

## **HET LEERPLAN NATUURKUNDE IN DE VRIJE SCHOOL**

Opvoeding en onderwijs werken het vruchtbaarst, wanneer zo goed mogelijk wordt ingespeeld op de actuele ontwikkelingsbehoeften van de kinderen. Om aan die behoeften tegemoet te komen heeft de pedagoog inzicht nodig in de betreffende leeftijdsfase, en wel zo, dat hij dat inzicht in de praktijk van het lesgeven voortdurend op de levende realiteit kan afstemmen. Dat maakt pedagogie tot een kunst; het materiaal dat daarbij gebruikt wordt is de leerstof. In de Vrije School dient de leerstof daarom primair de algemene vorming van de leerlingen, en dat in de ruimste zin van het woord. Dat de keuze van de leerstof tegelijkertijd aansluit bij de culturele verworvenheden van de tijd en in de overdracht daarvan een rol speelt, spreekt vanzelf, maar is ondergeschikt aan het ontwikkelingsdoel.

Evenmin als het mensbeeld in het onderwijs als een schema gehanteerd kan worden, maar steeds met de werkelijkheid in verband moet staan, zomin kan de leerstof in een geprogrammeerde vorm worden vastgelegd. Een leerplan heeft dan ook slechts in zoverre betekenis, dat het een algemeen raamwerk geeft van vakgebieden en thema's die voor bepaalde leeftijden van belang zijn. De daadwerkelijke uitwerking en vormgeving vindt telkens opnieuw in de lespraktijk plaats. In die zin geldt, dat iedere leraar steeds weer opnieuw het wiel moet uitvinden. De daarbij opgebrachte inspanning en creativiteit maakt de leerstof pedagogisch werkzaam. Dat neemt niet weg, dat een raamwerk leerplan als houvast en wegwijzer een uiterst behulpzame en structurerende functie vervult, zolang het niet als voorschrift maar als inspiratiebron wordt opgevat. Ten aanzien van het Vrije Schoolleerplan gelden dus de volgende uitgangspunten:

- de leerstof is geen doel in zichzelf, maar ondersteunt de natuurlijke ontwikkeling van de opgroeiende mens;
- elk vakgebied draagt het zijne bij aan de harmonische en volledige ontplooiing;
- de leraar heeft de vrijheid en de opgave om in het kader van het gemeenschappelijke leerplanraamwerk de stof zo te hanteren, dat deze pedagogisch werkzaam wordt.

Naast de stofkeuze is de wijze van behandelen van minstens even groot belang. Behalve de inhoud als zodanig is het immers de presentatie en de verwerking ervan die de werkzaamheid bepaalt. Slechts een relatief klein deel van alle vakinhouden wordt omgezet in blijvende parate kennis; het overgrote deel heeft de functie de toegang te openen tot een bepaald

levensgebied, daar interesse voor te wekken en primaire vaardigheden in te ontwikkelen. De belangstelling voor de wereld, de wil daarin te werken en het vermogen daar gedachten over te vormen worden gewekt door de gekozen leerstofinhoud in adequate werkvormen te gieten.

Toegepast op het natuurkunde-onderwijs leidt bovenstaande tot de volgende vragen:

1. Wat kan het vak natuurkunde bieden als specifieke bijdrage aan de algemene ontwikkeling van de leerling?
2. Welke leerstofinhoud leent zich daarbij in het bijzonder voor de diverse leeftijdsfasen?
3. Welke werkvormen en didactische principes zijn daarbij vruchtbaar?

Deze vragen zullen in dit hoofdstuk in grote lijn beantwoord worden, waarbij de natuurkunde geplaatst wordt tegen de achtergrond van de leerplanthema's in het algemeen. Die antwoorden hebben niet de pretentie eigen vindingen te zijn van de auteurs; ze zijn te beschouwen als een samenvatting van door de praktijk gegroeide ervaringen steunend op de leerplanaanwijzingen van Rudolf Steiner. In de volgende hoofdstukken zal op de methodische aspecten van het natuurkunde-onderwijs enerzijds en anderzijds op de leerstofinhoud voor een bepaalde leeftijdsgroep, namelijk de 9e klas, meer gedetailleerd worden ingegaan.

