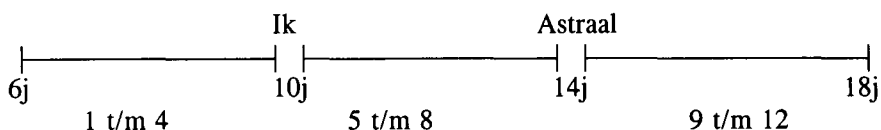


## 1. INLEIDING

### 1.1 Natuurkunde in de 12e klas

Het Vrije Schoolleerplan wil aansluiten bij de psychische ontwikkeling van de leerlingen die zich door de lagere en middelbare schooltijd heen van jaar tot jaar voltrekt. De twaalf jaren Vrije Schoolonderwijs kunnen in drie maal vier jaar onderscheiden worden. De eerste overgang ligt aan het einde van de vierde klas, de tweede aan het eind van de achtste klas.



De eerste overgang hangt samen met de ik-ontwikkeling (zie deel I, hoofdstuk 1) en kan vergeleken worden met het natuurkundige proces van dooien en bevriezen. Aan de ene kant worden de kinderen vrijer en beweeglijker, aan de andere kant ontstaat meer standvastigheid en eigen wil. Ook al kan deze omslag in het zieleleven turbulent verlopen omdat de kinderen zich bijvoorbeeld van hun ouders meer gaan losmaken, lichamenlijk gezien verloopt deze overgang harmonisch. Rond deze leeftijd vormt het lichaam een goed harmonisch geheel, hartslag en ademhaling zijn evenwichtig op elkaar afgestemd in de verhouding 4 : 1. Typerend voor ontwikkelingen die samenhangen met het ik is, dat zij harmonie, gezondheid en zelfstandigheid brengen.

De tweede overgang rond het veertiende levensjaar hangt samen met de astrale of zieleontwikkeling en kan vergeleken worden met het proces van koken en condenseren. Aan de ene kant gaan de kinderen volledig op in de buitenwereld en moeten ze daar houvast zien te vinden, zoals het kookproces ook vol beweeglijkheid en chaos is. Aan de andere kant vindt er een gigantische verdichting plaats, die als een soort innerlijke regen of hagelbui neervalt in de vorm van gevoelens van twijfel en onzekerheid. Verlopen ik-ontwikkelingen vrij abrupt, astrale ontwikkelingen duren lang, brengen veel verandering en onzekerheid met zich mee en disharmonie tot in het lichamelijke toe. De leerlingen zijn blootgesteld aan vele eenzijdige ontwikkelingen zoals vereenzaming, drugs, terreur, seksuele wellust en drankmisbruik. Het vinden van een eigen standvastig centrum in de veelheid aan veranderingen vraagt jaren van de leerlingen. Rudolf Steiner geeft voor een harmonisering van deze extremen het advies

de blik naar buiten te richten. Interesse ontwikkelen voor de natuur, voor cultuur, techniek en medemens.

De 12e klas leerling staat op het einde van dit minstens vier jaar durende turbulente proces. De leerlingen hebben langzaamaan een eigen centrum gevonden. Er vindt nu een volgende ik-ontwikkeling plaats van sterke verinnerlijking, die optimaal verloopt als de zieleontwikkeling zich niet vastzet in te losse of te vaste meningen en leefgewoonten, maar als de leerling beleeft: "Ik ben niet m'n gevoel, lichaam, mening, maar ik heb gevoelens, meningen, enzovoorts." Opnieuw brengt het ik een harmonische ontwikkeling. Zo kan een weliswaar kwetsbare en zoekende, maar zichzelf niet verliezende levenshouding ontstaan, die ontwikkeling naar menswording nastreeft: het leven met vragen, die geen antwoord laten afdwingen, het leven met je eigen bepaaldheden die om ontwikkeling vragen, de wil tot samenleven en -werken met anderen in verbondenheid en interesse. De leerlingen beleven zich als staande op een drempel: innerlijke vragen als "Kan ik verder komen in mijn ontwikkeling, kan ik de ander vinden?" markeren deze grenservaring.

