

## Hoofdstuk 5

### ELEKTRICITEITSLEER

#### 5.1 Inleiding

De warmteleer, die in hoofdstuk 4 beschreven werd, en de elektriciteitsleer, die in dit hoofdstuk wordt behandeld, vormen samen de inhoud van de negende klas periode. De wijze van behandeling van deze twee onderwerpen vertoont veel overeenkomsten. Daarom zal in dit hoofdstuk dezelfde indeling worden gevolgd als in hoofdstuk 4. Soms zal voor meer algemene toelichting terugverwezen worden naar hoofdstuk 4.

Het thema elektriciteit komt in het hele periodeleerplan verhoudingsgewijs vaak aan bod. In klas 6 tot en met 8 wordt het onderwerp stapsgewijze verkend naast andere thema's, waaronder warmte. In klas 9 wordt een laatste maal zowel warmte als elektriciteit behandeld, waarbij ook veel aandacht wordt geschonken aan de technische toepassing. Terwijl het thema warmte daarmee afgesloten wordt, komt de elektriciteit dan nogmaals aan de orde in klas 11. Het onderzoek naar het wezen van de elektriciteit staat dan op de voorgrond. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar hoofdstuk 2 en paragraaf 3.4.

De negende klasser staat aan het begin van de puberteit. Het astrale lichaam wordt geboren (zie hoofdstuk 1). Het kind krijgt de beschikking over een geïndividualiseerd zieleleven en beleeft zich daarin als afgesloten van zijn omgeving en vooral van andere mensen. In de ziel zelf differentiëren zich denken, voelen en willen en worden zelfstandige zielekrachten. Waar vóór de geboorte van het astrale lichaam denken, voelen en willen nog werden beschermd, nog waren ingebed, en als gevolg daarvan nog een harmonische eenheid vormden, moet er met het verzelfstandigen van de verschillende zielekrachten gezocht worden naar een nieuwe eenheid. Vanaf dit moment kan de persoonlijkheidskern, het 'ik', deze taak op zich nemen en harmoniserend, afstemmend werken op het denken, voelen en willen. Voor de puber en adolescent is dit 'ik' nog wel beschermd en kan het binnen deze bedding tastend zijn krachten meten met de zielekrachten, waar het vooralsnog weinig vat op heeft. Het elektrische kringproces laat in beeld dit hierboven beschreven omslagpunt zien. Zoals in dit hoofdstuk zal worden aangetoond heeft de elektriciteit die in de gesloten kring vergaat de tendens te verijlen, op te lossen, hij volgt een periferiegerichte tendens. Daartegenover werkt het magnetisme dat rond de gesloten kring ontstaat verdichtend, puntgericht. Er treedt een differentiatie op. De warmte, die in de gesloten kring ontstaat houdt deze polaire tendensen

bijeen en werkt eenheid bevorderend. Deze kwestie zal in paragraaf 5.5 tweede voorbeeld nog nader worden uitgewerkt.

## 5.2 Periodeopzet

Zoals hierboven reeds werd aangegeven zal de behandeling van het thema elektriciteit langs dezelfde weg verlopen als bij de warmte. Uitgaande van de verschijnselen worden op zorgvuldige wijze begrippen gevormd. Omdat voor de mens niet direct waarneembaar is hoe elektriciteit zich manifesteert, daar de waarneming altijd indirect verloopt, is de uitdaging om in dit gebied denkend door te dringen des te groter. Maar het is dan ook wel van het grootste belang om te snelle abstractie te voorkomen. Dan zou men de leerlingen met stenen voor brood laten zitten. Dit gevaar is bij meisjes nog groter dan bij jongens, omdat zij vaak in het geheel geen toegang krijgen tot de wereld van de elektriciteit, wanneer zij zich niet voldoende kunnen inleven in de verschijnselen en de te vormen begrippen. Naast begripsvorming zal beeldvorming vaak een uitkomst kunnen bieden. Dit zal in paragraaf 5.4 nader worden uitgewerkt. Net als bij de warmte mondt de begripsvorming uit in enerzijds het rekenen, anderzijds de technische toepassing. Natuurlijk kan men ook hier de omgekeerde weg volgen en een stuk techniek als uitgangspunt nemen. Men vraagt naar de werking en zoekt naar de verschijnselen die aan de basis staan van bijvoorbeeld een transformator of luidspreker.

Er volgt nu een overzicht van mogelijk te behandelen deelthema's:

- statische elektriciteit: het ontstaan, bestaan en vergaan van het veld;
- het elektrische kringproces: de dynamische elektriciteit; spanning en magnetisch effect (stroom); de wet van Ohm; de draaispoelmeter;
- wisselspanning, geluid en het frequentiebegrip; de luidspreker;
- de telefoon;
- inductie en zelfinductie; de transformator; de elektriciteitscentrale.

## 5.3 De proeven

### 5.3.1 Inleiding

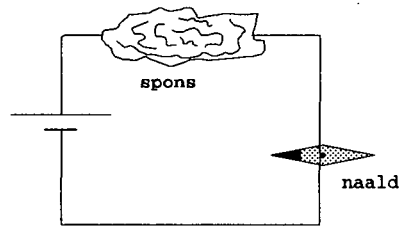
Gezien het belang van een stapsgewijze opbouw van de behandeling van elektrische verschijnselen om het gevaar van te snelle abstractie te vermijden is het zaak proeven zo op te zetten, dat oorzaak, voorwaarde en gevolg goed te onderscheiden zijn. Te zeer samengestelde proeven,

waar meer oorzaken en gevolgen door elkaar heen spelen, zijn niet geschikt. We maken weer een onderscheid tussen ervaringsreeksen en waarnemingsreeksen.

### 5.3.2 Uitgewerkt voorbeeld van een ervaringsreeks

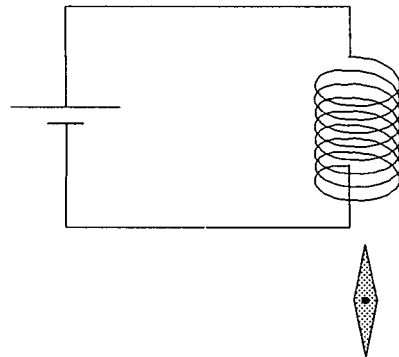
#### *Warmte- en magnetisch effect bij de elektrische kring*

1. Bevestig startkabels aan een accu en houdt de uiteinden zeer dicht bij elkaar. Er ontstaat geen vonk.
2. Houd de klemmen in beide handen. Er is niets te voelen.
3. Sla de klemmen tegen elkaar aan. Vonken spatten in het rond, zoals bij het slijpen van een beitel.
4. Maak met accu, kabels en een metalen spons een kring. De spons wordt roodgloeiend.
5. Houd een gevoelige kompasnaald bij de draad van situatie 4. De naald gaat loodrecht op de draad staan.



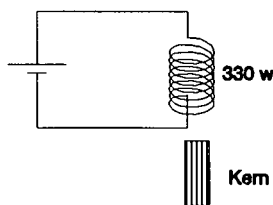
*Figuur 80*

6. Hetzelfde als onder 5 maar nu de plus- en min-pool gewisseld. De naald keert om.
7. Wikkel de kabel tot een spoel en maak een elektrische kring. De kompasnaald wordt krachtiger aangetrokken. *In* de spoel zal de naald in het verlengde van de spoel gaan staan.



*Figuur 81*

8. Plaats een stalen kern in de spoel, verder analoog aan 7. De naald wordt nog sterker aangetrokken.
9. Herhaal proef 7 met spoelen van 330, 660 en 1320 windingen. Meer windingen betekent dat de naald sterker wordt aangetrokken.
10. Herhaal proef 7 met spoelen van verschillende draaddikten en gelijk aantal windingen. Hoe dikker de draad, hoe sterker de naald wordt aangetrokken.
11. Maak een elektrische kring met accu, kabels en een spoel van bijvoorbeeld 330 windingen. Houd nu een stalen kern in de buurt van de opening van de spoel. De kern wordt naar binnen gezogen. (Wissel- of gelijkspanning speelt hier geen rol).



*Figuur 82*

De hierboven beschreven proevenreeks maakt zowel het warmte-effect als het magnetisch effect bij een elektrisch kringproces ervaarbaar. Daarbij nemen de onderdelen 7 t/m 11 al meer het karakter aan van een waarnemingsreeks, waarmee het magnetisch effect van een spoel nader bestudeerd kan worden.

### 5.3.3 Uitgewerkte voorbeelden van een waarnemingsreeks

#### *Eerste voorbeeld van een waarnemingsreeks: statische elektriciteit*

Voor het ontstaan van statische elektriciteit is wrijving nodig tussen:

- luchtlagen (bijvoorbeeld in de atmosfeer als een hogere luchtlaag sneller beweegt dan een lager gelegen luchtlaag);
- vloeistoflagen (bijvoorbeeld stromende olie in een pijp geeft concentrische stromingslagen; stroomt de olie in een tank dan vallen de lagen van elkaar en treedt er explosiegevaar op);
- vaste stoffen;
- stoffen met verschillende aggregatietoestanden.

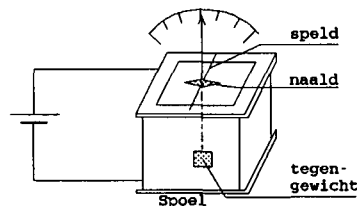
Naast bovengenoemde voorbeelden, waarover men iets kan vertellen, kunnen enige proefjes uit klas 8 herhaald worden:

1. Houd twee ongewreven pvc-buizen naast elkaar, waarbij men de bovenste uiteinden losjes tussen de vingers houdt. De buizen hangen verticaal naast elkaar.
2. Hetzelfde, maar nu met gewreven buizen. De buizen zullen uit elkaar gaan staan.
3. Wrijf twee plaatmaterialen tegen elkaar, bijvoorbeeld plexiglas en pvc (platen van  $25 \times 10 \text{ cm}^2$ ). Houd de platen in de buurt van een elektroscop, die eerst met een gewreven pvc buis in een elektrische toestand is gebracht. De plexiglasplaat doet de uitslag van de elektroscop afnemen, terwijl het omgekeerde optreedt bij de pvc-plaat. Wil deze proef slagen, dan dient hij te worden uitgevoerd in een droge ruimte, met droog en liefst warm materiaal.
4. Bevestig een reeks dunne papier slierten (vliegerpapier, stroken van 2 mm breed en 20 cm lang) midden en bovenop de bol van een van de Graaff generator. Wordt de bol in een elektrische toestand gebracht dan zullen de slierten als een ragebol uit elkaar gaan staan. Men kan de slierten ook alzijdig over het boloppervlak verdelen. De slierten zullen dan radiaal ten opzichte van het boloppervlak gaan staan.

