

# LEERPLAN

## FYSICA

(algemeen vak - lestijd: 1, 1.5 of 2 uur per week)

Secundair Onderwijs - IIIde graad - Studierichting Rudolf Steinerpedagogie

ingediend door: Federatie van Rudolf Steinerscholen in Vlaanderen vzw  
lid van de European Council for Steiner Waldorf Education  
p/a Kasteellaan 54  
9000 Gent  
09/233 04 06

datum: 28 februari 2005

# Inhoud

1. Beginsituatie.....	3
2. Doelstellingen .....	4
2.1. Inleiding .....	4
2.2. Leerplandoelstellingen .....	5
2.2.1. Algemene doelstellingen.....	5
2.2.1.1. Onderzoekend leren.....	5
2.2.1.2. Wetenschap en samenleving .....	5
2.2.2. Elektriciteit, magnetisme en elektromagnetisme .....	7
2.2.3. Optica en kleurenleer .....	8
2.2.4. Straling en radio-activiteit.....	8
2.2.5. Kwantummechanica (enkel voor de b-variant) .....	8
3. Leerinhouden.....	9
3.1. Periodieke verschijnselen.....	9
3.2. De elektriciteitsleer .....	9
3.2.1. Het elektrisch veld.....	9
3.2.2. Het magnetisch veld .....	10
3.2.3. Het elektromagnetisch veld.....	10
3.3. Optica en kleurenleer .....	10
3.3.1. Beeldvorming .....	10
3.3.2. Kleurenleer .....	10
3.3.3. Optica .....	10
3.4. Moderne natuurkunde van de twintigste eeuw.....	11
3.4.1. Ioniserende straling .....	11
3.4.1.1. Gasontladingsverschijnselen .....	11
3.4.1.2. Ioniserende stralingen .....	11
3.4.1.3. Kernsplijting en kernfusie .....	11
3.4.2. Kwantummechanica (enkel voor de b-variant) .....	12
4. Minimale materiële vereisten.....	13
5. Evaluatie.....	14
6. Methodologische wenken.....	14
6.1. Methodologie .....	14
6.2. Fenomenologische visie op wetenschappelijke proeven.....	15
7. Bibliografie.....	16
7.1. Elektriciteit .....	16
7.2. Optica.....	16
7.3. Moderne natuurkunde: radioactiviteit en quantummechanica .....	16
7.4. Websites .....	17

# 1. Beginsituatie

Wat zich op het einde van de tweede graad reeds aankondigde, voltrekt zich in de levensfase van de derde graad volop. In het eerste jaar van de derde graad komen de jongeren uit de diepte van de puberteit, wat zich in een nieuwe zielenstemming weerspiegelt. Er ontwikkelt zich een nieuw innerlijk evenwicht, gekenmerkt door een zich ontplooiend sociaal oordeelsvermogen. In de loop van dit eerste jaar komen antipathieën en sympathieën tot een evenwicht, heftige en scherpe kantjes worden afgerond, er wordt getracht een verbinding tussen innerlijk en uiterlijk tot stand te brengen.

Voor het eerst duiken ook grote levensvragen op zoals: ‘Waarom zijn wij hier op deze wereld?’ ‘Wat is mijn plaats in deze wereld?’ Het stellen van de juiste vraag is een thema dat uitgebreid in de Parcivalperiode (zie het leerplan Nederlands) aan bod komt, wat ondersteunend werkt op de ontwikkeling van de jonge adolescent.

Het denkbaar dat in deze levensfase wordt ontwikkeld, is het denken in levende begrippen. Voor het eerst wordt een gesprek over begrippen mogelijk. In de projectieve geometrie komen de begrippen punt op oneindig, rechte op oneindig, dualiteit of polariteit en dergelijke aan de orde (zie het leerplan wiskunde). Ook in de fysica wordt de nadruk gelegd op polariteiten: positieve en negatieve ladingen, magnetische polen – en op een zorgvuldige begripsontwikkeling: lading, stroom, veld.

In de eerste graad kwamen in het vak Technologische Opvoeding nog alle onderwerpen aan bod: licht, geluid, warmte, elektriciteit, mechanica, vloeistoffen en gassen. Het onderwijs was vooral gericht op een belevend kennismaken door waarnemen, verwonderen, beschrijven. Bovendien werd aandacht besteed aan dagdagelijkse toepassingen zoals katrollen, takels, camera obscura, warme-luchtballon en elektromotoren en deze werden al doende begrepen.

In de tweede graad werden in het vak fysica de eigen nauwkeurige waarneming en verwoording door proefbeschrijvingen verder geoefend. Door het exacte denken aan te spreken werden de losse waarnemingen tot begrippen samengevat. Ook hier werd aandacht geschonken aan allerlei technologische toepassingen van de warmteleer en de mechanica.

