

2 Lesonderdelen

2.1 Inleiding

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

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

2.2 Onderwerp inleiden

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

Lespraktijk

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

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

Hij stelt als richtvraag: “Welke verschijningsvormen heeft een stof en hoe deel je die verschijningsvormen in?”

Als vervolg laat hij twee proeven zien:

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

Uiteindelijk ontstaat de volgende tabel:

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

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

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

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

Instapproblemen

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

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

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

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

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



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

2.3 Leerstof aanbieden

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

2.3.1 Begrippen en regels

Lespraktijk

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

Figuur 28 – Voorbeeld van het uitleggen van een begrip.

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

Praktijkvoorbeelden

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

Kracht

Voorbeeldsituaties:

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

Een kracht kan de volgende werking hebben:

- de vorm veranderen;
- de beweging veranderen (richting en grootte);
- iets op zijn plaats houden.

Voor een kracht is nodig:

- de wisselwerking tussen twee personen of voorwerpen.

Een kracht kan worden weergegeven door een pijl:

- met grootte en richting;
- met aangrijpingspunt;
- op schaal.



Figuur 29 – Voorbeeld van een begripskaart.

Lespraktijk

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

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

Praktijksituaties

Elektrische schakelingen: elektrische huisinstallatie, zaklamp.

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

Geluid: muziekinstrumenten (gitaar, saxofoon, drum).

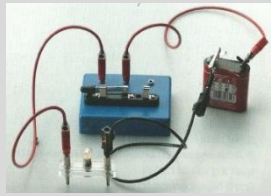
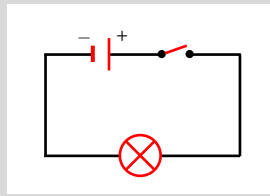
Kracht en beweging: voertuigen, hardlopen, parachutespringen, boogschieten.

Kracht en evenwicht: hefboom, slagboom, balans.

Figuur 32 – Voorbeelden van praktijk-situaties in verschillende leerstof-domeinen.

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

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

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

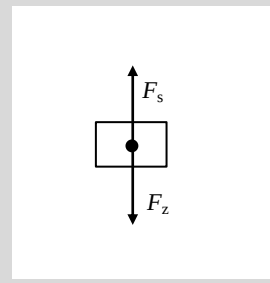
Figuur 31 – Het drieluik ‘De stroomkring van een schemerlamp’.

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

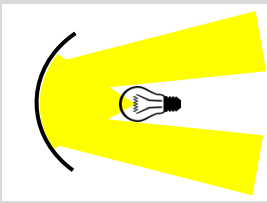
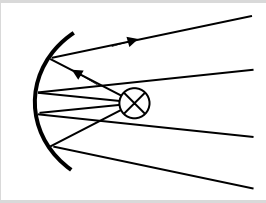
Vaak wordt gedacht dat praktijksituaties de vakinhoud begrijpelijker maken. Dat is lang niet altijd het geval. Praktijksituaties zijn vaak complex en ingewikkeld, en vragen juist een groter begrip. Het gebruik van eenvoudige geschematiseerde voorbeelden is echter noodzakelijk voor begripsvorming.

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

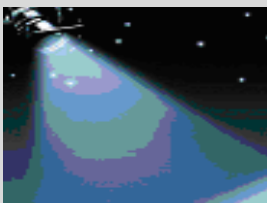
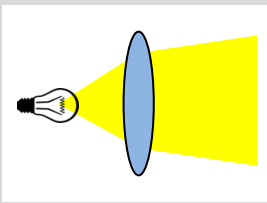
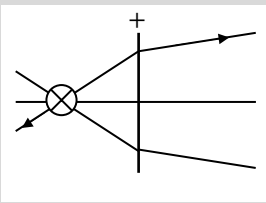
In de combinatie van een praktijksituatie en een laboratoriumsituatie geeft de praktijksituatie herkenbaarheid en betekenis, en laat de laboratoriumsituatie zich begrijpen met de aangeboden theorie. Of, met andere woorden: de laboratoriumsituatie vormt een duidelijke brug tussen de praktijksituatie en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

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

Figuur 33 – Het drieluik ‘De bergbeklimmer en de spankracht’.

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
De lamphouder weerkaatst het achterwaartse licht naar voren.	De holle spiegel achter de lamp convergeert de divergente lichtbundel.	Een lichtstraal weerkaatst volgens hoek van inval = hoek van terugkaatsing

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

Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
De schijnwerper geeft een gerichte lichtbundel.	De bolle lens convergeert de divergente lichtbundel.	De bolle lens breekt de lichtstraal naar het midden van de lens.