De natuurkundeperiode lichtleer kan aan deze ontwikkeling een bijdrage leveren, omdat de mens zich op een soortgelijke wijze tot het licht verhoudt als de 12e klas leerling tot zichzelf en de wereld. Licht vormt een andere wereld dan de tastbare. Je moet een innerlijke drempel overschrijden om die wereld te kunnen bevatten. Zoals het denken als een soort innerlijk licht de samenhang tussen de dingen zichtbaar maakt, maar ook steeds weer nieuwe vragen oproept, zo maakt het licht de dingen zichtbaar, terwijl het zelf ontastbaar is en daardoor moeilijk te bevatten. Veel lichtfenomenen spelen zich ook letterlijk aan grenzen af, zoals de rand- of buigingsverschijnselen en de gekleurde randen van een door een prisma vallende lichtbundel. Om zulke fenomenen in hun samenhang te kunnen doorzien moet steeds weer de relatie worden gezocht tussen de lichtbron en de omgeving, tussen binnen en buiten. Vervolgens kan men met de leerlingen de stap maken het licht en de grensphenomenen in samenhang te brengen met menselijke bewustzijnsprocessen. Daarmee heeft men een eerste stap gezet op weg naar de verbinding tussen mens en wereld.

Een volgende stap is de vraag naar de geestelijke werkelijkheid van de natuur. Of en in hoeverre men deze vraag aan bod laat komen zal in hoge mate van de klas afhangen. Dat de mens een ziele/geestwezen is valt meestal goed te bespreken in een 12e klas. De vraag of de natuur ook geestelijk is, ligt veel moeilijker. Welk wezen is verbonden met het licht of met een kleurfenomeen als het avondrood? Leerlingen in een 12e klas zijn er aan toe een echte wezensontmoeting met zichzelf of met anderen

aan te gaan. Daarom kan men ook de wezensontmoeting met de natuur ter sprake brengen, al is het maar als mogelijke vraagstelling.

In dit hoofdstuk over de 12e klas zullen verschillende kleurfenomenen en optische fenomenen behandeld worden. Niet aan bod komen chemische effecten, zoals het fotoëlektrisch effect en pigmentkleuren. Voor verschijnselen als regenboog en noorderlicht wordt verwezen naar het boek van Walther Bühler: *Nordlicht, Blitz und Regenbogen*. De met licht samenhangende apparatuur, zoals het fototoestel, de verrekijker en de interferometer worden in dit boek ook niet behandeld, evenmin als onderwerpen als holografie en de relativiteitstheorie, hoewel die in de 12e klas zeer zeker aan de orde kunnen worden gesteld.

## 1.2 Opbouw van de periode

De opbouw van de periode zou direct moeten voortvloeien uit de ontwikkelingsdoelen die men stelt. In een 12e klas gaat het er niet alleen om leerlingen iets te laten ervaren, maar bovenal hen een manier van denken bij te brengen die recht doet aan de fenomenen. Daarbij staat niet de mathematische benadering centraal, maar wordt primair gezocht naar een beschouwingswijze, die beter bij de leerlingen past en wellicht ook een andere wetenschappelijke toegang biedt tot de lichtfenomenen dan de huidige materialistische en modelmatige aanpak. In het werken met de leerlingen kan men afwisselend drie didactisch/pedagogische invalshoeken volgen, de methodische, de thematische en de geschiedkundig-filosofische werkwijze.

### A. De methodische weg

In het kennisproces kan men de volgende vijf stappen onderscheiden:

1. Nauwkeurige observatie en exacte beschrijving.
2. Het ontwikkelen van natuurgetrouwe voorstellingen.
3. Begripsmatig doorzien van het fenomeen.
4. Voortgaande inleving in het fenomeen, zodat een relatie gelegd wordt tussen innerlijke beleving en uiterlijk verschijnsel.
5. Het beleven van het wezen van het fenomeen in de verschijning, de geest in de natuur.

Met het benoemen van deze stappen is niet gezegd dat zij in het didactische proces altijd systematisch doorlopen moeten worden. Men kan bijvoorbeeld met een heel eenvoudig fenomeen aanvangen bij stap 4, om vervolgens door het verder grondvesten en verbinden met de waarneming terug te gaan naar stap 1 en dan te eindigen met stap 5.

## **B. De thematische weg**

Goethe volgt in zijn kleurenleer naast de beschreven methodische ook nog een thematische weg.