Wanneer de leerlingen in de derde graad komen, zijn zij min of meer vertrouwd met een onbevooroordeelde wijze van waarnemen. Tevens hebben zij reeds voldoende kennis gemaakt met een nauwkeurige manier van begripsvorming. Vooral voor het eerste jaar van de derde graad moeten de leerlingen begrippen zoals warmte, energie en vermogen bezitten en kunnen hanteren. In de Rudolf Steinerscholen is het de bedoeling dat de leerlingen via het vak fysica een algemene visie krijgen op de wereld van de fysische fenomenen, zo mogelijk met behoud van een respectvolle verbinding met de levende werkelijkheid.

## 2. Doelstellingen

### 2.1. Inleiding

Ook in de derde graad van het secundair onderwijs in de Rudolf Steinerscholen wordt ernaar gestreefd de ontwikkelingen in de desbetreffende leeftijdsfase te ondersteunen. In het vak fysica kan dat als volgt gebeuren:

- methodisch zoeken naar de gestiek van de natuurfenomenen;
- hantering van de fenomenologische methode;
- opbouw van de begrippen uit de fenomenen zelf;
- relaties en samenhangen in de uiterlijk zintuiglijke wereld met het denkend bewustzijn doordringen;
- inzien dat het mogelijk is om een spiritueel en moreel wereldbeeld te verenigen met de inzichten van de natuurkunde.

Het vak fysica in de derde graad is erop gericht dat de leerlingen:

- een fenomeen kunnen waarnemen en dit nauwkeurig beschrijven – waarnemingsvelden moeten zo zuiver mogelijk onder woorden worden gebracht en alle subjectieve gevoelens en vooroordelen moeten in deze fase terzijde gehouden worden;
- andere proefopstellingen kunnen vinden waar het fenomeen zich op andere wijze uitspreekt;
- het 'oerfenomeen' kunnen vinden, het 'gebaar' dat alle fenomenen doortrekt, en daarmee de verschijnselen kunnen ordenen;
- andere verschijnselen in relatie kunnen brengen met het waargenomen fenomeen;
- de 'kwaliteit' van de onderzochte natuurkracht kunnen herkennen (kwaliteit = karakter = het wezen = de dynamiek van de natuurkracht).

Hypothetische, modelmatige gedachteconstructies volstaan niet om door te dringen in de werkelijke krachten van de wereld. Het gevaar hiervan is namelijk dat de verbondenheid van de mens met de wereld verloren gaat. De fenomenologische methode biedt een methodische weg om de eenheid mens en wereld tot in de diepten van ziel en geest te vinden. Het exacte, onbevooroordeelde waarnemen en voorstellen, naast het intuïtieve denken, kunnen door een voortdurende scholing op een niveau gebracht worden dat uitstijgt boven het geschoolde verstandelijke bewustzijn.

Het hoofdthema van de fysica in het eerste jaar van de derde graad van de Steinerpedagogie zijn de velden. Door een veelheid aan proeven komen de leerlingen dichter bij het wezenlijke van op zich onzichtbare elektrische en magnetische velden en hun eigenschappen en toepassingen. Dit beschouwen we als voorbereiding op de moeilijker te vatten en niet voor te stellen elektromagnetische velden en golven in het elektromagnetisch spectrum.

Parallel worden het atoommodel van Bohr en de tabel van Mendeljev aangebracht in de lessen chemie. Hiermee zijn de leerlingen klaar om de verschillende modellen diepgaander te leren kennen en te relativiseren. Een ideaal thema hiervoor is de optica, het hoofdthema in het tweede jaar van de derde graad van de Steinerpedagogie. Het licht wordt er bestudeerd vanuit verschillende benaderingen:

- zuiver fenomenologisch

- vanuit het stralenmodel
- vanuit het deeltjesmodel (fotonen)
- vanuit het golfmodel (EMG)

Een belangrijke doelstelling is dat de leerlingen beseffen met welke modellen ze een optisch verschijnsel kunnen benaderen en dat één model op zich geen absoluut waarheidskarakter heeft.

## **2.2. Leerplandoelstellingen**

In de doelstellingen en leerinhouden wordt een a-variant en een b-variant onderscheiden. De a-variant is voor de scholen die 1 of 1.5 uur fysica per week inrichten. De b-variant bevat de bijkomende doelstellingen en leerinhouden voor de scholen die 2 uur fysica per week inrichten. De doelstellingen uit de b-variant gelden tevens als uitbreidingsdoelstellingen voor de a-variant. Het is aanbevolen dat scholen die in de tweede graad voor de a-variant, resp. b-variant hebben gekozen, deze keuze in de derde graad doorzetten.