### *Tweede voorbeeld van een waarnemingsreeks: de draaispoelmeter*

Deze waarnemingsreeks is bedoeld om het principe van een 'stroom'meter te demonstreren.

1. Een magnetometer of provisorische ampèremeter (een draaibare magneet op een spoel) wordt aangesloten op een batterij. De wijzer



*Figuur 83*

slaat uit. Worden de plus- en min-pool omgedraaid, dan slaat de wijzer naar de andere kant uit.

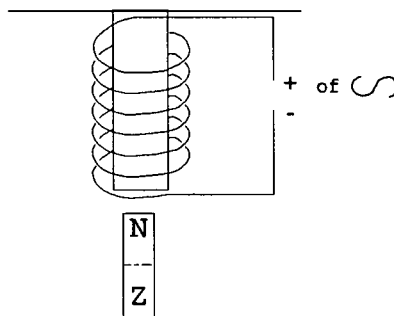
Men kan in dit verband wijzen op de rechterhandregel, een handige *afpraak* om de noordkant van een spoel te vinden. Leg je rechterhand om de spoel, zodanig dat de vingers langs de windingen liggen, wijzend van plus naar min. De opgestoken duim wijst dan richting noordkant.

2. Vervolgens kan men de werking van een gewone draaispoelmeter demonstreren, waarbij de spiraalveertjes de functie van het tegengewicht vervangen.

### *Derde voorbeeld van een waarnemingsreeks: de luidspreker*

De volgende waarnemingsreeks maakt het principe van de luidspreker duidelijk.

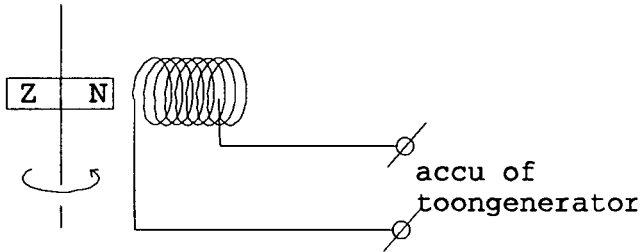
1. Maak een spoel op een toiletpapierrolletje met spoeldraad van circa 0,5 mm dik. De spoellengte wordt ongeveer 5 cm. Plak dit spoeltje midden op een stevig soort papier. Plaats een magneet in het spoeltje. Sluit eerst een batterij aan op het spoeltje. Het spoeltje zal nu naar boven of naar onderen bewegen.



*Figuur 84*

2. Sluit men nu een wisselspanning aan op het spoeltje (bijvoorbeeld van een elektrische voeding met een frequentie van 50 Hz), dan zal het papier gaan trillen. Een lage toon is hoorbaar.
3. Sluit nu een toongenerator aan op het spoeltje. Neem in de kring ook een lampje op om overbelasting - ook van eventuele zelfinductie van de spoel - te voorkomen. Laat de frequentie variëren tussen 0,1 en 15.000 Hz (ongeveer de gehoorrens). De proef kan nogmaals met een standaard luidspreker worden uitgevoerd.

4. Aansluitend aan deze reeks kan men nog een andere toepassing van de spoel demonstreren, namelijk de elektromotor, als herhaling van de achtste klas lesstof. Een draaibare magneet wordt opgesteld. Naast de magneet bevindt zich een spoel, welke eerst op de accu of batterij wordt aangesloten. Door de plus- en min-pool steeds achtereen te verwisselen zal de magneet gaan draaien. Vervolgens kan men de spoel op een toongenerator aansluiten.

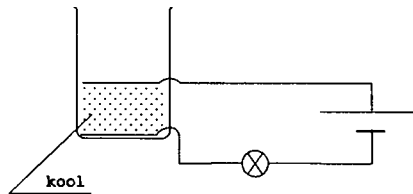


*Figuur 85*

***Vierde voorbeeld van een waarnemingsreeks: de telefoon***

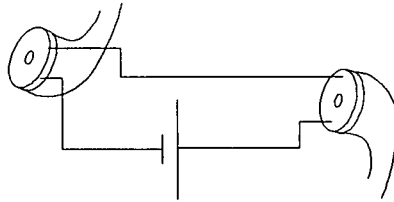
Deze waarnemingsreeks maakt de werking van de telefoon duidelijk.

1. Soldeer aan twee metalen plaatjes geïsoleerd koperdraad. Maak een elektrische kring van een lampje, een gelijkspanningsbron van 12V en de twee metalen plaatjes. Doe het ene plaatje onderin een bekersglas, daarop een laagje koolstof in korrelvorm en plaats het tweede plaatje er boven op. Door (harder) op de plaatjes te drukken gaat het lampje (feller) branden.



*Figuur 86*

- Dezelfde proef, maar nu met een koolstofmicrofoon (mondstuk van een telefoonhoorn). Drukt men op de conus, dan gaat het lampje feller branden.
- Vervolgens maakt men een elektrische kring van een koolstofmicrofoon en een luidspreker (respectievelijk mond- en oorstuk van een telefoonhoorn) en een gelijkspanningsbron van 12V. De werking van een telefoon is altijd weer verrassend voor leerlingen. Er wordt haast geen materiaal gebruikt en toch hoor je zo nauwkeurig de stem.

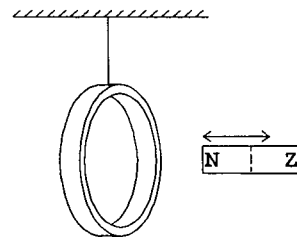


*Figuur 87*

***Vijfde voorbeeld van een waarnemingsreeks: inductie en zelfinductie***

Het idee inductie is bedacht door Michael Faraday (1791-1869). In paragraaf 5.9 wordt enige informatie over hem gegeven. Wat daar staat aangegeven kan worden opgenomen in een (biografische) vertelling. Hier volgt een waarnemingsreeks rond inductie.

- Maak een elektrische kring met een spoel van circa 1000 windingen en een mA-meter (bijvoorbeeld een demonstratie draaispoelmeter). Beweeg een magneet boven en in de spoel. Zolang de magneet beweegt slaat de meter uit. Vergeleken bij het naar de spoel bewegen, zal bij het van de spoel af bewegen een tegengestelde meteruitslag ontstaan. Wat er ook wordt omgepoold: de magneet, de spoel of de meteraansluiting, steeds zal de meteruitslag omdraaien.
- De ring van Thomson. Beweegt men een magneet naar een gesloten, vrij hangende ring (niet van ijzer of nikkel), dan wordt deze weggeduwd. Trekt men de magneet

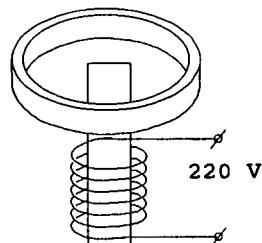


*Figuur 88*



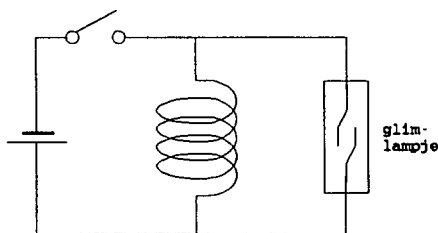
weg, dan wordt de ring meegenomen. Met twee magneten naast elkaar wordt het effect sterker of zwakker, naar gelang de magneten parallel of contraparaal worden gehouden.

3. Het afstotende effect kan nog versterkt worden door de ring over de kern van een spoel te leggen en er even 220 V op aan te sluiten. De ring vliegt omhoog, een doorgezaagde ring blijft echter liggen. In plaats van een ring kan er ook een hele spoel opgezet worden, die gaat zweven, wanneer de kring van de tweede spoel middels een kort snoertje wordt kortgesloten (primaire spoel 300 à 600 windingen).



*Figuur 89*

4. Hoe sneller een magneetveld in de buurt van een spoel of in de spoel komt, hoe hoger de inductiespanning is. Dit kan prachtig gedemonstreerd worden met zelfinductie: Op een accu wordt een spoel aangesloten met circa 10.000 windingen. Sluit de schakelaar, de spoel wordt magnetisch. Opent men nu de schakelaar snel, dan flitst het glimlampje even op en wel aan de plus-kant van de accu.



*Figuur 90*

Het vermogen van een spoel om een inductiespanning op te wekken noemt men de zelfinductie van een spoel. Deze zelfinductie is des te groter naarmate de spoel compacter is en er meer ijzer in verwerkt zit.

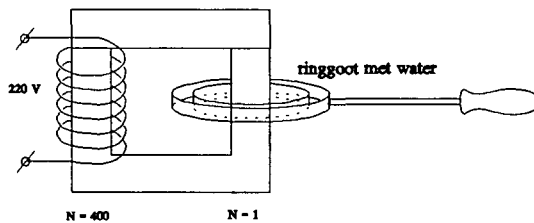
5. Tenslotte kan men het transformatorprincipe demonstreren. Plaats op een U-kern twee spoelen van bijvoorbeeld 440 en 24 windingen. Sluit de kern met een juk. Sluit een wisselspanningsbron van 220V en 50 Hz aan op de spoel van 440 windingen en een lamp van 12V en 3W

op de spoel met 24 windingen. De lamp zal op normale sterkte branden. Met een wisselspanningsmeter kan de spanning secundair gemeten worden: circa 12V. Vervolgens meet men de stroom primair en secundair (14 en 250 mA).

6. Een toepassing van het omlaag transformeren vormen de volgende proefopstellingen:

a. Inductieverwarming:

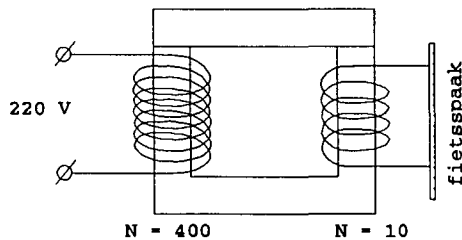
Sluit 220V wisselspanning aan op een spoel met 400W, die middels een U-kern en juk verbonden is met een spoel van één winding in de vorm van een ring met gootje, waarin een weinig water is gedaan. Het water in de ring gaat onder invloed van de secundair ontwikkelde warmte vrij snel koken.