In de fysica gaat het erom de verschijnselen op het fysieke plan in hun werkingen, wetmatigheden en onderlinge betrekkingen te leren kennen en doorzien; vervolgens kan die kennis leiden tot doelgerichte benutting van de natuurkrachten in technische toepassingen. Natuurkunde in het onderwijs heeft dus daar een vormende waarde, waar belangstelling voor de fysieke wereld gewekt en gevoed kan worden en waar de uiteenzetting van de mens met de krachten van de levenloze natuur belevingen oproept die tot handelen en bezinning aanleiding geven. Om op zo'n manier met natuurverschijnselen te kunnen omgaan moet een kind al een zekere distantie tot zijn omgeving kunnen nemen, moet het de dingen kunnen bekijken zonder er zich onmiddellijk mee te vereenzelvigen en moet er bovendien een zekere lust tot experimenteren en redeneren in hem leven, waaraan zijn interesse tot verder onderzoek ontvlamt. Die voorwaarden zijn vervuld omstreeks het 12e levensjaar. De natuurkunde doet dan ook zijn intrede in de 6e klas van de Vrije School; in alle daaropvolgende leerjaren t/m de 12e klas blijft hij deel uitmaken van de leerstof.

Dit tijdstip waarop de natuurkunde als vak in het leerplan verschijnt, valt ongeveer samen met de inzet van de derde fase van de tweede zevenjaarsperiode (zie hoofdstuk 1). Die fase waarin, na de eerste leerdrang van het jonge schoolkind en de verinnerlijking van de opgenomen beelden, de blik weer meer naar buiten gericht wordt en de behoefte

ontstaat vanuit een praktisch denken de wereld in al zijn concreetheid te verkennen. Niet voor niets wordt in de 6e klas de Romeinse geschiedenis met zijn sterk op de buitenwereld gerichte inslag als thema gehanteerd dat de kleur van het jaar bepaalt, komen handel en verkeer aan de orde met hun praktische uitwerking in handelscorrespondentie en handelsrekenen en wordt van daaruit de eerste stap naar de algebra gezet. In deze sfeer past ook een bewuster onderzoek van die zaken die tot dan toe als vanzelfsprekende gegevens zijn aangenomen: geluiden, licht en schaduw, warmte en zijn werking op de stof, magnetisme, elektriciteit. Na in de voorafgaande jaren door steeds nieuwe toegangspoorten met de volheid van het aardse leven kennis gemaakt te hebben, met de onmiddellijke omgevingswereld van huis, klas, school en stad in de 3e klas, de dierenwereld en het landschap in de 4e klas, de plantenwereld in de 5e klas, wordt in de 6e klas naast de wereld van de gesteenten het fysische verschijnsel als zodanig als leerstof aangereikt. Het fenomeen wordt voor het eerst de uitdaging waaraan de leerling, onder leiding van de leraar, zijn zintuigen zo kan scholen, dat hij al experimenterend de wetmatigheden van de stoffelijke wereld op het spoor komt.

Toch gaat het in dit stadium nog niet om een vergaande analyse, laat staan om een wetenschappelijke theorie die de verschijnselen met behulp van modellen en wiskundige beschrijvingen tracht te ordenen en voor het denken toegankelijk te maken. De leerlingen zijn nog niet de puberteitsdrempel gepasseerd, nog niet in de derde zevenjaarsperiode gekomen, waarin door het aanbieden van heldere inhouden en het appèl op de denkkrachten de basis voor het geestesleven wordt uitgebouwd. In de 6e klas, en ook in de 7e, verkeren ze nog in die levensfase, waarin met name de gemoedskrachten aangesproken moeten worden, waarin het hele onderwijs nog door zijn beeldenrijkdom appelleert aan de verwondering over en de bewondering van wat de wereld aan raadsels te bieden heeft en waarin zodoende aan de gevoelsbasis wordt gebouwd van een zo rijk mogelijk zieleleven. Die grondtoon blijft het uitgangspunt voor de hele onderbouwtijd van de Vrije School, waaronder verstaan wordt de klassen 1 t/m 8.

