren – In de eerste fase worden de leerlingen gemotiveerd voor de inhoud. Die inhoud wordt vanuit een betekenisvolle context aangeboden. Daarnaast krijgen de leerlingen zicht op het *leerproces* dat doorlopen zal worden.

Een werkvorm die goed bij deze fase past is een onderwijsleergesprek aan de hand van richtvragen. Die vragen gaan nog niet diepgaand in op de nieuwe begrippen die aan de orde zullen komen, maar wel op de verschijnselen en contexten waarbinnen de begrippen van toepassing zullen zijn. Een richtvraag over luchtweerstand en valversnelling is bijvoorbeeld: “Hoe hard denk je dat een parachutist valt vlak voordat het scherm zich opent?” En: “Wat zal zijn snelheid ongeveer zijn vlak voordat hij landt?” Toepassingen kunnen worden gevonden in: het dagelijks leven, beroepen, en het vak of de wetenschap (een toepassing van reactievergelijkingen is het berekenen van de ideale verhouding van stoffen voor een chemische reactie). Beelden zijn zeer natuurlijk zeer bruikbaar om de verschijnselen en contexten te introduceren.

Vanuit het perspectief van taalontwikkeling is het aanbrengen van context van belang omdat de betekenis van nieuwe vakbegrippen nooit los gezien kan worden van de contexten waarbinnen die begrippen relevant zijn. Tijdens het

oriënteren wordt echter nog niet de exacte betekenis van nieuwe begrippen binnen het vakdomein aan de orde gesteld. De taal die in deze fase wordt gebruikt zal ook overwegend dagelijkse taal zijn. In het taalgericht vakonderwijs wordt een onderscheid gemaakt tussen DAT en CAT: DAT is dagelijkse algemene taal en CAT is cognitief academische taal.

Naast oriëntatie op de leerinhouden en het te doorlopen leerproces is nu ook duidelijk te maken welke taaldoelen aan de orde zullen zijn. Een voorbeeld van een taaldoel is: "Aan het einde van het hoofdstuk kan de leerling een conclusie schrijven in een verslag. Daarin legt hij uit of zijn hypothese ten aanzien van het verband tussen deeltjesgrootte en reactiesnelheid juist was. Daarbij maakt hij gebruik van zijn waarnemingen. Ook vergelijkt hij zijn conclusie met de theorie uit het boek en geeft hij een verklaring voor mogelijke verschillen." Dergelijke taaldoelen bevatten nieuwe vaktaal en worden in dit stadium dus niet in deze vorm aan de leerlingen meegedeeld. Wel kan een vereenvoudigde versie van de doelen worden gebruikt voor leerlingen, of een vertaling in richtvragen.

Voorkennis activeren en zichtbaar maken – De leerling wordt in deze fase aangezet tot explicitering van zijn ideeën. Dat maakt het mogelijk dat de leerling later op die ideeën terugblikt. De leraar krijgt door goed te luisteren, of door de schriftelijke weergave te lezen van een verkennende opdracht, een beeld van die ideeën en kan daardoor in het vervolg van de lessen voortbouwen op die denkbeelden: welke woorden gebruikt de leerling, welke logische relaties en veronderstellingen verwoordt hij en op welke manier ("dat komt door", "geen idee hoe dat zit", "als je ... dan krijg je ...", "Ik denk dat …"). Mogelijke werkvormen in deze fase zijn:

- Discussieopdracht in groepjes bij concept cartoons waarin denkbeelden van leerlingen zijn verwerkt, met schriftelijke opbrengst.
- Discussie aan de hand van vragen, met schriftelijke opbrengst.
- Introductie van een proef. Leerlingen formuleren daarbij alleen een hypothese.
- Waarnemingen bij een proef in lekentaal laten opschrijven.

Om de voorkennis van leerlingen expliciet te krijgen, is het belangrijk dat in deze fase mondelinge en schriftelijke taalproductie wordt uitgelokt. Dat kan worden gerealiseerd door vragen te stellen over alledaagse verschijnselen, zoals "Wat zie je precies in de pan als water begint te koken?" Leerlingen zullen dan bijvoorbeeld zeggen dat er luchtbellen naar boven komen. Het is in deze fase nog niet wenselijk om het gebruik van nieuwe vakbegrippen af te dwingen. Wel is het van belang dat de taal die door de leerlingen wordt gebruikt, schriftelijk wordt vastgelegd, zodat leerlingen er na de verwerving van nieuwe theorie op terug kunnen blikken en de leerwinst zelf kunnen zien. Leerlingen kunnen bijvoorbeeld de opbrengst van onderling overleg op het smartboard schrijven. De pagina wordt vervolgens opgeslagen en in een latere fase opgehaald om de nieuwe vakbegrippen te verbinden met de opbrengsten van deze inventarisatie.

Naast het verwoorden van verschijnselen, kunnen in deze fase ook voorlopige verklaringen voor verschijnselen worden gevraagd. Ook dan is het gebruik van de nieuwe vakbegrippen echter nog niet nodig. Bij het verwoorden van hypothesen geldt ook het bovenstaande: laat schriftelijk formuleren en maak duidelijk dat er nog geen goede of foute formuleringen kunnen bestaan in deze fase. Het gaat per slot van rekening om het expliciteren van aanwezige denkbeelden.

Interveniëren – Allereerst wordt in deze fase duidelijk gemaakt dat bekende ideeën niet voldoende zijn om een verschijnsel volledig te verklaren. Een vereenvoudigde laboratoriumsituatie, waarbij de complexiteit van de dagelijkse werkelijkheid wordt vermeden, leent zich goed om verschijnselen geïsoleerd en ter plekke waar te nemen. Daarna worden nieuwe begrippen en nieuwe theorie geïntroduceerd. Mogelijke werkvormen in deze fase zijn:

- (Demo)practicum waarbij de waarnemingen strijdig zijn met de voorspellingen. Er wordt hier dus een verklaringsbehoefte gecreëerd.
- Mondelinge of schriftelijke vragen waarmee een socratisch gesprek wordt opgestart.

- Introductie van nieuwe theorie en begrippen in een leestekst, of door middel van uitleg door de leraar. Verwerking in kleine groepen.

De observaties van leerlingen kunnen in eerste instantie nog in dagelijkse taal worden weergegeven. Waar wel vaktaal wordt gebruikt bij observaties, heeft die voor de leerling nog niet dezelfde betekenis als voor de leraar. Een leerling voelt bij een gloeiend kooltje bijvoorbeeld warmte op zijn hand, terwijl de leraar dan warmtestraling voelt. Die waarneming van de leraar is echter ingekleurd door begrip van drie verschillende vormen van warmteoverdracht, waaronder straling. De waarneming wordt dus altijd beïnvloed door de voorkennis en het bijbehorende begrippenapparaat. Bij leerlingen is dat begrippenapparaat nog beperkt en daarom zullen ze lang niet alles zien, horen, voelen en ruiken zoals de leraar het ervaart. Met andere woorden: er is tussen de leraar en de leerlingen een verschil in perceptie van de werkelijkheid, ook bij het doen van waarnemingen aan verschijnselen.

Bij de introductie van een nieuw begrip kan taalsteun worden geboden, bestaande uit allerlei hulpmiddelen om de nieuwe taal te begrijpen en zelf te gaan gebruiken. Een vorm daarvan is leerlingen te herinneren aan bekende woorden of woorddelen uit andere talen. Straling is in het Engels ‘radiation’ en dat woord kom je tegen in de ‘radiator’ van de cv-installatie. Ook bij het gebruik van practicumapparatuur is vaak taalsteun nodig. Leerlingen die het woord erlenmeyer slechts horen, weten op de repetitie niet hoe ze het moeten schrijven. Sterker: de kans is groot dat leerlingen in dat geval het woord mondeling ook niet kunnen reproduceren. Dus: geef bij de opdracht de afbeelding met het correct gespelde woord eronder. Ook bij het gebruik van nieuwe begrippen is een combinatie van horen, lezen, spreken en schrijven belangrijk. Als het schrijven van het woord ‘molecuul’ wordt verwaarloosd, kan de leraar tijdens de eindtoets worden geconfronteerd met monoculen.

In de nabespreking van experimenten moeten de begrippen worden ontwikkeld, waarbij de betekenis van een woord binnen het vak duidelijk wordt. Daarbij kan aandacht worden geschonken aan de vorm van het woord, gelijkenis met andere woorden, andere talen enzovoort. Om de betekenis van een begrip duidelijk te krijgen, is ook het verschil met andere begrippen van belang. Het woord ‘warmte’ in warmtestraling kan bijvoorbeeld worden gecontrasteerd met ‘temperatuur’ en ‘energie’. Ook de verbanden met andere begrippen kunnen in deze fase aan de orde worden gesteld. Concept maps, tabellen en andere schema’s kunnen daarbij goede diensten bewijzen. Ook het gebruik van plaatjes en lichaamstaal is in de didactiek van de natuurwetenschappen heel effectief. Daarmee wordt het ontwikkelen van betekenis fysiek ondersteund. Bij het uitleggen van het deeltjesmodel in relatie tot vaste stoffen, vloeistoffen en gassen wordt door leraren bijvoorbeeld altijd met plaatjes, maar ook met handen en voeten gewerkt.

Herformuleren – Leerlingen brengen nu hun ideeën ten aanzien van het begrip en de verschijnselen die daarmee kunnen worden verklaard opnieuw onder woorden, maar nu met gebruik van vaktaal. Leerlingen brengen ook zelf verbanden aan tussen begrippen en verschijnselen. Mogelijke werkvormen in deze fase zijn:

- Terugblikken op waarnemingen die tijdens het practicum zijn gedaan. Een conclusie schrijven.
- Schriftelijk of mondeling het nieuwe begrip omschrijven, eventueel aan de hand van vragen. Daarover consensus bereiken in een groepje.
- Individueel een leestekst samenvatten.
- Verwerkingsvragen bij een leestekst beantwoorden in een duo.
- Samen een concept map maken.

Leerlingen kunnen in deze fase hun eigen omschrijving van het nieuwe begrip geven of hun eigen (nieuwe) verklaring van een verschijnsel. Daarbij verwachten we dat ze de nieuwe vakbegrippen gebruiken en we geven ze dan ook feedback op die vaktaal. Die feedback gaat ook in op correcte zinsbouw met dat nieuwe begrip. Een zin als “Warmtestraling stoot af op wit” is bijvoorbeeld nog niet nauwkeurig genoeg. Van belang is ook dat de leraar heel correct en expliciet is in

zijn eigen taalgebruik: “Zo zeggen we het in de natuurkunde: witte oppervlakken reflecteren warmtestraling. Dat betekent dat de warmtestraling wordt teruggekaatst.”

