

8 Vakdidactisch ontwerpen

8.1 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 indeling van de hoofdstukken en de paragrafen. En het ontwerpen 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, probleemgeoriënteerd leren of taalgericht vakonderwijs zul je desgewenst zelf moeten ontwerpen. En daarbij gaat het om meer dan het ontwerpen van lesonderdelen en lessen.

De *centrale vraag* voor dit hoofdstuk is dan ook: Hoe maak je een verantwoord ontwerp van leermiddelen voor lesonderdelen en lessen, maar ook voor lessenseries waarin een bepaalde onderwijsvisie tot uitdrukking komt.

8.2 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 praktijk nabijheid 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.

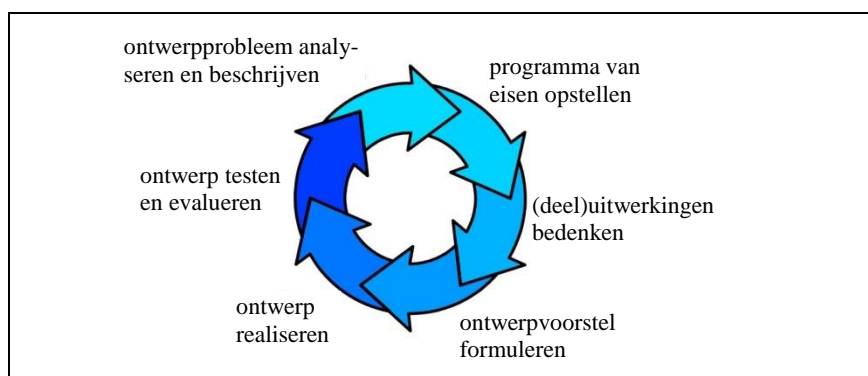
Didactische producten

In deze paragraaf beperken we ons tot het ontwerpen van aanvullende onderwijsleeractiviteiten voor (een deel van) een les. Daarbij gaat het om relatief kleine en gemakkelijk in de les inpasbare didactische producten als een afbeelding van een toepassing, een concept-cartoon, een inhoudelijke presentatie, een opdrachtenblad bij een huishoudelijk apparaat, een projectopdracht, een demonstratieopstelling met draaiboek, een opdrachtenblad bij een simulatie, een opdrachtenblad bij

een onderzoekspracticum, een theorietoets met correctievoorschrift, een opdrachtenblad voor een open onderzoek met Coach, een webquest, een practicumtoets met correctievoorschrift, een ontwerpopdracht enzovoort.

Ontwerpcyclus

Bij vakdidactisch ontwerpen van lesmateriaal is sprake van een zekere mate van analogie met de ontwerpcyclus bij ‘ontwerpen’ (zie paragraaf 6.4 en de daaruit overgenomen figuur 367), waarbij je zelf de opdrachtgever en de ontwerper bent en de *ontwerpopdracht* formuleert naar aanleiding van een geconstateerd vakdidactisch probleem.



Figuur 367 – 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 beargumenteerde 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 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 en ontwerpen.

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 368 een drieluik in een les over kleurschifting bij de regenboog en in figuur 369 een ideeëntabel voor de uitwerking van de verschillende bouwstenen van dit drieluik.



Figuur 368 – 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

Figuur 369 – 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 ontwerp-principe 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 specifiekere 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). 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 8.5). Eenzelfde tweedeling is zichtbaar bij een onderwerp als stoffen en materi-

alen, met enerzijds de macroscopische eigenschappen van materie en anderzijds de verklaring van die eigenschappen met een deeltjesmodel (zie paragraaf 5.3.5). 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 6.5). 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 6). 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.

8.3 Concept-contextbenadering

In de *concept-contextbenadering* spelen praktijksituaties (zie paragraaf 2.3) 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 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, insulinepompsjes).

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 370 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.

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 371 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).

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.

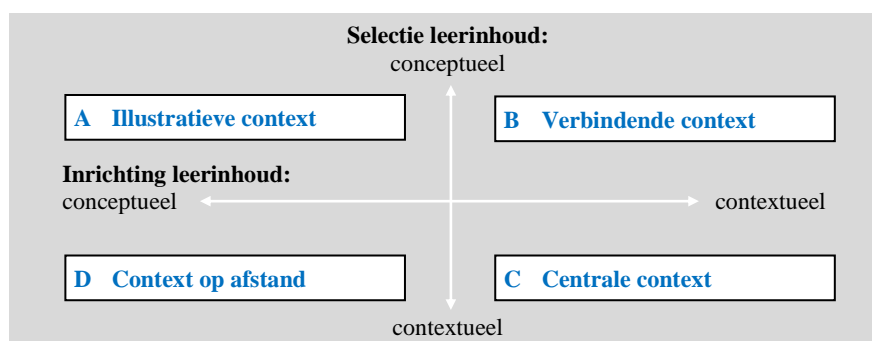
Dan vraagt de leraar om met behulp van de gegevens uit de film uit te zoeken hoeveel G er dan op de coureur werkte.