Nadat in de 6e klas akoestische, licht-, warmte-, magnetische en elektrische verschijnselen in bovenbeschreven zin aan de orde zijn gesteld gedurende een periode van omstreeks vier weken, blijft dit vakgebied het verdere jaar rusten om in de 7e klas weer te worden opgepakt. Deze vorm van periode-onderwijs is kenmerkend voor het Vrije Schoolonderwijs en wordt in alle leerjaren voor die vakken toegepast, die een nieuw gebied willen ontsluiten of daar een stap verder in willen doen. Rooster technisch houdt het in, dat gedurende een periode van meestal drie of vier weken elke schooldag met een dubbel lesuur in het betreffende vak begint. Op

die manier kan de leerstof van dag tot dag worden opgebouwd en kan, door de intensiteit en continuïteit waarmee eraan gewerkt wordt, in korte tijd een grote diepte en een sterke verbinding bereikt worden. Na afloop van zo'n periode blijft dat vak rusten totdat het in een volgend jaar weer wordt opgepakt. De praktijk wijst uit, dat die rusttijd geenszins verloren tijd is; integendeel, niet alleen is datgene wat aan het vak beleefd is intussen in de ervaringswereld van de leerlingen opgenomen en gerijpt, ook de in het geheugen verankerde kennis blijkt doorgaans verrassend snel weer paraat gemaakt te kunnen worden.

In de natuurkundeperiode in de 7e klas wordt weer het hele scala van fysische verschijnselen onderzocht, maar nu niet meer als een voorzichtig aftasten van het gebied, maar door zich er zelf in te begeven. Het jaarthema in deze klas zijn de ontdekkingsreizen, het binnen de gezichtskring brengen van de verste uithoeken van de wereld door uit te varen en, verouderde visies trotserend en vertrouwend op de eigen overtuiging, met ongelofelijke doorzetting het oosten via het westen te bereiken en daarmee de aarde in zijn bolvorm af te grenzen. In de 7e klas wordt ook de scheikunde geïntroduceerd, waarin de stof karakter krijgt en in zijn verscheidenheid van geaardheden wordt gedifferentieerd. In de handvaardigheidslessen wordt onder andere bewegend speelgoed gemaakt, een eerste doelbewuste toepassing van mechanische krachten. De mechanica is ook het gebied waarmee de natuurkunde in deze klas wordt uitgebreid. Het krachtenspel van katrollen, takels, hefbomen en tandraden wordt niet alleen beschreven, maar ook aan den lijve ervaren. De leerlingen worden uitgedaagd proeven te doen met hijsen, trekken, winden, de principes van de krachtoverbrenging doelbewust te hanteren en evenwichtssituaties te bepalen. Ook kan door het vervaardigen van een camera obscura of een hete luchtballon een natuurverschijnsel tot concreet apparaat worden verdicht. Daarbij blijft de verwondering als benaderingswijze gehandhaafd en wordt tevens de eigen verwoording van de waarnemingen door proefbeschrijvingen geoefend.

De 8e klas vormt de overgang van onderbouw naar bovenbouw. De stormachtige processen die gepaard gaan met de lichamelijke rijping markeren het einde van de kindertijd en de intredende jeugdfase. Innerlijke onzekerheid drukt zich uit in uiterlijke chaos; tegenstrijdige gevoelens vechten om de voorrang: enerzijds verzet tegen de gevestigde orde, anderzijds behoefte aan houvast. Als het kan gaat de klasseleraar uit de onderbouw nog met de klas mee, maar daarnaast doet een toenemend aantal vakleraren uit de bovenbouw zijn intrede. De leerstof speelt in op de situatie: in tal van vakken komen onderwerpen aan bod die "standvastig" zijn, zoals bijvoorbeeld in de biologie het skelet, of bij taal en wiskunde grammatica en algebra, waarvan de regels niet vatbaar zijn voor

menselijke luimen. Maar tevens is er sprake van veel beweging: de diversiteit van de volkeren wordt behandeld, de uitwisseling van produkten over de hele wereld, de verwerking ervan met machines, de ommekeer in die verwerkingsprocessen en in de sociale verhoudingen die de industriële revolutie teweeg heeft gebracht.

In de natuurkunde komen opnieuw akoestiek, optica, warmte, elektriciteit, magnetisme en mechanica, met een accent op hydro- en aërodynamica, aan de orde. Niet in grote lijnen, maar in heel concrete situaties, waarin de mens geconfronteerd wordt met de natuurkrachten van aarde, water, lucht en vuur en die onder controle probeert te krijgen. Door het zelf doen wordt die worsteling voor de leerlingen beleefbaar; biografieën van uitvinders sluiten daarbij aan. Zo kan het beleven van het vacuüm vergezeld gaan met de levensbeschrijving van Otto van Guericke of de ervaring hoe de hoge druk in de ketel de stoommachine in werking zet met de biografie van James Watt. Het zelf oprichten van een waterbarometer van 10 meter hoogte maakt de atmosferische druk van de dampkring tot realiteit, de "schokkende" ervaring van een elektriseermachine het op- en ontladen van voorwerpen beleefbaar. Naast het onderzoeken van de verschijnselen is er nu dus een sterke gerichtheid op het benutten en beheersen van de krachten in technische toepassingen: de sirene, de bril, de camera, de luchtballon, de batterij, de telegraaf, de elektromotor, de hydraulische pers kunnen als voorbeelden daarvan ten tonele gevoerd worden.