### **2.2.1. Algemene doelstellingen**

#### *2.2.1.1. Onderzoekend leren*

De leerlingen

1. kunnen een fenomeen waarnemen en dit nauwkeurig beschrijven – waarnemingsvelden moeten zo zuiver mogelijk onder woorden worden gebracht en alle subjectieve gevoelens en vooroordelen moeten in deze fase terzijde gehouden worden; (Gem. ET 1)
2. kunnen andere proefopstellingen vinden waar het fenomeen zich op gelijke of andere wijze uitsprekt; (Gem. ET 2)
3. kunnen het ‘oerfenomeen’ vinden, het ‘gebaar’ dat alle fenomenen doortrekt, en daarmee de verschijnselen ordenen; (Gem. ET 3)
4. kunnen andere verschijnselen in relatie brengen met het waargenomen fenomeen; (Gem. ET 4)
5. kunnen een onderscheid maken tussen feiten, meningen, vermoeden, modellen en hypothesen; (Gem. ET 5)
6. kunnen de ‘kwaliteit’ van de onderzochte natuurkracht herkennen (kwaliteit = karakter = het wezen = de dynamiek van de natuurkracht); (Gem. ET 6)
7. kunnen een proefverslag maken aan de hand van waarnemingen en kunnen dit schematiseren, bijvoorbeeld volgens het stramien opstelling, werkwijze, waarneming, evt. meting, tabel en grafiek, besluit en evt. verklaring; (Gem. ET 7)
8. kunnen met voorbeelden verduidelijken dat nieuwe theorieën vaak slechts na vele jaren doorgang vinden in een gevestigd wetenschappelijk kader, en dat eeuwenlang aanvaarde wetenschappelijke hypothesen in het verleden meer dan eens onvolledig bleken te zijn; (Gem. ET 8)
9. leren dat ook in de niet-materiële wereld met grote precisie wetmatigheden kunnen worden ontdekt en geformuleerd;\* (Gem. ET 9)
10. kunnen studie- en beroepsmogelijkheden i.v.m. wetenschappen opnoemen en er enkele algemene kenmerken van aangeven. (Gem. ET 10)

#### *2.2.1.2. Wetenschap en samenleving*

De leerlingen kunnen met betrekking tot vakinhouden van de vakspecifieke eindtermen van het vak fysica:

11. voorbeelden geven van mijlpalen in de historische en conceptuele ontwikkeling van de fysica en ze in een tijds kader plaatsen; (Gem. ET 11)
12. de wisselwerking tussen de fysica, de technologische ontwikkeling en de leefomstandigheden van de mens met een voorbeeld illustreren; (Gem. ET 13)
13. een voorbeeld geven van positieve en nadelige (neven)effecten van fysische toepassingen; (Gem. ET 14)
14. met een voorbeeld sociale en ecologische gevolgen van fysische toepassingen illustreren; (Gem. ET 15)
15. met een voorbeeld illustreren dat economische en ecologische belangen de ontwikkeling van de fysica kunnen richten, bevorderen of vertragen; (Gem. ET 16)
16. met een voorbeeld de ethische dimensie van fysica illustreren. (Gem. ET 19)

De leerlingen kunnen

20. grootheden uit onderstaande tabel (ET 1)

- benoemen;
- de eenheid ervan aangeven;
- definiëren in woorden en met behulp van de formule de eenheid aangeven;
- het verband leggen tussen deze eenheid en de basiseenheden uit het SI-eenhedenstelsel;
- de formule toepassen;

<b>Grootheid</b>	<b>Symbol</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Formule</b>
Versnelling bij E.V.R.B.	$a$	m/s <sup>2</sup>	$a = dv/dt$
Snelheid bij E.C.B.	$v$	m/s	$v = 2\pi r/T$
Periode	$T$	s	
Frequentie	$f$	Hz	$f = 1/T$
Hoeksnelheid bij E.C.B.	$\omega$	rad/s	$\omega = 2\pi/T$
Centripetaalversnelling	$a$	m/s <sup>2</sup>	$a = v^2/r$
Neutronental	$N$		
Atoomnummer	$Z$		
Massagetal	$A$		$A = Z + N$
Lading	$Q$	C	
Halveringstijd	$T_{1/2}$	s	

Stralingsactiviteit	$A$	Bq	
Magnetische inductie	$B$	T	
Golflengte	$\lambda$	m	$\lambda = vT$
Golfsnelheid	$v$	m/s	$V = lf$
Elektrische spanning	$U$	V	$U = R.I$
Elektrische stroomsterkte	$I$	A	$I = dQ/dt$
Ohmse weerstand	$R$	$\Omega$	$R = U/I$
Vermogen bij ohmse weerstand	$P$	W	$P = U I$

21. in concrete toepassingen de grootteorde van fysische grootheden aangeven; (ET 2)
22. aangeven met welk meetinstrument elektrische spanning en stroomsterkte gemeten kunnen worden; (Gem. ET 3)
23. fysische informatie in gedrukte bronnen en langs elektronische weg systematisch opzoeken en weergeven in grafieken, diagrammen of tabellen, desgevallend met behulp van ICT; (ET 4)
24. het belang van fysische kennis in verschillende opleidingen en beroepen illustreren. (ET 5)