Figuur 370 – Voorbeeld van een concept-contextbenadering met een leerlinggestuurde beantwoording van de opgeroepen vraag.

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 selectiecriteria 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 372 en 373 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 371 – 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 372 geeft het begin van een lessenserie over ‘Brandstofverbruik in het verkeer’.

Brandstofverbruik in het verkeer



Figuur 1 Brandstofverbruik in het verkeer hangt onder andere af van de snelheid waarmee wordt gereden.

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 brandstofverbruik. Met dat laatste is niet iedereen het eens, zo blijkt uit het fragment van een krantenartikel hieronder.



Figuur 2 De nieuwe maximumsnelheid op de helft van de snelwegen in Nederland.

“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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂-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 stikstofdioxide (NO_x) en koolstofdioxide (CO₂). Deze stoffen komen in de lucht terecht. Stikstofdioxide in de lucht veroorzaken zure regen. Dit kan bossen en land- en tuinbouwgewassen aantasten. Koolstofdioxide in de lucht zorgt voor versterking van het broeikas effect. 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.

Dit hoofdstuk gaat over brandstofverbruik in het verkeer, en de mogelijkheden om dat brandstofverbruik zo laag mogelijk te maken.

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 4 Ook bij fietsen is sprake van brandstofverbruik.

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 372 – 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 vervoloparagrafen 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):

- krachterevenwicht tussen voorwaartse kracht en rol- en luchtweerstand bij rijden met een constante snelheid: $F_{vw} = F_{w,l} + F_{w,r} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + c_r \cdot m \cdot g$
- 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 als zodanig beter niet aan leerlingen in deze vorm gepresenteerd kan worden):

$$E_{ch} = r_v \cdot V = \frac{W_{Fvw}}{\eta} = \frac{F_{vw} \cdot s}{\eta} = \frac{(F_{w,l} + F_{w,r}) \cdot s}{\eta} = \frac{(\frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 + c_r \cdot m \cdot g) \cdot s}{\eta}$$

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 373 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. Een personenauto heeft (leeg) een massa van 800 kg. De rolweerstandskracht wordt



Figuur 21 Een lagere maximumsnelheid betekent minder brandstofverbruik in het verkeer.

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 373 – 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 374. 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 374 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 inhoud tot een oplossing gaat leiden. Daarmee is hier sprake van een ‘hande-

Centrale context

De context staat centraal, en dient als vraagstelling en selectie criterium 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 374 – Kenmerken van lesmateriaal met een centrale context.

lingsperspectief': mede met het antwoord op de hoofdstukvraag kan de leerling beslissingen nemen over zijn of haar (toekomstig) gedrag wat betreft (bijvoorbeeld) rijnsnelheid 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 'examenvorbereiding'. 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 rijnsnelheid 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.

8.4 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 reflecteren. 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.

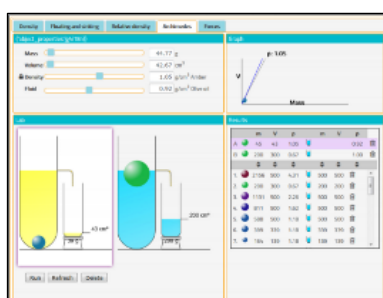
Practicumlessen – Practicum is niet altijd onderzoek doen, en ook zal een willekeurig practicum niet direct onderzoekend leren omvatten. De klassieke ‘kookboekpractica’ zijn juist een voorbeeld van het tegenovergestelde: de leerling voert de hem opgedragen handelingen uit, vindt de data, en is daarmee 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. Dit kan door bij een practicum het scenario van *predict-observe-explain* te gebruiken (zie paragraaf 2.5). Bij deze methode legt de leraar de opstelling van een demonstratie uit, en vraagt de leerlingen de uitkomst te voorspellen (*predict*). Daarna voert de leraar de demonstratie uit, en wordt de leerlingen gevraagd er naar te kijken (*observe*). Als laatste stap vraagt de leraar de leerlingen om de observatie te beschrijven, en deze te koppelen aan de voorspelling. Bij een juiste voorspelling vraagt de leraar aan de leerlingen om uit te leggen waarom dat het geval was (*explain*). Bij een onjuiste voorspelling wordt de leerlingen gevraagd naar alternatieve verklaringen. Het doel is in dit geval dus in de eerste plaats de discussie, die de leerlingen bewust laat worden van het fenomeen door zelf een verklaring te formuleren.