Belangrijk is dat de lesstof van de 8e klas een goede afsluiting vormt van de eerste drie leerjaren waarin de natuurkunde gegeven wordt. De lessituatie in al deze drie onderbouwklassen wordt gekenmerkt door een belevend vertellen, door het oproepen van verwondering bij het aanschouwen van de verschijnselen en door een activeren van de wil in het beschrijvend en tekenend weergeven van de uitgevoerde proeven. Daarbij wordt van jaar tot jaar een stap dieper in de materie gezet en de confrontatie ermee steeds existentiëler. Als geheel blijft primair het aanspreken van de gemoedskrachten door een sterk kwalitatieve benaderingswijze, teneinde het rijpende astrale lichaam tot instrument van een rijk zieleleven te vormen.

In de 9e klas, de leerlingen worden in de loop van dit schooljaar 15 jaar, komen ook de laatsten definitief in hun puberteit. Het bewustzijn van de scheiding tussen de eigen individualiteit en de ander is nu pijnlijk scherp: "Jullie weten ook niet wie ik ben, jullie begrijpen me niet." De puber begrijpt zichzelf niet en tracht zijn zelfbeeld te ontlenen aan de spiegeling van zijn medeleerlingen. Extremer nog dan in het jaar daarvoor wordt gekozen voor zelfbescherming door introvertie of juist een over-

trokken zich manifesteren. Beide zijn een uiting van de behoefte aan duidelijkheid, aan opheldering van de eigen levenssituatie. De wil tot werkelijk doorzien van de dingen en tot het vormen van een zelfstandig oordeel breekt baan.

Met het ingaan van deze nieuwe levensfase van de leerlingen, hun derde zevenjaarsperiode, wordt in het onderwijs het accent verlegd van het beeldend-kwalitatieve naar het wetenschappelijk-exacte. Beeldenrijkdom wordt opgevolgd door heldere denk- en begripsinhouden. De cognitieve ontwikkeling is nu zover, dat de analyse van gecompliceerdere problemen aangepakt en de stap van verschijnselen naar begrippen bewust gemaakt kan worden. Daaraan wordt het redeneringsvermogen getoetst en verder ontwikkeld en de basis gelegd voor een zelfstandig oordeelsvermogen. De hele stijl van lesgeven verandert: niet alleen wordt de eigen inbreng van de leerlingen gestimuleerd en de maatschappelijke relevantie van de behandelde thema's meer expliciet, ook de onderlinge verhoudingen wijzigen principieel, doordat niet langer de klasseleraar de spil van alles is, maar de leerlingen te maken krijgen met een veelheid van vakleraren, ieder met zijn specifieke aard en kundigheid, waartoe heel diverse betrekkingen mogelijk zijn. Het sociale veld wordt veelkleuriger en appelleert sterker aan het bewustzijn en de eigen keuze; daarbij kan de heterogeniteit van de klas als groep benut worden om sociale vaardigheden te oefenen.

De veranderde situatie leidt ertoe in de 9e klas niet meer het hele natuurkundige veld integraal te behandelen, maar de keuze te beperken tot enkele onderdelen en daar nu dieper op in te gaan. Criteria om die keuze te bepalen zijn: de mogelijkheid om aan de hand van waarnemingsreeksen tot begripsvorming te komen, de mogelijkheid om ontdekte wetmatigheden in eenvoudige formules kwantitatief vast te leggen, de aansluiting bij de eigen zielegesteldheid van de leerlingen. De thema's warmte en elektriciteit blijken hieraan goed te voldoen. Ze bergen enerzijds een vorm van polariteit in zich, die objectief een beeld geeft van de in het ontwakende astrale lichaam beleefde spanning tussen begeerten en idealen. Aan de andere kant bieden deze thema's heel wat ruimte voor verwerking in praktische technische toepassingen (hogedrukpan, geiser, koelkast, turbine, verbrandingsmotor, telefoon, dynamo, transformator, bobine) en kunnen de relatief eenvoudige verbanden van de gaswetten en de Wet van Ohm via begrippen als druk, volume, spanning en weerstand uit de beschikbare fenomenen worden afgeleid. Voor een goede opbouw van de periode is een tijdsduur van vier weken wenselijk, waarvan in de regel de eerste drie weken meer uitvoerig aan de warmteleer en de vierde week aan de beginselen van de elektriciteitsleer worden besteed.