### ***2.2.2. Elektriciteit, magnetisme en elektromagnetisme***

De leerlingen

25. kunnen het algemeen veldbegrip hanteren; (ET 6)
26. kunnen het elektrisch veld karakteriseren; (ET 7)
27. kunnen het influentieverschijnsel karakteriseren; (ET 8)
28. kunnen de werking en de eigenschappen van een condensator beschrijven, gebruik makend van het begrip lading; (ET 9)
29. kunnen het magnetisch veld karakteriseren; (ET 10)
30. kunnen magnetische inductie en zelfinductie beschrijven; (ET 11)
31. kunnen gebruik maken van magnetische inductie om de werking van een transformator te beschrijven; (ET 12)
32. kunnen toepassingen van magnetische inductie in hoogstroom- en hoogspannings-transformatoren beschrijven; (ET 13)
33. kunnen de combinatie van elektrisch en magnetisch veld karakteriseren; (ET 14)
34. kunnen het gedrag van een condensator en een solenoïde onder gelijkspanning of onder wisselspanning beschrijven, alsook de bijhorende ladingsbewegingen; (ET 15)
35. hebben aandacht voor de gevaren van hoogspanning, elektromagnetische golven en stralingen;\* (ET 16)
36. hebben aandacht voor de veelheid aan verschijnselen die met elektrische fenomenen samenhangen;\* (ET 17)
37. hebben aandacht voor het feit dat wij ingebed zijn in een elektromagnetisch veld dat ons op

allerlei wijzen omringt;\* (ET 18)

38. hebben aandacht voor de technische ontwikkelingen die zijn voortgevloeid uit de kennis van de elektrische fenomenen.\* (ET 19)

### **2.2.3. Optica en kleurenleer**

De leerlingen

39. kunnen de fenomenen bij schaduwvorming, terugkaatsing en breking van het licht doorgronden; (ET 20)

40. kunnen de kleurenleer van Newton karakteriseren met behulp van het deeltjesmodel; (ET 21)

41. kunnen de kleurenleer van Goethe karakteriseren en deze met die van Newton vergelijken; (ET 22)

42. kunnen fysische, fysiologische en chemische kleuren van elkaar onderscheiden in eenvoudige proeven; (ET 23)

43. kunnen beschrijven wanneer het fenomeen van gekleurde schaduwen optreedt; (ET 24)

44. hebben aandacht voor het feit dat duisternis een even reëel begrip is als licht en dat beide moeten samenwerken opdat kleur zou ontstaan;\* (ET 25)

45. kunnen brekingsverschijnselen in het licht begrijpen door het verschuivingsprincipe van Goethe en door het stralenmodel; (ET 26)

46. kunnen met behulp van het golfmodel interferentie en breking van het licht beschrijven; (ET 27)

47. kunnen het dualiteitsprincipe van licht beschrijven; (ET 28)

48. kunnen de spectrumanalyse in de spectroscopie op eenvoudige wijze beschrijven; (ET 29)

49. kunnen het waarheidsgehalte van het modellen denken relativeren en plaatsen; (ET 30)

50. leren ervaren dat kleuren zeer bepaalde werkingen hebben op het innerlijke van de mens.\* (ET 31)

### **2.2.4. Straling en radio-activiteit**

De leerlingen kunnen

51. de oorsprong en enkele toepassingen van natuurlijke en kunstmatig opgewekte ioniserende straling beschrijven; (ET 32)

52.  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -straling van elkaar onderscheiden op basis van hun eigenschappen (aard, lading, energie); (ET 33)

53. het vervalproces waarbij  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -straling uit een radionuclide wordt gevormd beschrijven en dit proces karakteriseren met behulp van de halveringstijd. (ET 34)

### **2.2.5. Kwantummechanica (enkel voor de b-variant)**

De leerlingen kennen

54. het deeltjesmodel van Newton en de fenomenen die door dit model verklaard kunnen worden;

55. de interferentieproef van Young en de verklaring ervan door het golfmodel;

56. het quantumkarakter van licht door de proef van Young met extreem zwakke lichtbron, waarbij het interferentiepatroon zich opbouwt uit lokale registraties;

57. de probabilistische interpretatie van de golf volgens Born;

58. een illustratie van het onzekerheidsbeginsel.

## 3. Leerinhouden

In de doelstellingen en leerinhouden wordt een a-variant en een b-variant onderscheiden. De a-variant is voor de scholen die 1 of 1.5 uur fysica per week inrichten. De b-variant bevat de bijkomende doelstellingen en leerinhouden voor de scholen die 2 uur fysica per week inrichten. De hoofdstukken waarin geen a- of b-variant worden aangegeven gelden voor beide varianten. De leerinhouden uit de b-variant gelden tevens als facultatieve leerstof voor de a-variant.

Er worden minstens 4 proeven door de leerlingen uitgevoerd. Groepen van 2 tot 4 leerlingen worden aanbevolen. Bij optica en kleurenleer kunnen de leerlingen, in vele gevallen, zelfs individueel de proeven uitvoeren.