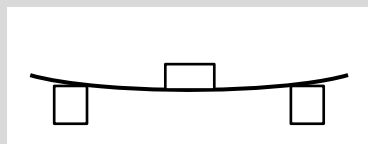
Figuur 35 – Het drieluik ‘De schijnwerper en de convergerende lens’.

Praktijksituatie



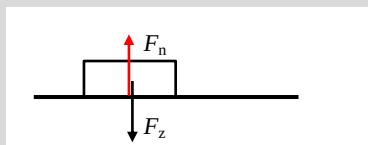
Een koffer ligt op tafel en zakt er niet doorheen.

Laboratoriumsituatie



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

Theoriesituatie



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

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

Lespraktijk

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

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

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

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

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

Fasen bij begripsleren

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

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

Lespraktijk

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

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

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

De begrippen en regels worden:

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

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

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

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

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

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

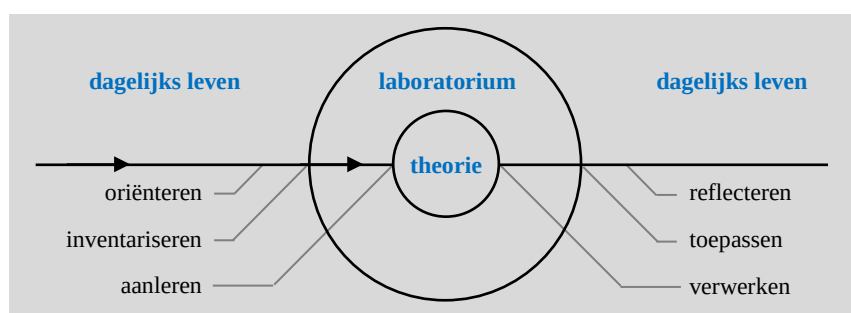
Inventariseren – Binnen het onderwerp wordt een instapprobleem geformuleerd. Zo’n instapprobleem heeft meestal de vorm van een praktijksituatie, bijvoorbeeld in de vorm van een foto, een (schematische) tekening (zoals in de in figuur 38 geschetste lespraktijk), een discussieposter of *concept cartoon*, of een rangschikopdracht. Dat leidt enerzijds tot het activeren van de voorkennis, en anderzijds een tot behoefte aan meer kennis. In deze fase wordt een verbinding

gelegd met voorkennis en aanwezige denkbeelden. De inventarisatiefase wordt afgesloten met een richtvraag waarop de komende uitleg een antwoord zal gaan geven. Die richtvraag bevat geen nieuwe en nog onbekende begrippen.

Aanleren – Een vereenvoudigde laboratoriumsituatie is minder complex dan de dagelijkse werkelijkheid, en kan in de klas worden gemanipuleerd. Daarom leent een demonstratieproef zich goed om verschijnselen geïsoleerd waar te nemen. Dan wordt nog eens extra duidelijk dat de voor-

kennis niet toereikend is om een verschijnsel te begrijpen. Daarna worden nieuwe begrippen en nieuwe theorie aangeboden, en omgezet naar nieuwe kennis. In deze fase worden vanuit voorbeelden begrippen opgebouwd en worden vanuit begrippen voorbeelden begrepen.

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



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

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

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

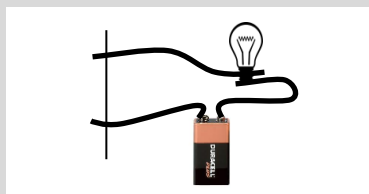
Het model van figuur 39 en de tabel van figuur 40 geven een samenvatting van de fasen in het leren van begrippen en regels, en de functie van die fasen in het onderwijsleerproces.

Praktijksituatie



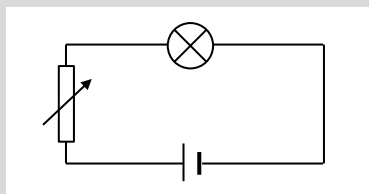
Dimmer met elektronische schakeling.

Laboratoriumsituatie



Schakeling met metaaldraad en lampje.

Theoriesituatie



De variabele weerstand beïnvloedt de stroom door het lampje.

Figuur 42 – Drieluik ‘Regelbare spanning en weerstand’.