Leerlingen hebben steun nodig bij het schrijven van de onderdelen van een verslag. Voorbeelden van gelijksoortige verslagen kunnen daartoe samen met leerlingen worden geanalyseerd. Ook het gebruik van schrijfkaders is aan te bevelen als tijdelijke vorm van taalsteun, bijvoorbeeld om leerlingen te leren hoe ze hun waarnemingen in verband kunnen brengen met de theorie in het boek zoals in het voorbeeld van figuur 405. Taalsteun kan ook de vorm hebben van het voorschrijven van een aantal begrippen bij het formuleren van een antwoord, zoals in het voorbeeld van figuur 406.

Taalsteun

De theorie zegt dat …
Onze waarnemingen kloppen met die theorie, omdat …
Op de volgende punten wijken onze waarnemingen af van de theorie: …
Dat komt waarschijnlijk doordat …

Figuur 405 – Schrijfkader voor de conclusie in een verslag.

Taalsteun

Schrijf nu zelf een conclusie bij het experiment ‘de ontleding van water’. Gebruik daarbij de woorden minpool, pluspool, gasvorming, zuurstofgas, waterstofgas en de woorden die horen bij het aantonen van die twee gassen. Maak er ook een doorsneetekening bij van het toestel van Hofmann.

Figuur 406 – Voorschriften voor de conclusie in een verslag.

De onderstaande volgorde kan worden gebruikt voor het doorontwikkelen van vaktaal. Er zijn natuurlijk allerlei uitzonderingen denkbaar op die vuistregels.

- Eerst luisteren en lezen (receptief), daarna spreken en schrijven (productief).
- Eerst mondelinge taalproductie uitlokken en ontwikkelen, daarna schriftelijk.
- Eerst concreet en informeel in alledaagse taal, daarna abstract en formeel in schoolse termen en in vaktaal.

Toepassen en transfer bevorderen – Nu leerlingen een basaal idee hebben van de nieuwe theorie en van de betekenis van nieuwe begrippen, kan de wendbaarheid van de kennis worden vergroot door de theorie toe te passen op gelijksoortige verschijnselen en in andere contexten. Ook wordt nu duidelijk welke verschijnselen nog niet verklaard kunnen worden met de nieuwe theorie. We kiezen daarbij voor een opbouw van nabije transfer naar verre transfer. Dat wil zeggen: we starten met contexten die sterk lijken op de context waarbinnen we het concept hebben aangeleerd, waarna de contexten steeds verder weg komen te liggen. Mogelijke werkvormen in deze fase zijn:

- Denken-delen-uitwisselen van opgaven waarin het nieuwe begrip wendbaar toegepast moet worden.
- Practicum waarin de leerling met verschijnselen wordt geconfronteerd die ook met het nieuwe begrip kunnen worden verklaard.
- Klassikale nabespreking.
- Onderwijsleergesprek waarin de grenzen van de toepasbaarheid van de nieuwe theorie worden verkend. Het nieuwe begrip luchtweerstand is weliswaar bruikbaar om beter te begrijpen hoe de snelheid van een parachutist ongeveer verandert tijdens de val, maar we weten dan nog steeds niet precies met welke snelheid hij op de grond komt.

Omdat leerlingen vanaf dit moment de nieuwe begrippen in toenemende mate flexibel moeten gebruiken in verschillende contexten, is steeds feedback op mondelinge en schriftelijke taal nodig. De leraar kan de betekenis van begrippen voor leerlingen scherper maken door terug te grijpen op eerdere voorbeelden, die in de oriëntatiefase zijn genoemd, en door nieuwe contexten in te brengen. Die contexten kunnen weer worden ontleend aan het dagelijks leven, aan beroepen en aan het vak zelf, of de wetenschap. Ook in deze fase wordt weer feedback gegeven op het gebruik van vaktaal door de leerlingen. Ten slotte moet het de leerlingen nu duidelijk worden dat het gebruik van school- en vaktaal geen doel is op zichzelf, maar dat het noodzakelijk is om verder te komen in het vak. Dat betekent dat ze de vragen in het voorbeeld van figuur 407 kunnen beantwoorden.

Taal en vaktaal

Sverre zegt tegen de dokter: “Ik heb last van gasvorming in mijn maag.” Ahmed zegt: “Ik voel steeds luchtbellen naar boven komen in mijn maag en dan moet ik een boer laten.” Welke van de twee jongens gebruikt taal die we in de scheikunde ook gebruiken? Leg uit waarom het de dokter niet uitmaakt hoe je zoiets zegt. Leg ook uit dat het verschil tussen ‘luchtbellen’ en ‘gasvorming’ in de scheikunde wel erg belangrijk is.

Figuur 407 – Voorbeeldvraag over het gebruik van taal en vaktaal.

Reflecteren – Leerlingen gaan nu inzien dat ze hun oorsponkelijke ideeën hebben aangepast. Ze krijgen ook zicht op de manier waarop ze tot nieuwe ideeën zijn gekomen. Mogelijke werkvormen in deze fase zijn:

- Beantwoorden van reflectievragen. Daarin maken leerlingen een vergelijking tussen het inzicht dat ze hadden genoteerd in stap 2 (voorkennis activeren en zichtbaar maken) en het nieuwe inzicht.
- Het zoeken naar de sterkste eye-opener: lees je schriftelijke werk terug en bepaal welk moment het belangrijkst was om de nieuwe theorie te begrijpen.

Leerlingen kunnen nu bijvoorbeeld een vergelijking maken tussen de taal die is

gebruikt in stap 2 (voorkennis activeren en zichtbaar maken) en stap 4 (herformuleren), inclusief het niveau van zinnen.

Toepassingen

In het voorbeeld van figuur 408 over het begrip ‘verbrandingsvoorwaarden’ is slechts een deel van de bovenstaande suggesties verwerkt om de tekst beknopt te houden.

Lesprotocol

Oriënteren

Leraar Jongens en meisjes, jullie gaan vandaag iets leren over brand en het blussen van brand. We gaan daar over nadenken en we gaan een experiment doen. Waar denk jij aan bij het woord ‘brand’? Nee, liever geen vingers. Ik geef willekeurig beurten nadat jullie hebben nagedacht. [... denktijd en stilte] Luciano?

Luciano Ik denk aan brand in huis mevrouw, want dat is bij m’n oom gebeurd.

Leraar Oei, niet te erg, hoop ik?

Luciano Nee hoor, een klein brandje in de keuken.

Leraar Daar komen we op terug, zodra jullie meer begrijpen over de oorzaken van brand en hoe je brand kan blussen. Kennen jullie trouwens spreekwoorden en uitdrukkingen in het Nederlands en in andere talen/culturen die over vuur gaan? [... de vonk sloeg over, even een brandje blussen ...]
Jullie zien in het boek dat de paragraaf gaat over ‘verbrandingsvoorwaarden’. Dat woord moet je aan het einde van deze les in eigen woorden kunnen uitleggen.

Voorkennis activeren en zichtbaar maken

Leraar Laten we eens preciezer kijken welke ideeën jullie nu hebben over brand en blussen. Beantwoord deze twee vragen in een tweetal.
1 Wat is nodig om ergens brand te laten ontstaan?
2 Wanneer gaat brand uit?
Caitlin, wat was jullie antwoord op vraag 2?

Caitlin Als je er water op gooit, of soms zand.

Leraar Waarom denk je dat het uit gaat als je water op het vuur gooit?

Caitlin Water en vuur zijn tegengesteld. Net als plus en min, of zo.

Leraar Ah, dus water dooft vuur zoals +1 en – 1 samen 0 zijn, of zo. Wist je trouwens dat je een pan met brandende olie beslist niet met water mag blussen omdat er anders een vuurbal of explosie ontstaat? Dan zijn water en vuur samen dus geen 0, of zo. […]

Leraar Oké, Jack en een paar anderen hebben nu gezegd dat je bijna altijd een vuurtje nodig hebt om iets anders te laten branden. Vuur lijkt dus besmettelijk te zijn, bij wijze van spreken. En van water gaat vuur meestal uit.

Interveniëren

Proef: Ontbrandingstemperatuur (tot 1:15)

Concept cartoon:

Leraar Kijk eens mee naar de volgende proef die ik op het digibord laat zien. […]

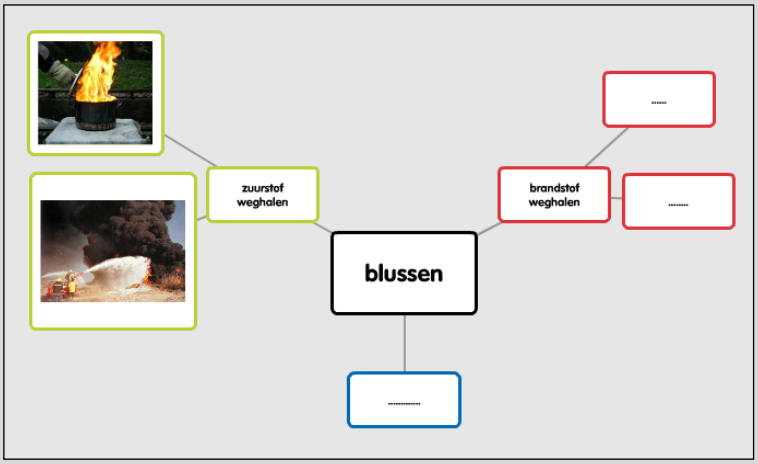
Leraar Discussieer nu in een tweetal tien minuten over de onderstaande cartoon en schrijf dan op waarom jij denkt dat het papier in die video niet brandt. […]

Leraar Als je wil begrijpen waarom blussen de ene keer wel lukt en de andere keer niet, moet je meer weten over de omstandigheden die nodig zijn voor brand. [Leerlingen doen nu enkele experimenten waaruit blijkt dat a) zuurstof, b) brandstof en c) een voldoende hoge temperatuur voorwaarden zijn voor brand. Om waar te nemen dat vuur niet per sé nodig is om iets aan te steken (preconcept), maar een voldoende hoge temperatuur wel, houden de leerlingen een luciferkopje tegen een koude soldeerbout, waarna de soldeerbout aan wordt gedaan totdat de lucifer ontbrandt. Nadat de waarnemingen zijn gedaan, wordt het practicum nabesproken. De leraar vraagt naar de waarnemingen en leidt het gesprek onder andere naar de conclusie dat vuur niet per sé nodig is voor ontbranding, maar een voldoende hoge temperatuur wel.]

Leraar Jullie gaan nu een tekst lezen over de drie verbrandingsvoorwaarden. Wat wordt eigenlijk bedoeld met een voorwaarde? Bijvoorbeeld in de zin: ‘De voorwaarde om over te gaan naar een volgende klas, is dat je 46 punten hebt op je eindrapport’. [... denktijd, bespreektijd in duo’s] Agnita?

Agnita Dat het nodig is, mevrouw.

Leraar Dus verbrandingsvoorwaarden zijn dingen die nodig zijn voor brand. Er zal altijd brand zijn als aan die voorwaarden wordt voldaan. Zo zeggen we dat: Als aan de *voorwaarden* wordt *voldaan*.
[Leerlingen lezen de tekst over de drie verbrandingsvoorwaarden en beantwoorden een aantal verwerkingsvragen.]