### 3.1. Periodieke verschijnselen

- het begrip trilling
- lopende golf: (eventueel leerlingenproeven)
  - ontstaan
  - verklaring
  - eigenschappen
    - terugkaatsing
    - breking
    - interferentie
- staande golf (eventueel leerlingenproeven)
  - ontstaan
  - verklaring
  - proef van Melde
- het geluid als golfverschijnsel

### 3.2. De elektriciteitsleer

#### 3.2.1. *Het elektrisch veld*

- het begrip spanning
- krachtwerkingen (eventueel leerlingenproeven)
- het elektrisch veld (eventueel leerlingenproeven)
- het begrip lading (eventueel leerlingenproeven)
- het begrip elektrische stroom
- influentieverschijnselen – de condensator

### **3.2.2. *Het magnetisch veld***

(eventueel leerlingenproeven)

- permanente magneten
- stroomvoerende geleiders
- krachtwerkingen
- het magnetisch veld van de aarde
- inductie- en zelfinductieverschijnselen
- de transformator
- hoogstroom- en hoogspanningstransformatoren en enkele toepassingen

### **3.2.3. *Het elektromagnetisch veld***

(eventueel leerlingenproeven)

- gedrag van een condensator en een solenoïde onder gelijkspanning of onder wisselspanning
- zelfinductie
- de gedempte trillingskring
- elektromagnetische golven en het elektromagnetisch spectrum
  - bespreking
  - historische en conceptuele ontwikkeling
    - eventueel:
      - zenders en ontvangers – A.M. en F.M.
      - halfgeleiders: de diode, de transistor

## **3.3. Optica en kleurenleer**

### **3.3.1. *Beeldvorming***

(eventueel leerlingenproeven)

- schaduw
- spiegels
- prisma
- lenzen

### **3.3.2. *Kleurenleer***

(eventueel leerlingenproeven)

- het onderscheid tussen fysische, fysiologische en chemische kleuren
- prismatische kleuren
- Goethe- en Newtonkleuren
- nabeelden
- kleurencirkel
- gekleurde schaduwen

### **3.3.3. *Optica***

- stralenmodel, golfmodel en deeltjesmodel

- brekingsverschijnselen in het licht (eventueel leerlingenproeven)
- buiging en interferentie (eventueel leerlingenproeven)
- polarisatie (eventueel leerlingenproeven)
- dualiteitsprincipe van het licht
- spectroscopie (eventueel leerlingenproeven)
- laser (wisselwerking tussen technologische ontwikkeling en leefomstandigheden van de mens)
- waarheidsgehalte modeldenken relativiseren
- eventueel:
  - lampen: TL-buis, natriumlamp, kwiklamp
  - fotografie
  - kleuren-TV

### **3.4. Moderne natuurkunde van de twintigste eeuw**

De leraar kiest één optie om uit te werken, afhankelijk van eigen inzichten en van de klasgroep. Daarbij worden de volgende doelstellingen gerealiseerd:

- een voorbeeld geven van positieve en nadelige (neven)effecten van fysische toepassingen (bv. kerncentrales, ...)
- met een voorbeeld sociale en ecologische gevolgen van fysische toepassingen illustreren (bv. verwerking kernafval, kerncatastrofes zoals Tsjernobil, ...)
- met een voorbeeld illustreren dat economische en ecologische belangen de ontwikkeling van de fysica kunnen richten, bevorderen of vertragen (bv. sluiting kerncentrales,...)
- met een voorbeeld de ethische dimensie van fysica illustreren (bv. het gebruik van kernbommen)

#### **3.4.1. Ioniserende straling**

##### *3.4.1.1. Gasontladingsverschijnselen*

- kathodestraling – anodestraling – X-straling
- de kathodestraalbuis

##### *3.4.1.2. Ioniserende stralingen*

- $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -straling
- neutronstraling
- kosmische straling
- het radioactief verval – halveringstijd – massadefect

##### *3.4.1.3. Kernsplijting en kernfusie*

- principes van kernsplijting
- principes van kernfusie
- eventueel:

- kerncentrales
- straling in de geneeskunde

### 3.4.2. *Kwantummechanica (enkel voor de b-variant)*

De leerlingen krijgen een inleiding tot bepaalde vraagstukken van de wijsgerige natuurkunde. Belangrijke onderwerpen hierbij zijn:

- de omkeerbaarheidsparadox in de thermodynamica
- fenomenologische inleiding tot de quantummechanica
  - het deeltjesmodel van het licht en de fenomenen die door dit model worden verklaard (Newton);
  - golfffenomenen van het licht (interferentieproef van Young);
  - quantumkarakter van het licht: proef van Young met extreem zwakke lichtbron, waarbij het interferentiepatroon zich opbouwt uit lokale registraties;
  - probabilistische interpretatie van de golf (Born);
  - illustratie van het onzekerheidsbeginsel, bijvoorbeeld via de registratie van een foton dat door een dunne lens is gepasseerd (von Weizsäcker).<sup>1</sup>
- eventueel: de Kopenhaagse interpretatie van de quantummechanica
  - het begrip van het 'elementaire fenomeen' (Bohr, Pauli);
  - verband met de controverse Goethe-Newton;
  - het Aristotelisch karakter van de Kopenhaagse interpretatie (zie noot 2);
  - het onherleidbaar karakter van het klassieke 'apparaat' in de Kopenhaagse interpretatie.
- eventueel: chaotische systemen
  - illustratie met een eenvoudig voorbeeld;
  - betekenis voor de Kopenhaagse interpretatie van de quantummechanica: bepaalde klassen van quantumfenomenen zijn in principe niet reproduceerbaar, omdat het apparaat een chaotische structuur heeft;
  - visie van Goethe, Bohr, Heisenberg, Pauli op de onherleidbaarheid van levensfenomenen: levende systemen zijn onherleidbaar tot de wetten van de natuurkunde; deze laatste hebben maar betekenis voor reproduceerbare fenomenen (omdat de wetten van de quantummechanica de berekening van waarschijnlijkheden mogelijk maken en het begrip 'waarschijnlijkheid' maar zin heeft binnen de context van reproduceerbare fenomenen);<sup>2</sup>
  - verschil met de vitalistische theorieën en met het reductionisme.

---

1. Deze thema's zijn bv. uitgewerkt in Verhulst, J., *Der Glanz von Kopenhagen. Geistige Perspektiven der modernen Physik*, Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1994.

2. Voor een samenvatting van de visie van de Kopenhaagse school op de onherleidbaarheid van levensfenomenen tot natuurkunde, zie Bohr, N., *Light and Life*, Nature, 131, p. 421-423 en 457-459.

## 4. Minimale materiële vereisten

Aangezien zowel het demonstreren als het zelf uitvoeren van proeven twee belangrijke onderdelen zijn van de lessen Fysica in de derde graad, moet het wetenschapslokaal minstens beschikken over een ruime experimenteertafel met in de nabijheid voorzieningen voor gas, elektriciteit en water.

Tevens moeten afsluitbare kasten aanwezig zijn voor het opbergen van het proefmateriaal. Het is evident dat de nodige didactische hulpmiddelen voor het uitvoeren van de proeven beschikbaar moeten zijn.

Het lokaal moet goed verlucht en verlicht zijn en beschikt over een brandalarminstallatie.

Op school moeten enkele op het internet aangesloten computers aanwezig zijn zodat hierop eventueel – daar waar het een functionele meerwaarde heeft – opzoeken kunnen gebeuren.

Voor de proeven en de leerlingenproeven is er het volgende nodig:

- Bandgenerator, plaatcondensatoren, leidse fles, set condensatoren, gelijkstroom- en wisselstroomtransformator, ontlaadtang, multimeters.
- Permanente magneten, set solenoïdes van 30.000 windingen tot 150 windingen, gelammeleerde kern, lampjes, koolstofstaven.
- Spiegels, prisma's ( één per leerling of per twee leerlingen), lenzen, projector, kleurenschijf van Newton, kleurenfilters.
- Aquarium, polarisatiefilters ( één per leerling of per twee leerlingen), interferentieroosters tot 600 spleten per mm.
- Eventueel: natriumlamp, kwiklamp, TL-buis.
- Gasontladingsbuizen,
- eventueel een set voor proeven met preparaat Radon 226.

## 5. Evaluatie

Permanente evaluatie tijdens het klasgebeuren is zeer belangrijk. Men denke hierbij aan: algemene medewerking, vaardigheid bij het zelf uitvoeren van proeven en stellen van kritische vragen.

Van de leerlingen wordt verwacht dat zij de leerstof verwerken in eigen nota's en een zelf gemaakt 'periodeschrift'. Dit schrift wordt beoordeeld naar correctheid, volledigheid en vormgeving.

Aan het einde van de periode is het aangewezen door middel van een summatieve toets de bereikte inzichten en vaardigheden te testen.

## 6. Methodologische wenken

In de derde graad vindt er een verdere verschuiving plaats ten aanzien van het beschouwen. Naast beeld- en begripsvorming treedt nu vooral het zoeken naar meer omvattende gezichtspunten naar voren: ideeënvorming komt nu centraal te staan. In de derde graad kan ook een aanvang gemaakt worden met naast het uiterlijke fenomeen ook de innerlijke beleving bewust en objectief waar te nemen. De kleurenleer is daarvoor een zeer geschikt thema.

Afhankelijk van de stemming in de klas kan men de gangbare wetenschap bespreken en deze tevens vanuit filosofische invalshoek belichten. De fenomenologische methode zelf kan in datzelfde perspectief besproken worden. Men zal ernaar streven de leerlingen in dergelijke filosofische beschouwingen zoveel mogelijk zelf actief te laten participeren zodat ze zelf momenten van 'Aha-Erlebnis' kunnen ervaren. De socratische methode is daarbij zeer bruikbaar. Tenslotte is het ook mogelijk de wetenschap vanuit ethische hoek te belichten. Thema's als de aanwending van kernenergie met de daaraan verbonden gevaren en gevolgen zijn daarvoor geschikt. Tevens kan vakoverschrijdend de vraag naar een mogelijke relatie tussen ethiek en wetenschappelijk onderzoek ter discussie gesteld worden. Hiertoe zal de leerkracht overleg plegen met zijn collega's voor de vakken Biologie en Chemie, maar ook Aardrijkskunde, Geschiedenis, Nederlands en Cultuurbeschouwing.