Ook in de volgende bovenbouwklassen blijft het principe gehandhaafd, dat in elke natuurkundeperiode een bepaald gebied verder wordt uitgediept. In de 10e klas, waarin de heftige woelingen van de puberteitsinslag wat tot bedaren komen en het zelfgevoel van de leerlingen weer enige stabiliteit begint te krijgen, geeft nader onderzoek van het gebied van de mechanica de gelegenheid de natuurverschijnselen nog verder voor het exacte denken doorzichtig te maken en in wiskundige vorm te beschrijven. Het principe van de causaliteit brengt de begripsvorming op een hoger abstractie-niveau en levert een verdere ordening in de ervaringswereld; het feit dat de natuurlijke realiteit spoort met de wetmatigheden van de wiskunde verbaast en bevredigt tegelijkertijd. De beheersing van de materie door het denken geeft steun aan het zelfbewustzijn.

In de 10e klas-periode staan daarom kinematica, statica en dynamica op het programma, enerzijds uit te werken in de trillingsleer en de akoestiek, anderzijds in de aansluitende onderwerpen van vermogen, arbeid, energie. Ook kan de bewegingsleer in samenhang met de astronomie worden behandeld. Waar zinvol worden toepassingen in de behandeling betrokken.

Zoals de klassen 6, 7 en 8 wat de aanpak van het natuurkunde-onderwijs betreft een bepaalde samenhang vertonen, - alle onderwerpen komen aan bod, de presentatie is gericht op een belevend kennismaken door waarnemen, verwonderen en beschrijven - zo laten ook de klassen 9 en 10 een gemeenschappelijke kenmerkende benadering zien: door middel van het exacte denken worden de losse waarnemingen tot begrippen samengevat en de technologie vormt een belangrijk aspect. In de klassen 11 en 12 wordt een nieuwe stap gezet: de onderzoeksmethode als zodanig komt naar voren en wordt deel van de beschouwing, die daarmee een kritisch-filosofisch element krijgt. Niet alleen gaat het er meer om de verschijnselen in logische verbanden te plaatsen en zo de wetten op het spoor te komen waaraan ze gehoorzamen, ook de wisselwerking tussen waarnemen en denken, de invloed van de proefopstelling op de resultaten, het hanteren van denkmodellen enerzijds en de fenomenologie anderzijds, het zoeken naar de gestiek van de natuurfenomenen en naar hun wezen krijgen gewicht en brengen de natuurkunde op een diepere laag. Dit in overeenstemming met de verdieping die het zieleleven in deze jaren ondergaat, waarin het nog beschermde maar rijpende ik van de leerling zich met innerlijke ernst en sociale bewogenheid met wereld en medemens verbindt.

De thema's die zich voor een dergelijke behandeling goed lenen zijn elektromagnetisme, kernfysica en de licht- en kleurenleer. De eerste twee worden gewoonlijk in de 11e klas behandeld, de laatste in de 12e

klas. Bij de beschouwing van de elektromagnetische verschijnselen in klas 11 kan aangeknoopt worden bij wat daar in de 9e klas reeds aan grondslagen voor is gelegd. Met een korte herhaling van een aantal proeven kunnen de basisbegrippen van spanning, weerstand en ontlading worden geactualiseerd en uitgebreid met het veldbegrip. De elektrodynamica in vaste geleiders kan uitgebreid worden met die in vloeistoffen en gassen, waarbij de elektrolyse (kan ook bij de scheikunde behandeld worden) en de verschijnselen in de gasontladingsbuis binnen de gezichtskring komen. De stap naar de radio-actieve straling ligt dan in het verlengde; de vraag naar het wezen van de materie en naar de samenhang tussen materie en straling vloeit daar weer als vanzelf uit voort. De verschillende wegen die de moderne fysica tracht te gaan om op deze vraag een antwoord te vinden kunnen, inclusief hun perspectieven en hun beperkingen, met de leerlingen besproken worden.