1. Hij begint met een fenomeen waar de mens zelf deel van is, zoals de vraag hoe fixatie van een beeld op de mens inwerkt (nabeeld).
2. Vervolgens gaat hij over op fenomenen die objectief (met een scherm) én subjectief (de mens wordt zelf in de proefopstelling opgenomen) kunnen worden uitgevoerd, maar die niet afhankelijk zijn van onze lichamelijke, zoals een prisma-fenomeen. Dit gebied van fenomenen omvat feitelijk de hele kosmos.
3. Als men hier lang genoeg heeft vertoefd, dringt de vraag zich op naar de werking van een fenomeen als kleur op de mens. Hoe werkt rood en hoe blauw op mijn gemoed?
4. Als vierde stap kan de vraag worden gesteld naar de geestelijk/morele werking van het fenomeen op de mens, bijvoorbeeld de geestelijk verinnerlijkende werking van het violet.

Goethe begint dus met de mens als lichamenlijk wezen dat met de natuur verbonden is, stijgt vervolgens via de natuur op tot de hele kosmos en gaat vervolgens over tot de verinnerlijking in het ziele- en geestaspect. In alle stappen wordt gezocht naar het wezen in de verschijning.

## **C. De geschiedkundig-filosofische weg**

Men kan ook kiezen om de periode meer vanuit de geschiedkundige ontwikkeling te geven en daarbij het accent te leggen op het natuurfilosofische aspect. Dit houdt ook in dat men steeds de vraag naar het wezen van het verschijnsel stelt naar aanleiding van de concrete waarneming. Zo'n vraag is echter niet als een informatievraag op te vatten. Hij verwijst naar een grenservaring: men zoekt de hogere ervaring in de concrete ervaring die zich al doende vormt.

Het is belangrijk zelf de methodische en thematische weg steeds goed in het bewustzijn te hebben en als elkaar aanvullende werkwijzen te hanteren. Beide wegen kunnen dan in de loop van de periode besproken worden. De geschiedkundig-filosofische werkwijze kan zo men wil ook vrij gehanteerd worden.

We willen nu een aantal manieren bespreken waarop men de lesstof kan indelen. Deze indelingen kunnen naast elkaar gebruikt worden:

### **1. Kwalitatief en kwantitatief**

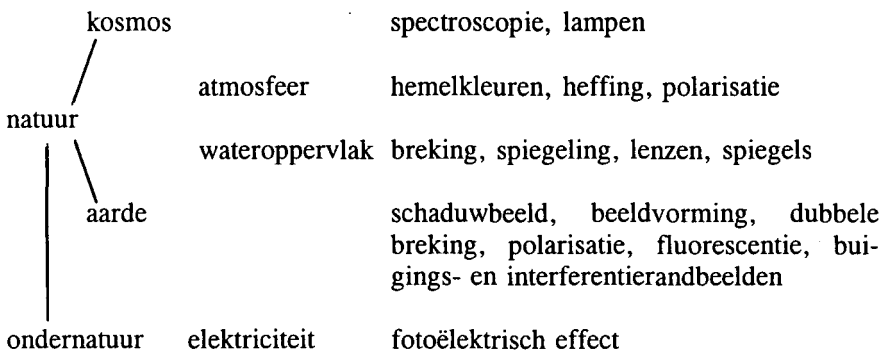
In deze periode kan beter niet het accent op het kwantitatieve element gelegd worden, daarbij zou men voorbijgaan aan de pedagogische

mogelijkheden die de periode biedt. Slechts bij een relatief klein aantal onderwerpen kan men, wanneer het fenomeen daar duidelijk aanleiding toe geeft, het wiskundige aspect aan bod laten komen.

- kwalitatief:*
- oog: vorm van het oog, waarnemen van contrast, kleur en vorm, nabeelden, kleurenblindheid, gezichtshoeken, machlijnen, gezichtsbedrog (is beoordelingsbedrog);
  - natuurfenomenen: hemelkleuren, breking in water, prisma, spiegeling, enz.;
  - chemische kleuren;
  - psychische en geestelijk-morele werking van kleuren en van licht en duisternis;
- kwantitatief:*
- fotometrie (vetvlekmethode als vergelijkende methode);
  - lichteenheden;
  - kleurgetal (golflengte), spectrometer;
  - brekingsindex;
  - lenzen/spiegel-formule.