### 6.1. Methodologie

Als denk- en doevak kan het vak Fysica zowel in een 'ochtendperiode' (gedurende drie weken de eerste twee uren van elke dag) als in 'losse uren' worden gegeven.

Omtrent de proeven is het aangewezen een ritme in te bouwen:

- eerste dag:
  - enkel waarnemen van de proeven
  - als huistaak maken de leerlingen een beschrijving van de proef
- tweede dag:
  - de waarnemingen worden vanuit een klasgesprek aangevuld

- er worden besluiten getrokken
- andere informatie wordt verteld
- derde dag:
  - nu worden verbanden gelegd tussen de verschillende gegevens
  - samen met de leerlingen wordt een synthesesetekst opgesteld

## 6.2. Fenomenologische visie op wetenschappelijke proeven

In de Rudolf Steinerpedagogie bestaan er uitgesproken ideeën over de natuurkunde- en chemielessen. In de praktijk komt dat tot uiting in de manier waarop de proeven gedaan worden in de periodelessen. Er zijn drie fasen te onderscheiden:

In de periodeles wordt eerst door middel van proeven het verschijnsel waargenomen. De leerlingen trekken nog geen conclusies; voorlopig tellen alleen de waargenomen verschijnselen en de gevoelens die daardoor worden opgeroepen.

De tweede stap: de leerlingen maken een eigen voorstelling van wat zij hebben waargenomen. De leraar kan bijvoorbeeld de proef recapituleren door de leerlingen uit de herinnering te laten vertellen of hij kan ze thuis een proefverslag laten maken. Van belang is dat de leerlingen leren zich een eigen voorstelling te vormen van het waargenomen verschijnsel. Het gaat erom dat de waarneming bewust wordt, een proces dat de leraar kan bevorderen door de leerlingen de verschijnselen te laten tekenen. Het tekenen van de proeven versterkt het innerlijk levendige beeld en doet een appèl aan het bewustzijn. Het tekenen doet ook nog meer: de belevingswaarde komt erdoor tot uitdrukking, het biedt de mogelijkheid tot een kunstzinnige expressie. "Met de ervaring van de proef en de voorstelling die men zich ervan gevormd heeft, gaan de leerlingen de nacht in. Tijdens de slaap vindt de verwerking van deze ervaringen plaats, zodat de leerlingen de volgende ochtend de les in komen met duidelijke beelden van het verschijnsel in het hoofd." (Van Gils, J., Veenman, K., Schukking, P., *Natuurkunde*, Vrij Pedagogisch Centrum, Driebergen, 1994)

Als dat gebeurd is, biedt die volgende ochtend de mogelijkheid tot het zetten van de derde stap: de leraar probeert de leerlingen tot begrip en inzicht te laten komen, door begripsmatig of beschouwend op het fenomeen in te gaan. Een proefverslag kan bijvoorbeeld worden voorgelezen en daarover kan de leraar met de klas in gesprek komen. De leraar stelt concrete vragen, waardoor voor de leerlingen een ordening zichtbaar wordt. De klas formuleert welke kenmerken zich aftekenen.

Uit deze stappen blijkt dat de leraar de leerlingen steeds diepgaander tracht te verbinden met het fenomeen. Het is onderwijs dat gericht is op hoofd, hart en handen. Een goede proef spreekt immers niet alleen het denken aan, maar wekt enthousiasme op en ook de drang om de proef te herhalen onder enigszins gewijzigde omstandigheden.

## 7. Bibliografie

### 7.1. Elektriciteit

- CANTZ, R., *Wesenszüge der Elektrizität*, Verlag der Kooperative Dürnau, 1986.
- CANTZ, R., *Kerze, Tram und Blitz*, in: *Elemente der Naturwissenschaft*, 42, 41-47, 1984.
- CANTZ, R., *Hochspannungs-Experimente*, in: *Elemente der Naturwissenschaft*, 20, 41-48, 1974.
- CANTZ, R., *Zur Sinnes- und Bewußtseinsproblematik elektromechanisch wiedergegebener Klänge*, in: *Elemente der Naturwissenschaft*, 35, 1-14, 1981.
- GEBERT, H., 'Über einer Wesenszug der Elektrizität', in: *Elemente der Naturwissenschaft*, 15, 45-50, 1971.
- VAN ROMUNDE, R., *Materie en straling in ruimte en tijd, deel 2*, Vrij Geestesleven, Zeist, 1979.
- VON BARAVALLE, H., *Physik 2 als reine Phänomenologie. Magnetismus und Elektrizität, Akustik, Optik und Astrophysik*, Freies Geistesleben, Stuttgart.
- VON MACKENSEN, M., *Felder, Strahlen und Atome*, Bildungswerk Beruf und Umwelt, Kassel, 1993.
- DOUGLAS, C.G., *Natuurkunde voor wetenschap en techniek: deel 2 golven en geluid, kinetische theorie en thermodynamice, elektriciteit en magnetisme, licht*, Prentice Hall Academic service, 1995.

