

# 1 Visie op het vak en vakonderwijs

## 1.1 Inleiding

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

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

## 1.2 Natuurkunde

### 1.2.1 Karakter en inhoud van het vak

Hoe zijn het karakter en de inhoud van het vak te karakteriseren? Hieronder geven we een globaal beeld van het vak zoals dat in leerboeken voor vmbo en onderbouw havo/vwo naar voren komt.

#### **Karakter van het vak**

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

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

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

**Toepassingen** – In een modern ziekenhuis spelen natuur- en scheikunde een heel grote rol. In leerboeken wordt dit bijvoorbeeld in beeld gebracht zoals weerge-

geven in figuur 1. Andere toepassingsgebieden naast het ziekenhuis zijn verkeer, sport, het weer, optische instrumenten, verlichting, elektronische instrumenten, geneesmiddelen, moderne materialen enzovoort.

### Ontdekkingen en uitvindingen

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

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

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

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



Figuur 1 – Lesmateriaalvoorbeeld: natuur- en scheikunde in het ziekenhuis als één van de vele toepassingsgebieden van het vak.

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

### Natuur- en scheikunde en techniek

Natuur- en scheikundigen doen ontdekkingen en bedenken daarvoor een verklaring. Die ontdekkingen en verklaringen kun je gebruiken om nieuwe producten te bedenken en te maken. Het vakgebied techniek gaat over het uitvinden en maken van producten. Natuurkundigen onderzoeken bijvoorbeeld de werking van elektriciteit en bedenken daar een theorie over. De techniek bedenkt daarna allerlei producten en machines. Eerst de lamp en de elektriciteitscentrale, later ook televisies, computers en mobiele telefoons. Veel van die producten gebruiken natuurkundigen dan weer bij hun onderzoeken.

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

Het kan erop lijken dat op het gebied van de natuur- en scheikunde het meeste

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

### Inhoud van het vak

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

**Begrippen en regels** – Verschijnselen uit de materiële wereld zijn te begrijpen met behulp van natuurkundige begrippen en regels: zie de tabel van figuur 4 voor een aantal voorbeelden.

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

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

### Meten

Petra vraagt aan haar vriendinnen of zij weten wie die blonde jongen is die altijd zo leuk naar haar lacht als hij langsluipert. Ze probeert hem te beschrijven. Hij heeft blauwe ogen, kort blond haar en is ongeveer 1 meter 80 lang. Petra heeft zijn lengte natuurlijk niet gemeten. Ze heeft goed gekeken en bedacht wat de lengte ongeveer is. Dat noem je *schatten*. Bij *schatten* is de precieze lengte niet belangrijk, het gaat om een maat die ongeveer klopt. Als je precies wilt weten hoe lang die leuke blonde jongen is, dan moet je zijn lengte *meten*. Je kiest dan een geschikt *meetinstrument*. In dit geval zou dat een lange liniaal of een rolmaat zijn. Je vindt dan de lengte in centimeter (cm) of in meter (m).

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

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

Na de zeventiende eeuw is veel vooruitgang geboekt in de wetenschap. Een reden hiervoor is het meten. Verschijnselen waaraan gemeten was, konden nu vergeleken worden met theorieën waaraan gerekend was. De motivatie om betere theorieën te maken werd hierdoor erg versterkt. Het lesmateriaalvoorbeeld van figuur 5 laat zien hoe de experimentele vaardigheid ‘meten’ in een leerboek kan voorkomen.

**Planmatige werkwijze** – Voor het oplossen van problemen en onderzoeken van verschijnselen is planmatig werken nodig. Bij het oplossen van een natuurkundig probleem met bekende begrippen, regels en formules betekent dat: oriënteren en analyseren (lezen, gegevens ordenen, tekening maken, symbolen hanteren en voorkennis zoals formules in kaart brengen), plan van aanpak bedenken, uitwerken, controleren en evalueren. En bij het doen van een natuurkundig onderzoek komt dat planmatig werken neer op: na verkennen van de situatie een onderzoeksvraag bedenken, een plan van aanpak maken, eerlijk experimenteren, rekening houden met onafhankelijke en afhankelijke variabelen, conclusie trekken en delen van de onderzoeksresultaten (zodat anderen later kunnen controleren of het wel klopt). Het lesmateriaalvoorbeeld van figuur 6 geeft daarvan een beeld.