	Leraar	Nu kunnen we dus heel precies zeggen welke temperatuur nodig is om een stof te laten ontbranden. Denken jullie dat die temperatuur voor alle stoffen hetzelfde is? [Leraar leidt het gesprek naar het begrip 'ontbrandingstemperatuur'.]
Herformuleren	Leraar	Doe je boek maar dicht en schrijf in eigen woorden op wat je nu weet over verbrandingsvoorwaarden. […] Esther? […] Karim, kun jij dat antwoord aanvullen?
Toepassen en transfer bevorderen Toepassingsvragen: • Welke verbrandingsvoorwaarde neem je weg als je met koolstofdioxide blust? En met zand? • Geef twee redenen waarom je een houtvuur zo goed met water kan blussen. • Waarom ontstaat er in het getoonde fragment uit de film 'Backdraft' steeds een steekvlam in de gang van het hotel? • In het lokaal zie je een paar gaskranen zonder brander. Stel: Iemand zet per ongeluk het gaskraantje open en er komt een vonk bij. Dat is zeer gevaarlijk. Maar kan de vlam dan naar binnen slaan in de koperen gasleiding? Leg je antwoord uit. • En als de kraan van de zuurstofcilinder lekt. Kan de vlam dan naar binnen slaan? • Maak het begrippenschema hiernaast af, inclusief de voorbeelden.	Leraar	Jullie gaan nu nog een aantal toepassingsvragen beantwoorden in je werkschrift. Eerst mag je er over praten en dan schrijft iedereen zijn eigen antwoord op. Gebruik de begrippen die horen bij 'verbrandingsvoorwaarden'. Begrippenschema: 
	Leraar	We gaan kort jullie antwoorden bespreken. Jelmer, je schrijft dat de vlam niet naar binnen kan slaan omdat er geen lucht bij komt. Probeer dat antwoord nog beter te maken door de begrippen uit de branddriehoek te gebruiken. […]
	Leraar	Luciano, vertel nu eens wat er precies bij je oom heeft plaatsgevonden. Dan kunnen wij daarna elkaar vertellen hoe je zoiets kan voorkomen. Daarna kunnen we ook ideeën uitwisselen over het blussen van zo'n brandje zonder dat je enorm veel waterschade krijgt. […]
Reflecteren	Leraar	Kijk nu nog eens naar de concept cartoon en de vraag daarover. Verbeter jullie antwoord op die vraag. Joshua, jij schreef eerst op dat het papier niet wilde branden omdat het te koud was. Kun je nu je antwoord verbeteren, door gebruik te maken van de drie verbrandingsvoorwaarden? Gebruik minstens één van die drie voorwaarden letterlijk in je antwoord. […]
	Leraar	De antwoorden die jullie gaven nadat je voor de tweede keer de concept cartoon had bekeken zijn veel sterker. Waarom zijn jullie nu veel beter in staat om het verschijnsel brand te begrijpen dan voor deze les? Wat is er precies met je gebeurd waardoor je ideeën over brand en over blussen zijn veranderd? […]

Figuur 408 – Voorbeeld van taalgericht vakonderwijs.

In het bovenstaande voorbeeld zijn slechts mogelijkheden geschetst. Voor iedere doelgroep en voor iedere leerinhoud zal het beschreven didactische ontwerp anders moeten worden ingevuld. De geschetste aanpak moet ook niet als exemplarisch voor een practicum worden opgevat. Voor het ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden kan een meer open practicum bijvoorbeeld doelmatiger zijn.

Hieronder staan enkele voorbeelden van begrippen die met de bovenstaande aanpak kunnen worden ontwikkeld.

Massabehoud bij chemische reacties – De totale massa aan stoffen die uit de uitlaat van een auto komt is niet lichter dan de benzine plus de verbruikte zuurstof. En een spijker die roest, wordt zwaarder in plaats van lichter. Bij het verbranden van hout denken leerlingen dat het hout verdwijnt, dat er as overblijft en dat andere stoffen geen rol spelen voor wat betreft de massa. Verbrand een stukje hout in een afgesloten kolf gevuld met zuurstof, waarbij de massa voor en na de verbranding wordt gemeten. Laat de leerlingen vooraf een hypothese opstellen en toets die hypothese met de proef.

Lineariteit – Omdat zoveel verbanden lineair zijn, gaan leerlingen lineariteit toepassen op niet-lineaire problemen. Stel: Het duurt 5 minuten om een shirt te drogen. Hoe lang duurt het dan om drie shirts, of zes shirts te drogen? In eerste instantie zullen sommige leerlingen antwoorden: 15 minuten en 30 minuten. Een plaatje van vijf shirts aan een waslijn is vervolgens voldoende om de fout te laten inzien. Daarna kan worden onderzocht door leerlingen welke verbanden nog meer niet-lineair zijn.

Zwaartekracht – Jonge kinderen denken bij vallende objecten in termen van een absoluut onder en boven, in plaats van een valbeweging in de richting van het centrum van de aarde. Gebruik de video Adam (tot 3:30) van *Aardman Animations* om het gesprek hierover tussen de leerlingen op gang te brengen.

Figuur 409 – Still uit de video 'Adam'.

Ontwerpprincipe

Bij het ontwerpen van lesmateriaal voor taalgericht vakonderwijs zoek je naar onderwijsleeractiviteiten die bij leerlingen de behoefte oproepen om een verschijnsel te verklaren, eerst mondeling en daarna schriftelijk, eerst concreet en informeel in alledaagse taal en daarna abstract en formeel in vaktaal met behulp van verschillende vormen van taalsteun en reflectie op het verschil tussen de alledaagse taal en de vaktaal.

9.8 Karakteristieke werk- en denkwijzen

Binnen het voortgezet onderwijs wordt het steeds belangrijker om niet alleen naar feitelijke vakinhoud te kijken, maar zeker ook naar wat een leerling er mee kan in een vervolgstudie of het latere leven. We praten dan over manieren van werken en denken. Veel van die manieren horen niet bij een afzonderlijk schoolvak. Wél hebben bepaalde schoolvakken soms een specifieke kijk op werken en denken. Er is dan sprake van *karakteristieke werk- en denkwijzen*.

In deze paragraaf geven we een overzicht van deze werk- en denkwijzen en kijken we naar wat dat voor de natuurkundelessen betekent. Daarbij gaan we uit van de *Kennisbasis natuurwetenschappen en technologie voor de onderbouw vo*. De ontwikkeling van die kennisbasis is geïnspireerd door internationale voorbeelden, met name het *K-12 Science Education Framework* van de *National Research Council* in de US, de daarop gebaseerde *Next Generation Science Standards* en het *PISA 2015 Science Framework*. Voor de onderbouw in het voortgezet onderwijs beschrijft de genoemde kennisbasis het leergebied in een combinatie van drie dimensies: werkwijzen, vakinhouden en denkwijzen. De kennisbasis geeft nieuwe mogelijkheden om concepten explicieter uit te diepen, om vakoverstijgend te werken en om te laten zien hoe wetenschap en technologie werken. In de kennisbasis worden de hieronder samengevatte karakteristieke werk- en denkwijzen veel verder uitgewerkt, met voorbeelden voor de verschillende bètavakken.

Karakteristieke werkwijzen

Binnen STEAM-onderwijs (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) spelen de in figuur 410 genoemde karakteristieke werkwijzen of algemene vaardigheden een grote rol.

Karakteristieke werkwijzen

- Modelontwikkeling en -gebruik
- Onderzoeken
- Ontwerpen
- Informatievaardigheden
- Redeneervaardigheden
- Rekenkundige en wiskundige vaardigheden
- Waarderen en oordelen

Figuur 410 – Overzicht van de karakteristieke werkwijzen in de bètavakken.

Modelontwikkeling en -gebruik – Bij de natuurwetenschappelijke vakken proberen we de werkelijkheid modelmatig te benaderen. De werkelijkheid is vaak te complex om geheel te beschrijven. We gebruiken daarom een vereenvoudigde voorstelling, zoals een model van de cel, een molecuulstructuur van stokjes en bolletjes of een voorstelling van elektrische stroom als een soort elektronengas in een metaaldraad. We spreken daarbij over schaalmodellen, schema's (elektriciteit), simulaties en rekenmodellen.

Modellen worden vaak ook wiskundig benaderd om daarmee processen te beschrijven en voorspellingen te kunnen doen. De weersvoorspellingen voor de komende dagen worden bijvoorbeeld met dat soort modellen berekend. Het doen van weersvoorspellingen op langere termijn is moeilijk, omdat de complexiteit van het weersysteem te groot is voor de huidige modellen. Een ander voorbeeld

is een (wiskundig) model van een raket, waarmee vooraf te berekenen is wat er precies moet worden ingesteld en geregeld om een satelliet in een baan rond de aarde te krijgen.

Leerlingen moeten dus meekrijgen dat veel wetenschap zich bezig houdt met modelleren van de werkelijkheid om te proberen zo vat op die werkelijkheid te krijgen en deze zo goed mogelijk te benutten. Door het modelleren naar leerlingen toe regelmatig bewust te benoemen en de complexiteit langzaam op te bouwen, worden ze zich meer bewust van het belang maar ook van de beperkingen van modelleren.

Onderzoeken – Onderzoeken is niet voorbehouden aan wetenschappers, iedereen doet dat wel, thuis of op het werk. Leerlingen in de onderbouw moeten begrijpen dat onderzoeken deel uitmaakt van de samenleving en enig idee hebben hoe je een onderzoek systematisch kunt opzetten (zie de onderzoekscyclus in paragraaf 7.3).

Bij onderzoek gaat het over willen weten, kritisch zijn naar wat je meet of leest, en je resultaten willen delen. Willen weten vertaalt zich in een (onderzoeks)vraag, waarop je een antwoord gaat zoeken. In de wetenschap is er vaak sprake van een opeenvolging van theorievorming (modelleren van de werkelijkheid) en onderzoek in hoeverre een theorie de uitkomsten van nieuw onderzoek kan voorspellen. Aan de hand van de uitkomsten kan dan de theorie aangepast, verfijnd of verworpen worden.

Ontwerpen – Ontwerpen is een manier van werken die tegenwoordig meer in het onderwijs terugkomt. Op Technasia en bij het vak ‘onderzoeken en ontwerpen’ is het een wezenlijk onderdeel van het onderwijs. Ook bij een sector- of profielwerkstuk kan het gaan om een ontwerp. Net als bij onderzoeken gaat het erom dat leerlingen enig idee hebben hoe je ontwerpen op een systematische manier aangepakt (zie de ontwerpcyclus in paragraaf 7.4).