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

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

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

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

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

Lespraktijk

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

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

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

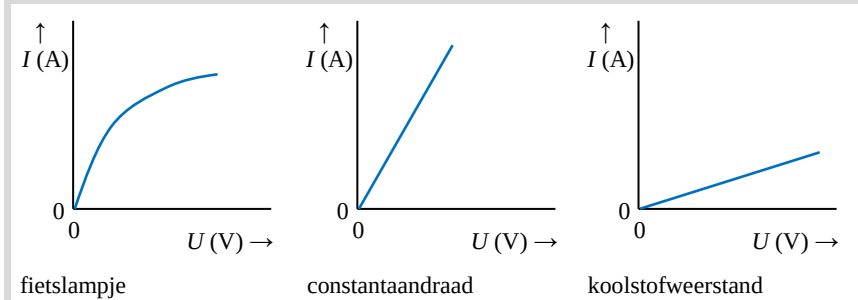
Begrip: weerstand.

Kenmerk: een weerstand werkt de stroom tegen.

Relaties: $R \leftrightarrow I$.

Voorbeeld: metaaldraad.

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



Begrip: weerstand.

Omschrijving: weerstand werkt de stroom tegen; weerstand is spanning gedeeld door stroomsterkte in ohm ($\Omega = V/A$).

Kenmerk: kleine weerstand $\leftrightarrow$ kleine spanning en grote stroom; grote weerstand $\leftrightarrow$ grote spanning en kleine stroom.

Relaties: $R \leftrightarrow I$ en $R \leftrightarrow U$.

Voorbeelden: fietslampje, metaaldraad, koolstofweerstand.

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

Communicatieniveaus

Lespraktijk

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

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

De leerlingen vragen wat ze moeten onthouden.

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

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

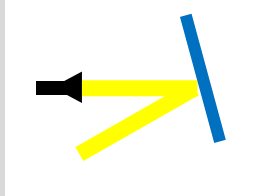
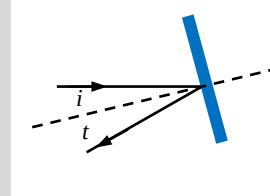
Dagelijks leven	Laboratorium	Theorie
Water is kleurloos. Water is vloeibaar bij kamertemperatuur.	Water heeft een hoge verdampingswarmte.	Watermoleculen hebben een permanente dipool.
Verbranding gaat meestal gepaard met vuurverschijnselen.	Voor een verbranding is zuurstof nodig.	Producten van een volledige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

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

Lespraktijk

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

Drieluik: Discobal en weerkaatsing van licht

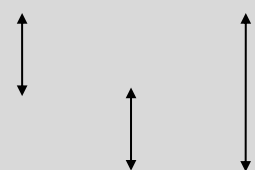
Praktijksituatie	Laboratoriumsituatie	Theoriesituatie
		
Een discobal weerkaatst het licht.	De vlakke spiegel weerkaatst de lichtbundel.	Een lichtstraal weerkaatst volgens hoek van inval = hoek van terugkaatsing

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

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

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

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

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

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

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

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

Lespraktijk

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

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

Lesvoorbereiding

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

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

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

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

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

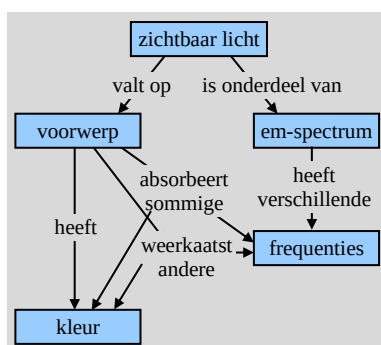
Hulpmiddelen – Zijn de hulpmiddelen – waaronder de demonstraties – goed verzorgd en goed gebruikt?

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

2.3.2 Concept maps

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

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



Figuur 48 – Een concept map over licht en kleur.

Concept map

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

begrippen weergeven.

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

Figuur 49 – Enkele richtlijnen voor een goede concept map.