## 2. *Natuurrijken*

Licht, donker, kleur en vorm zijn ruimt fenomenen en niet zo zeer tijds fenomenen. Het procesmatige karakter is gering. Men zou de volgende relaties kunnen leggen: de spectroscopie past men toe op de kosmos, op de zon en de sterren; de hemelkleuren openbaren zich in de atmosfeer; spiegeling worden we gewaar aan wateroppervlakken en schaduw aan vaste objecten. Andere fenomenen laten zich op natuurlijke wijze indelen:



## 3. *Historisch*

De historische ontwikkeling van het denken over licht en de bewustzijnshouding van de mensheid ten tijde dat die gedachten ontwikkeld werden, kan de leidraad zijn om de periode vorm te geven. Men kan

dan bij de Grieken aanvangen en via de Middeleeuwen, Huygens, Newton, Young, Fresnel en Goethe in de moderne tijd uitmonden met de energetische, quantumfysische en relativistische opvattingen. Zie ook in dit verband het boek van Arthur Zajonc: *Het licht zien*.

#### 4. Wiskundig

Zoals de 9e klas periode warmte vooral over tijdsprocessen handelt, zo gaat deze 12e klas periode licht vooral over ruimtetoestanden. De meetkundige grondelementen van de ruimte zijn punt, lijn, vlak en volume. Aan de hand van deze vier grondelementen kan de lesstof ook ingedeeld worden:

- volume:* hemelkleuren, oplichten van water (verstrooiing), heffing, gasbuiseffecten;
- vlak:* polarisatie, spiegeling, dunne laagjes (zeepbel e.d.), breking, dubbele breking;
- lijn:* randfenomenen (buiging en interferentie aan een rand, spleet, twee spleten, tralie);
- punt:* camera obscura/lucida, mist-, regen- en ijskristalfenomenen, colloïdale oplossingen.

#### 5. De polariteit van licht en duisternis

De indeling van de lesstof aan de hand van de polariteit licht-duisternis kan een leidraad voor de docent zijn en kan ook met de klas besproken worden. Het is ook mogelijk om deze indeling, die een sterk begripsmatig karakter heeft, tijdens de eerste week aan de periode mee te geven in de vorm van een vraagstelling. De interactie tussen licht en duisternis kan op verschillende manieren plaatsvinden, waarbij verschillende fenomenen optreden:

- |                                                                                                        |                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <i>licht en duisternis zijn beide actief op hun manier:</i>                                            | belichting van voorwerpen;                      |
| <i>door de interactie ontstaan nieuwe fenomenen:</i>                                                   | hemelkleuren, breking, dunne laagjes fenomenen; |
| <i>de duisternis drukt zijn stempel op de lichtwerking, zodat een gestructureerd patroon ontstaat:</i> | polarisatie;                                    |

*de duisternis fixeert de expanderende lichttendens. Licht wordt gevangen, gekooid in structuren:*

buiging en interferentie.

### 1.3 Zelfstandig werken

De laatste jaren is er in het hele voortgezet onderwijs veel aandacht voor het vraagstuk van de zelfwerkzaamheid van leerlingen. Dit komt met name tot uitdrukking in de plannen rond het studiehuis, een onderwijsvorm die binnen het gangbare onderwijs is ontwikkeld voor de hoogste klassen en die ruwweg een combinatie inhoudt van traditionele lessen afgewisseld met zelfstandig werken onder begeleiding. De oorzaak dat men zich met deze thematiek bezighoudt is gelegen in de consumptieve houding die vaak bij leerlingen gesignaleerd wordt. Men is op zoek naar onderwijsvormen die de leerlingen directer betrokken laten zijn bij de lesinhoud. Ook binnen het Vrije Schoolonderwijs, waar de nadruk gelegd wordt op een onderwijsaanbod dat zoveel mogelijk tot stand komt door de wisselwerking tussen leraar en leerlingen, ontmoet men vaker dan voorheen een te consumptieve houding bij de leerlingen en ontwaakt het besef dat deze tijd vraagt om nieuwe onderwijsvormen, die de zelfstandigheid van de leerlingen directer aanspreken. Binnen het 12e klas programma bestaat al jaren aandacht voor het thema zelfwerkzaamheid. Zo laten veel Vrije Scholen 12e klas leerlingen een aanzienlijk deel van het schooljaar aan een zelfgekozen thema werken, het eindwerkstuk, waarover dan tegen het einde van het schooljaar een openbare presentatie volgt. Binnen het ambachtelijke of kunstzinnige onderwijs wordt in de 12e klas vaak gewerkt aan een meesterproef. De laatste tijd wordt er door vele docenten ook voor het periodeonderwijs gezocht naar mogelijkheden om de zelfwerkzaamheid van leerlingen te bevorderen.