Informatievaardigheden – Leerlingen moeten informatie kunnen zoeken, beoordelen, interpreteren en weergeven. Voor natuurkunde betekent dat in elk geval dat ze diagrammen kunnen interpreteren en zelf data in een diagram kunnen weergeven. Ook moeten ze uit tabellen in bijvoorbeeld BiNaS gegevens kunnen halen. Bij het lezen van een artikel in bijvoorbeeld een krant of op internet moeten ze de informatie op waarde kunnen schatten.

Dat betekent dat leerlingen voldoende parate kennis moeten hebben om dergelijke artikelen te kunnen lezen en interpreteren. Er zal in de les aandacht moeten zijn voor het omgaan met en beoordelen van informatie uit diverse bronnen.

Redeneervaardigheden – Zoals elke burger moet een leerling straks in staat zijn een logische redenering op te zetten of een redenering van iemand anders kritisch beschouwen en op waarde schatten. Bij natuurkunde is een onderdeel van deze vaardigheid onder meer conclusies kunnen trekken uit experimenten.

Rekenkundige en wiskundige vaardigheden – Een leerling moet met verhoudingen kunnen omgaan, met getallen kunnen rekenen, en grootheden en eenheden kunnen gebruiken. Grafieken, diagrammen en tabellen moeten geïnterpreteerd en gebruikt kunnen worden. Het kwantificeren speelt hierbij een belangrijke rol. Per vakinhoudelijk onderwerp kan de rol van de verschillende vaardigheden verschillen. Samenwerking met andere vakken kan hierbij goed helpen. Een voorbeeld waarbij specifiek het omgaan met verhoudingen over de vakken heen aandacht kreeg is het SaLVO-project, waarin lesmateriaal is gemaakt dat bij verschillende vakken het omgaan met verhoudingen op elkaar laat aansluiten.

Waarderen en oordelen – Iedereen moet op een goede basis afwegingen kunnen maken (zie de oordeels- en besluitvorming in paragraaf 7.5). Waarden, emoties en kennis moeten onderscheiden kunnen worden om een afgewogen oordeel ergens over te kunnen geven. Ook is het belangrijk om je te kunnen verplaatsen in een ander om verschillende standpunten te kunnen begrijpen. In de natuurkundeles kan er bijvoorbeeld aandacht worden besteed aan onderwerpen als de energietransitie of kernenergie.

Karakteristieke denkwijzen

Bepaalde manieren van denken komen in verschillende disciplines voor, soms

Karakteristieke denkwijzen

- Patronen
- Schaal, verhouding en hoeveelheid
- Oorzaak en gevolg
- Systeem en systeemmodellen
- Behoud, transport en kringloop van energie en materie
- Structuur en functie
- Stabiliteit en verandering
- Duurzaamheid
- Risico's en veiligheid

Figuur 411 – Overzicht van de karakteristieke denkwijzen in de bètavakken.

wat meer in de een dan in de ander. Voor de natuurwetenschappen worden in de kennisbasis de in figuur 411 genoemde denkwijzen genoemd. Voor wiskunde wordt er gesproken over wiskundige denkactiviteiten, die in de examenprogramma's van havo/vwo ook expliciet genoemd worden. Denkwijzen hoeven niet altijd aan bod te komen, en kunnen ook bij andere vakken aan de orde komen. Verder komen de denkwijzen vaak in samenhang met elkaar voor. Bijvoorbeeld bij het redeneren over risico's komt ook oorzaak en gevolg ter sprake, en schaalgrootte.

Patronen – Het herkennen van patronen is een belangrijke basis voor de ontwikkeling van kennis. Door het rangschikken van eigenschappen van materialen kon het periodiek systeem van de elementen worden gemaakt. Dat systeem leverde weer voorspellingen op waarmee nieuwe elementen werden ontdekt. Het patroon van emissielijnen van waterstof leverde inzichten op voor de elektronschillen in atomen. Het observeren van de beweging van zon, maan en planeten maakte dat zonsverduisteringen konden worden voorspeld. Maak in de les het belang van patronen herkennen zichtbaar.

Schaal, verhouding en hoeveelheid – Laat leerlingen kennis maken met de schaal waarop verschijnselen in de natuurkunde plaats kunnen vinden: van subatomaire deeltjes tot de afstanden tussen sterrenstelsels. Let er wel op dat leerlingen het in een kader kunnen plaatsen. Er zijn voor afmetingen diverse filmpjes en beelden te vinden die proberen de verschillende schalen te laten zien. Ook voor tijd kan een dergelijke aanpak worden gevolgd. Heb daarbij aandacht voor de menselijke maat in lengte en in tijd. Daar zit in eerste instantie de beleving van de leerlingen. Het contact met de werkelijkheid wordt zowel bij opschalen als inzoomen minder groot.

In de natuurwetenschappen wordt veel met verhoudingen gewerkt. Dichtheid, druk, snelheid en concentraties zijn voorbeelden daarvan. Leerlingen snappen vaak het idee van de te nemen verhouding wel, maar zijn niet goed in staat om dit in een formele context (via formules) te gebruiken. Aansluiten bij de wiskunde via het gebruik van verhoudingstabellen kan hen daarbij goed helpen.

Oorzaak en gevolg – Sinds mensenheugenis proberen we voor gebeurtenissen een oorzaak te vinden, zoals geïllustreerd in het voorbeeld van figuur 412. Vaak zien we patronen, en die moeten toch ergens vandaan komen. Door oorzaken te zoeken, proberen we de wereld om ons heen te begrijpen en mogelijk ook manipuleerbaar te maken.

Systeem en systeemmodellen – De werkelijkheid is complex. Voor een goed begrip kan het daarom nodig zijn om processen goed af te bakenen. Een samenhangend geheel binnen bepaalde grenzen wordt wel een systeem genoemd. Dat systeem kun je dan apart beschrijven, waarbij vaak vereenvoudigingen worden gemaakt en aannames worden gedaan. De interactie met andere systemen kan dan met in- en uitstroom beschreven worden. Modellen om het weer te kunnen voorspellen zijn hier goede voorbeelden van.

Figuur 413 – Een eenvoudig voorbeeld van de relatie tussen structuur en functie is de bahco: een moersleutel waarvan de breedte van de bek kan worden ingesteld door aan de 'worm' te draaien. Daarmee zijn moeren met verschillende afmetingen vast en los te draaien.

Behoud, transport en kringloop van energie en materie – Binnen een systeem is sprake van behoud van energie en materie. Als er sprake is van overdracht van materie of energie naar een ander systeem, geldt het behoud binnen die twee systemen gezamenlijk. Voor leerlingen moet het duidelijk zijn dat deze manier van denken over materie en energie (en nog wel meer grootheden) essentieel is binnen veel modellen en theorieën.

Structuur en functie – De functie van een kurkentrekker is het verwijderen van de kurk uit een flessenhals. De opbouw van de meeste kurkentrekkers geeft dat duidelijk aan, door ervoor te zorgen dat er een kracht op de kurk kan worden uitgeoefend. Met name bij ontwerpopdrachten kunnen leerlingen hier bewust mee aan de slag.

Stabiliteit en verandering – Begrippen als statisch en dynamisch evenwicht zijn van groot belang in allerlei processen en technieken. Kleine verstoringen in een evenwicht kunnen probleemloos verlopen (stabiel evenwicht) of juist daarna naar een nieuwe situatie toegaan (labiel evenwicht, denk aan een potlood op zijn punt laten balanceren). Een begrip als terugkoppeling past goed bij deze denkwijze.

Duurzaamheid – Een denkwijze die vooral kijkt naar de toekomst is duurzaam-

heid. Het idee is dat leerlingen zich bewust worden van de impact van hun handelen op het milieu en hoe zij kunnen meewerken aan het leefbaar houden van de aarde voor toekomstige generaties.

Risico's en veiligheid – Een leerling moet kunnen inschatten welke risico's in bepaalde situaties aanwezig zijn en ook maatregelen kunnen nemen om risico's kleiner te maken of te vermijden. Denk daarbij aan practica, verkeer en omgaan met (gevaarlijke) stoffen.

Vragen bij denkwijze Patronen

- Zie je een patroon (of meerdere patronen) in bovenste grafiek?
- Hoe zou je dat patroon (of die patronen) omschrijven?
- Zie je afwijkingen in het patroon/de patronen?
- Hoe zijn de afwijkingen te verklaren?
- Zie je een patroon (of meerdere patronen) in onderste grafiek?
- Hoe zou je dat patroon (of die patronen) omschrijven?
- Zie je afwijkingen in het patroon/de patronen?
- Hoe zijn de afwijkingen te verklaren?
- Zie je overeenkomsten en verschillen (in de patronen) in de twee grafieken?
- Wat zeggen die overeenkomsten en verschillen over de conclusie zoals geformuleerd in de opgave hiernaast?
- Kun je uit de patronen iets opmaken over toekomstige CO_2-gehaltes en temperatuur van de atmosfeer?

Figuur 414 – Algemene vragen bij de denkwijze *Patronen*, toegespitst op de context van het lesmateriaal in figuur 412.

Vragen bij denkwijze Oorzaak en gevolg

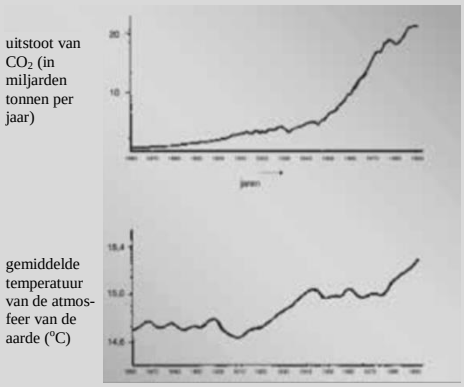
- Op basis van de twee grafieken, waardoor zou de stijging van de temperatuur in de atmosfeer veroorzaakt kunnen worden?
- Hoe zou de oorzaak-en-gevolg-relatie verklaard kunnen worden?
- Is er sprake van één of van meerdere oorzaken?
- Mag je eigenlijk wel concluderen dat hier sprake is van een oorzaak-en-gevolg-relatie, of is er sprake van een correlatie?
- Is er wellicht een andere oorzaak voor zowel de stijging van het CO_2-gehalte als de temperatuur van de atmosfeer?
- Is er sprake van een direct gevolg of een verhoogde kans op een gevolg?
- Zijn in dit geval oorzaak en gevolg weer te geven in een kringloop?

Figuur 415 – Algemene vragen bij de denkwijze *Oorzaak en gevolg*, toegespitst op de context van het lesmateriaal in figuur 412.

CO_2 in de atmosfeer en opwarming

In het lesvoorbeeld hieronder – over CO_2 in de atmosfeer en de opwarming ervan – komt zowel de denkwijze *Patronen* als *Oorzaak en gevolg* aan de orde. De twee grafieken laten bepaalde patronen zien. Afhankelijk van welk tijdvak je beschouwt, zijn er overeenkomsten en verschillen in die patronen te vinden. In de opgave (vrijgegeven door PISA) verschillen André en Inge van mening. De leerlingen wordt gevraagd mee te denken met André en Inge, die ogenschijnlijk verschillende conclusies trekken uit de twee grafieken. Het gaat daarbij over de relatie tussen de uitstoot van CO_2 in de atmosfeer en de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer, beide over dezelfde periode. Hier is sprake van een oorzaak-en-gevolg-redenering.