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

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

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

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

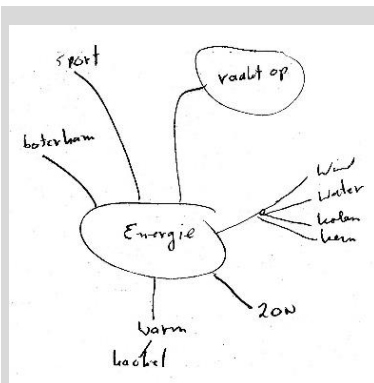
Woordspin en mind map

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

Alternatieven

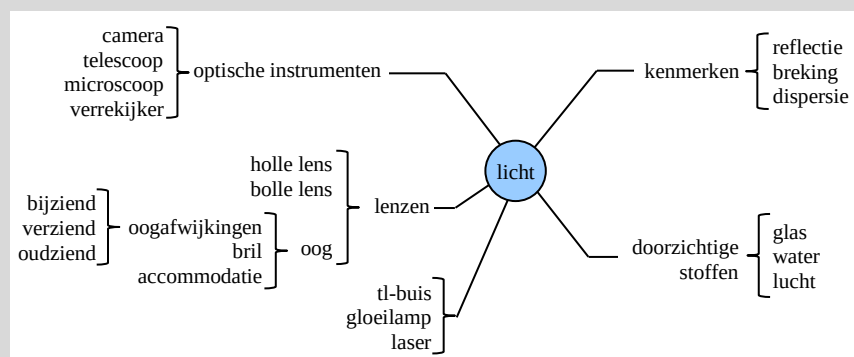
Naast de concept map zijn er nog andere soorten kaarten die in het onderwijs gebruikt worden: de *woordspin* en de *mind map*. Zij hebben elk een wat andere insteek en focus.

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



Een woordspin van leerlingen over energie.

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



Een mind map over licht als resultaat van een onderwijsleergesprek.

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

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

2.3.3 Vaardigheden

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

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

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

Lespraktijk

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lespraktijk

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

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

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

Daarna gaan de leerlingen zelf stroomsterkte meten in een practicum.

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

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

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

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

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

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

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

2.4 Vragen stellen

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

2.4.1 Checkvragen

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

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

Leerdoelen

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

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

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

Leerdoelen

Ik kan nu:

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

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

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

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

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

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

Figuur 56 – Werkwoorden bij de verschillende soorten leerdoelen.

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

Checkvragen stellen

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

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

Snelle diagnose en feedback

Lespraktijk

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



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



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



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

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

Checkvragen

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

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

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

Figuur 57 – Voorbeelden van checkvragen.

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

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

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

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

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



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

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

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

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

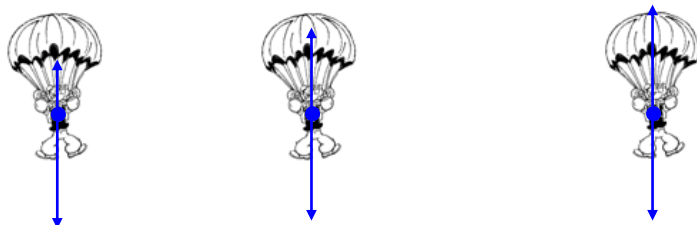


Situatie 1: de parachutist versnelt van 0 tot 10 m/s.

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

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

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



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

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

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

Figuur 58 – Een voorbeeld van snelle diagnose en feedback.

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

Feedback geven en ontvangen



Algemeen – Veilige sfeer.

Feedback ontvangen – Luisteren en doorvragen, niet verdedigen.

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

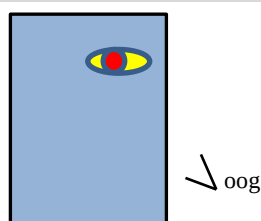
Figuur 59 – Algemene regels voor het geven en ontvangen van feedback.

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

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

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

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



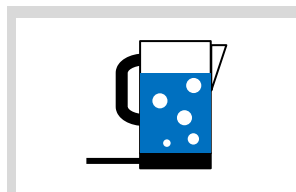
In de tekening rechts kijken we van bovenaf op het zwembad van de foto links. Schets in de tekening de gang van de lichtstralen van het hoofd van de man (rood) én van de romp van de man (geel) naar het oog.

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

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



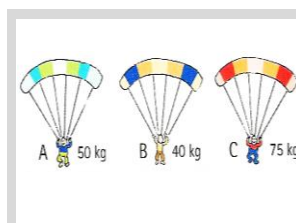
Figuur 61 – Vraagvorm: schets. De getekende luchtcirculatiepijlen kan de leraar in één oogopslag zien. Bij de toelichting op wat er op de betreffende plaats met de lucht gebeurt (bijvoorbeeld: wordt warm en zet uit, dus dichtheid wordt kleiner) is dat lastiger, maar het dwingt leerlingen wél om na te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



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

- A Lucht
- B Warmte
- C Stoom
- D Zuurstof en waterstof

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



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

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

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

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

Reeksen checkvragen

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

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

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



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

Meerkeuzevragen

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

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

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

Lespraktijk

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

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

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

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

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

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

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

2.4.2 Activerende vragen

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

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

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

Soorten vragen

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

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

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

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

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

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

Activeren

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Overdragend leren

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

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

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

Lespraktijk

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

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

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

Figuur 68 – Een voorbeeld van overdragend leren.

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

Figuur 69 – Vragen stellen bij overdragend leren.

Exploratief leren

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

Lespraktijk

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

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

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

Figuur 70 – Voorbeelden van exploratief leren.