*Figuur 91*

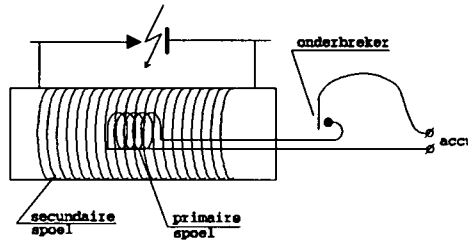
b. Lasapparaat:

Sluit in een overeenkomstige opstelling een secundaire spoel aan met 10 windingen. De windingen moeten heel dik zijn, omdat de secundaire kring met behulp van een ijzerdraad wordt kortgesloten. De ijzerdraad wordt roodgloeiend en brandt door. Een spaak van een fiets geeft een extra mooi effect vanwege de coating die er op aangebracht is.



*Figuur 92*

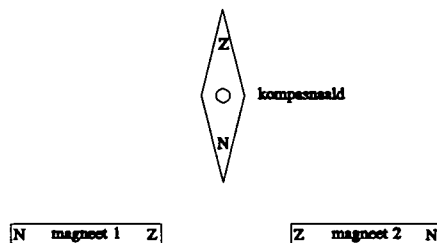
7. Een toepassing van het omhoog transformeren vormt de Ruhmkorff inductor. Een primaire spoel met een gering aantal windingen wordt geplaatst in een secundaire spoel met een groot aantal windingen. De primaire kring wordt aangesloten op een accu. Een magnetische onderbreker verbreekt ritmisch de primaire kring, waardoor er secundair zeer hoge spanningen ontstaan, doordat de zelfinductiespanning van de primaire spoel sterk omhoog wordt getransformeerd.



Figuur 93

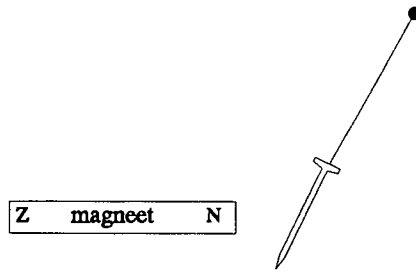
#### 5.3.4 Een rouleerpracticum elektriciteit/magnetisme

1. Beklop een stalen strip (veerkrachtige verpakingsstrip voor pallets) met een hamer in N-Z richting. Controleer aan een kompas hoe krachtig de strip magnetisch is geworden.  
Beklop een strip in één andere richting, wat bemerk je?  
Beklop de strip nu in wisselende richtingen, wat bemerk je nu?
2. Het vergelijken van de sterkte van magneten.  
Neem in iedere hand één magneet en beweeg deze naar een kompasnaald toe (houd de magneten op gelijke afstand tot het kompas). Beweegt de naald naar rechts, dan is de rechtermagneet het sterkst.



Figuur 94

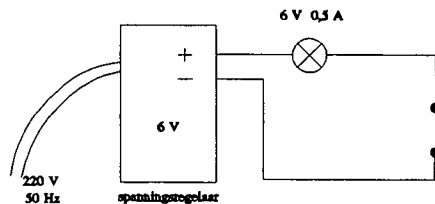
3. Hang een spijker of metalen stripje op aan een koperdraad. Zie figuur. Verwarm de spijker of strip met een brander tot ongeveer roodheet. Wat gebeurt er? Bij welke hittekleur zal de spijker weer in de greep van de magneet komen?



Figuur 95

4. Hoe makkelijk of moeilijk ontstaat een gesloten kringproces? Maak de volgende opstelling en neem achtereenvolgens de volgende voorwerpen op:

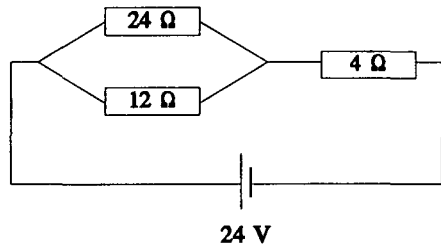
- ijzerdraad/spijker (kort, lang, dik, dun)
- koolstof
- hout
- vochtige doek
- bakje water met zout, zuur of suiker
- dunne ijzerdraad, met brander te verwarmen
- weerstandsdraad (constantaan)
- extra lampjes.



Figuur 96

5. Stroom is magnetisme. Bekijk met behulp van een galvanoscoop de stroomverschillen bij verschillende lampjes:
- 6 V, 0,05 A
  - 6 V, 0,5 A
  - 12 V, 0,5 A
6. Meet met behulp van een ampèremeter de stroom bij de verschillende lampjes.
7. Meet de stroom wanneer bij 6V twee dezelfde lampjes in serie of parallel geschakeld worden.

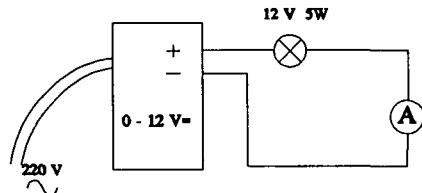
8. Gegeven een kring met drie weerstanden. Bereken de stroomsterkte en de spanning over iedere weerstand.



Figuur 97

9. Maak een batterij na. Neem een zinkplaatje en een koolstof staaf en plaats die in aangezuurd of gezout water. Meet de stroom met een ampèremeter of galvanoscoop. Idem met twee loodplaten, maar activeer deze batterij eerst door hem aan te sluiten op 5 V (zeven minuten).

10. Meet de stroom bij verschillende spanningen. Opstelling: Gesloten kring met een lamp van 12V en 5W en regelbare spanning. Maak een tabel  $V$ ,  $I$ ,  $V/I = R$  en bereken  $R$ .

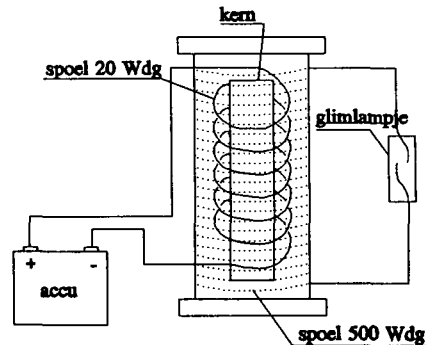


Figuur 98

11. Inductie.

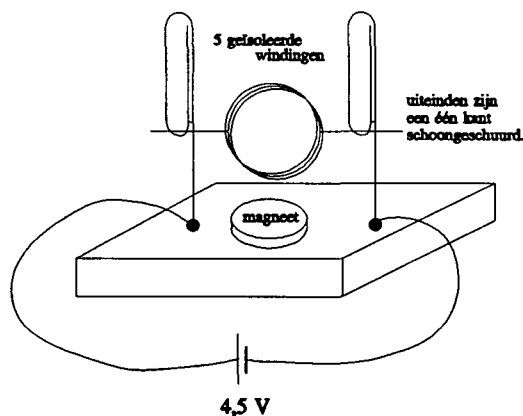
Maak een gesloten kring met een ampèremeter en een spoel van minstens 400 windingen. Beweeg een magneet in de spoel heen en weer en teken aan wanneer de wijzer naar rechts of links uitslaat.

12. Leg een zelfgewikkelde spoel ( $N=20$ ; de koperdraaddiameter 2 mm; met stalen kern) in een spoel met ongeveer 5000 windingen. Sluit op de spoel van 5000 windingen een glimlampje aan. Sluit de spoel met 20 windingen kortstondig aan (aantikken) op de accu. Het glimlampje flitst op aan de min-kant.



Figuur 99

12. Maak een elektrische bel (bouwdoos-elektriciteit).
13. Maak een dynamo: de paperclipmotor.



*Figuur 100*

Het spoeltje is gemaakt van gelakt koperdraad. De diameter komt overeen met de magneetdiameter. Het aantal windingen bedraagt 5 à 10. De ene contactdraad helemaal schoon schuren, het andere uiteinde maar voor de helft in verband met aantrekking of afstoting.

De motor kan ook als dynamo gebruikt worden. Sluit dan de uiteinden aan op een gevoelige ampèremeter. Om het effect te versterken kan men boven de spoel ook een magneet houden. Er ontstaat dan een homogeen magnetisch veld.

#### 5.4 Beeldvorming

Zoals reeds in paragraaf 5.2 naar voren werd gebracht kan beeldvorming, in de zin van het vergelijken van verwante fenomenen, voor leerlingen in de negende klas een belangrijke aanvulling zijn op de meer abstracte benadering van het ontwikkelen van en het werken met begrippen. Elektrische verschijnselen zijn niet gemakkelijk toegankelijk, omdat de waarneming van de fenomenen veelal indirect is en het denken dus extra moet worden aangesproken. Daarbij komt dat sommige leerlingen onbewust antipathiegevoelens hebben ten aanzien van elektrische verschijnselen. Juist dan kan het beeldend vergelijken ineens wel een toegang bieden. Er zullen een tweetal voorbeelden worden behandeld.

***Eerste voorbeeld van beeldvorming: het sluiten van een kring vergeleken met het ontwaken***

In een batterij of accu leeft de wil om chemisch actief te worden en daarmee elektriciteit te laten ontstaan. Deze wil kan slechts gerealiseerd worden als de polen via een kring gesloten worden. Zie paragraaf 5.3.2 (blz. 180 en 181) voor de verschillende proeven. Wordt de kring eenmaal gesloten, dan is er gelijktijdig een ontstaans- en vergaansproces van elektriciteit. De kring maakt het ontstaan mogelijk, terwijl het vergaan in de hele kring plaatsvindt, niet slechts in een gedeelte ervan. Verder 'stroomt' de elektriciteit niet door de kring - er zijn geen fenomenen die in deze richting wijzen - maar er is een procesmatige toestand van elektriciteit die door chemische activiteit ontstaat en weer vergaat in de kring, waarbij warmte en magnetisme ontstaan. Hoe kan nu de kring het ontstaan - en weer vergaan - mogelijk maken, terwijl toch de accu of batterij de actieve ontstaansruimte is? Een vergelijking met het ontwaken van de mens werpt hier licht op. Zolang een mens wakker is vinden er bepaalde lichaamsprocessen plaats, die gedurende het slapen niet optreden. Zodra een mens ontwaakt verbindt het bewustzijn zich met de ruimte. De lichaamsprocessen die dan op gaan treden veroorzaken niet het bewustzijn, het is eerder omgekeerd: het bewustzijn brengt de lichaamsprocessen voort, maar deze processen maken het verbinden van het bewustzijn met de ruimte wel mogelijk. Het sluiten van een elektrische kring is te vergelijken met het ontwaken uit de slaap. Het lichaam en de kring zijn aangrijpingspunten voor ruimtewerkingen. Zoals het bewustzijn houvast heeft aan het lichaam, heeft het proces van ontstaan en vergaan van de elektriciteit houvast aan de kring.

