

## 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 modellersoftware, 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	Kerdoelen, 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 macrokaders. 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
<b>NASK1/K/9 Kracht en veiligheid</b>	CE	CE	CE
14 De kandidaat kan: <ul style="list-style-type: none"> <li>de werking van verschillende soorten krachten en de druk van een voorwerp op de ondergrond beschrijven en in evenwichts-situaties kwalitatief de hefboomwet toepassen</li> <li>bij een bewegend voorwerp diagrammen interpreteren, krachten samenstellen en de gemiddelde snelheid berekenen</li> <li>veiligheidsmaatregelen in het verkeer uitleggen en toepassen</li> </ul>	x		
15 De kandidaat kan: <ul style="list-style-type: none"> <li>de werking van verschillende soorten krachten en de druk van een voorwerp op de ondergrond berekenen en in evenwichtssituaties kwalitatief de hefboomwet toepassen</li> <li>bij een bewegend voorwerp diagrammen interpreteren, krachten samenstellen en de gemiddelde snelheid berekenen</li> <li>veiligheidsmaatregelen in het verkeer uitleggen en toepassen en verschijnselen van traagheid verklaren</li> </ul>		x	x

Figuur 359 – Fragment uit het examenprogramma vmbo nask1.

### Vakleerplan

Binnen het vakleerplan zijn vaak leerlijnen aan te wijzen, zoals voor probleemoplossen, 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.

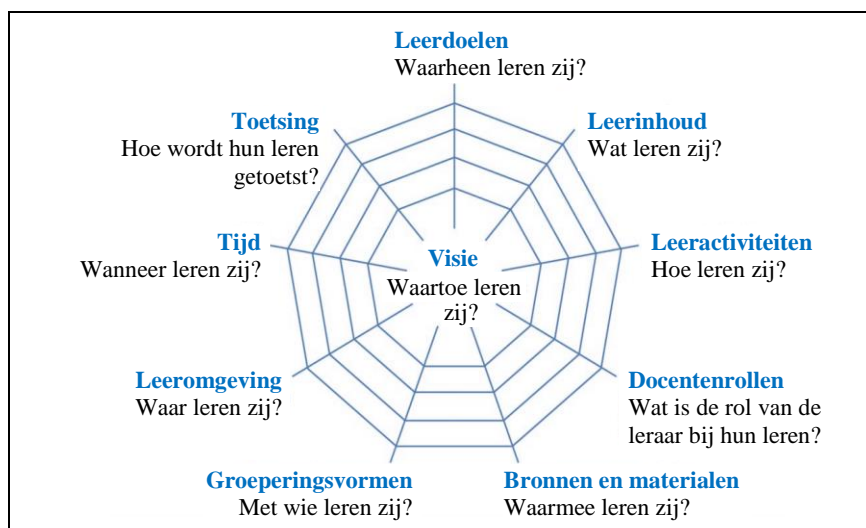
Materie		
PO   Oriëntatie op jezelf en de wereld, met name Natuur en techniek	Onderbouw VO   Mens en natuur	VMBO   nask1
42 Leren onderzoek doen aan materialen.	29 De leerling leert kennis te verwerven over en inzicht te verkrijgen in sleutelbegrippen uit het gebied van de niet-levende natuur en leert deze sleutelbegrippen te verbinden met situaties in het dagelijks leven.	K/4 (5, 6) Stoffen en materialen in huis: <ul style="list-style-type: none"> <li>soorten materialen en hun stoffeigenschappen herkennen en toepassen;</li> <li>chemische processen herkennen;</li> <li><i>zinken-zweven-drijven toepassen met behulp van dichtheid.</i></li> </ul>
44 De leerlingen leren bij producten uit hun eigen omgeving relaties te leggen tussen de werking, de vorm en het materiaalgebruik.	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.	K/10 (16, 17) Bouw van de materie: <ul style="list-style-type: none"> <li>De bouw van stoffen en materialen beschrijven in termen van moleculen en atomen;</li> <li>Het gedrag van atomen en moleculen in de verschillende fasen uitleggen;</li> <li>De bouw van een atoom beschrijven.</li> </ul>
	32 De leerling leert werken met theorieën en modellen door onderzoek te doen naar het verschijnsel materie.	