André is geïnteresseerd in de mogelijke relatie tussen de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer van de aarde en de uitstoot van koolstofdioxide op aarde. In een bibliotheek vindt hij de volgende twee grafieken.



André leidt uit deze twee grafieken af dat het vaststaat dat de stijging van de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer het gevolg is van de toename van de uitstoot van koolstofdioxide.

1 Welke informatie uit de grafieken ondersteunt de conclusie van André?

Inge is het niet eens met de conclusie van André. Ze vergelijkt de twee grafieken en zegt dat bepaalde delen van de grafiek zijn conclusie niet ondersteunen.

2 Geef een voorbeeld van een deel van de grafiek dat de conclusie van André niet ondersteunt. Leg je antwoord uit.

André blijft bij zijn conclusie dat de stijging van de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer van de aarde wordt veroorzaakt door de toename van de uitstoot van koolstofdioxide.
Inge is echter van mening dat zijn conclusie voorbarig is. Zij zegt: "Vóór je deze conclusie accepteert, moet je er zeker van zijn dat andere factoren die het broeikaseffect zouden kunnen beïnvloeden constant zijn."

3 Noem één van de factoren die Inge bedoelt.

Lesmateriaal over CO_2 en opwarming van de atmosfeer

Voor elk van de negen denkwijzen in de kennisbasis is een set met algemene vragen geformuleerd, die toegespitst op de specifieke context kunnen helpen bij het verduidelijken van de concepten en processen die een rol spelen in die context: zie figuur 414 en 415. Het lesvoorbeeld laat zien hoe de denkwijzen *Patronen* en *Oorzaak en gevolg* gebruikt worden om bepaalde problemen op te lossen en concepten explicieter aan de orde te stellen dan gebruikelijk.

Figuur 412 – Voorbeeld van lesmateriaal rond de denkwijzen *Patronen* en *Oorzaak en gevolg*. Bron: *NVOX 41*(8), 416-418.

Vakinhouden

Het is niet de bedoeling om de bovenstaande karakteristieke werk- en denkwijzen als 'losse onderwerpen' aan de orde te stellen. Er zal altijd sprake zijn van een koppeling aan de vakinhoud. Het gaat dus – zoals in het begin van deze paragraaf al gezegd – om een combinatie van drie dimensies: werkwijzen, vakinhouden en denkwijzen. In figuur 416 staat daarvan een voorbeeld.

	Energie	
	Integrale doelen De leerling kan: • via een apparatenonderzoek komen tot een bepaling van vermogen, energieverbruik en rendement; • de werking van een cv-installatie demonstreren aan de hand van een model, waarbij verbranding, diverse vormen van warmtetransport en isolatiemaatregelen aan de orde komen; • onderzoek doen door metingen in diverse elektrische schakelingen (onder andere parallel en serie) naar de relatie tussen stroomsterkte en spanning; • met behulp van een model van een huisinstallatie de werking en de toegepaste veiligheidsmaatregelen uitleggen; • de werking van een aantal apparaten gebaseerd op elektromagnetisme demonstreren; • aan de hand van verzamelde gegevens uit diverse bronnen informatie geven over de Nederlandse energievoorziening: over de vormen van (groene) energie, over de hoeveelheid energie (per huis, stad, land), het energietransport en de belasting voor het milieu. **Relevante contexten** Duurzaamheid (energiebronnen, energieopwekking en -verbruik (warmte, elektriciteit), aarde en atmosfeer, energielabels, isolatie); veiligheid (elektriciteit); transport (energiegebruik in verkeer).	
Karakteristieke werkwijzen	**Vakinhouden**	**Karakteristieke denkwijzen**
Modelontwikkeling en -gebruik • Met een model de werking van een cv-installatie demonstreren. • In een elektrisch schakelschema parallel en in serie geschakelde lampjes en weerstanden weergeven met de juiste symbolen. **Onderzoeken** • Experimenteel onderzoek doen naar de relatie tussen spanning en stroomsterkte in diverse schakelingen met diverse onderdelen. • Onderzoek doen naar het energieverbruik van diverse apparaten.	**Vormen van energie, energieomzetting, transport, opwekking, arbeid, rendement, vermogen** • De diverse energiesoorten (bewegingsenergie, zwaarte-energie, kernenergie, elektrische energie, chemische energie, warmte) onderscheiden. • Energieomzettingen beschrijven en met voorbeelden toelichten. • Verschillende energiebronnen en manieren van energieopwekking en energieopslag beschrijven, en analyseren hoe deze energie gebruikt kan worden. • Onderscheid maken tussen ‘nuttige’ energie en ‘toegevoerde’ energie, en nagaan op welke manier energie ‘nuttig’ gebruikt kan worden. • Met behulp van de energielabels voor diverse apparaten een keuze maken en deze ordenen.	**Schaal, verhouding en hoeveelheid** • Een grote windturbine levert elektriciteit voor duizenden huishoudens; een kolencentrale levert energie voor honderdduizenden huishoudens. • Een huis met een dak vol zonnepanelen levert op jaarbasis precies genoeg energie voor dat huis. **Oorzaak en gevolg** • Verwarmen van een stof betekent een toename van de kinetische energie van moleculen.

Figuur 416 – Een voorbeeld van de koppeling tussen werkwijzen, vakinhouden en denkwijzen in een leerstofdomein. Bron: *NVOX 41*(8), 416-418.

De in deze paragraaf genoemde karakteristieke werkwijzen zullen voor het overgrote deel een onderdeel vormen van de in hoofdstuk 7 geschetste leerlijnen voor probleemoplossen, onderzoeken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming. De mogelijkheden voor het besteden van aandacht aan de karakteristieke denkwijzen zullen voor een deel afhangen van de voor het aanleren en/of verwerken van de vakinhouden gekozen contexten.

Ontwerpprincipe

Bij het ontwerpen van lesmateriaal waarin aandacht wordt besteed aan de karakteristieke werk- en denkwijzen in de natuurwetenschappen ga je bij (een deel van) een leerstofdomein zo goed en volledig mogelijk na welke werk- en denkwijzen zinvol te koppelen zijn aan de vakinhoud, en maak je daaruit een bij een leerlijn voor deze werk- en denkwijzen passende keuze.

9.9 Afsluiting

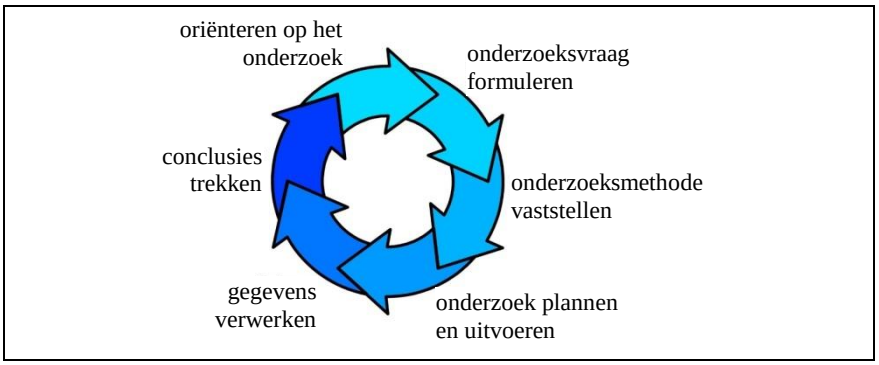
De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: Hoe maak je een verantwoord ontwerp van leermiddelen voor lesonderdelen en lessen, maar ook voor lessenseries waarin een bepaalde onderwijsvisie tot uitdrukking komt.

Het antwoord op het eerste deel van deze vraag is: door het doorlopen van de opeenvolgende stappen in de *ontwerpcyclus*, zo nodig in twee of meer rondes tot

de didactische kwaliteit van het ontworpen leermiddel voor een lesonderdeel of les goed genoeg is voor gebruik in de lespraktijk. Voor het antwoord op het tweede deel van de vraag geldt hetzelfde, maar nu zal het ontwerpen meer tijd en inspanning vragen omdat het gaat om een lessenserie en omdat het (meestal) gaat om een van het leerboek afwijkende didactische benadering. De algemene ontwerpheuristiek in de vorm van een *didactische fasering* en de bij de verschillende onderwijsvisies genoemde *ontwerpprincipes* kunnen daarbij wel iets, maar nu ook weer niet al te veel helpen. De ontwerpprincipes zijn heel globaal geformuleerd en geven niet meer dan de inhoudelijke kern van zo'n didactische benadering. De uitwerking ervan tot een concreet onderwijsleerproces is meestal sterk afhankelijk van het leerstofdomein. Dan is het nog maar de vraag of die uitwerking voor een specifiek leerstofdomein ook 'werkt' in een ander leerstofdomein. Sterker nog, het is zelfs de vraag of die uitwerking voor een specifiek leerstofdomein ook 'werkt' in een parallelklas.

De in dit hoofdstuk genoemde ontwerpprincipes zijn een poging tot generalisatie: wat in het ene geval 'werkt', zou ook in het andere geval kunnen 'werken'. Maar bij de ontwikkeling van de natuurkundedidactiek ter verbetering van het vakonderwijs gaat het om vakdomeingebonden didactische kennis: het per vakdomein in beeld brengen van de samenhang tussen onderwijsactiviteiten (door de leraar) en leeractiviteiten (door de leerlingen) in wisselwerking met de ontworpen leermiddelen. Of, met andere woorden: welke onderwijsactiviteiten leiden tot de gewenste leeractiviteiten onder welke omstandigheden?

Vakdidactisch onderzoeken – Met de hierboven geformuleerde vraag naar het effect van onderwijsactiviteiten betreden we het gebied van 'vakdidactisch onderzoeken'. Bij vakdidactisch onderzoeken van lesmateriaal is sprake van een zekere mate van analogie met de onderzoekscyclus bij 'onderzoeken' (zie paragraaf 7.3 en de daaruit overgenomen figuur 417).



Figuur 417 – De onderzoekscyclus.

De combinatie van vakdidactisch ontwerpen en onderzoeken wordt *ontwerpgericht praktijkonderzoek* genoemd: het ontwerpen van onderwijsactiviteiten en het uitvoeren van dat ontwerp in de eigen lespraktijk volgens de eerder geschetste vakdidactische *ontwerpcyclus*, ondersteund door systematisch onderzoek naar zowel het ontwerp als de uitvoering volgens de vakdidactische *onderzoekscyclus*. In het volgende en laatste hoofdstuk gaan we onder andere in op de vraag welke onderzoeksactiviteiten bij ontwerpgericht praktijkonderzoek gekoppeld kunnen worden aan welke stappen van de ontwerpcyclus.