Met deze beschrijving heeft men de mogelijkheid het verband tussen het onruimtelijke en het ruimtelijke duidelijk te maken, zoals dit ook het geval was met het voorbeeld van zelfontbranding (zie paragraaf 4.4, blz. 83). Hopelijk is hiermee ook duidelijk dat het watermodel in alle opzichten een gebrekkige analogie is. Het bindt het bewustzijn eenzijdig aan de waarnemingswereld, terwijl het juist de opgave van de fenomenologie is om door te dringen tot de idee.

***Tweede voorbeeld van de beeldvorming: de wet van Ohm***

De spanning en de stroom, het magnetische, staan in een vaste relatie tot elkaar die tot uitdrukking komt in de wet van Ohm. De wet van Ohm kan als een algemene psychologische wetmatigheid geïntroduceerd

worden: het resultaat van een actie hangt af van de wil en van de medewerking (1) of tegenwerking (2) vanuit de omgeving:

(1) het effect of de intensiteit van een proces = wil of wens x medewerking, geleidbaarheid of bereidheid van de omgeving

(2) het effect =  $\frac{\text{wil, wens, verlangen}}{\text{tegenwerking, weerstand}}$

Aan een aantal voorbeelden kan dit duidelijk gemaakt worden: een huis willen bouwen, huiswerk maken en dergelijke. Ook de kortstondige grote wil (verlangen) kan hier worden aangehaald en kan vergeleken worden met de elektriseermachine.

In de elektriciteitsleer wordt meestal de tweede schrijfwijze met de weerstand in Ohm gekozen, terwijl schrijfwijze (1) gebruik maakt van het begrip geleidbaarheid dat uitgedrukt wordt in Siemens.

het magnetisch effect =  $\frac{\text{de elektrische spanning}}{\text{weerstand}}$

$$I \text{ (Ampère)} = \frac{U \text{ (Volt)}}{R \text{ (Ohm)}}$$

Het is ook mogelijk om aan de hand van metingen te constateren dat de verhouding tussen stroom (magnetisme) en spanning constant is.

$$\frac{I}{U} = \text{constant of } \frac{U}{I} = \text{constant}$$

Deze constante waarde zegt iets over de *kring*. Lengte, dikte en materiaal bepalen deze waarde ( $R = \rho \cdot l/d$ ).

## 5.5 Begripsvorming en ideeënvorming

Voor de leerkracht is het belangrijk om een visie te hebben op:

1. de plaats van elektriciteit en magnetisme in het spectrum van de natuurkrachten;
2. oertendens, gestiek of gebaar van de elektrisch/magnetische fenomenen.



Hierover zullen enige karakteristieke ideeën ontwikkeld worden. Sommige van de nu volgende beschouwingen zijn moeilijk voor negende klas leerlingen. De lezer beoordele zelf wat hij/zij geschikt acht.

Op de vraag 'wat is elektriciteit?' zou men als volgt antwoord moeten geven: elektriciteit is een begrip, een wezen dat denkend doorgrond kan worden. Een begrip krijgt echter pas inhoud door het in zijn verschijning te leren kennen. Daarom wordt geen model of definitie gegeven maar ontstaat het houvast in de fenomenen door een rationele beschrijving van die fenomenen.

In deze paragraaf zullen ten aanzien van de volgende voorbeelden begripsvorming en ideeënvorming worden behandeld:

1. het ontstaan, bestaan en vergaan van elektriciteit;
2. het elektrisch kringproces en de dynamische elektriciteit;
3. inductie.

***Eerste voorbeeld van begrips- en ideeënvorming: het ontstaan, bestaan en vergaan van elektriciteit***

Ontstaan en vergaan van elektriciteit kan niet bij voorbaat - dus zonder kennisproces - betekenen dat alleen het wel of niet bemerkbaar zijn verandert. Meestal wordt in de natuurkunde alleen met veranderingsprocessen en omzetting gerekend. Ontstaan en vergaan zou echter ook kunnen betekenen, dat het verschijnsel elektriciteit werkelijk in de ruimte komt, respectievelijk uit de ruimte verdwijnt. Dat de elektriciteit dus in zijn verschijning ontstaat en vergaat. Er is niets in de elektrische fenomenen dat erop wijst dat het aanwezig blijft, als het niet meer aantoonbaar is. De behoefte de verschijnselen wel zo te interpreteren ontstaat, zodra men elektriciteit materialistisch wil opvatten. Het denken in termen van elektrische deeltjes ligt dan voor de hand. Gaat men direct uit van de fenomenen, dan wijzen deze erop dat zodra een elektrisch veld verdwijnt de elektriciteit ook werkelijk uit de ruimte verdwenen is. Wie een normale natuurkundige opleiding heeft gevolgd is sterk behept met het deeltjesdenken. Wil men in de hier volgende uiteenzettingen mee kunnen, dan moet men dit deeltjesmodel met kracht terughouden. Deze opmerkingen gelden overigens niet voor de negende klas leerlingen, immers op de Vrije School zullen zij met zulke denkmodellen nog nauwelijks kennismakeert hebben. Dat gebeurt normaal gesproken pas in de 11de klas.

In deze periode kunnen drie processen worden behandeld waardoor elektriciteit ontstaat, namelijk:

- wrijving (van de Graaffgenerator, wrijven van platen, zie paragraaf 5.3.3 eerste waarnemingsreeks (blz. 181);
- chemische processen (accu, batterij, dit wordt in de tweede waarnemingsreeks behandeld, zie blz. 182);
- magnetisme/inductie (dynamo, dit komt in de derde waarnemingsreeks aan de orde, zie blz. 183).

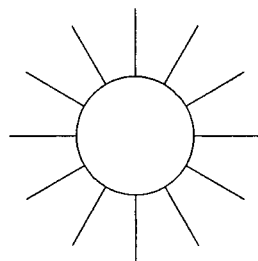
Men heeft ook nog de mogelijkheid het thermokoppel te behandelen, omdat dit immers te maken heeft met beide hoofdthema's van de negende klas periode: warmte en elektriciteit.

In de meeste gevallen ontstaat gelijkspanning, alleen bij de dynamo treedt er wisselspanning op. Een ander onderscheid dat kan worden gemaakt is de tegenstelling statische en dynamische elektriciteit. De statische elektriciteit toont zich in het elektrische veld, dat zich in de ruimte een tijdje kan handhaven, in tegenstelling tot de dynamische elektriciteit die tot verschijning komt in een proces. De fenomenen van de dynamische elektriciteit zijn momentaan, staan als het ware met maar één voet in de ruimte. Het elektrische veld daarentegen is duidelijk een ruimt fenomeen. Het veld kan gefixeerd worden aan geïsoleerde voorwerpen, zoals kunststofplaten of condensatoren. We zullen de fenomenen van de statische elektriciteit nu nader bekijken vanuit de blikrichtingen ontstaan, bestaan en vergaan. De bijbehorende proeven staan beschreven in de eerste waarnemingsreeks van paragraaf 5.3.3 (blz. 181).

Bij wrijving tussen gassen, vloeistoffen en vaste stoffen *ontstaat* altijd statische elektriciteit. Beperken we ons tot het wrijven van vaste stoffen, zoals het wrijven van twee kunststof platen, dan wordt het harde, gladde materiaal positief elektrisch en het zachte, ruwe materiaal negatief elektrisch. Bijvoorbeeld plexiglas en pvc-plaat: de eerste wordt positief, de tweede negatief elektrisch. Bij het wrijven van glas en hars (barnsteen) wordt de eerste positief en de tweede negatief elektrisch. Het veld, de ruimtstructuur, komt pas te voorschijn wanneer de twee platen of stoffen uit elkaar getrokken worden.

Het *bestaan* van de statistische elektriciteit. Hoe is een veld in de ruimte aanwezig, wat is zijn structuur, wat wil het bewerkstelligen? We kunnen twee gewreven platen zo ver uit elkaar trekken, dat zij beide een zelfstandig veld om zich heen hebben. Het ene noemen we een negatief en het andere een positief veld. De structuur van deze velden wordt weergegeven door de traditionele veldlijnen. Een nieuwe vraag is: wat wil dit veld, waar streeft het naar, wat is zijn tendens? Een elektrisch veld streeft er naar om te verdwijnen, om te *vergaan*. Dit vergaan kan op verschillende manieren plaatsvinden:

1. Door versplintering in de ruimte. Papieren snippertjes worden door het veld aangezogen en weer afgestoten. De snippertjes worden zelf elektrisch, terwijl het veld aan kracht inboet.
2. Het veld kan in de aarde verdwijnen.
3. Door een vonk aan een tegengesteld veld vergaat het veld. Bij een elektriseermachine is dit goed te observeren: hoe langer men draait, hoe sterker de tegengestelde velden en hoe eerder de vonk overslaat.
4. Het veld heeft ook de tendens te verdwijnen in het grensvlak (zie voor dit begrip uit de projectieve meetkunde paragraaf 4.9.5, blz. 156 e.v.). Een ragebol van dunne slierten papier laat deze tendens tot verijling, oplossing of verdwijnen in de ruimte prachtig zien.

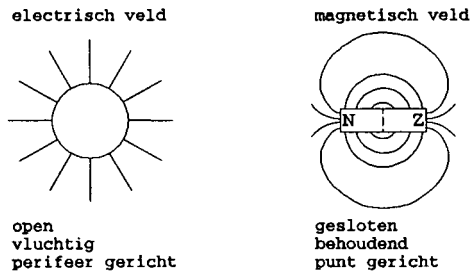


*Figuur 101*

Deze kwestie wordt nog duidelijker als men een elektrisch veld vergelijkt met een magnetisch veld, dat een polaire tendens vertoont.