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

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

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

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

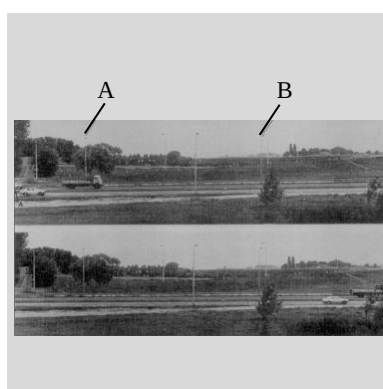
De tabel van figuur 71 geeft een overzicht van de soorten vragen die passen bij de verschillende fasen van exploratief leren.

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

Figuur 71 – Vragen stellen bij exploratief leren.

2.4.3 Onderwijsleergesprek

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



Lespraktijk

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

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

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

Figuur 72 – Vragen stellen in een onderwijsleergesprek.

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

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

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

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

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

Elementen

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

Zeewater zuiveren

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

Zuren

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

Symbolen

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

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

Indampen

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

Lakmoes

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

Figuur 73 – Lesprotocollen van onderwijsleergesprekken.

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

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

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

Stofeigenschappen

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

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

Figuur 74 – Lesprotocol van een goed geleid onderwijsleergesprek.

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

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

Reageren op antwoorden

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

Figuur 75 – Strategieën voor het reageren op antwoorden.

Lespraktijk

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

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

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

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

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

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

Voor het leiden van een onderwijsleergesprek gelden de volgende aandachtspunten.

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

2.5 Demonstraties uitvoeren

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

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

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

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

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

Lespraktijk



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



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

Figuur 77 – Voorbeelden van prikkelende demonstraties.

Schaalvergroting

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

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

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

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

Prikkelende demonstraties

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

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

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

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

Praktische uitvoering

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

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

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

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

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

Lespraktijk

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

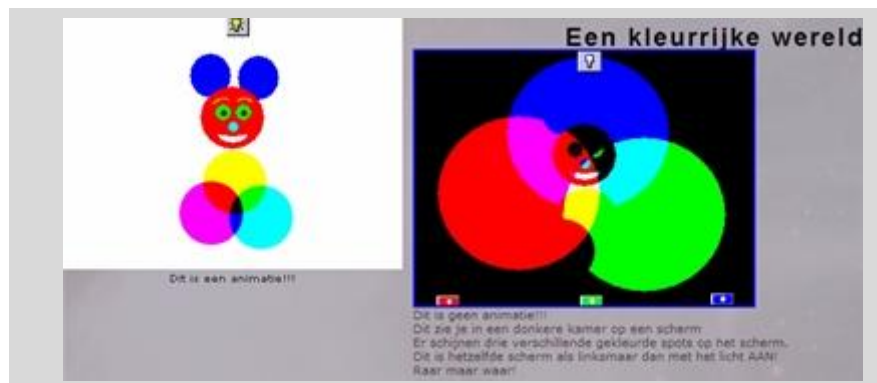
Figuur 79 – Voorbeeld van het gebruik van een applet als demonstratie.

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

Video-opname en computersimulatie

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

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



Figuur 80 – Applet over het mengen van gekleurd licht.

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



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

Lespraktijk

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

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

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

Leren onderzoeken

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

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

2.6 Samenwerken

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

2.6.1 Denken-delen-uitwisselen en Experts

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

Denken-delen-uitwisselen

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

Lespraktijk

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

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

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

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

Experts

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

Lespraktijk

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

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

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

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

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

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

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

2.6.2 Samenwerkend leren

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

Sleutelbegrippen

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

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

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

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

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

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

Samenwerkingsvormen

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

Figuur 85 – In de klas bruikbare samenwerkingsvormen.

Leerlingrollen

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

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

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

Samenwerkingsvormen

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

Definitie Werkwijze

Check-in-duo's
Antwoorden worden nagekeken in tweetallen.

- De leraar geeft de opdracht.
- De tweetallen kijken hun antwoorden onderling na.
- De tweetallen wisselen het resultaat van hun nakijkwerk onderling uit.

Situatie

Opdrachten waarbij er maar één antwoord mogelijk is (bijvoorbeeld bij gesloten vragen en meerkeuzevragen).

Aantal personen Mogelijke rollen

2 per groep.
secretaris / opzoeker.

Definitie Werkwijze

Denken-delen-uitwisselen

Antwoorden worden individueel geformuleerd, overlegd in twee- of drietallen, en daarna gegeven.

- De leraar stelt dezelfde vraag aan iedereen.
- Leerlingen denken na in stilte en formuleren een antwoord.
- Leerlingen overleggen in tweetallen over hun antwoorden.
- Leerlingen stellen eventueel hun antwoorden bij.
- De leraar vraagt een leerling antwoord te geven.
- De leerling antwoordt, de leraar reageert later.