10 Professionalisering

10.1 Inleiding

Dit afsluitende hoofdstuk gaat over de verdere ontwikkeling tot professioneel leraar en de rol die de samenwerking met anderen daarbij kan spelen. Bij dat laatste gaat het allereerst om de vak- en sectiecollega's en de technisch onderwijsassistenten op de eigen school, maar ook om de collega's op andere scholen en in verenigingen en instellingen die hun ideeën en lesmaterialen – al dan niet in de vorm van nascholingsactiviteiten – uitwisselen op conferenties en publiceren in tijdschriften. Ten slotte is het dan de vraag hoe je die overvloed aan ideeën en lesmaterialen gebruikt bij het zelf ontwerpen van eigen lesmateriaal (zoals in hoofdstuk 9 al aan de orde is geweest) en het zelf uitvoeren van vakdidactisch onderzoek naar het effect en de effectiviteit daarvan, bijvoorbeeld met ontwerpgericht praktijkonderzoek.

De ***centrale vraag*** voor dit hoofdstuk is: Welke mogelijkheden voor verdere professionele ontwikkeling liggen er in de samenwerking met anderen, en hoe maak je de daarbij opgedane ideeën productief voor de verdere verbetering van je eigen vakonderwijs?

10.2 Beroepsverenigingen en instellingen

In deze paragraaf geven we een kort overzicht van beroepsverenigingen en instellingen, voor zover relevant voor het vormgeven van de lespraktijk. Het gaat hier om verenigingen en instellingen die een bron kunnen zijn van leermiddelen en/of achtergrondinformatie over die leermiddelen, en van praktijkervaringen van leraren.

NVON – De NVON is de *Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen*. Een van de kanalen waarlangs de NVON haar leden ondersteunt, is de website waarop leraren, technisch onderwijsassistenten (TOA's) en andere geïnteresseerden terecht kunnen voor informatie over de vereniging, het vakgebied, onderwijs, examens enzovoort. Het primaire doel is om service te verlenen aan leraren en TOA's van de bètavakken. Het forum van de website is een ontmoetingsplek voor collega's. Verder is er een database met lesmateriaal en een database met de examens voor vmbo, havo en vwo. Daarnaast brengt de NVON regelmatig publicaties uit, bijvoorbeeld de boeken *Show*de*Fysica* met een rijke verzameling demonstratie-experimenten.

Het periodiek van de NVON is *NVOX*. Het blad verschijnt tien keer per jaar en bevat veel informatie voor en over het natuurwetenschappelijk onderwijs. Naast bijdragen over bijvoorbeeld vakdidactiek, projecten en curricula geeft het blad informatie over de NVON, examens en alle andere zaken die van belang zijn voor het onderwijs in de natuurwetenschappen. Naast *NVOX* geeft de NVON het op techniekonderwijs gerichte blad *Terugkoppeling* uit, en worden er regelmatig nieuwsbrieven verstuurd met meldingen van actuele ontwikkelingen in het vakonderwijs.

De NVON organiseert ook de examenbesprekingen, die voor leraren vaak goede informatie geven over het nakijken van de examens en de normering.

NNV – De *Nederlandse Natuurkundige Vereniging* (NNV) is al sinds 1921 dé belangenbehartiger van de natuurkunde in Nederland. De NNV komt op voor de discipline natuurkunde in het voortgezet onderwijs, het hoger onderwijs en het natuurwetenschappelijk onderzoek in Nederland. De NNV wil zo bijdragen aan

excellente wetenschapsbeoefening en aan een sterke kenniseconomie. De NNV behartigt de belangen van natuurkundigen met een hogere beroepsopleiding of universitaire opleiding in Nederland, ongeacht hun werkkring in onderzoek, onderwijs, bedrijfsleven of overheid.

De NNV organiseert symposia, is betrokken bij de vernieuwing van het bèta-onderwijs in Nederland en ondersteunt outreach-activiteiten gericht op leerlingen in het basisonderwijs en voortgezet onderwijs. De vereniging is initiatiefnemer van de website *Natuurkunde.nl* en is de uitgever van het *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* (NTvN).

SLO – De SLO heeft als nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling een publieke taakstelling in de driehoek beleid, praktijk en wetenschap. De SLO heeft een onafhankelijke, niet-commerciële positie als landelijke kennisinstelling. Het werk van deze instelling kenmerkt zich door een wisselwerking tussen diverse niveaus van leerplanontwikkeling (stelsel, school, klas, leerling). De SLO streeft naar (zowel longitudinale als horizontale) inhoudelijke samenhang in het onderwijs en richt zich daarbij op het basisonderwijs, speciaal onderwijs, voortgezet onderwijs en beroepsonderwijs. De activiteiten van de SLO bestrijken in principe alle vakgebieden.

Cito – Het Cito wordt internationaal erkend als expert in het ontwikkelen en afnemen van examens en toetsen. Het pakket aan diensten en producten voor de onderwijs- en beroepspraktijk is breed en richt zich op moderne toetsvormen en volgsystemen. Het Cito verzorgt trainingen en advieswerk en onderzoekt de kwaliteit van het onderwijs. Al deze activiteiten worden uitgevoerd voor onderwijsinstellingen, overheden en het bedrijfsleven in binnen- en buitenland.

Ecent/ELWIeR – De website van Ecent/ELWIeR helpt lerarenopleiders in het uitwisselen van praktijkervaringen, opleidingsplannen en onderzoeksresultaten, helpt studenten in hun opleiding en helpt leraren in hun professionele ontwikkeling. De drie speerpunten van zijn: professionalisering, leergemeenschappen en expertisesysteem.

10voordeleraar – 10voordelaraar is een werkgroep van de hbo-raad, gericht op kwaliteitsverbetering van de lerarenopleidingen. Gewerkt wordt aan kennisbases en kennistoetsen. Kennis is de basis voor stevig leraarschap en voor beter onderwijs. Dat is het doel van 10voordeleraar. Leraren in opleiding en hun opleiders zijn precies op de hoogte van wat ze moeten te weten. Voor ieder vak is er een kennisbasis op de website.

Natuurkunde.nl – Deze website is vooral gericht op leerlingen en leraren in de tweede fase, en biedt oefenstof zoals opgaven en bijlessen, duidelijke uitleg van lastige onderwerpen, hulp bij praktische opdrachten en profielwerkstukken, en lesmateriaal en/of ideeën voor in de klas.

Onderdeel van Natuurkunde.nl is *Exaktueel*, dat al jarenlang opgaven en opdrachten maakt over natuurkunde, ontleend aan artikelen in kranten en tijdschriften. De opgaven zijn bedoeld voor het onderwijs in de natuurkunde van het voortgezet onderwijs en bestrijken het hele gebied van onderbouw tot en met 6-vwo. De opgaven en opdrachten zijn op veel manieren in te zetten, bijvoorbeeld als extra oefenmateriaal, als uitdaging voor de snelle leerling, als basis voor proefwerk- of schoolexamenvragen of voor het op gang brengen van een discussie in de les.

Kennislink – Dit is dé populair-wetenschappelijke website voor het Nederlandse taalgebied. Op de website en via andere activiteiten wordt wetenschappelijke informatie op een heldere manier uitgelegd. Kennislink brengt niet alleen recent nieuws uit de wetenschap, maar gaat ook dieper op onderwerpen in via vakoverstijgende dossiers. Daarin worden thema's vanuit verschillende wetenschappelijke invalshoeken belicht.

10.3 Nascholing

Voor professionalisering is er een overvloed aan verenigingen en instituten, websites, conferenties en tijdschriften. In paragaaf 10.2 is een overzicht gegeven van

beroepsverenigingen en instellingen die relevant kunnen zijn voor het vormgeven van de eigen lespraktijk. Die verenigingen en instellingen bieden uiteenlopende mogelijkheden voor nascholing. Toch is de meest effectieve manier van professionaliseren het voorbereiden, uitvoeren en evalueren van onderwijs met collega's. Dat kan in de eigen school met de vaksectie of met vakoverstijgende onderwijsteams.

Hieronder staan enkele nascholingsmogelijkheden met directe relevantie voor de onderwijspraktijk van een natuurkundeleraar.

NVON – De NVON organiseert nascholingen in de vorm van cursussen, conferenties, workshops en lezingen. Inschrijving voor de nascholingsactiviteiten verloopt via de pagina Nascholing op de website. Het aanbod betreft bijvoorbeeld het NVON-congres en de Bètatechniekdag, maar ook cursussen als het praktisch schoolexamen of onderzoekend leren in het vmbo.

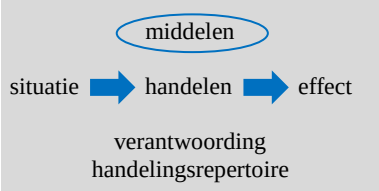
Daarnaast publiceert de NVON elk jaar in juni in *NVOX* een katern met een overzicht van het nascholingsaanbod van universiteiten, hbo-instellingen en andere organisaties voor het nieuwe cursusjaar.

WND-conferentie – De *Werkgroep Natuurkunde Didaktiek* (WND) organiseert de jaarlijkse WND-conferentie: een nascholingsconferentie rond een jaarlijks wisselend vakinhoudelijk en/of vakdidactisch thema.

Docentenontwikkelteam – Een bijzonder aantrekkelijke en leerzame manier van nascholing is het deelnemen aan een *docentenontwikkelteam* (DOT). Dat is een team of leergemeenschap, nadrukkelijk bedoeld als leeromgeving van leraren die samenwerken aan een of meerdere ontwerptaken onder leiding van een vakinhoudelijke/vakdidactische expert van buiten de school. De kernactiviteit van zo'n team is het ontwikkelen, aanpassen en/of testen en evalueren van curriculummaterialen voor de eigen schoolpraktijk. Een aantal universiteiten en hbo-instellingen biedt deze vorm van nascholing aan.

10.4 Ontwerpgericht praktijkonderzoek

In de dagelijkse onderwijspraktijk blijken zich soms problemen voor te doen die zich niet direct laten oplossen en die soms ieder jaar terugkomen. Onderzoek doen in de eigen onderwijspraktijk kan de leraar helpen om oplossingen voor deze problemen te vinden. Dit betekent meestal het verbeteren van het eigen professionele handelen en het ontwikkelen van nieuwe middelen voor dat professionele handelen. Een methodiek om hier systematisch aan te werken staat bekend als *ontwerpgericht praktijkonderzoek*.



Figuur 418 – Schematische weergave van professioneel handelen door de leraar.

Professioneel handelen betekent dat de leraar in de gegeven praktijksituatie adequaat kan handelen met het gewenste effect (zie figuur 418). De leraar kan dit handelen verantwoorden, en kan bij de uitvoering putten uit een gevarieerd handelingsrepertoire en de juiste middelen inzetten.