Figuur 360 – Voorbeeld van een doorlopende leerlijn voor ‘materie’.

De kern van het vakleerplan betreft de doelen en inhoud 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 amfiteater 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. Amfiteaters 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 veranderingen 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.

### 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.

### 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 bespreekt 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.

## 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

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.

	Didactische elementen	Didactische functie
Hoofdstuk-opening	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 <i>organiser</i> 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.

### 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.

	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.

### 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 lessen. 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 verbredingsstof, 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 keuze-paragraaf voor verbreding, een keuze-paragraaf voor verdieping en enkele keuze-experimenten? 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 opbouw 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.

### 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.

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 voorbereiding 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?

**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 onderzoekvaardigheden 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 ontwerp karakter?

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 ontwerp opdrachten, 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 volgorde 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, quizzes, 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](http://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
Basisvaardigheden			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
Licht en beeld			SE
Geluid	CE	CE	CE
Kracht en veiligheid	CE	CE	CE
Bouw van de materie			SE
Straling en stralingsbescherming			SE
Het weer			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 tien-tallen jaren zijn ook te vinden op [www.nvon.nl](http://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 Excel-diagrammen 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.

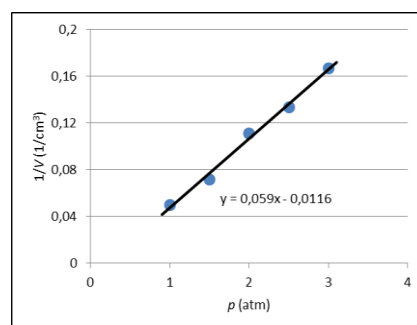
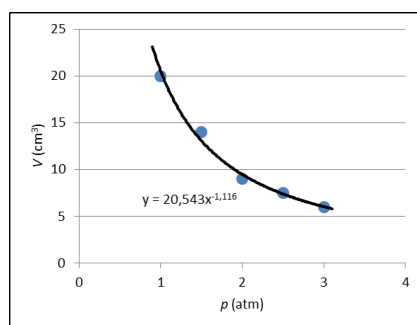
### Lespraktijk

Een leraar heeft een demonstratie-opstelling 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 constanten (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 374 – Twee manieren om met Excel de wet van Boyle te controleren.

Figuur 373 – Voorbeeld van het gebruik van Excel.

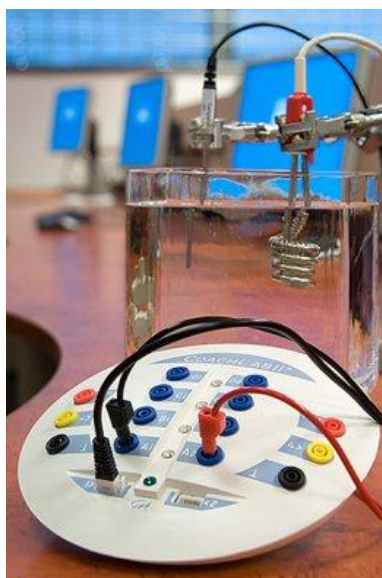
## Coach

Voor het meten met de computer bestaan verschillende softwarepakketten, zoals *Labquest* en *Coach*. We nemen hier *Coach* als uitgangspunt.

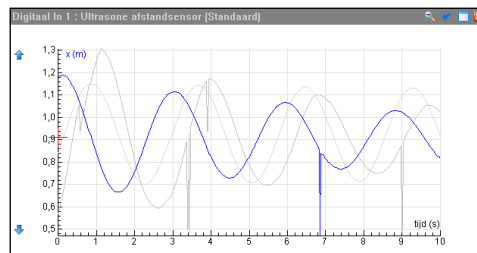
**Meten** – Een meetopstelling waarin *Coach* wordt gebruikt voor meten met de computer, bestaat uit drie onderdelen.

- 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.