Situatie

Korte opdrachten, waarbij wellicht meer dan één antwoord mogelijk is.

Aantal personen Mogelijke rollen

2 tot 3 per groep.
Vragensteller / presentator.

Definitie Werkwijze

Binnen-buitencirkel

Leerlingen wisselen informatie met elkaar uit.

- De leraar verdeelt de klas in twee groepen. De eerste groep vormt een cirkel met het gezicht naar buiten. De tweede groep staat daar tegenover met het gezicht naar de eerste groep. In een lokaal waar de tafeltjes in twee hoefijzers staan, hoeven de leerlingen in het binnenste hoefijzer alleen maar hun stoel om te draaien om de anderen in het buitenste hoefijzer te kunnen zien.
- De leraar geeft aan hoeveel tijd er per uitwisseling is (bijvoorbeeld 1 minuut).
- Leerlingen wisselen informatie uit met de partner tegenover hen.
- Leerlingen in de buitenste cirkel schuiven een plaats op (met de klok mee), gevolgd door informatie-uitwisseling als hierboven beschreven.

Situatie

Uitwisselen van persoonlijke informatie, bijvoorbeeld over gezinssamenstelling, woonplaats, hobby, sport. Maar het kan ook om uitwisselen van de voorkennis over een bepaald onderwerp gaan. Geschikt voor het oefenen van gespreksvaardigheid.

Aantal personen Mogelijke rollen

–

		Hoeken
Definitie	Leerlingen nemen stelling.	
Werkwijze	• De leraar formuleert een stelling. • Leerlingen dienen stelling te nemen: helemaal of een beetje mee eens of oneens (vier mogelijke 'posities'). • Leerlingen denken na. • Leerlingen gaan naar de hoek van het lokaal waar hun mening staat (op een papier bijvoorbeeld). • Leerlingen beredeneren hun meningen in tweetallen, daarna in viertallen. • Leraar roept uit elke hoek een leerling, die haar of zijn mening moet verdedigen. • Leerlingen mogen van hoek (en dus van mening) veranderen. • Leerlingen gaan terug naar hun plaats en verwoorden schriftelijk hun mening.	
Situatie	Een opdracht in de vorm van een stelling waarbij genuanceerde meningen mogelijk zijn (bijvoorbeeld: "De beste manier om de CO ₂ -uitstoot door het verkeer te verminderen is overstappen op elektrische auto's.").	
Aantal personen	Gehele klas.	
Mogelijke rollen	—	
		Placemat
Definitie	Leerlingen bepalen in de groep hun gezamenlijke mening over een onderwerp.	
Werkwijze	• De leraar geeft een opdracht. • Leerlingen schrijven individueel hun antwoord op en overleggen niet met elkaar. • Leerlingen geven om beurten hun antwoord aan de rest van de groep. Deze antwoorden worden op de buitenste rand van een papier (de placemat) geschreven. • De groep bepaalt welk antwoord als groepsantwoord wordt gekozen en schrijft dit op de placemat in het midden.	
Situatie	Een opdracht waarbij meerdere antwoorden mogelijk zijn (bijvoorbeeld: "Wat is de beste manier om de CO ₂ -uitstoot door het verkeer te verminderen?").	
Aantal personen	4 per groep.	
Mogelijke rollen	Voorzitter / secretaris / vragensteller / tijdbewaker / presentator.	
		Groepsreis
Definitie	Leerlingen geven en vragen informatie aan andere groepen.	
Werkwijze	• De leraar heeft elke groep de volledige opdracht gegeven, die door de gehele groep niet op te lossen is (bij gebrek aan informatie). • De leraar heeft elke groep een verschillende deelopdracht gegeven, met (een verwijzing naar) de bijbehorende informatie. • De groep rondt de deelopdracht af. • Ieder groepslid beheerst alle informatie van de groep. • De groepsleden verlaten hun groep, nummer 1 schuift één plaats op, nummer 2 twee plaatsen, nummer 3 drie plaatsen, nummer 4 blijft zitten. • De groepsleden geven hun informatie in de nieuwe groep en verzamelen de informatie die de andere groep heeft. • De groepsleden gaan terug naar hun eigen groep en wisselen de informatie uit. • De groepsleden maken hun volledige opdracht af.	
Situatie	Een opdracht die in deelopdrachten te verdelen is (bijvoorbeeld: "Ontwerp een energieneutrale (of 'nul-energie') woning", met voor elke groep deelopdrachten en informatie over energieverbruik en energievoorziening voor woningverwarming of warmwatervoorziening of koken of elektrische apparaten (waaronder ook verlichting enzovoort).	
Aantal personen	4 per groep.	
Mogelijke rollen	Voorzitter / vragensteller / tijdbewaker / opzoeker / checker.	
		Experts
Definitie	Leerlingen werken elk aan een deel van een opdracht binnen dezelfde groep.	
Werkwijze	• De leraar geeft de opdracht aan de groepen. • De groep verdeelt onderling de taken. • Leerlingen werken individueel of in twee- of meertallen aan de oplossing van het probleem. • Leerlingen leggen hun oplossing van het probleem uit aan de rest van de groep.	
Situatie	Een opdracht die in delen kan worden opgesplitst (zie de voorbeelden in figuur 3).	
Aantal personen	4 tot 6 per groep.	
Mogelijke rollen	Voorzitter / secretaris / vragensteller / tijdbewaker / presentator / checker.	