Omdat deze thematiek nog niet eerder expliciet aan bod kwam, schetsen we hier in het kort ook de mogelijkheden om in eerdere leerjaren van het voortgezet Vrije Schoolonderwijs het zelfstandig werken te bevorderen.

In klas 9 ontwaken de leerlingen in het eigen innerlijk, krijgen zij een zekere mate van zelfbewustzijn en kunnen daarom aangesproken worden op eigen verantwoordelijkheid. Echter nog niet voor een verantwoordelijkheid naar de omgeving toe, want een bewustzijn voor de eigen plaats binnen de groep is er op deze leeftijd nog niet. Wel kunnen de leerlingen aangesproken worden op wat uit hun eigen handen komt, huiswerk, ambachtelijke opdrachten, e.d. De gemiddelde 9e klasser denkt zwart-wit, een antwoord op een vraag is goed of fout en juist aan op-

drachten die zo'n karakter hebben, zoals bijvoorbeeld het aansluiten van een lamp die alleen brandt als je je werk goed hebt gedaan, ontwaakt het zelfbewustzijn op deze leeftijd. Kleine doe-opdrachten passen in dit verband en spreken de leerlingen op een bij de leeftijd passende wijze aan op hun eigen verantwoordelijkheid. Bijvoorbeeld het zelf bedenken en uitvoeren van een eenvoudige proef.

In de 10e klas ontwakten de leerlingen voor allerlei soorten relaties in de wereld, relaties binnen de natuur, sociale relaties, enzovoorts. Deze relaties leren verzorgen maakt deel uit van het jaarthema. Op sociaal gebied is het goed mogelijk hier aangepaste werkvormen bij te vinden, echter niet vanuit een individuele verantwoordelijkheid, dat zou meer in de 11e klas passen, waar het individuele zelfbewustzijn ontwaakt. Groepswork vormt wel een mogelijkheid. Ook kan men een leerling een sociale rol toebedelen, bijvoorbeeld Galilei's gezichtspunten verdedigen tegenover zijn tegenstanders. Zo spreekt men de leerlingen aan op de verantwoordelijkheid die bij een sociale functie hoort.

In de 11e klas ontwaakt een individueel bewustzijn doordat de leerlingen zich afzetten tegenover de groep. 11e klassers polariseren dan ook graag. Inhoudelijk komt men hieraan tegemoet door de lesstof vanuit polariteiten aan te bieden, bijvoorbeeld het in proces en op het oneindige gericht zijn van het elektrische veld tegenover het naar vorm en verdichting tenderen van het magnetische veld. Wanneer je tijdens klasgesprekken als leraar een te vast standpunt inneemt, moet je dat alleen doen om een voorbeeld te geven hoe je in een discussie als individu overeind kunt blijven, terwijl iedereen tegen je is. Een vast standpunt van een docent lokt namelijk op deze leeftijd een polariserende beweging in de hele klas op. Het is ook heel goed mogelijk leerlingen in een debat het eigen standpunt te laten verdedigen. Ook kan men de leerlingen een werkstuk laten maken over een deelthema van de periode.