### Onderzoeken

Valt een zware bal sneller dan een lichte bal? Je hebt misschien wel een idee welke bal het snelst valt. Dat idee noem je een *voorspelling*. Om te controleren of je voorspelling

klopt, doe je een *experiment*: je laat een zware en een lichte bal vallen en meet de tijd. In de lessen natuurkunde doe je experimenten om de theorie beter te begrijpen, om te oefenen met meetinstrumenten of een nieuw verschijnsel te onderzoeken. Bij ieder experiment begin je met het *waarnemen van een verschijnsel*. Je bedenkt over het verschijnsel een *onderzoeksvraag*. In dit geval is de onderzoeksvraag: valt een zware bal sneller dan een lichte bal? Je voorspelling controleer je met behulp van een experiment. Als je het experiment hebt uitgevoerd, weet je het antwoord op de onderzoeksvraag. Dat antwoord noem je de *conclusie* van het experiment. Bij het experiment moet je er voor zorgen dat je zo eerlijk mogelijk vergelijkt. In dit voorbeeld wil je onderzoeken of de massa verschil maakt. Dan verander je alleen de massa van de bal. De hoogte waarover de bal valt en de grootte van de bal moet je hetzelfde houden.

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

### Algemene doelen van het vak

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

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

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

Gemeenschappelijk voor beide doelgroepen is de vormende waarde van het vak. De leerlingen krijgen inzicht in de materiële werkelijkheid. Ze raken vertrouwd met natuurwetenschappelijk denken. Ze beheersen onderzoeksvaardigheden en probleemoplossende vaardigheden die logisch en kritisch denken inhouden. Deze vormende waarde is voor het individu van belang om te kunnen meedoen in een technische samenleving. Maar ook de samenleving heeft behoefte aan mensen die het natuurwetenschappelijk denken begrijpen.

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

## 1.2.2 Natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze

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

### Producten van natuurwetenschap en techniek

In de loop van de vorige eeuw zijn de producten van het natuurwetenschappelijk denken een steeds grotere rol in onze samenleving gaan spelen. Honderd jaar geleden had men nog nooit van televisie gehoord, laat staan van computers. Kleding was gemaakt van ruwe plantaardige of dierlijk vezels die je met de hand moest wassen, en het eten was al even ‘natuurlijk’: in de sla zaten nog slakken en rauw vlees had nog een bruine kleur. Niemand klaagde, want men wist niet beter. Dat er toch zo veel in zo’n betrekkelijk korte tijd veranderd is, danken we aan wetenschappers en technici, die door hun speciale manier van denken en werken, en door hun creativiteit en doorzettingsvermogen onze samenleving met de opbrengsten van hun werk hebben verrijkt.

Toch ziet niet iedereen die opbrengst van het natuurwetenschappelijk denken alleen maar als een verrijking. Verregaande industrialisatie en intensivering van

de landbouw hebben welvaart gebracht aan velen, maar de talloze mensen in de Derde Wereld hebben er nauwelijks van kunnen profiteren. Bovendien wordt door deze ontwikkeling het wereldwijde milieu ernstig bedreigd en leidt onvrede vaak tot conflicten die worden beslecht met steeds geavanceerder wapentuig. Natuurwetenschappelijke producten dienen niet altijd vrede en vooruitgang.

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

### Zonsverduistering

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



Figuur 7 – Zonsverduistering als natuurwetenschappelijk of mythologisch verschijnsel.

### Wereldbeelden

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

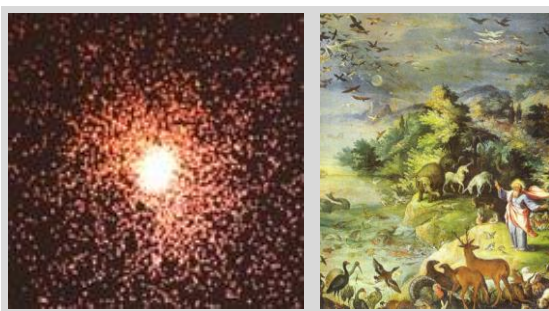
### Bijbelboek Jozua 10: 12-13

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



Figuur 8 – Geocentrisch of heliocentrisch wereldbeeld.

Voor orthodoxe gelovigen levert de situatie uit figuur 8 geen probleem. Bij God is immers alles mogelijk. Maar het bovenstaande citaat uit het Bijbelboek Jozua is ook gebruikt om te bewijzen dat de aarde stil staat en de zon beweegt. Maar de alom geaccepteerde theorie vanuit de natuurwetenschappen is dat de zon stil staat en dat de aarde daarom heen draait. En dit wijst op de onjuistheid van letterlijke Bijbelteksten. Gelovigen die meer kijken naar de *betekenis* van de Bijbelteksten en niet naar wat er letterlijk staat, hebben ook weinig problemen met de tekst. Zij geloven niet in een almachtige God die eigenmachtig natuurverschijnselen beïnvloedt.