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

Figuur 86 – Karakterisering van in de klas bruikbare samenwerkingsvormen.

2.7 Opgaven bespreken

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

2.7.1 Verwerkings- en toepassingsopgaven

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

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

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

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

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

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

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

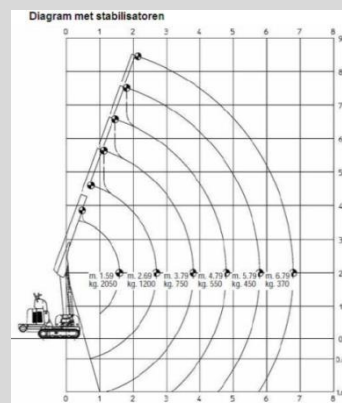
c Een beladen vrachtwagen heeft een massa van 21 ton. De vrachtwagen staat op twee stalen rijplaten. Iedere rijplaat is 65 cm breed en 6,0 m lang. Bereken de druk.

Het maximale krachtmoment op de minirupskraan is het grootst als de uitschuifbare arm horizontaal staat.

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

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

c Hoe verandert het krachtmoment als de kraan omhoog gaat?



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

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

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

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

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

2.7.2 Rangschikopgaven

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

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

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

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

MR	mR	Mr	Weglaten
A	B	C	mr D

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

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

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

MV	mv	Mv	Weglaten
A	B	C	mV D

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

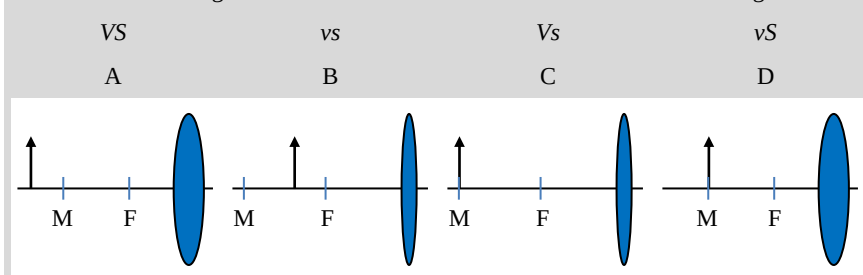
Een snaar is strak gespannen met behulp van een gewicht.
Zet onderstaande situaties in volgorde van de toonhoogte van laag naar hoog.

Xm	xM	xm	Weglaten
A	B	C	XM D

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

Een voorwerp wordt door een bolle lens afgebeeld.

Zet onderstaande situaties in volgorde van de grootte van het beeld van klein naar groot.



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

Figuur 90 – Voorbeelden van rangschikopgaven in verschillende leerstof domeinen.

2.7.3 Rekenopgaven

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

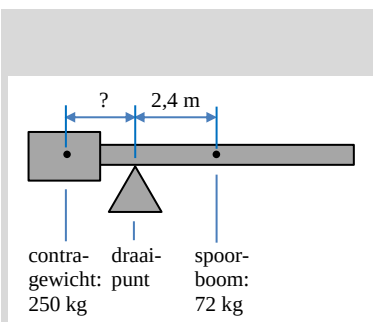
- bij het voordoen hoe je een opgave oplost;
- bij het observeren hoe leerlingen het maken van opgaven aanpakken;
- bij het begeleiden van leerlingen bij het maken van opgaven.

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

Systematische probleemaanpak

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

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



Opgave

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

Oplossing

Gegevens

Spoorboom: $m = 72$ kg en $d = 2,4$ m. Contragewicht: $m = 250$ kg.

Gevraagde

Contragewicht: $d = ?$

Formules

$F_z = m \cdot g$, $M = F \cdot d$ en $M_{\text{links}} = M_{\text{rechts}}$.