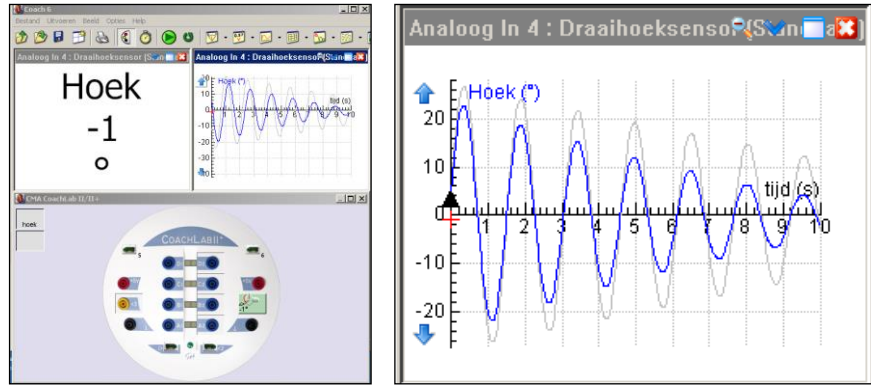
Voorbeelden van meten met de computer staan in figuur 375, 376 en 377: het meten van de watertemperatuur met een temperatuursensor bij verwarmen en de registratie van de gedempte trilling van een slinger met een ultrasone afstandssensor of met een draaihoeksensor.



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.



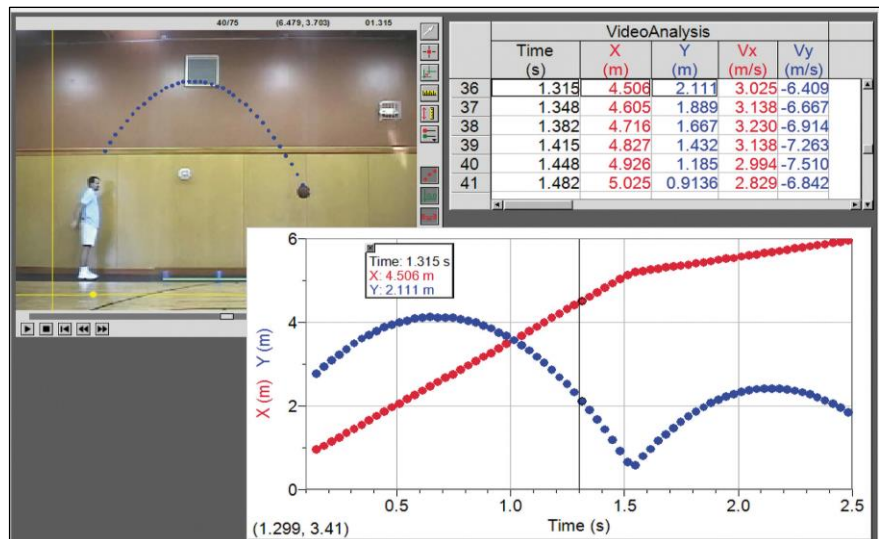
Figuur 377 – Registraties van de gedempte trilling van een slinger die aan een draaihoeksensor hangt.

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:

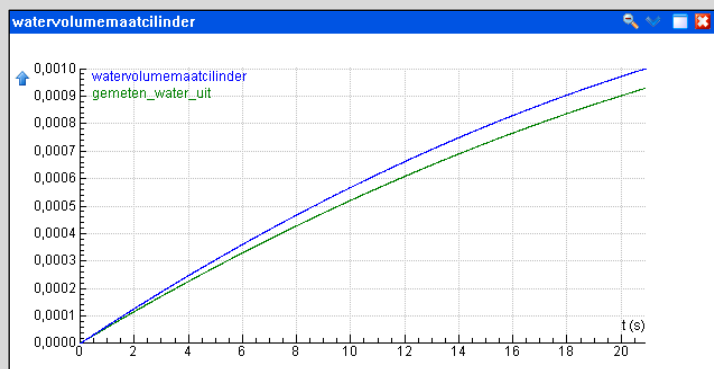
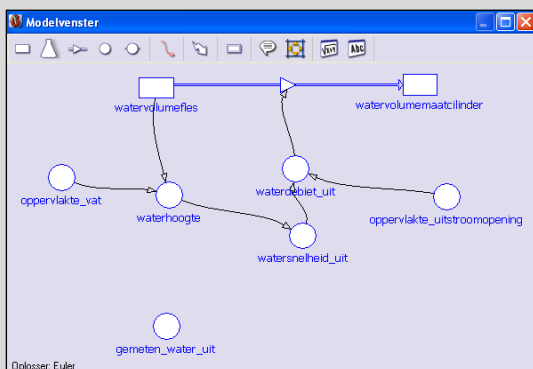
- Formuleer voorkennis en leerdoelen. In leerdoelen benoem je een *inhoud* (bijvoorbeeld versnelling) en gedrag (hoe kun je merken dat de leerling de inhoud beheerst).
- Laat leerlingen een realistische beweging onderzoeken. Hierbij kun je hen gebruik laten maken van bestaande filmpjes, maar je kunt 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  $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $V$  het volume (in  $\text{m}^3$ ) en  $t$  de tijd (in s);
- $Q = A \cdot v$ , met  $Q$  het debiet (in  $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $A$  de oppervlakte (in  $\text{m}^2$ ) en  $v$  de snelheid (in  $\text{m/s}$ );