Bij ontwerpgericht praktijkonderzoek ontwerpt, maakt en test de leraar-onderzoeker een beroepsproduct op basis van het verkennen van de praktijk en van de literatuur. Het beroepsproduct is een middel voor het professionele handelen met een beschrijving en verantwoording van dat professionele handelen.

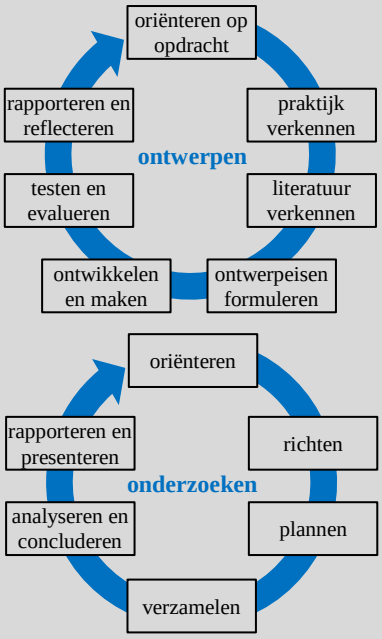
Het ontwerpgericht praktijkonderzoek wordt gekenmerkt door het in figuur 419 weergegeven stappenplan. Een toelichting op de verschillende onderdelen van dit stappenplan staat hieronder.

Oriënteren op onderwerp en probleem – Het startpunt voor het ontwerpgericht praktijkonderzoek is een door de leraar-onderzoeker ervaren praktijkprobleem dat om een oplossing vraagt. De oplossing betekent het ontwerpen, maken en testen van een beroepsproduct, dus van nieuwe middelen voor het professionele handelen met een beschrijving en verantwoording van dat professionele handelen. Een drietal voorbeelden daarvan staat in figuur 421.

Na deze stap kan de leraar-onderzoeker:

- beschrijven wat het *praktijkprobleem* is en waarom dit om een oplossing vraagt met behulp van onderzoek;

- omschrijven aan welk *beroepsproduct* wordt gedacht om het probleem op te lossen;
- uitleggen wat het *beoogde effect* moet zijn van het beroepsproduct;
- de *hoofdvraag* voor het ontwerpgericht praktijkonderzoek formuleren.



Ontwerpgericht praktijkonderzoek

Bij ontwerpgericht praktijkonderzoek worden de volgende stappen genomen (zie de bovenste figuur hiernaast):

- oriënteren op onderwerp en probleem;
- verkennen van de praktijk;
- verkennen van de literatuur;
- formuleren van ontwerpeisen;
- ontwikkelen en maken;
- testen en evalueren;
- rapporteren en reflecteren.

Tijdens ontwerpgericht praktijkonderzoek wordt drie keer een onderzoek uitgevoerd:

- verkennen van de praktijk;
- verkennen van de literatuur;
- testen door uitvoering.

Elk van deze drie onderzoeken heeft dezelfde systematisch aanpak (zie de onderste figuur hiernaast):

- oriënteren op situatie en probleem;
- richten met deelvragen;
- plannen: bronnen of onderzoeksmiddelen;
- verzamelen: informatie of data;
- analyseren en concluderen;
- rapporteren en presenteren.

Figuur 419 – Stappenplan voor ontwerpgericht praktijkonderzoek.

Verkennen van de praktijk – De leraar-onderzoeker voert de verkenning van de praktijk uit volgens de stappen van onderzoek. Deze stappen zijn zoals steeds bij onderzoek: oriënteren op de situatie en het probleem, richten met deelvragen, plannen met keuze van respondenten en onderzoeksmiddelen, verzamelen van data, analyseren en concluderen, en rapporteren en presenteren. Voorbeelden van onderzoeksmiddelen zijn: vragenlijst, gespreksleidraad, observatieschema, analyseschema voor documenten zoals leerlingenwerk.

Het praktijkonderzoek moet relevante informatie opleveren voor het ontwerp van het beroepsproduct.

Na deze stap kan de leraar-onderzoeker:

- de *deelvragen* voor de verkenning van de praktijk formuleren, passend bij de hoofdvraag, het gekozen probleem, het beroepsproduct en het beoogde effect;
- de *onderzoeksopzet* (aanpak en onderzoeksinstrumenten) per deelvraag beschrijven en verantwoorden;
- aangeven voor welke *verschillende perspectieven* (bijvoorbeeld leraren, leerlingen, ouders, experts) gekozen is;
- per deelvraag *resultaten* overzichtelijk en objectief weergeven;
- een beknopt en adequaat *antwoord* geven op de gestelde deelvragen.

Verkennen van de literatuur – De leraar-onderzoeker voert de verkenning van de literatuur uit volgens de stappen van onderzoek. Deze stappen zijn zoals steeds bij onderzoek: oriënteren op de situatie en het probleem, richten met deelvragen, plannen met keuze van bronnen, verzamelen van informatie, analyseren en concluderen, en rapporteren en presenteren. Voorbeelden van bronnen zijn: boeken over vakdidactiek en onderwijskunde, vaktijdschriften, onderzoeksartikelen, websites van instanties.

Het literatuuronderzoek moet inspiratie opleveren voor het ontwerp van het beroepsproduct.

Na deze stap kan de leraar-onderzoeker:

- de *deelvragen* voor de verkenning van de literatuur formuleren, passend bij de hoofdvraag, het gekozen probleem, het beroepsproduct en het beoogde effect;

- literatuur kiezen die *relevant voor het ontwerp* (aansluitend bij de onderzoeksvraag en -context), actueel, gevarieerd en van niveau is;
- antwoord geven op de gestelde deelvragen (dus geen reeks samenvattingen), waarbij de *verschillende bronnen* samenhangend worden verwerkt;
- naar gebruikte bronnen *verwijzen*.

Formuleren van ontwerpeisen – Voor het ontwerp formuleert de leraar-onderzoeker praktische en inhoudelijke ontwerpeisen van het beroepsproduct. Daarbij wordt verwezen naar het probleem, de verkenning van de praktijk en de literatuur, en naar eigen en andermans onderwijservaring. Het ontwerp draagt bij aan het beoogde effect van het beroepsproduct.

Na deze stap kan de leraar-onderzoeker:
- de *praktische en inhoudelijke ontwerpeisen* van het beroepsproduct formuleren en toelichten met voorbeelden;
- aangeven waarom je mag verwachten dat het beroepsproduct bijdraagt aan het *beoogde effect.*

Ontwikkelen en maken – Het beroepsproduct maakt de leraar-onderzoeker volgens de vastgestelde ontwerpeisen. Bij het beroepsproduct hoort een handleiding. In die handleiding staat beschreven voor wie het product bedoeld is, wat het doel of beoogde effect is, in welke vorm het product is uitgevoerd en hoe het middel is te hanteren. Verder is er een verantwoording van gebruikte teksten en afbeeldingen.

Na deze stap kan de leraar-onderzoeker:
- toelichten dat het beroepsproduct voldoet aan *de vastgestelde ontwerpeisen*;
- toelichten waarom te verwachten is dat het beroepsproduct *bruikbaar* is en bijdraagt bij aan het *beoogde effect*;
- aangeven voor wie het product bedoeld is, wat het doel of beoogde effect is, in welke vorm het product is uitgevoerd, en hoe het middel is te hanteren.

Testen en evalueren – De leraar-onderzoeker probeert het beroepsproduct uit. Het onderzoek bij de test gaat volgens de stappen van onderzoek. Deze stappen zijn zoals steeds bij onderzoek: oriënteren op de situatie en het probleem, richten met deelvragen, plannen met keuze onderzoeksmiddelen, verzamelen van data, analyseren en concluderen, en rapporteren en presenteren. Voorbeelden van onderzoeksmiddelen zijn: vragenlijst, gespreksleidraad, observatieschema, analyseschema voor documenten zoals leerlingenwerk.

Het onderzoek moet relevante informatie opleveren voor het effect en de bruikbaarheid van het beroepsproduct.

Na deze stap kan de leraar-onderzoeker:
- beschrijven *hoe, wanneer en door wie* het beroepsproduct of een deel van het beroepsproduct is uitgeprobeerd;
- relevante *deelvragen* formuleren voor het uittesten van het gebruik en voor het bepalen van het effect van het beroepsproduct;
- de *aanpak* van de test met de *onderzoeksinstrumenten* beschrijven;
- de *resultaten* overzichtelijk en objectief weergeven;
- kritisch *conclusies* formuleren ten aanzien van de bruikbaarheid en het beoogde effect.

Rapporteren en reflecteren – Het verdient aanbeveling om regelmatig tussenresultaten op schrift vast te leggen en deze te delen met collega's, zeker als het de bedoeling is dat collega's het beroepsproduct ook gaan gebruiken.

Na afloop van het ontwerpgericht praktijkonderzoek kan de leraar-onderzoeker:
- het beroepsproduct en resultaten van de test overzichtelijk presenteren aan betrokkenen in de school;
- aangeven hoe de praktijkverkenning en de literatuurverkenning hebben bijgedragen aan de kwaliteit van het beroepsproduct.

Ontwerp- en onderzoekscyclus

De in dit en het vorige hoofdstuk beschreven ontwerpcyclus zijn met elkaar in overeenstemming, maar hebben iets andere accenten, omdat in de cyclus voor praktijkgericht ontwerponderzoek het onderzoek een plaats moet krijgen naast het ontwerp.

Het nieuwe in paragraaf 10.4 is dat expliciet wordt aangegeven in welke stappen van de ontwerpcyclus gebruik gemaakt wordt van de systematiek van onderzoek. Dat is in de volgende drie stappen: verkenning van de praktijk, verkenning van de literatuur en het testen van het ontwerp. Dat is wezenlijk anders dan de gebruikelijke indeling voor een onderzoek: inleiding, theoretisch kader, methode, resultaten en conclusies. Bij deze gebruikelijke indeling is het onduidelijk waar je de verkenning van de praktijk (als zelfstandig verkennend praktijkonderzoek) zou moeten plaatsen – in de inleiding misschien? Ook is in die gebruikelijke indeling geen duidelijke plaats voor het ontwerp – onder methode misschien? Bovendien is bij de gebruikelijke indeling de onderzoeksvraag nogal eens gericht op het opvullen van een leemte in het theoretisch kader.

Figuur 420 – Het karakter van ontwerpgericht praktijkonderzoek.

Ontwerpgericht praktijkonderzoek

Cognitieve verschillen tussen leerlingen – Als leraar merkte ik dat het in grote klassen lastig is om met cognitieve verschillen om te gaan. Er zijn excellente leerlingen die

willen versnellen en om meer uitdaging vragen, terwijl er ook zwakke leerlingen zijn die juist meer ondersteuning nodig hebben. In dit onderzoek staat daarom de volgende vraag centraal: “Hoe kan ik in een vwo-klas op een effectieve manier cognitieve verschillen tussen leerlingen overbruggen, zodat ook excellente en zwakke leerlingen meer gemotiveerd raken?”