### Bijbelboek Genesis 1: 1-3

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

### Oerknal

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

Figuur 9 – Het ontstaan van het heelal als theologisch of natuurwetenschappelijk verschijnsel.

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

### Natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze

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

#### Microscopie

De ontwikkeling van de vroegste microscoop is onduidelijk, maar aan het begin van de zeventiende eeuw kende de Republiek in Middelburg twee vermaarde lenzenmakers die verbonden worden met de uitvinding van microscoop en telescoop: Hans Lippershey (1570-1619) en Sacharias Jansen (1585-1632). Hierdoor had de lakenhandelaar Anthony van Leeuwenhoek de beschikking over lenzen en loepen voor de controle van stoffen. In 1648 kreeg hij voor het eerst een vergrootglas in handen: een loep voor de textielhandel met een vergrotende kracht van drie – een dradenteller. De Nederlander Jan Swammerdam (1637-1680) en de Engelsman Robert Hooke (1635-1703) gebruikten reeds een samengestelde microscoop met oculair en objectief, maar de vergrotende kracht van deze apparaten viel in het niet bij de sterke lenzen die Van Leeuwenhoek zou maken. Zo vergrootte Hooke's samengestelde microscoop slechts 30 x, terwijl het vergrotend vermogen van de enkelvoudige microscoop van Van Leeuwenhoek kon oplopen tot 480 x (Het Universiteitsmuseum in Utrecht bezit nog een door Van Leeuwenhoek gefabriceerd exemplaar met een vergroting van 270 x). Het microscopisch natuurwetenschappelijk onderzoek door Hooke leidde in september 1664 tot een baanbrekend boek met een minutieuze beschrijving van onder meer een plantencel, een vliegenooi en een vlo.

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

#### Uranus

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

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

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

Figuur 10 – De ontdekking van de planeet Uranus.

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

- Ontdekkingen zijn vaak het resultaat van het werk van veel mensen over een langere tijd.
- Precieze instrumenten zijn nodig om verschijnselen nauwkeurig waar te nemen.
- De waarnemingen worden beschreven met wiskundige middelen.
- Er zijn vaak meerdere hypotheses om het verschijnsel te begrijpen. Dat leidt tot discussie onder natuurwetenschappers. Uiteindelijk blijft de hypothese die de waarnemingen het beste beschrijft en verklaart over.

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

slijpen leverde ook de telescoop voor het doen van astronomisch onderzoek. Vaak levert een nieuwe techniek de instrumenten voor nieuwe wetenschappelijke ontdekkingen.

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

### Radioactiviteit

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

Zijn echte ontdekking deed Becquerel pas nadat hij zijn proefopstelling al had opgeruimd en opgeborgen: ook als het uraniumzout niet in de zon had gelegen, liet het sporen achter op de fotografische plaat. De verklaring van Becquerel was dat het uraniumzout spontaan een onzichtbare en doordringende straling uitzendt die anders lijkt te zijn dan röntgenstraling. Na verder onderzoek door Marie Curie-Sklodowska en Pierre Curie werd dit verschijnsel *radioactiviteit* genoemd.

Figuur 12 – De toevallige ontdekking van radioactiviteit.

### Zonnecellen

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

Figuur 13 – Een voorbeeld van toegepast onderzoek.

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

### Kernwapens

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

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

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

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

### Leren van leerlingen

In het natuurkundeonderwijs leren leerlingen onderdelen van deze natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze. Voorbeelden daarvan zijn dat er een verschil is tussen feiten en meningen, dat natuurwetenschappelijke theorieën waar zijn tot

### Veilig leerklimaat

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

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

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

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

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

Figuur 15 – Karakterisering van een veilig leerklimaat.

### Constructivisme

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

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

Figuur 16 – Karakterisering van het constructivisme in het onderwijs.

het tegendeel blijkt (natuurwetenschap is altijd werk in uitvoering, dus in ontwikkeling), dat experimentele bewijzen boven theoretische argumenten gaan, en ten slotte dat niet alles wat geschreven staat waar is.