- $v_{\text{uit}} = \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$ , met  $v_{\text{uit}}$  de uitstroomsnelheid (in m/s),  $g$  de zwaartekrachtsconstante ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ) 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 uitstroomtuitje.

Figuur 379 – Voorbeeld van het vergelijken van model- en meetresultaten.

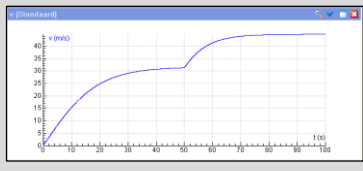
Modelleren maakt het mogelijk om leerlingen complexe, realistische verschijnselen te laten onderzoeken. Verschijnselen die op schoolniveau niet met formules beschreven kunnen worden, zoals bewegingen onder invloed van onder andere een snelheidsafhankelijke luchtweerstand. Voorbeelden daarvan staan in 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:  $F_{\text{netto}} = F_{\text{vw}} - F_{\text{aw}} = 0 \text{ N}$ .

Hieronder zie je het resultaat van een computermodel voor het volgende verschijnsel. De fietser fietst met constante snelheid. Dan gaat de fietser krachtiger trappen, 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.

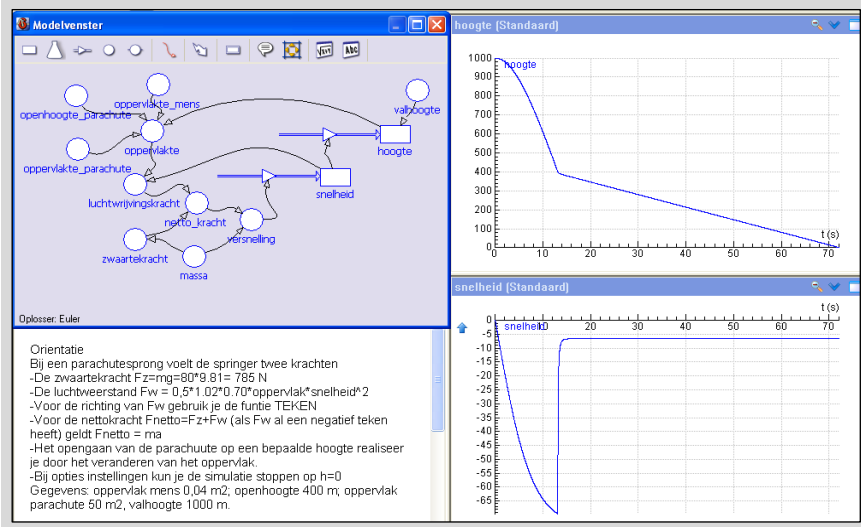


Figuur 380 – Voorbeeld van de modelresultaten voor de beweging van een fiets.

## 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.

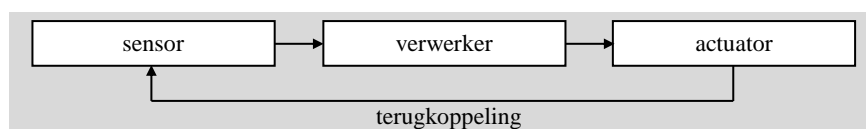
## Arduino

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.

### 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 reactietijdmeteter, 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.

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 werkblokken 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 knippen 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 knippen 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.

## 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 zo als 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 hefboomen, 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, onderzoeksinstituten 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 natuurkunde-onderwijs 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.