Als interventie is een lesmethodiek ontwikkeld waarin tegemoet wordt gekomen aan zowel excellente als zwakke leerlingen. Door te compacten en te verrijken worden de excellente leerlingen bediend. Met pre-teaching en verlengde instructie wordt tegemoet gekomen aan de zwakke leerlingen.

Het blijkt dat een groot deel van de leerlingen gebruik maakt van de aangeboden keuzemogelijkheden, dat de lestijd meer besteed wordt aan de leerlingen die het nodig hebben en dat excellente leerlingen zich meer uitgedaagd en zwakke leerlingen zich meer ondersteund weten. Tot slot blijkt dat de motivatie van de leerlingen zich gemiddeld positief heeft ontwikkeld gedurende de interventie.

Alternatieve denkbeelden bij elektriciteit – Als leraar merkte ik dat leerlingen in de derde klas havo over elektrische schakelingen allerlei denkbeelden hebben die anders zijn dan de wetenschappelijke visie. Deze denkbeelden blijken vaak te blijven bestaan ondanks de lessen over elektriciteit. De hoofdvraag is: “Hoe kan ik er voor zorgen dat leerlingen hun denkbeelden over spanning, stroom en energie ontwikkelen in overeenstemming met de wetenschappelijk juiste?”

Ik heb twee interventies uitgeprobeerd: het geven van begripsopdrachten bij een virtueel practicum volgens predict-observe-explain en het stellen van begripsvragen tijdens de instructie.

Beide interventies hebben een licht positieve bijdrage aan het zich eigen maken van de wetenschappelijke visie. De eigen denkbeelden van leerlingen blijven hardnekkig en worden niet snel vervangen door de wetenschappelijke juiste.

Interne differentiatie op niveau – Als leraar merkte ik dat leerlingen vaak niet uitgedaagd worden, soms omdat het niveau te laag is en soms omdat het niveau te hoog is. De hoofdvraag van mijn onderzoek is: “Op welke manier kan ik ervoor zorgen dat alle leerlingen in de klas uitgedaagd worden en zich daarbij comfortabel genoeg voelen om de uitdaging aan te gaan?”

Ik heb twee interventies uitgeprobeerd. Bij de eerste interventie, genoemd de heletaak-eerst, krijgen leerlingen een uitdagende opdracht, de hoofdopdracht, die ze waarschijnlijk niet in één keer kunnen oplossen. Om de hoofdopdracht op te kunnen lossen, kunnen leerlingen een aantal deelopdrachten maken waardoor ze stap voor stap dichter bij de oplossing van de hoofdopdracht komen. Bij de tweede interventie starten leerlingen met het maken van een diagnostische toets. Op basis van de diagnostische toets krijgen ze een advies van de docent om opgaven op een bepaald niveau te maken. Er zijn dus naast het boek opgavenbladen op verschillende niveaus.

Na beide interventies is het percentage leerlingen waarvoor de lesstof goed aansluit qua niveau toegenomen. Het is echter niet mogelijk te concluderen dat de interventies dit effect rechtsreeks hebben veroorzaakt.

Figuur 421 – Voorbeelden van ontwerpgericht praktijkonderzoek. De verslagen waaraan deze voorbeelden zijn ontleend staan op de website van dit praktijkboek.

Het ontwerpgericht praktijkonderzoek kost veel tijd en moeite, maar leidt meestal tot een goed bruikbaar beroepsproduct dat voldoet aan onder andere de volgende criteria:

- de praktijkverkenning en de literatuurverkenning geven een onderbouwing van het ontwerp van het beroepsproduct en het beoogde effect;
- het beroepsproduct geeft volgens de test een (gedeeltelijke) oplossing voor het ervaren probleem;
- de handleiding bij het beroepsproduct geeft toekomstige gebruikers een goede ondersteuning bij het gebruik.

10.5 Afsluiting

De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: Welke mogelijkheden voor verdere professionele ontwikkeling liggen er in de samenwerking met anderen, en hoe maak je de daarbij opgedane ideeën productief voor de verdere verbetering van je eigen vakonderwijs?

Die mogelijkheden zijn er in overvloed, zoveel dat je er gemakkelijk het

zicht op kwijt raakt in de dagelijkse hectiek van de school- en lespraktijk. Belangrijk is dan ook om te beginnen met het maken van een beperkte, verstandige keuze uit de vele mogelijkheden uit het aanbod van professionele instellingen en organisaties, en die keuze geleidelijk in de loop van de jaren te verbreden. Met een groeiende leservaring komt er geleidelijk ook meer ruimte voor het zelf in samenwerking met anderen ontwikkelen en mogelijk in een later stadium onderzoeken van eigen lesmaterialen binnen de eigen sectie op school, of in iets als een docentenontwikkelteam met collega's van andere scholen en instituten – en daarover in vakbladen te publiceren.

Daarnaast behoort een aanmelding als schoolpracticumdocent bij een van de lerarenopleidingen tot de mogelijkheden. Ook dat levert een bijdrage aan je eigen professionele ontwikkeling (en aan die van leraren-in-opleiding natuurlijk). Dit alles uiteraard als de sectie en de school daarvoor voldoende ruimte bieden. En ten slotte kun je er ook voor kiezen om bijvoorbeeld in verenigingsverband als de NVON vrijwilligerswerk te gaan doen, als auteur van een natuurkundemethode voor een educatieve uitgever te gaan werken of (al dan niet gedeeltelijk) 'over te stappen' naar in dit hoofdstuk genoemde instellingen voor ontwikkeling, onderzoek, dienstverlening of opleiding – om daar de opgedane kennis en ervaring in te zetten voor de verdere ontwikkeling en kwaliteitsverbetering van het natuurkundeonderwijs. En ja, ook starten met een opleiding tot eerstegraads leraar natuurkunde behoort natuurlijk tot de mogelijkheden.

Praktijkboek natuurkunde-didactiek

vmbo en onderbouw havo/vwo

Redactie

Hans Poorthuis – Emeritus natuurkunde-didacticus/lerarenopleider aan het Instituut Archimedes, Hogeschool Utrecht.

Koos Kortland – Emeritus universitair docent/onderzoeker aan het Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht.

Ad Mooldijk – Natuurkunde-didacticus/lerarenopleider aan het Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht.

HOGESCHOOL UTRECHT
Instituut Archimedes

Universiteit Utrecht
Freudenthal Instituut

Het *Praktijkboek natuurkundedidactiek – Natuurkundelessen ontwerpen* is bedoeld voor gebruik bij het onderdeel vakdidactiek in de tweedegraads lerarenopleiding als kennisbasis voor (aanstaande) natuurkundeleraren in het vmbo (voor het vak NaSk 1) en de onderbouw van het havo en vwo. Het biedt daarnaast ondersteuning aan de leraar die daar actief aan de slag wil met het verder ontwikkelen van het eigen onderwijs.

De teksten in dit praktijkboek schrijven niet voor wat een leraar zou moeten doen en hoe, maar geven op praktijkervaringen gebaseerde (en soms wetenschappelijk onderbouwde) informatie, geïllustreerd met inspirerende voorbeelden. De nadruk ligt daarbij op de dagelijkse lespraktijk: praktische, direct in de klas toepasbare vakdidactiek.

Via de aan dit praktijkboek gekoppelde website www.natuurkundelessen-ontwerpen.nl is een verbreding, verdieping en onderbouwing mogelijk door het raadplegen van bronnen voor verdere studie en lesmateriaalvoorbeelden. Deze website geeft ook ondersteuning voor lerarenopleiders bij het gebruik van dit praktijkboek in de vorm van mogelijke en naar eigen inzicht aanpasbare opleidingsactiviteiten.

Het eerste hoofdstuk geeft een inleiding op het karakter van het schoolvak natuurkunde in het vmbo en de onderbouw havo/vwo en op wat er van een leraar verwacht wordt bij het vormgeven van vakspecifieke onderwijsleerprocessen.

In hoofdstuk 2 komt eerst de praktijk van het ontwerpen en uitvoeren van veel voorkomende lesonderdelen zoals het aanbieden van leerstof, het stellen van vragen, het uitvoeren van demonstraties en het uitleggen van opgaven aan de orde. Dat wordt in de hoofdstukken 3 en 4 gevolgd door het combineren van deze lesonderdelen tot verschillende soorten lessen (theorieles en practicumles) en lessenseries (cursorische en projectmatige lessenserie) in een aantal varianten. In deze drie hoofdstukken is dus sprake van een opbouw ‘van klein naar groot’: van lesonderdelen via lessen naar lessenseries. Dat wordt dan in hoofdstuk 5 afgesloten met de toetsing van de kennis en vaardigheden die de leerlingen in een lessenserie hebben opgedaan, met onder andere aandacht voor de constructie van toetsvragen en toetsen en het bewaken van de kwaliteit daarvan.

Daarna geeft hoofdstuk 6 zicht op de mogelijke aanpak van de begripsontwikkeling van leerlingen, zowel in het algemeen (door middel van het reageren op en productief gebruik maken van leerlingdenkbeelden) als meer specifiek bij een aantal onderwerpen uit de verschillende leerstofdomeinen die bij leerlingen vaak tot begripsproblemen leiden. In hoofdstuk 7 komt de mogelijke aanpak van de vaardigheidsontwikkeling van leerlingen op gebieden als probleemoplossen, onderzoeken, ontwerpen en oordeels- en besluitvorming aan de orde.

Hoofdstuk 8 heeft het karakter van een wegwijzer naar de beschikbare hulpmiddelen voor het vormgeven van het natuurkundeonderwijs, zoals leerplanontwikkelingsprojecten, leerboeken en multimediale leermiddelen, examenprogramma’s en vmbo-examens, computersoftware en het aanbod van musea, science centers en bedrijven om de ‘wereld buiten de school’ de les in te halen.

In hoofdstuk 9 staat het verder verbeteren van het eigen onderwijs door het zelf ontwerpen van lesmateriaal centraal. Daarbij wordt aandacht besteed aan verschillende didactische benaderingen van het vak en het vakonderwijs, zoals de concept-contextbenadering, het onderzoekend, probleemstellend en probleemgeoriënteerd leren, taal en vaktaal, en natuurkundige denk- en werkwijzen.

Ten slotte staat het laatste hoofdstuk in het teken van (verdere) professionalisering, met een overzicht van beroepsverenigingen en instellingen als bron van inspirerende lesmaterialen en praktijkervaringen van leraren, en een schets van de mogelijkheden voor nascholing. En als allerlaatste: het ontwerpgericht praktijkonderzoek, met een meer onderzoeksmatige benadering van het vakdidactisch ontwerpen uit hoofdstuk 9.

Bedoeld voor: aanstaande natuurkundeleraren in het voortgezet onderwijs, maar ook voor hun collega’s die daar al werkzaam zijn, voor opleiders in het tweedegraadsgebied, auteurs van leerboeken en andere belangstellenden.