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

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

## 1.3 Leerklimaat

Het leerklimaat in de lessen natuurkunde is van grote invloed op de motivatie en de leerprestaties van de leerlingen.

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

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

### Cursorische en projectmatige aanpak

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

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

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

De indeling in een cursorische en een projectmatige aanpak – samengevat in figuur 17 – is bruikbaar in de lespraktijk, maar er zijn vele varianten en tussenvormen mogelijk.

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

Figuur 17 – Samenvatting van de kenmerken van een cursorische en een projectmatige aanpak.

### Actief leren

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



verantwoordelijkheid voor het leren.

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

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

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

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

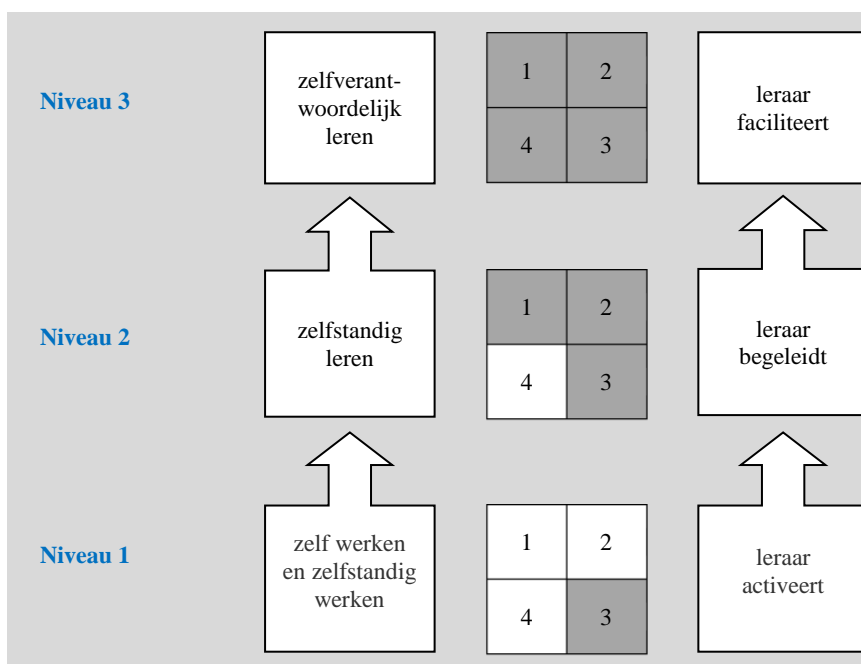
**Zelfverantwoordelijk leren** – Op het derde niveau van *zelfverantwoordelijk leren* hebben de leerlingen de volledige verantwoordelijkheid voor het leerproces. De leraar vervult daarbij een faciliterende rol.

#### Toelichting

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

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

Figuur 19 – Betekenis van de nummers en de markering in figuur 18.



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

#### Leervaardigheden

We vinden het tegenwoordig heel belangrijk dat mensen niet alleen iets leren, maar ook dat ze zich leervaardigheden eigen maken waardoor ze zelfstandig kunnen leren en daar zelf de verantwoordelijkheid voor nemen: 'leren leren'. Dat heeft te maken met moderne maatschappelijke ontwikkelingen waarin veranderingen zich snel veel sneller voltrekken dan vroeger het geval was. De technologische ontwikkeling gaat in een hoog tempo en dit heeft veel invloed op de manier waarop mensen hun werk verrichten. Voor de meeste werknemers bete-

kent dit dat ze een heel leven lang moeten blijven leren om hun werk te kunnen blijven doen. Je moet hierbij bijvoorbeeld denken aan leren omgaan met nieuwe apparaten en nieuwe software, aan leren werken volgens nieuwe procedures enzovoort.

## 1.4 Competent in lesgeven

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

<b>Competenties</b>		
Een leraar natuurkunde heeft de leerlingen uit zijn derde klas gevraagd enkele kenmerken op te schrijven van een goede leraar en van een slechte leraar, zowel in het algemeen als voor zijn eigen vakgebied. Als resultaat krijgt hij het volgende overzicht.		
	Een goede leraar:	Een slechte leraar:
Algemeen	heeft orde kan goed uitleggen is vriendelijk	is heel streng kan boos uitvallen heeft voorkeuren kan niet uitleggen
Natuurkunde	gebruikt veel voorbeelden blijft geduldig als ik het niet snap doet ook practicum	vindt alles logisch vindt me dom

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

### Vakdidactische competentie

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

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

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

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

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

### Onderwijsleerproces

Lessituaties variëren van vak tot vak, van klas tot klas, van school tot school en van leraar tot leraar. Een leraar maakt voor iedere les eigen keuzes voor de opzet van zijn les. Of, met andere woorden: van het onderwijsleerproces. Een eenvoudig model van dat onderwijsleerproces staat in figuur 22. De betekenis van de verschillende begrippen in dit model is weergegeven in figuur 23.