Het magnetische veld (ferro-magnetisme) is zeer selectief, alleen ijzer, nikkel en kobalt worden aangetrokken en vastgehouden. Het magnetische veld is daarbij een in zichzelf gesloten veld, een zogenaamd wervel-veld. Het heeft ook de tendens zich in het materiaal te verstoppen. Hieraan komt men tegemoet wanneer twee magneten bewaard worden, namelijk twee aan twee, contraparallel, verbonden met ijzeren afdekklaatjes. Het elektrische veld wil vervluchtigen, verdwijnen, is perifeer-gericht. Het magnetische veld is verdichtend, behoudend (wil in de ruimte blijven) en punt-gericht.

Typerend in dit verband is ook dat de veldlijnen bij het elektrische veld loodrecht op de elektroden staan, terwijl de veldlijnen rond een magneet deels zeer schuin op het magneetoppervlak staan. Bij het elektrische veld wordt daarin de tendens zichtbaar om zo snel mogelijk van de stof weg te willen en te verdwijnen, terwijl bij het magnetische veld een afrondend, gesloten gebaar zichtbaar wordt. Daarbij dient in beide gevallen de tendens goed onderscheiden te worden van de veldstructuur. Het elektrische *veld* is het werkingsgebied van een elektrisch voorwerp. Het is een begrip dat zeer nauw verbonden is aan de waarneming. De *veldstructuur* geven we aan met veldlijnen. Om tot dit begrip te komen is al een grotere denkactiviteit nodig. Om tenslotte de *tendens* van het veld, het gebaar dat erin verborgen ligt, te onderscheiden, vergt de grootste denkinspanning. Voor het elektrische en het magnetische veld kunnen de tegengestelde tendensen als volgt worden weergegeven:



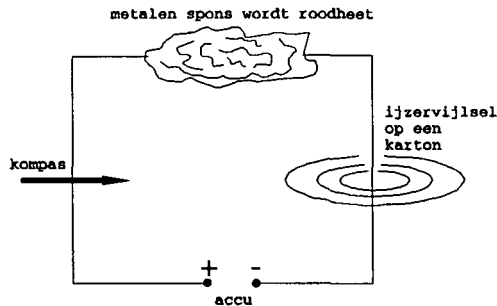
*Figuur 102*

Deze polaire tendensen zijn in vele proefjes zichtbaar en kunnen als een fenomenologisch inzicht getypeerd worden.

***Tweede voorbeeld van begrips- en ideeënvorming: het elektrische kringproces en de dynamische elektriciteit***

De dynamische elektriciteit komt in verschijning wanneer ontstaan en vergaan samenvallen. Op geen enkele wijze kan dit proces gefixeerd worden, het is alleen actief in het moment. De batterij toont zijn wil om tot een proces te komen in de vorm van de spanning. De spanning is vergelijkbaar met de wens, het voornemen of de wil die men heeft om mogelijkwerwijs iets te gaan doen. Pas in het doen wordt duidelijk waartoe deze batterij of zonnecel in staat is.

Het oerfenomeen van de dynamische elektriciteit is de gesloten (metalen) kring. Aan de hele kring inclusief de spanningsbron zijn twee polaire waarnemingen te doen, namelijk het ontstaan van *warmte* en het ontstaan van *magnetisme* (zie ervaringsreeks in paragraaf 5.3.2, blz. 180).



*Figuur 103*

Hoe korter en dikker de kring is, des te meer warmte en magnetisme in verschijning treden. Ook zullen de chemische processen in de accu intensiever worden. Het poolmateriaal dat het sterkst in oplossing gaat, aangetast wordt, noemt met de min-pool. In een kring die uit één draad bestaat gaat de warmteontwikkeling gelijk op met de sterkte van het magnetisme.

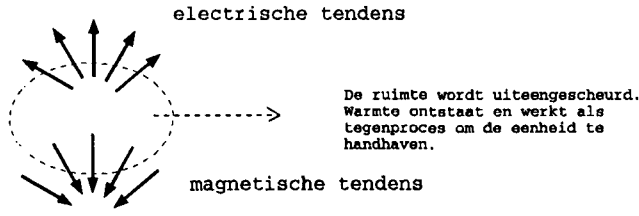
Voor de leerkracht is het heel belangrijk om bij déze basisfenomenen aan te sluiten. Vanuit het fenomeen is het onomstotelijk gegeven, dat magnetisme het primaire fenomeen is dat men gangbaar de naam 'stroom' geeft. 'Stroom' heeft niets van doen met stroming en voorlopig ook niet met het begrip lading - dat trouwens ook nooit 'in' voorwerpen te vinden is, maar altijd eromheen of, bij condensatoren, ertussen. Onder het ingeburgerde woord '*stroom*' moet dus verstaan worden: *het magnetische effect dat concentrisch rond een draad werkzaam is.*

We zullen nu het verschijnsel spanning nader onder de loep nemen. Elektrische spanning ontstaat zodra een edel en onedel metaal in een waterige oplossing worden geplaatst (galvanisch element). Er vindt gedurende korte tijd chemische activiteit plaats, die afneemt naarmate de elektrische spanning wordt opgebouwd. Met het bereiken van de maximale spanning houdt de chemische activiteit geheel op. Maken we nu een elektrische kring, dan daalt de klemspanning, terwijl de chemische activiteit toeneemt. Hoe lager de weerstand van de kring, hoe sterker de klemspanning daalt en hoe meer chemische activiteit plaatsvindt. Zo bezien is de chemische activiteit de primaire wil, terwijl het ontstaan van spanning zich als een tegenproces uit: bij een niet-gesloten kring wordt de chemische activiteit geremd door de opbouw van de spanning. Bij een gesloten kring daalt de klemspanning, omdat elektriciteit ernaar streeft om te verdwijnen en daartoe door de kring in de gelegenheid wordt gesteld. Er ontstaat een evenwicht tussen ontstaan en vergaan van elektrische spanning, waarbij de spanning daalt, naarmate de kring minder weerstand heeft en het vergaan dus in sterkere mate plaats heeft.

Men ziet: de chemische processen roepen hun eigen tegenproces op in de vorm van een elektrische potentiaal, die de chemie onderdrukt. Daarnaast werken de gassen en stoffen, die als gevolg van de chemische activiteit ontstaan, ook remmend. Het grote probleem bij het maken van accumulatoren is dan ook het voorkomen dat er chemische tegenprocessen ontstaan, gassen of stoffen die de wil tot chemische activiteit teniet doen. Al eerder werd bij de behandeling van warmtestraling in paragraaf 4.4 (blz. 84) Rudolf Steiner aangehaald, die spreekt over de nijd van de natuur om verschillen en daarmee een perpetuum mobile te laten ontstaan. Vanuit de chemische willende activiteit zou een perpetuum mobile willen ontstaan. Bij de huidige stand van de techniek ontstaan er altijd tegenpro-

cessen die dit verhinderen. Deze tegenprocessen te minimaliseren is het streven van de 19e en 20e eeuwse wetenschap en technologie.

Welke rol speelt de warmte in dit proces? Twee zaken kunnen daarbij in overweging genomen worden. Ten eerste neemt bij de meeste stoffen de weerstand toe met de temperatuur. Het materiaal verzet zich bij toenemende temperatuur steeds sterker tegen het elektrisch-magnetische proces dat eraan opgelegd wordt. De warmteontwikkeling is hier een uitdrukking van verzet. Het geeft het tegenproces weer dat plaatsvindt. In de tweede plaats stelt de warmte zich te weer tegen het 'open scheuren van de ruimte', doordat enerzijds het elektrische veld rond de kring een perifeer gerichte tendens volgt, terwijl anderzijds het magnetische veld punt-gericht is. De warmte wil deze tegengestelde tendensen bijhouden en de eenheid bevorderen en werkt daarom ook in deze zin als tegenproces. Het openscheuren van de ruimte door de duale werking van de elektrische en magnetische kracht, dit uiteenvallen in twee tegengestelde tendensen, is vergelijkbaar met het ontstaan van koude, dat altijd naar een isolement voert. De warmte werkt als tegenproces, dat de eenheid in plaats van de tweehed wil bewerkstelligen. Deze beschrijving werpt ook licht op een uitspraak van Rudolf Steiner: 'Een elektrisch proces is eigenlijk het wegzuigen van koude in plaats van het schenken van warmte'.



*Figuur 104*

***Derde voorbeeld van begrips- en ideeënvorming: inductie***

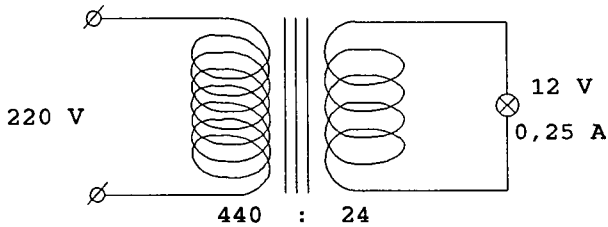
De idee van de inductie is voor het eerst gevonden door de geniale fenomenoloog Michael Faraday (1791-1869). Zijn denken was geheel in de lijn van Goethe, maar ook hij heeft zijn methode niet expliciet uitgewerkt. Hij zocht naar het verband tussen elektriciteit en magnetisme. Omdat met elektriciteit magnetisme kan worden opgewekt, veronderstelde hij dat dit in omgekeerde zin ook mogelijk moest zijn. Zo ontdekte hij de

verschijnselen van de inductie. In paragraaf 5.8.2 is een korte beschrijving van zijn zoektocht opgenomen.