In de 12e klas is het zelfbewustzijn nu zover ontwikkeld dat de leerlingen niet alleen oog hebben voor hun individuele eigenheid, maar ook voor de eigenheid van de ander. De vraag welke plaats het individu inneemt binnen de wereld als geheel, vormt een belangrijk thema voor de 12e klas. Van daaruit ontstaat bij leerlingen de motivatie om een bijdrage aan de periode te leveren op grond van hun eigen vermogens. Dit gegeven kan men zeer concreet maken, bijvoorbeeld door te stimuleren dat leerlingen niet van alle aangeboden lesstof een verslag te maken, maar door hen een keuze van een deelthema te laten maken uit het aanbod van die dag en hiermee zelfstandig aan de slag te gaan, door een mediatheek te raadplegen, door zelf extra proeven te doen of door zelfstandig na te gaan denken over het aangeboden. Ook kan men leerlingen de mogelijkheid bieden een deel van de aangeboden lesstof op enigerlei kunstzinnige wijze



uit te werken, zodat zij ook nog vanuit een andere zielelaag met de lesstof bezig gaan. Bijvoorbeeld door een gedicht te schrijven over een bepaalde kleur en daarin het wezenlijke van die kleur trachten uit te drukken. Dagelijks bespreekt men dan niet alleen de gewone lesstofverslagen van de vorige dag, maar ook de 'speciale opdrachten' die de leerlingen zichzelf hebben gesteld. Aan deze werkwijze zit een gevaar verbonden. Leerlingen kunnen op allerlei wijzen verzanden in deze mogelijkheden om tot zelfwerkzaamheid te komen, zodat er juist minder uitkomt. Bijvoorbeeld doordat zij veelvuldig kiezen voor het maken van een speciale opdracht, daar weinig speciaals van weten te maken, wat dan demotiveert, zodat zij dan verder ook tot weinig komen. Dit mechanisme kan men voorkomen door de leerlingen per dag van een deel van de lesstof een traditioneel verslag te laten maken en de speciale opdracht op het andere deel te betrekken. Verder moet men de leerlingen voldoende feed-back geven in het werk dat zij aan deze speciale opdrachten besteden, het beste in klasverband zodat elk besproken voorbeeld exemplarisch werkt voor de hele klas. Tenslotte is het maken van een werkstuk rond een zelf gekozen deelthema van de periode aan te bevelen. Zowel de optica als de kleurenleer bieden daartoe vele mogelijkheden.

#### 1.4 Het oproepen van vragen

Het oefenen van het zelf omschrijven van fenomenen in plaats van gebruik te maken van bestaande definities is een van de essentiële opgaven van deze periode. Het gaat er niet primair om de leerlingen met een handvol lichtfenomenen te laten kennismaken, maar om ze aan de hand van zulke verschijnselen een leerproces te laten doormaken. Een heel eenvoudige proefopstelling kan goed als inleiding gebruikt worden om te oefenen in het onderscheiden van waarneming, vooronderstelling en begrip.



Wanneer in de klas gevraagd wordt wat hier waar te nemen valt, dan zal er vaak opgemerkt worden dat het licht van de lamp/zon naar de omgeving stroomt en dat dit een schaduw geeft. Dit is echter geen waarneming. We zien geen proces maar een toestand. Het is voor de waarneming niet nodig om de natuur van wat tussen de dingen is in te vullen. Geef dus geen definities van licht en werk niet met lichtstralen, een stromend medium, golven, deeltjes of fotonen. Als de leerlingen bemerken dat het licht, maar ook de donkere ruimte achter het voorwerp niet te zien zijn, treedt verwondering op en gaan ze zich vragen stellen.

We kunnen nu de lichtsterkte van de lamp verhogen en vragen of de schaduw donkerder wordt. Eerst zullen leerlingen misschien geneigd zijn te zeggen dat dit inderdaad zo is. Dan zal iemand opmerken dat dit niet mogelijk is, omdat het een schaduw is. Vervolgens kan men een beschreven vel papier in de schaduw houden en de lichtsterkte nogmaals variëren. Dan blijkt het papier met een grotere lichtsterkte wél leesbaar. Op deze wijze komen de leerlingen los van ingebakken vooronderstellingen. Het niet invullen van het onnoembare maar dit wel willen benaderen, is behalve een moderne ook een vruchtbare houding om tot het wezen van de fenomenen door te dringen. Een vraag als "wat is licht?" kan nooit gelijk gedefinieerd of beantwoord worden. Men kan het wezen van een fenomeen, net als bij de ontmoeting van een medemens, wel beleven, maar niet definiëren. Voelen leerlingen zich met het wezen van een fenomeen verbonden, herkennen zij het onnoembare, dan werkt dit als een stimulerende kracht door in het eigen leven.