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

**Doelsituatie** – Het onderwijsleerproces leidt de leerlingen naar een *doelsituatie*. Leerdoelen kunnen betrekking hebben op kennis, inzicht, vaardigheden en houding. Leraren dagen leerlingen uit die haalbare eindsituatie te bereiken. Utdagen

kan leiden tot afhaken: “Ik kan het toch niet” of “Dat is me teveel werk.” Maar uitdagen kan ook leiden tot motivatie: “Dat wil ik kunnen.” Daarbij moet ervoor worden gezorgd dat de afstand tussen begin- en eindtermen niet te klein (geen uitdaging), maar ook niet te groot is (geen succesverwachting). Deze afstand verschilt sterk voor vmbo-, havo- en vwo-leerlingen.

**Evaluatie** – Door te *evalueren* gaat een leraar na of het leren succes heeft. Evalueren gebeurt tijdens het leren (formatieve toetsing), maar ook aan het eind door bijvoorbeeld een toets (summatieve toetsing).

### Toelichting

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

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

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

**Leerstof** – De aan te leren kennis en vaardigheden.

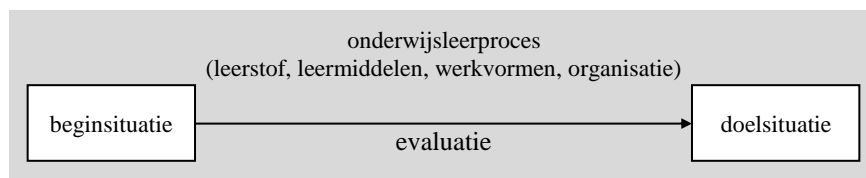
**Leermiddelen** – Middelen om het leren te ondersteunen.

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

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

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

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



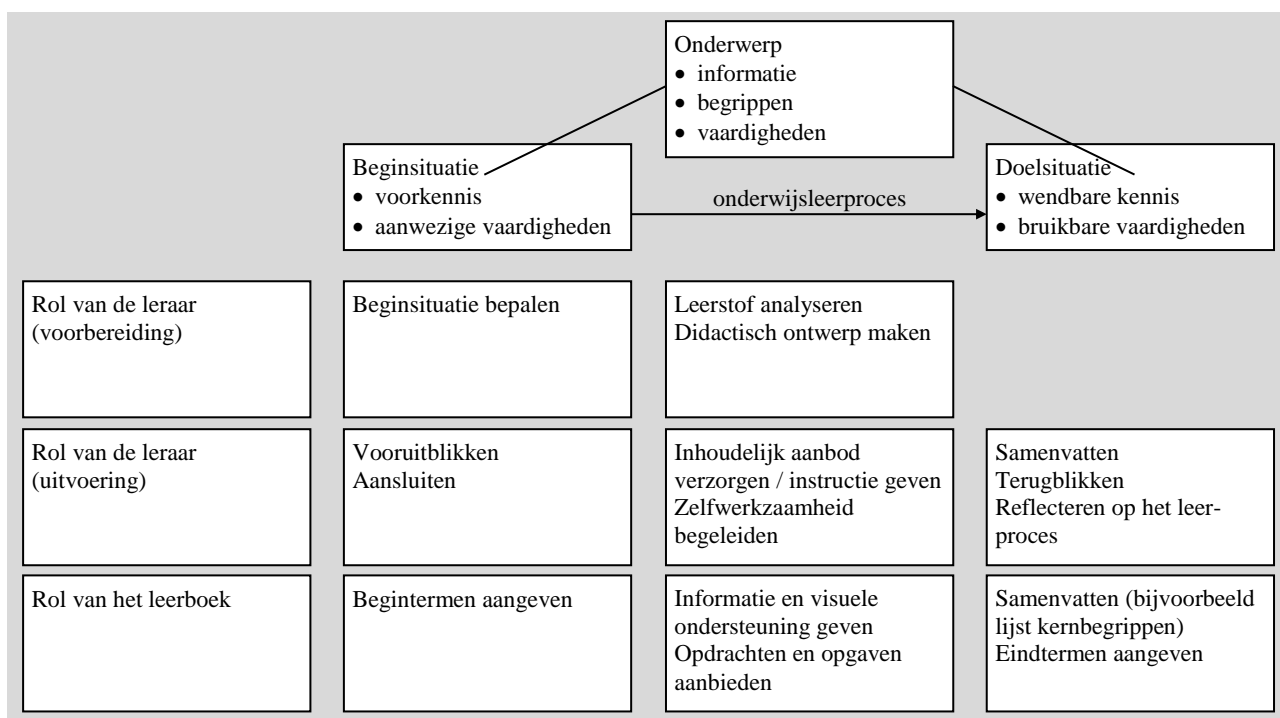
Figuur 22 – Model van het onderwijsleerproces.