Meer voor de hand ligt het dat leerlingen onderzoekend leren wanneer ze zelf een onderzoek mogen doen. Een 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 profielwerkstuk (havo/ vwo) en sectorwerkstuk (vmbo) 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 profiel- of sectorwerkstuk al verschillende onderzoeken, waarbij ze steeds zelfstandiger opereren, en waarbij de ondersteuning door de leraar afneemt (zie paragraaf 6.3).

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.

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 leer-



Figuur 375 – Het digilab *Splash*, waarin leerlingen op een virtuele manier leren over de principes van Archimedes.

lingen wordt gevraagd een experimentele opstelling te bekritisieren. 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 376). Een ander deel van het projectmateriaal bestaat uit oefeningen die leraren vertrouwd maken met de begeleidende rol die onderzoekend leren van hen vraagt.

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.



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 376 – Een voorbeeld van lesmateriaal voor onderzoekend leren op de PRIMAS-website.

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 verschil 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 5.4) 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.

8.5 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 groepswork, 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 vervolgvragen. 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 activi-

teiten, 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 377 een voorbeeld op hoofdlijnen over het onderwerp radioactiviteit.

Verpakkingsafval

Ook de in paragraaf 6.5 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 378 – Een voorbeeld van een probleemstellende benadering van het onderwerp verpakkingsafval.

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.

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 379). 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 atombouw nodig is.

Figuur 377 – 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 geogost 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 Nabootsing 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 nabootsing

Schrijf hieronder op welke plannen zijn uitgevoerd en wat daarbij gebeurde.

.....

Figuur 379 – 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 377 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 leerlingen. 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

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 denk-schema 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 380 – Leerlingdenkbeelden over radioactiviteit.

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 zijn de mogelijk in kaart gebrachte leerlingdenkbeelden bij het betreffende onderwerp, zoals die van figuur 380 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.

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.

8.6 Probleemgeoriënteerd leren

De probleemstellende benadering zoals hierboven in paragraaf 8.5 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 gemakkelijker 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 praktijk-situaties 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 381. De geschetste praktijk-situatie 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 ‘Krachten en evenwicht’: 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 382.

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 381 – Voorbeeld van een problematische praktijksituatie bij de introductie van het onderwerp krachten en evenwicht.

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 382 – Voorbeeld van een problematische praktijksituatie bij de introductie van een paragraaf over samenstellen en ontbinden van krachten.

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 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 praktijk-situatie: is het daarin gestelde probleem met de inmiddels verworven kennis en vaardigheid nu wél op te lossen?

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.

8.7 Afsluiting

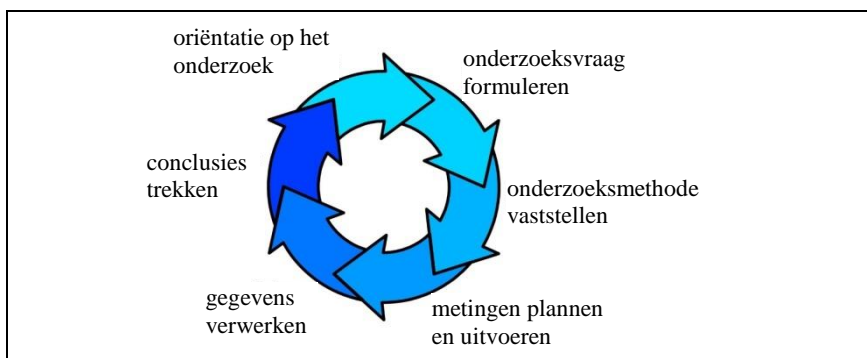
De centrale vraag voor dit hoofdstuk was: Hoe maak je een verantwoord ontwerp van leermiddelen voor lesonderdelen en lessen, maar ook voor lessenseries waarin een bepaalde onderwijsvisie tot uitdrukking komt.

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 6.3 en de daaruit overgenomen figuur 383).



Figuur 383 – 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*.