We keren nu terug naar de proefopstelling en proberen te beschrijven wat we waarnemen:

- De zon of lamp is een relatief klein, fel oplichtend, object. Men kan er nauwelijks naar kijken en men ziet geen contour of oppervlak. Kijkt men door een beroet of zeer donker glas, dan is de omgeving volledig donker en ziet men de contouren van een fel lichtend vlak.
- Het ondoorzichtige voorwerp is aan de kant van de zon stralend licht van kleur. Aan deze zijde tekent de contour zich af tegen een minder lichte tot donkere omgeving. Aan de schermzijde is het voorwerp donker en dof van kleur. De contour tekent zich hier af tegen een lichtere omgeving.
- Het hele scherm is op één plek na volledig lichtend wit.
- Houdt men het oog vlak bij de lamp en kijkt men van de lamp vandaan, dan is de hele omgeving lichtend en ziet men geen schaduwen.
- Verplaatst men het voorwerp naar het scherm toe, dan wordt de donkere vlek op het scherm kleiner en het voorwerp aan de schermkant lichter.

- Er is een relatie tussen de helderheid waarmee een voorwerp oplicht en de afstand tot het lichtende object, in dit geval het scherm.
- Ook het scherm licht feller op als de lamp er dichterbij staat.
- Beweegt men met één oog in de richting van de lamp kijkend langs het scherm, dan ziet men steeds de lamp, behalve daar waar het scherm donker is.

Hieruit blijkt dat het meelichtende, ondoorzichtige scherm met zijn licht/donker patroon een beeld laat zien van de omgeving. Ook de schaduwkant van het voorwerp laat zien hoe licht zijn omgeving is.

- Beweegt men de hand tussen lamp, voorwerp en scherm, dan is deze overal lichtend aan de naar de lamp toegekeerde zijde, maar veel donkerder tussen het scherm en het voorwerp.

De ruimte waar dingen oplichten zullen we *lichtruimte* noemen en de ruimte waar dingen donker zijn overeenkomstig *donkerruimte*.

- Houdt men een beschreven vel papier naast het voorwerp en kijkt men naar de tekst door een licht- of een donkerruimte, dan wordt deze niet meer of minder leesbaar.

De licht- en donkerruimte zélf zie je niet. Kijken door een licht- of donkerruimte bevordert of vermindert de leesbaarheid van een tekst niet. De leesbaarheid wordt slechts bepaald door de lichtende dingen in de omgeving van het papier en de mate waarin het papier zelf kan oplichten. Zo is ook de hele kosmische ruimte door en door licht, maar toch zien wij hem donker, omdat er behalve planeten en satellieten geen voorwerpen zijn die kunnen oplichten. Een licht- of een donkerruimte kan men dus niet waarnemen, alleen lichte of donkere objecten en contouren.

- Maakt men de lamp groter of kleiner (neem hiertoe bijvoorbeeld een matglas-lamp, dek deze af en varieer de opening), dan wordt de schaduwvlek op het scherm groter en onscherper, respectievelijk kleiner en scherper. Bij een grote lamp of lichtopening is de overgang van lichtend scherm naar schaduwplek breed. Kijkt men vanuit dit halfschaduwgebied terug naar de lamp, dan ziet men de lamp gedeeltelijk togedekt door het ondoorzichtige voorwerp. Bij een kleine lamp is het halfschaduwgebied kleiner en krijgt men een relatief scherpe schaduwrand. Dit fenomeen zal nog nader beschreven worden in paragraaf 2.2.

In de klas kan de beschrijving van zo'n proef, afhankelijk van de situatie, heel vluchtig of juist grondig worden uitgevoerd. Het gaat erom leerlingen bewust te laten worden van het feit dat wij licht meestal beschouwen als een continu stromend verschijnsel, terwijl dit bij nadere beschouwing niet op waarneming blijkt te berusten. In plaats van over stromend licht zullen we spreken over licht- en donkerruimte. Eventueel kan men ook spreken over licht- of donkerveld. De eigenschappen van beide zullen we nog

nader onderzoeken. Voorlopig volstaan we met de vaststelling dat beide soorten velden niet waarneembaar zijn. Alleen substanties als stenen, nevel, stofjes in de lucht en dergelijke zijn waarneembaar als nuances van licht-donker en kleur.