### 7.2. Optica

- BÜHLER, W., *Nordlicht, Blitz und Regenbogen*, Philosophisch-Antroposophischer Verlag Goetheanum, Dornach, 1977.
- ECKERMAN, P., NORDQVIST, S., *Magische lenzen*, Infodok, Leuven, 1990.
- GOETHE, J.W. von, *Farbenlehre*, Freies Geistesleben, Stuttgart.
- JULIUS, F., *Entwurf einer Optik. Zur Phänomenologie des Lichts*, Freies Geistesleben, Stuttgart.
- MAIER, G., 'Über die Natur der Beugungsphänomene', in: *Elemente der Naturwissenschaft*, 2 (35), Philosophisch-Antroposophischer Verlag Goetheanum, Dornach, 1981.
- MAIER, R.E., 'Das Urphänomen der Lichtbeugung', in: *Der Farbenkreis. Heft 2*, Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1981.
- MARTIN, M., *Die Kontroverse um die Farbenlehre*, Novalis Verlag, Schaffhausen, 1979.
- MINNAERT, M., *Natuurkunde van 't vrije veld I*, W.J. Thieme & Cie, Zutphen, 1974.
- OTT, G., 'Die als Lichtbeugung angesprochenen Phänomene und deren wahre Natu'r', in: *Der Farbenkreis. Heft 2*, Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1981.
- OTT, G., 'Zur Entstehung der prismatischen Farben', in: *Der Farbenkreis. Heft 4*, Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1984.
- OTT, G., PROSKAUER, H.O., *Das Rätsel der farbigen Schattens*, Zbinden Verlag, Basel, 1979.
- PROSKAUER, H.O., *Zum Studium von Goethes Farbenlehre*, Zbinden Verlag, Basel, 1977.
- REBHOLZ, M., 'Die Polarisation des Lichtes', in: *Der Farbenkreis. Heft 5*, Verlag Freies Geistesleben, Stuttgart, 1986.
- SCHARNOWELL, V. en W., *Von Newton zu Goethe*, Verlag Die Pforte, Basel, 1973.
- VON BARAVALLE, H., *Physik 2 als reine Phänomenologie. Magnetismus und Elektrizität, Akustik, Optik und Astrophysik*, Freies Geistesleben, Stuttgart.
- VON MACKENSEN, M., *Schüler-Experimentierkurs Optik*, Pädagogische Forschungsstelle, Kassel, 1990.
- VON MACKENSEN, M., OHLENDORF, H.-Ch., *Optik-Unterricht*, Pädagogische Forschungsstelle, Kassel, 1990.
- ZAJONC, A., *Het licht zien*, Vrij Geestesleven, Zeist, 1993.
- DOUGLAS, C. G., *Natuurkunde voor wetenschap en techniek: deel 2 golven en geluid, kinetische theorie en thermodynamice, elektriciteit en magnetisme, licht*, Prentice Hall Academic service, 1995.

### 7.3. Moderne natuurkunde: radioactiviteit en quantummechanica

- FAST, J.D., *Energie uit Atoomkernen*, Natuur en Techniek, Maastricht, 1980.
- KRANICH, E.M., 'Goethe und die Naturkunde an Waldorfschulen', in: *Erziehungskunst*, nov. 1999.
- KÜHL, J., McKEEN, T., SCHAD, W., HAMPRECHT, B., *Das Problem der Kernenergie und der radioaktiven Schädigung von Mensch und Umwelt*, Die Drei, Sonderheft, juli 1986.
- VERHULST, J., *Der Glanz von Kopenhagen. Geistige Perspektiven der modernen Physik*, Verlag Freies

Geistesleben, Stuttgart, 1994.

WIECHOWSKI, S., *Geschichte der Atoms*, C. Bertelsmann Verlag, Gütersloh, 1963.

DOUGLAS, C. G., *Natuurkunde voor wetenschap en techniek: deel 3 Moderne Natuurkunde*, Prentice Hall Academic service, 1995.

*M&P document: zwartboek over het nucleair tijdperk*, Greenpeace.

#### **7.4. Websites**

<http://www.isotopolis.be>

<http://www.technopolis.be>

<http://www.periodictableonline.org>

<http://www.fys.kuleuven.ac.be>

<http://home.planetinternet.be/rpoolly/>

<http://ww.kbasement.net/fy/software.htm>

<http://www.th.Physik.UNI-Frankfurt.de>

<http://www.lh.UFRJ.BR/Famous/Physlist.htm>