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

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

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

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



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

## Vakdidactisch ontwerpen

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

Vakdidactisch ontwerpen kan echter ook meer ‘ingrijpend’ zijn (en daardoor nog meer tijd en energie vragen) als het leerboek voor een deel wordt losgelaten. Daarbij valt te denken aan het afwisselen van cursorische lessenseries met *projectwerk* (zie hoofdstuk 4), het organiseren van *excursies* (bijvoorbeeld het bezoek aan een bedrijf of instelling) en het ‘bewerken’ van het leerboek tot een (andere) *concept-contextbenadering*, tot *probleem-georiënteerd leren* en/of tot *onderzoekend leren* (zie hoofdstuk 8).

## 1.5 Afsluiting

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

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

Het vakonderwijs – en dat wordt dan het antwoord op het tweede deel van de centrale vraag – vindt plaats in een voor leerlingen veilig en krachtig leerklimaat, met voldoende afwisseling tussen verschillende leeractiviteiten (zoals uitleg en verwerking van leerstof, demonstraties en practica) en werkvormen (zoals individueel werk en groepswork, samenwerkend leren en spelvormen) en gericht op het actief leren van leerlingen – van zelf werken en zelfstandig werken naar zelfstandig leren en misschien zelfs wel uiteindelijk iets van zelfverantwoordelijk leren.

Vanuit een dergelijke visie op het vak en vakonderwijs moet een leraar natuurkunde vakspecifieke onderwijsleerprocessen kunnen ontwerpen, uitvoeren en evalueren (en op grond daarvan bijstellen) in een diversiteit aan leerstof- en vaardigheidsdomeinen. Hij of zij maakt daarbij gebruik van het leerboek, maar zeker ook van andere, al dan niet zelf ontworpen lesmaterialen. De daarvoor benodigde competenties zijn door de lerarenopleidingen in detail vastgelegd in de *Kennisbasis vakdidactiek Natuurkunde*. Op hoofdlijnen komt dat neer op inzicht in de volgende zeven categorieën.

**De leerling: natuurkunde leren** – Inzicht in hoe leerlingen natuurkunde leren en inzicht in het sturen van het leerproces: natuurkundige begrippen leren, reken- en practicumvaardigheden leren, natuurkundige werkwijzen leren, natuurkundige praktijktoepassingen leren, motivatie (nut en noodzaak), vaktaal en taalgebruik, de persoon van de leerling (leeftijd, ontwikkeling, diversiteit).

**De docent: lesgeven in natuurkunde** – Inzicht in het vormgeven van het natuurkundeonderwijs voor leerlingen: instrueren en uitleggen, begeleiden, praktisch werken, ontwikkelen en arrangeren van lesmateriaal.

**Het schoolvak natuurkunde: natuurkundecurriculum** – Inzicht in de natuurkunde zoals vormgeven in didactische materialen: het curriculum natuurkunde, verwante vakken, schoolboeken en leermiddelen, examenprogramma’s en eindtermen.

**De leeromgeving** – Inzicht in de inrichting van de leeromgeving voor de leer-

lingen: theorie- en practicumlokaal, veldwerk en beroepenveld, natuurkunde-onderwijs en ICT.

**Beoordeling en evaluatie** – Inzicht in toetsen en beoordelen van leerresultaten en evalueren van leerprocessen: ontwerpen en maken van toetsen, beoordelen van toetsen, analyse en evaluatie.

**Professionele ontwikkeling** – Inzicht in bijhouden van ontwikkelingen, door-groei en *life long learning*: vakkennis bijhouden, vakdidactisch onderzoek.

**Vakkennis en didactiek van de vakdomeinen** – Inzicht in de didactiek van de vakdomeinen: begrippen, vaardigheden, werkwijze.