In de volgende uiteenzetting sluiten we aan op de proeven van paragraaf 5.3.3 vijfde waarnemingsreeks (blz. 185 e.v.). Beweegt men een magneet in of rond een spoel, dan zal in de spoel een elektrische spanning worden opgewekt. Evenals bij de elektrische kring is hier sprake van dynamische elektriciteit: zodra elektriciteit ontstaat vergaat hij in de kring van de spoel, mits deze kring gesloten is. De door de bewegende magneet opgewekte spanning, de inductiespanning, leidt in een gesloten kring tot het ontstaan van een magnetisch veld rond de spoel, met een aan de magneet tegengesteld veld als de magneet naar de spoel wordt toe bewogen en een gelijk gericht veld als de magneet van de spoel af wordt bewogen. Het geïnduceerde magnetische veld verzet zich tegen de beweging van de magneet en toont zich dus als een tegenproces. De ring van Thomson wordt door een naar de ring toe bewegende magneet afgestoten en door een van de ring af bewegende magneet aangetrokken. Ook hier uit zich het geïnduceerde magnetische veld als tegenproces. In deze proef komt het behoudende gebaar van magnetisme duidelijk naar voren: het magnetische veld wil zijn toestand handhaven en verzet zich tegen veranderingen. Hoe sneller een magneet in de buurt komt, hoe sterker het tegenproces: er ontstaat een hoge inductiespanning. De proef met zelfinductie (proef 4, blz. 186) laat dit prachtig zien. Dit tegenproces kan zich echter pas manifesteren als de kring van de spoel gesloten wordt. Vandaar dat een dynamo moeilijker aan te drijven is zodra de kring gesloten wordt. Een ander voorbeeld is een electromotor, die lang blijft uitdraaien wanneer de spanning wordt weggenomen. Sluit men tijdens dit uitdraaien de spoelen kort, dan staat de rotor snel stil.

Een toepassing van inductie is naast de dynamo of generator ook de transformator (in de proevenreeks 5 t/m 7, blz. 186 e.v.). Sluit men een wisselspanningsbron aan op de primaire spoel van een transformator, dan kan men de leerlingen het volgende beeld voorhouden. Voor de secundaire spoel is het nu alsof men snel achtereen een magneet in deze spoel steekt, er uit trekt, hem er ongepoold in steekt, er uit trekt, enzovoort. In de secundaire spoel zal dus een wisselspanning worden geïnduceerd. Zie figuur 105.

Varieert men met het sluitstuk van de kern de concentratie van het magnetische veld in de secundaire spoel, dan zal het lampje feller gaan branden, naarmate dit veld zich beter in de kern kan verstoppen. Dit wil zeggen: naarmate het magnetische veld niet meer werkzaam is buiten de kern (meetbaar met behulp van een kompas) wordt het inductie-effect van de spoel groter. Weer toont zich hier de samenballende, inzuigende ten-



*Figuur 105*

dens van het magnetisme als diametraal tegenover de elektrische inductiespanning, die ernaar streeft om te verdwijnen.

De inductiespanning die ontstaat blijkt evenredig met de windingenverhoudingen:

$$\begin{aligned} U_p : N_p &= U_s : N_s \\ 220 : 440 &= 12 : 24 \end{aligned}$$

Op dit verband kan men op negende klas niveau niet nader in gaan.

Sluit men de kring van de secundaire spoel, dan zal de spanning over deze spoel dalen naarmate de weerstand van de secundaire kring lager is. Tegelijkertijd zal de stroom in de secundaire kring sterk toenemen. Ook bij een open secundaire kring was er al stroom in de primaire kring. Deze neemt verder toe, naarmate de secundaire kring zwaarder belast wordt. Hierdoor werkt de stroom in de secundaire spoel uiteindelijk als mee-proces terug op de primaire spoel. Het proces van vergaan van de elektriciteit in de primaire kring wordt dus sterker wanneer de secundaire kring gesloten wordt. Men kan ook zeggen dat de weerstand van de primaire kring als het ware lager wordt: het is alsof de zelfinductie van de primaire kring verlaagd wordt. Bij geringe secundaire belasting blijkt het produkt van de stroom en het aantal windingen van primaire en secundaire spoel gelijk te zijn:

$$I_p \times N_p = I_s \times N_s$$

Hieruit blijkt dat spanning en stroom volgens tegengestelde wetten transformeren: de spanning volgens een constante verhouding, de stroom volgens een constant produkt. Het produkt spanning x stroom blijft behouden, op een klein verlies na, dat bij een goede transformator enkele procenten bedraagt. Bij een zwaardere secundaire belasting zal de secundaire stroom groter en de spanning kleiner zijn dan de windingverhoudin-



gen aangeven. Het produkt van beide verhoudingen blijft echter wel constant:

$$\frac{U}{N} \times I \cdot N = \text{constant}$$

$$U \times I = \text{constant}$$

Bij niet al te grote belasting van de secundair spoel blijft dus het *vermogen*  $P = U \times I$  behouden. Dat het produkt van spanning en stroom gelijk is aan het vermogen  $P$  kan als volgt verduidelijkt worden. De elektrische spanning in een kring hebben we eerder beschreven als wil tot verdwijnen, de stroom als het magnetische effect dat daarbij ontstaat. Dan wordt het voor leerlingen duidelijk dat het vermogen gelijk is aan wil  $\times$  effect: mijn 'vermogen' tot huiswerk maken uit zich in de ingezette wil *en* in het bereikte effect. Een mogelijke vergelijking is ook:  $P = F \times v$ , vermogen is kracht maal snelheid, ofwel wil maal effect. In de transformator blijft het vermogen bij het transformeren behouden, hoewel een klein verlies optreedt. Dit verlies blijkt evenredig met de in de kern ontwikkelde warmte: de transformator zou een perpetuum mobile kunnen zijn, maar tegenprocessen in de vorm van warmteontwikkeling verhinderen dat.

## 5.6 Opgaven

Net als bij het onderwerp warmte geeft het maken van opgaven de leerlingen houvast. Enerzijds omdat de eerder gevonden wetmatigheden concreet worden gemaakt, anderzijds omdat begrippen als spanning, stroom (= magnetisch effect) en vermogen door het maken van opgaven voor de leerlingen helderder kunnen worden: telkens wordt men weer gedwongen zich te realiseren: wat is 'U', waar staat spanning voor en wat is de logica van de vergelijking  $I = U/R$ ? Als voorbeeld zullen hieronder enige opgaven gegeven worden.

1. Op een lampje staat 6V/0,045A.
  - a. Teken een kring met daarin het lampje.
  - b. Bereken de weerstand van de gloeidraad.
  - c. Hoe groot is het vermogen?
2. Op een lamp staat 75 Watt/220V.
  - a. Teken de kring en bereken de weerstand van de gloeidraad.

- b. Hoe groot is de stroom (magnetisme) van de kring?
3. Aan een kerstboomlampjessnoer zitten 20 lampjes. De aansluitspanning is 220V. De magnetische intensiteit van de kring is 0,1A.  
Bereken: de spanning over ieder lampje;  
het vermogen van ieder lampje;  
de weerstand van iedere gloeidraad.
  4. Op een lampje staat 6V/0,45A.
    - a. Bereken de weerstand (Ohm) en de geleidbaarheid (Siemens).
    - b. Hoe groot is het vermogen van het lampje?
  5. Op een straalkachel staat 1000 Watt/220V.  
Bereken de stroom en de geleidbaarheid van de kring.
  6. Op een straalkachel staat 2x750 Watt/220V.  
Teken de kring (2 standen zijn mogelijk, parallelschakeling).  
Bereken de magnetische intensiteit (stroom) van de kringen.
  7. In ieder klaslokaal zitten vier lampen van 200 Watt/220V.  
Teken de kringen.  
Bereken de stroom van iedere kring.  
Bepaal de stroom van de kabel bij de meterkast.  
Zoek uit wat er zoal in een meterkast aanwezig is en teken dit schematisch.
  8. Een transformator voor de huisbel geeft secundair 6V wisselspanning (primair 220V).  
Bereken de verhouding van de windingen.  
De bel heeft spoelen met een weerstand van 12 Ohm.  
Teken de schakeling met bel, transformator en drukknop.  
Bereken de stroom en het vermogen van de primaire en secundaire kring.
  9. De verwarmingsspiraal van een broodrooster is gemaakt van chroom-nikkeldraad (weerstand 1 Ohm/mm<sup>2</sup>/m). De draadafmetingen zijn 5 x 0,4 mm. De lengte is 2 x 3 meter (twee spiralen in serie).  
Bereken de magnetische intensiteit (stroom) van de kringen en het totale vermogen.
  10. Gegeven een kring met drie weerstanden.  
Bereken de stromen en de spanning over iedere weerstand.

11. Een ampèremeter (magnetometer)  $\Delta V = 100\text{mV}$ ,  $I_{\text{max}} = 1\text{mA}$  wordt gebruikt om spanning te meten. Hiertoe moet het meetbereik van de meter veranderd worden van  $100\text{mV}$  tot  $100\text{V}$ . Hoe groot moet de voorschakelweerstand dan zijn?
12. Een ampèremeter ( $I_{\text{max}} = 1\text{mA}$  en  $V = 100\text{mV}$ ) wordt gebruikt om een stroom (magnetisme, warmte) van  $3\text{A}$  te meten. Hoe moet het meetbereik aangepast worden? Bereken de shunt.
13. Teken een kring met een spanningsbron van  $220\text{V}$ , een lamp van  $60\text{Watt}/220\text{V}$ , een ampèremeter en een voltmeter over de lamp. Welke aanpassingen moeten er aan de meters plaats vinden? (Op beide meters staat  $1\text{mA}$  en  $100\text{mV}$ ). Bereken de voorschakelweerstand en de shunt.

## 5.7 De technische toepassing

In deze paragraaf zullen enige technische toepassingen van elektriciteit en magnetisme worden besproken, die nauw aansluiten bij de behandelde lesstof. Zoals in paragraaf 5.8.1 'De ontwikkeling van de elektriciteitsleer en haar toepassingen' zal worden beschreven, hebben in het verleden ontdekkingen op het gebied van de elektriciteit en het magnetisme vrijwel steeds direct geleid tot technische toepassing. Nog meer dan dat bij andere natuurkrachten het geval is heeft de technische toepassing de ontwikkeling van de theorie gestimuleerd. De oorzaak hiervan is gelegen in een kenmerk van de menselijke verhouding ten aanzien van zowel elektriciteit als magnetisme, namelijk het gegeven dat deze krachten zich onttrekken aan de directe menselijke waarneming. Dit vraagt enerzijds om een meer begripsmatige benadering van deze fenomenen. Anderzijds zullen juist de ervaringen die men opdoet bij het praktische aanwenden van elektrische en magnetische kracht leiden tot meer inzicht. Voor de leerlingen werkt het zeer verhelderend om te zien hoe voor hen moeilijke begrippen als spanning, stroom en inductie toegepast kunnen worden op technische apparatuur.