De 12e klas, het afsluitende leerjaar van de Vrije School, staat voor een belangrijk deel in het teken van de grote overzichten en samenhangen. Of dat nu in de geschiedenis, de literatuur of de wetenschap is, overall, in elk vak zijn aangrijpingspunten te vinden om het specifieke onderwerp dat behandeld wordt in groter verband te plaatsen. Zo kunnen in de natuurkunde in samenhang met de behandeling van de lichtverschijnselen de historische gang van de natuurwetenschap, de wetenschapsfilosofie of meer in het bijzonder de opvattingen van Huygens, Newton en Goethe ten aanzien van de kleurfenomenen naar voren komen. Kleurenleer, beeldvorming bij prisma's, lenzen en spiegels, spectroscopie, buiging, interferentie en polarisatie vormen thema's van de periode, eventueel aangevuld met toepassingsgebieden als verlichtingstechniek en fotografie. Ook kan teruggekomen worden op de problematiek van materie en straling en getracht worden het wezen van licht en duisternis nader te komen.

Met de 12e klas-periode vindt het natuurkundeleerplan van de Vrije School zijn afronding. Van de eerste kennismaking met dit gebied in de 6e klas tot aan de vragen naar de essentie van de ons omringende natuurverschijnselen voert de weg die in het voorafgaande in grote trekken is beschreven. Die weg begint met een onbevangen, zuiver kwalitatieve waarneming van de verschijnselen, dringt stapsgewijs steeds dieper door in de beheersing ervan, enerzijds door kwantificering, anderzijds door toepassing, om uit te komen op een nieuwe, nu vanuit het denken ondernomen poging de fysieke wereld in zijn kwaliteiten te doorgronden. Steeds staat daarbij de pedagogische doelstelling voorop: de opgroeiende mens door de aangeboden leerstof in zijn ontwikkeling naar de volwassenheid, naar een gezond, geïnteresseerd en geëngageerd in het leven staan te stimuleren. Tegelijkertijd wordt een heleboel geleerd dat later nog prak-



tisch nut kan opleveren of als algemene kennis meegenomen wordt in het leven.

Om dat kenniselement nog in die zin toe te spitsen, dat het voldoet aan gestelde exameneisen, wordt aan de meeste Vrije Scholen na de 12e klas de gelegenheid gegeven aan de leerlingen die dat willen en kunnen zich in een jaar voor te bereiden op het examen havo of vwo. Voor het vak natuurkunde blijkt die termijn te kort te zijn en is het noodzakelijk reeds gedurende de 11e en 12e klas daar in aparte vakuren voorwerk voor te verrichten. Het streven is er daarbij steeds op gericht de in die voorbereidende examentraining aangesneden onderwerpen pas te behandelen nadat ze in de periodes natuurkunde geïntroduceerd zijn.

In het onderstaande overzicht is het leerplan natuurkunde van de Vrije School in de meest gecompriëerde vorm samengevat.

Klas	Onderwerpen	Methodische kenmerken
6	geluid, licht, warmte, magnetisme, elektriciteit	- beeldend, vertellend
7	idem als in 6 + mechanica	- verwondering wekkend
8	idem als in 7 met accent op hydro- en aërodynamica	- de verschijnselen waarnemend en beschrijvend
9	warmte, elektromagnetisme	- kwalitatief gericht
10	kinematica, statica, dynamica	- verbinding door eigen ervaringen en biografieën van uitvinders
11	elektriciteitsleer, radio-activiteit, kernfysica	- analyserend
12	licht- en kleurenleer	- door (causale) verbanden begrippen vormend
		- toepassingen in technologie
		- de methode als zodanig komt naar voren
		- kritisch-filosofisch
		- zoekend naar het wezenlijke van de natuurverschijnselen

Een nadere, nog schematische specificatie per klas is op de volgende bladzijden gegeven.