Berekening

Spoorboom: $F_z = m \cdot g = 72 \cdot 9,8 = 705,6$ N. $M_{\text{sb}} = F_z \cdot d = 705,6 \cdot 2,4 = 1693$ Nm.

Contragewicht: $F_z = m \cdot g = 250 \cdot 9,8 = 2450$ N. $M_{\text{cg}} = F_z \cdot d = 2450 \cdot d$.

Het krachtmoment M_{cg} van het contragewicht moet even groot zijn als het krachtmoment M_{sb} van de slagboom:

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

Stappenplan

- 1 Gegevens
- 2 Gevraagde
- 3 Formules
- 4 Berekening
- 5 Antwoord

Figuur 92 – Een stappenplan voor eenvoudige rekenopgaven.

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

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

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

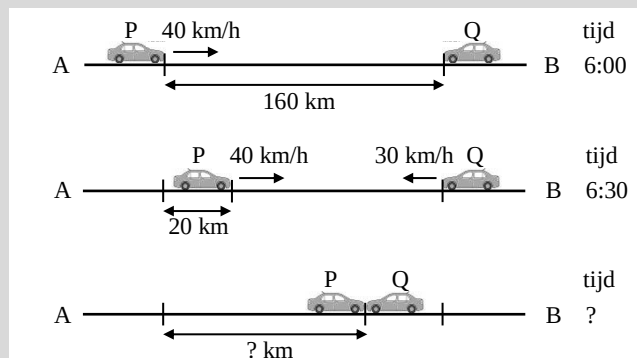
Opgave

De afstand tussen twee plaatsen A en B is 160 km. Om 6:00 uur vertrekt er een auto uit A met een snelheid van 40 km/h richting B, waar om 6:30 uur een auto richting A vertrekt met een snelheid van 30 km/h.

Waar en hoe laat komen de auto's elkaar tegen?

Oplossing

Oriënteren en analyseren



Plannen

Auto P met een snelheid van 40 km/h legt tussen 6:00 en 6:30 uur een afstand van 20 km af.
 Voor auto P geldt vanaf 6:30 uur: $s_P = v_P \cdot t = 40 \cdot t$.
 Voor auto Q geldt vanaf 6:30 uur: $s_Q = v_Q \cdot t = 30 \cdot t$.
 Op het moment dat ze elkaar tegenkomen geldt: $s_P + s_Q = 140 \text{ km}$.
 Met deze drie vergelijkingen is de tijd t uit te rekenen, en daarmee het tijdstip waarop de auto's elkaar tegenkomen. Met de tijd t zijn de afstanden s_P en s_Q uit te rekenen met $s = v \cdot t$, en daarmee de plaats waar de auto's elkaar tegenkomen.

Uitwerken

Vul de formules voor s_P en s_Q in de formule $s_P + s_Q = 140$ in:
 $s_P + s_Q = 140 \rightarrow 40 \cdot t + 30 \cdot t = 140 \rightarrow 70 \cdot t = 140 \rightarrow t = 2,0$ uur. De auto's komen elkaar dus tegen om 8:30 uur.
 Voor auto P geldt tussen 6:30 en 8:30 uur: $s_P = 40 \cdot 2,0 = 80 \text{ km}$. Deze auto bevindt zich dan om 8:30 uur op een afstand van $20 + 80 = 100 \text{ km}$ van punt A.
 Voor auto Q geldt tussen 6:30 en 8:30 uur: $s_Q = 30 \cdot 2,0 = 60 \text{ km}$. Deze auto bevindt zich dan om 8:30 uur op een afstand van 60 km van punt B.

Controleren en evalueren

Het punt waar de auto's elkaar tegenkomen ligt op 100 km van punt A en 60 km van punt B. De onderlinge afstand van de punten A en B is dus 160 km. Dat klopt met het gegeven in de opgave.
 Het punt waar de auto's elkaar tegenkomen ligt verder van punt A dan van punt B. Dat kan kloppen, want auto P rijdt met een grotere snelheid gedurende een langere tijd dan auto Q.

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

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

Stappenplan

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

Figuur 94 – Een stappenplan voor complexe rekenopgaven.

Begeleidingsvragen

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

Figuur 95 – Begeleidingsvragen voor eenvoudige rekenopgaven.

Begeleidingsvragen

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

Figuur 96 – Begeleidingsvragen voor complexe rekenopgaven.

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

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

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

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

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

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

Voordoen en begeleiden

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

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

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

2.8 Afsluiting

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

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

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

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

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

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

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

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