### *De luidspreker*

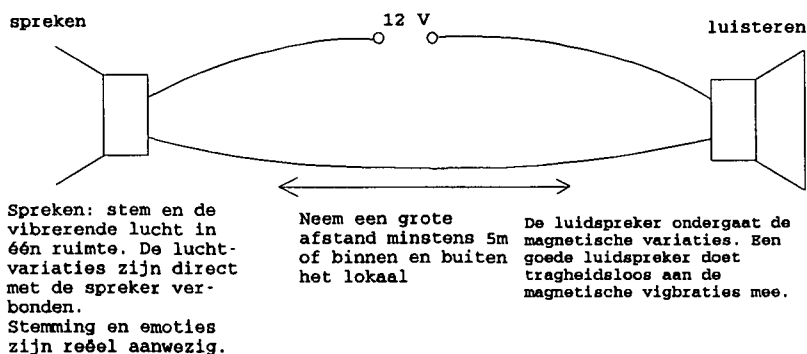
Enige proeven die men kan tonen zijn reeds besproken in paragraaf 5.3 derde voorbeeld (blz. 183). Deze proeven maken aanschouwelijk dat een wisselspanning, aangesloten op de spoel van een luidspreker, deze spoel tot trilling brengt. Het trilritme volgt het ritme van het wisselen van

de spanningspolariteit, zodat kwantitatief geldt: frequentie wisselspanning = frequentie (geluids)trilling. Het is belangrijk de leerlingen erop te wijzen dat dit niet betekent dat wisselspanning ook trilling is. Heeft de wisselspanning een constante frequentie, dan wordt een regelmatige toon hoorbaar. Hierbij treedt het gevaar op dat men trilling en klank gelijkstelt, of alleen de eerste aanziet voor reëel en de tweede als illusie beschouwt. Neemt men de klank, als secundaire waarneming (zie paragraaf 3.3, blz. 36 e.v.), even reëel als de uiterlijke trilling, dan kan men tot de gedachte komen dat het wezen van de klank zich kan verbinden met de uiterlijke trilling. Hoe men deze kwestie met de leerlingen bespreekt zal uit de lessituatie moeten blijken. Men kan bijvoorbeeld zeggen dat het geluid twee kanten heeft, een uiterlijk trillende en een innerlijk beleefde toonkwaliteit. Dit punt zal ten aanzien van de telefoon nog nader worden besproken.

### *De telefoon*

Uit de proeven in paragraaf 5.3 vierde voorbeeld (blz. 184) blijkt dat de werking van de koolstofmicrofoon in het spreekgedeelte van een telefoonhoorn berust op weerstandsvariaties van de koolstof onder invloed van drukverschillen in de lucht. Deze weerstandsvariaties leiden vervolgens tot stroom/magnetische variaties in de elektrische kring, waarin de koolstofmicrofoon is opgenomen. De luidspreker volgt deze magnetische variaties en komt tot trilling.

De werking van de telefoon is altijd weer verrassend voor leerlingen. Er wordt haast geen materiaal gebruikt, alleen wat draadjes en toch hoor je 'aan de andere kant' een stem.

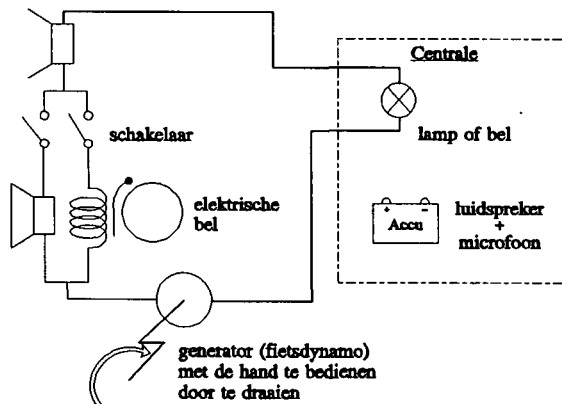


*Figuur 106*

De microfoonconus is zo opgehangen dat hij gemakkelijk meebeveegt met de lucht zonder natrileffecten. In de gehele kring zijn magnetische variaties die overeenkomen met de luchtvariaties. Een stem is daar natuurlijk niet te vinden. Maar wanneer men de magnetische variaties zou kunnen lezen dan kan men de 'boodschap' begrijpen. De luidsprekerspoel en -conus doen ook mee aan de kringvariaties en brengen de omringende lucht in beweging. De luidspreker moet zo goed mogelijk aan de opgedrongen beweging meedoen, anders ontstaan er storende effecten. Men gaat dan te veel de luidspreker horen, terwijl men alleen de opgelegde beweging zou moeten horen. De emoties, geladen stiltes en stemmingen werken niet in de ruimte waar de luidspreker staat. De luisteraar moet deze emoties zelf toevoegen en dit gaat beter naarmate er meer ervaring of fantasie aanwezig is. Ook kunnen effecten opgewekt worden door veel baseffect op hard/zacht te regelen, enz.

Overziet men de gehele situatie, dan ontstaat het volgende beeld. Degene die in de microfoon spreekt brengt zelf klank voort. Daarbij treden in de omringende lucht gestalten op van verdikkingen en verdunningen (het gebruikelijke woord 'luchttrillingen' is ongelukkig gekozen, de lucht trilt niet). Als gevolg hiervan komt het membraan van de microfoon tot trilling. Omdat de luidsprekerconus deze vibraties volgt, ontstaan in de ruimte waarin de luidspreker staat opgesteld overeenkomstige verdikkings- en verdunningsgestalten in de lucht, waar zich eveneens overeenkomstige tonen mee kunnen verbinden. Het elektrische proces volgt de vibraties als een elektrische 'kopie'.

### *De telefooncentrale*

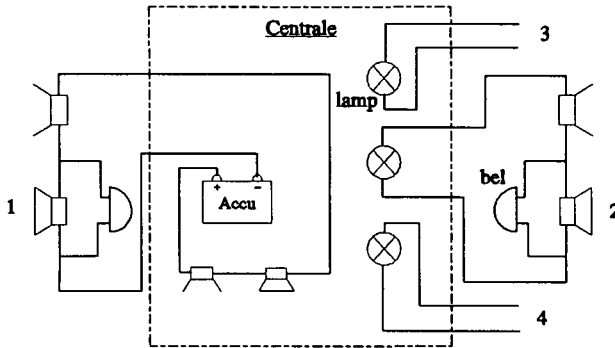


*Figuur 107*

De eerste telefooncentrales werden volledig met de hand bediend. In de woning was een telefoontoestel met microfoon, luidspreker, bel en generator. Verder was er een verbinding met de centrale.

**Werking:**

Neem de hoorn (luidspreker) van de haak. De bel wordt uitgeschakeld en de luidspreker ingeschakeld. Draai aan de generator, deze geeft in de gesloten kring een magnetisch en een warmte-effect. In de centrale gaat een lampje branden of een bel rinkelen. Vervolgens wordt in de centrale de kring verbroken en wordt er een accu met microfoon en luidspreker tussen geschakeld. De kring bestaat nu uit één accu en twee keer een luidspreker en microfoon, één bij de centrale en één bij de abonnee.



*Figuur 108*

Persoon 1 vraagt nu aan de centrale om doorverbonden te worden met persoon 2. De centrale laat nu persoon 1 wachten en maakt zelf een kring met persoon 2. In de kring zit de accu. De bel zal dus bij persoon 2 gaan rinkelen. Persoon 2 neemt op en de centrale zegt: ik verbind u door met persoon 1. Nu worden de leidingen van persoon 1 en 2 (met accu) doorverbonden en kunnen ze met elkaar spreken. In de kring bij de centrale zit ook nog een lampje om te kunnen zien wanneer het gesprek afgelopen is, zodat de kring kan worden verbroken. De schakelaar A wordt dan door de abonnee in de middenstand geplaatst.

De volgorde is dus:

- contact opnemen met de centrale;
- verzoeken om een bepaalde doorverbinding;
- doorverbinding maken;
- contact verbreken.

Het is ook nog mogelijk dat de centrale eerst contact moet maken met een andere centrale of centrales en daarna pas met de gevraagde persoon. Tegenwoordig worden nog al deze stappen doorlopen, alleen nu automatisch of elektronisch. Bijvoorbeeld:

- Men woont in Utrecht en wil naar Eindhoven bellen.
- Men neemt de hoorn van het toestel → Een schakelaar wordt omgezet en een kring met de centrale wordt gerealiseerd. Men draait 040 → De nul wil zeggen dat de centrale geen doorverbinding gaat maken in Utrecht maar met een andere centrale in het land. Het stadsnummer van Eindhoven is 40. (De grote steden hebben als nummer een tiental: 010 Rotterdam, 020 Amsterdam, 030 Utrecht, 050 Groningen. De iets kleinere steden daaromheen een getal daarop volgend, bijvoorbeeld Haarlem 023, Heerlen 043. De gebieden rondom de grote steden hebben een streek- en plaatsnummer, bijvoorbeeld rondom Breda 016.. (Oosterhout 01620 enzovoort) of rondom Rotterdam 018.. (Krimpen 01807)).
- Daarna draait men het abonneenummer.

Internationaal is de betekenis van de cijfers als volgt:

0	0	42		
↑	↑	↑	↑	↑
Buiten de stad	Ander land	Land nr	Stad (zonder nul)	Abonnee

In de grote steden is de stad onderverdeeld in sub-centrales en betekenen de eerste cijfers de keuze van zo'n sub-centrale bijvoorbeeld

Rotterdam 010 - 4215368  
 ↑  
 Wijk Alexanderpolder

Binnenkort wordt in Nederland het 10 cijferige telefoonnummer ingevoerd. De werking van de automatische doorverbinding is met relais nog betrekkelijk eenvoudig, maar elektronisch of met glasvezels is dit voor de 9de klas niet aan de orde.