**Klas 6 tot en met 8**

	6e klas	7e klas	8e klas
klankleer akoestiek	sferenharmonie orkest instrumenten toonladder intervallen	de stemvork toon beweging, vibratie	resonantie snelheid van luchtvibraties (Kundt) gaatjes-sirene het luchtledige
licht	licht - donker kleuren kleurencirkel	spiegelbeeld schaduwbeeld beeldvorming (camera obscura, camera lucida)	beeldvorming (camera obscura) spiegels (hol, bol) lenzen (hol, bol) brandpunt bril
warmte	zon - aarde mens - natuur atmosfeer straling warmte uitbreiding koken	waarnemen van warmte eigen warmte- organisme uitzetting	uitzetting van . lucht . water . stalen stang (Tyndal) vlam (kaars, brander) stromingen in lucht en in water hete luchtballon kaarsencarroussel dansende waterdruppel

	6e klas	7e klas	8e klas
elektricititeit	elektrisch veld 'de wil om te verdwijnen'	elektrisch gesloten kring 'verzet' (weerstand) chemische activiteit spanning	elektrostatische kracht batterij (elektricititeit door chemisch proces) telegraaf meetinstrument (magnetische kracht) elektromotor
magnetisme	aardmagnetisme kompas magnetiet veldbeeld van enkele magneet	een magneet breken veldbeelden van meerdere magneten	korte herhaling 6/7 gestiek van een magnetisch veld
mechanica		balans krachten katrol, takels mechanismen	aërodynamica <ul style="list-style-type: none"> <li>. atmosferische druk</li> <li>. vacuüm, overdruk</li> <li>. zuigpomp</li> <li>. Torricelli</li> <li>. venturi, vleugel</li> <li>. het weer</li> </ul> hydrodynamica <ul style="list-style-type: none"> <li>. Archimedes</li> <li>. druk en waterdiepte</li> <li>. gesloten systemen, pers</li> <li>. stroming, oppervlakte, druppel</li> </ul>

## Klas 9

### 1. Warmte

- het verbrandingsproces
- vier warmtefenomenen
  - . warmteverbondenheid
  - . warmtestraling
  - . uitzetting
  - . warmtegeleiding/stroming
- aggregatietoestanden/faseovergangen
  - . eigenschappen van gasen, vloeistoffen en vaste stoffen
  - . drukafhankelijkheid van kook- en smeltpunt
  - . gaswetten
  - . absolute temperatuur
  - . kritische druk en temperatuur
- technische toepassingen
  - . pot van Papin, hogedrukpan
  - . stoommachine, turbine
  - . verbrandingsmotor
  - . koelkast, geiser, cv

### 2. Elektriciteit

- de gesloten elektrische kring
  - . spanning, warmte, magnetisme
  - . wet van Ohm
- inductie
- technische toepassingen
  - . luidspreker, microfoon, telefoon
  - . dynamo, transformator, bobine
  - . elektriciteitscentrale

## Klas 10

### 1. Bewegingsleer

- eenparige beweging
- versnelde beweging
  - . vrije val
  - . kogelbaan
- harmonische beweging
  - . slinger
  - . trillingen
  - . geluid
- cirkelbeweging
  - . overbrengingen
  - . omtreksnelheid

### 2. Statica

- momentenstelling
- krachten samenstellen en ontbinden
- bruggen, kranen, overspanningen

### 3. Dynamica

- vermogen
- arbeid
- energie
- begrip massa
- rotatie

## Klas 11

1. Elektriciteit/magnetisme
  - statische elektriciteit
    - . veldbegrip
    - . vonken
    - . zender
  - dynamische elektriciteit
    - . motor
    - . dynamo
    - . transformator
    - . LC-kring, zender
  - elektriciteit in vloeistoffen
    - . elektrolyse
  - elektriciteit in gassen
    - . oscilloscoop, televisie
    - . radiobuis, tl-verlichting
2. Radio-activiteit
  - natuurlijke radio-activiteit
    - . aards, atmosferisch
    - .  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -straling
  - kunstmatige radio-activiteit
    - . isotopen
  - technische toepassingen
    - . kerncentrale
    - . kernwapens
    - . medische apparatuur
  - maatschappelijke betekenis
3. Wetenschapsmethodiek

## Klas 12

1. Optica en kleurenleer
  - beeldvorming
    - . schaduw
    - . spiegels
    - . lenzen
    - . prisma
  - kleurenleer
    - . hemelkleuren
    - . prismatische kleuren
    - . Goethe- en Newtonkleuren
    - . nabeelden
    - . kleurencirkel
  - spectroscopie
  - buiging
    - . interferentie
  - polarisatie
  - lampen
    - . tl
    - . natriumlamp
    - . laser
  - fotografie, kleuren-t.v.
2. Wetenschapsfilosofie
  - Locke, Hume, Berkeley
  - Huygens, Newton, Goethe