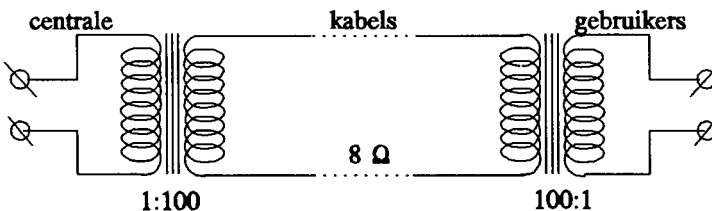
Het geeft in de klas wat fanatisme wanneer gevraagd wordt wat de communicatie van de toekomst is. Aan de hand van zo'n gesprek kan een indeling gemaakt worden uitgaande van de mens:

- hoofd - informatiemachines, rekenmachines (computer, zakrekenmachine);
- romp - communicatie-apparatuur (telefoon, radio, tv);
- ledematen - krachtmachines (fiets, motor, auto, trein, elektromotor).

In aansluiting op de extreme fantasieën kunnen vervreemding, kunstmatige intelligentie, creatieve denkkraft, echte ontmoeting en dergelijke aan de orde gesteld worden. Wat vraagt de toekomst van de mens, zijn dat vooral meer machines, of is het menselijk contact en creativiteit? Deze onderwerpen geven voldoende gespreksstof.

### *De transformator*

In paragraaf 5.3 vijfde waarnemingsreeks (blz. 185 e.v.) werden al enige toepassingen middels proefopstellingen besproken: het punt-lasapparaat en de Ruhmkorff inductor. Met behulp van de transformatiewetten (zie paragraaf 5.5, inductie, blz. 199 zijn deze toepassingen snel inzichtelijk te maken. Een andere toepassingsgebied vormt de elektriciteitscentrale. Stel in een land als Chili (2000 km lang) zou in het noorden één centrale staan, terwijl geen transformatoren worden gebruikt. In het zuiden ligt een stad die een elektrisch vermogen van 2,2 MW gebruikt. De 2000 km lange kabels hebben een weerstand van  $8 \Omega$ . Bij een geleverde spanning van 220 V zal het magnetisch effect/stroom in de kabels  $2.200.000 / 220 = 10.000$  A bedragen. Het spanningsverlies in de kabels bedraagt  $8 \times 10.000 = 80.000$  V. Met andere woorden: zonder transformatoren gaat het niet. Een rekenvoorbeeld mét transformatoren leert hun grote nut:



*Figuur 109*

Stel de centrale levert een spanning van 220 V bij een stroom van 20.000 A. Secundair moet een spanning van 22.000 V en een stroom van 100 A aanwezig zijn. Het spanningsverlies in de kabels bedraagt  $100 \times 8 = 800$  V, zodat op de primaire spoel van de gebruikers-transformator een spanning van 21.200 V staat. Secundair moet dan een spanning van 212 V



en een stroom van 10.000 A aanwezig zijn. Er is maar 8 V verloren gegaan (3,6% vermogensverlies).

Aansluitend kan men berekeningen maken met reële spanningen en tussentransformatoren. Een bezoek aan een elektriciteitscentrale is zeer illustratief, temeer omdat men daar ook grote generatoren en stoomturbines in ogenschouw kan nemen.

## 5.8 Enkele historische gegevens

### 5.8.1 De ontwikkeling van de elektriciteitsleer en haar toepassingen

Beschouwt men de technologische ontwikkeling op het gebied van de elektriciteitsleer, dan valt op dat deze direct samenhangt met de ontdekkingen van elektrische basisfenomenen. Een ambachtelijke fase, zoals deze optrad op het gebied van architectuur, hout-, metaal- en steenbewerking heeft bij de elektriciteit niet plaatsgevonden. Vrijwel direct na een bepaalde ontdekking worden toepassingen bedacht en technisch uitgewerkt. De technologie ondergaat gestaag verbeteringen en de toepassingen lijken onuitputtelijk. De elektriciteitsleer heeft zich in de afgelopen eeuwen versneld ontwikkeld. Een belangrijk omslagpunt ligt daarbij rond 1800, wanneer Alessandro Volta (1745-1827) op 20 maart 1800 een brief schrijft aan de Royal Society te Londen om te berichten over het galvanische element. Voor 1800 was - vanuit de huidige ontwikkeling bezien - alles nog spel, het was zelfs een bepaalde tijd mode experimenten te doen met statische elektriciteit. Aan praktische ontwikkeling werd nog nauwelijks gedacht. Na 1800 zet de ontwikkeling versneld in, ondermeer door de expansiedrang van Napoleon en de industriële revolutie. Vanaf dat moment gaat de ontwikkeling hand in hand met de technische toepassing. Een kort overzicht van de ontwikkeling in de 19e eeuw:

1800	Volta-zuyl	
1820	Elektro-magnetisme, Oersted	basisfenomeen van het
1821	Elektromotor-principe, Faraday	elektrisch kringproces
1832	Telegraaf, Morse	
1831	Inductie, Faraday	magneto-dynamische
1832	Dynamo, Faraday	elektriciteit
1875	Telefoon, Bell	
1879	Gloeilamp, Edison	
1882	Eerste elektriciteitscentrale	

- 1885 Eerste stad verlicht (Illinois)
- 1883 Eerste elektrische trein
- 1899 Marconi maakt radiocontact tussen Engeland en Frankrijk

In het laatste decennium leidde de ontwikkeling van de gasbuizen (Crookes en Röntgen) tot de ontdekking van radioactieve verschijnselen (Curie en Becquerel).

Werd in de 19e eeuw de basis gelegd voor de krachtmachine en de communicatietechniek, in de 20e eeuw worden deze gebieden verder ontwikkeld en wordt de informatie- en besturingstechniek ontwikkeld. De wereldcommunicatie en de massa-informatie komen tot stand. Al deze ontwikkelingen hebben de slavenarbeid langzamerhand vervangen. De mens die zich van deze techniek bedient moet zich echter wel naar deze techniek richten. Hoewel de elektriciteit een slaaf bij uitstek is, dreigt de mens meer en meer zelf slaaf van de technologische ontwikkeling op dit gebied te worden. Dit hangt samen met de drievoudige wijze, waarop de mens zich moet aanpassen aan de techniek. Op denk-gebied past men zich aan aan de informatietechnologie, op gevoelsgebied, met name in sociale zin, aan de communicatietechnologie en op het gebied van het handelen aan de krachtmachines.

De ontwikkelingen in de 20e eeuw volgen elkaar in steeds sneller tempo op. Historisch kan de ontwikkeling in termijnen van 33 jaar verdeeld worden:

- 1900 *radiozender*
- 1933 *tv*
- 1966 *satellietverkeer en computernetwerken*
  
- 1913 transatlantische zender;
- 1914 radiobuis zender;
- 1919 de radio wordt algemeen;
  
- 1928 eerste tv-uitzending;
- 1935 eerste toespraak voor televisie (nazies);
- 1939 10.000 tv-toestellen;
- 1961 142 miljoen tv-toestellen;
- 1951 Paus Pius XII verklaart de aartsengel Gabriël tot hemelse patroon voor het tv-wezen;
  
- 1941 eerste rekenmachine, K. Zuse;
- 1965 satelliet op 36.000 km hoogte;
- 1978 glasvezel-techniek wordt ingevoerd.

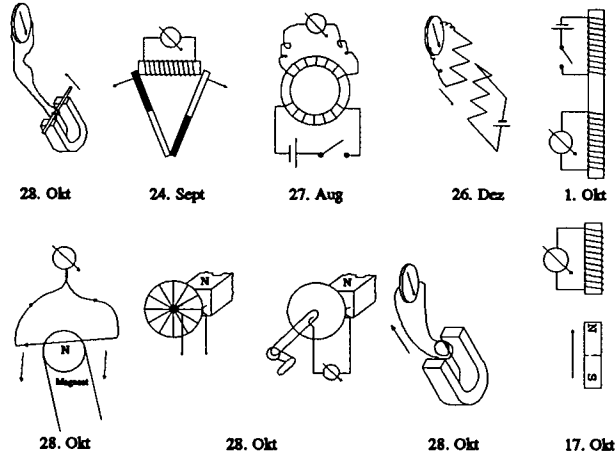
In de negende klas periode staan vooral de geschetste ontwikkelingen in de 19e eeuw centraal, in de 10e en 11e klas die van de 20e eeuw.

### 5.8.2 Faraday en de ontdekking van de inductie

In deze paragraaf volgt een korte beschrijving van hoe Michael Faraday tot de ontdekking van het verschijnsel inductie kwam.

Faraday ging uit van de wetmatigheid van de polariteiten. Wanneer door verdwijnende elektriciteit in een kring magnetisme en warmte ontstaan, dan moet ook omgekeerd door warmte of magnetisme elektriciteit kunnen ontstaan. Rond 1822 was dit het uitgangsidee van Faraday. Van 1831 tot 1839 werkte hij hier op een zo sterk inlevende manier aan, dat hij vier jaar nodig had om weer op krachten te komen, onder ander in een sanatorium in Zwitserland.

In 1831 hield Faraday voor de Royal Society in Londen een voordracht, die hij afslot met de woorden: 'De resultaten zijn niet gebracht in de volgorde waarin ze ontdekt zijn, maar zo dat u het helderste overzicht krijgt.' Hij koos voor zijn uiteenzetting de volgende proevenreeks (zie *Illustrierte Geschichte der Elektrizität* van F. Frannberger, Aulis Verlag, 1985).



*Figuur 110*

Bij deze proeven had Faraday de volgende overwegingen. In de proefopstelling van 1 oktober waren de spoelen zeer dicht bij elkaar. Alleen bij

in- en uitschakelen reageerde de meter. Kwam dit door contacteffecten of door iets anders? Zijn volgende proef bestond uit eerst inschakelen en dan pas naar elkaar toe bewegen. Ook nu sloeg de meter uit. De meter sloeg ook uit wanneer na schakelen de ijzerkern toegevoegd werd. Kwam dit door het ijzer? Om dit na te gaan bedacht hij de proef van 17 oktober: neem direct een magneet en beweeg die in een spoel, dan is geen ijzer en batterij nodig. Verrassend voor Faraday was vooral dat er alleen iets plaatsvond bij in- en uitschakelen. Bij het heen en weer bewegen van de magneet was deze vraag als het ware beantwoord.

Bij een bepaalde gelegenheid werd Faraday na afloop van een voordracht de vraag gesteld, wat het nut van dergelijke proeven zou kunnen zijn. Faraday antwoordde met de historische woorden: "What's the use of a child?"