

SAMENWERKEND LEREN IN DE FYSICALES

**Lerarendag Faculteit Wetenschappen K.U.Leuven
30 april 2008**



Wetenschap in breedbeeld
KATHOLIEKE UNIVERSITEIT
LEUVEN



Katholieke Universiteit Leuven
Faculteit Wetenschappen

SLO Wetenschap en Technologie

Specifieke Lerarenopleiding Natuurwetenschappen:

optie Fysica
Naamsestraat 61
3000 Leuven
Tel. 016/32 42 48 – Fax 016/32 42 54

Samenwerkend leren in de fysicales

Mieke De Cock, m.m.v. Geneviève Janssens,
naar een idee van Frans Nys

1. Inleiding

We hebben het allemaal al ervaren: goede lessen zijn geen garantie voor het goed verstaan van sleutelbegrippen in fysica en standaard oefeningen leiden niet noodzakelijk tot het conceptueel begrijpen van fysische principes ... [1].

Onderwijsstrategieën die meer succes garanderen, veronderstellen doorgaans een actieve(re) deelname van de leerlingen aan het lesgebeuren.

Samenwerkend leren is zo een succesvolle onderwijsstrategie waarbij leerlingen in kleine heterogene groepjes samenwerken aan de uitvoering van een gemeenschappelijke taak. Dit doen ze door informatie uit te wisselen, te discussiëren, zaken te selecteren, te experimenteren, De leerlingen construeren op die manier kennis door actief bezig te zijn. Ze gaan actief in gesprek om een gezamenlijk doel te bereiken. Hierdoor ontwikkelen ze hun denkvermogens, het vermogen om problemen op te lossen, om kennis te integreren in reeds bestaande concepten en kennis toe te passen.

Door samenwerkend leren wordt de bal in het kamp van de leerlingen gelegd: ze leren door zelf met de leerstof bezig te zijn in plaats van passief te luisteren naar de leraar.

Het feit dat deze samenwerking gebeurt met medeleerlingen maakt dat leerlingen gemakkelijker vragen stellen, antwoorden, suggesties geven, opmerkingen maken dan tegenover de leraar, die het allemaal beter weet, die vaak een andere taal spreekt, hun vragen niet altijd begrijpt, die hen op het einde van de rit beoordeelt.

Zeker tijdens de puberteit is de verhouding met de peers belangrijk. Dit schept kansen, maar houdt ook gevaren in, bijvoorbeeld als de verhoudingen in de klas moeilijk liggen of als altijd dezelfde leerling aan de zijlijn staat. Het

is dan ook belangrijk dat leerlingen de kans krijgen te groeien in samenwerken, en dat de leraar hen hierbij begeleidt.

Samenwerkend leren is niet hetzelfde als groepswork. Samenwerkend leren onderstelt een heel duidelijke strakke structuur die het werken in de leergroep zinvol maakt en er voor zorgt dat alle leden betrokken zijn en blijven bij het proces.

Volgens [2] zijn de belangrijkste argumenten om te kiezen voor samenwerkend leren de volgende: samenwerkend leren

- bevordert de actieve participatie van de leerlingen,
- komt het leerproces ten goede,
- bevordert autonoom leren,
- draagt bij tot het verwerven van sociale vaardigheden,
- vergt een zorgvuldig opgebouwde organisatie die een positieve leerhouding in de hand werkt,
- draagt bij tot de taalontwikkeling van de leerlingen. Doordat samenwerkend leren actieve discussie veronderstelt, wordt de (wetenschappelijke) taalvaardigheid van de leerlingen getraind.

Vijf basiskennmerken karakteriseren samenwerkend leren:

1. positieve wederzijdse afhankelijkheid: de leerlingen hebben elkaar nodig bij de opdracht om die met succes te kunnen uitvoeren.
2. individuele verantwoordelijkheid: de leerlingen weten dat ze ook individueel verantwoordelijk zijn, zowel voor de eigen inbreng als voor het groepsresultaat.
3. directe interactie: de opdracht is zo geformuleerd dat ze leerlingen uitnodigt om met elkaar te praten. Op die manier wisselen de leerlingen kennis, ideeën en informatie uit. Het is belangrijk dat alle leerlingen aan de beurt komen. Hierover kunnen werkafspraken gemaakt worden.
4. sociale vaardigheden: deze zijn essentieel voor samenwerking in duo's of kleine groepjes.
5. aandacht voor het groepsproces of teamreflectie: na een samenwerkingsopdracht kijken de leerlingen gezamenlijk naar het product en het proces van het samenwerken, waardoor samenwerkend leren bij nieuwe opdrachten effectiever wordt.

2. Samenwerkend leren in de fysicales

Samenwerkend leren kan zeker ook een plaats krijgen in fysicalessen. Uit onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat samenwerkend leren vraagstukken oplossen tot significant betere resultaten leidt dan de traditionele individuele aanpak [3].

In wat volgt worden enkele concrete samenwerkingsstructuren voorgesteld. Bij elke werkvorm wordt enerzijds de werkwijze beschreven, anderzijds wordt de werkvorm toegepast voor een concrete fysicaleerinhoud.

Opdat het gebruik van deze werkvormen effectief zou zijn, is het belangrijk dat leerlingen weten wat van hen verwacht wordt. De leraar zal daarom de opdracht vooraf goed omschrijven en de verschillende onderdelen of opeenvolgende fasen duidelijk voorstellen. De werkwijze moet voor iedereen van bij het begin duidelijk zijn.

Samenwerkend leren is niet gemakkelijk voor leerlingen: leerlingen moeten dit ook 'leren'. Hoe brengt een leraar een klas die al jaren frontaal onderwijs heeft gehad tot bereidheid tot samenwerking, tot samenwerkend leren en tot bekwaamheid tot samenwerken?

Wil samenwerkend leren goed verlopen, dan moeten leerlingen in meer of mindere mate vaardigheden als discussiëren en luisteren naar mekaar onder de knie hebben.

Het is daarom noodzakelijk ook in de keuze van samenwerkingsstructuren een leerlijn uit te zetten, van eenvoudiger werkvormen naar complexe structuren.

In paren aan beperkte, duidelijk geformuleerde opdrachten beginnen, is aan te bevelen. Stilaan kan dan worden overgegaan tot de uitbreiding van de groepsgrootte, het verlengen van de werkvorm en de omvang van de opdracht.

We hebben getracht voorbeelden te kiezen die eenvoudig implementeerbaar zijn in de klas, zonder dat de hele manier van lesgeven of het hele programma moet worden gewijzigd. Uiteraard zijn de inhoudelijke voorbeelden niet strikt gelinkt aan de hier voorgestelde werkvorm. Een aantal van de voorbeelden kan even goed uitgewerkt worden binnen een andere samenwerkingsstructuur.

Bij een aantal werkvormen werden werkbladen uitgewerkt als voorbeeld. Deze werkbladen zijn opgenomen in de bijlagen.

3. Concrete samenwerkingsstructuren/werkvormen

3.1 Peer Instruction [4]

3.1.1 Omschrijving

'Peer instruction' is een methode voor het onderrichten van wetenschappen waarbij leerlingen actief betrokken worden door het inlassen van korte conceptuele meerkeuzevraagjes (ConcepTests) in de les. Nadat het concept werd uitgelegd, volgt een ConcepTest. Deze volgt steeds eenzelfde stramien:

1. De vraag wordt gesteld.
2. Leerlingen denken individueel na in stilte (maximum 2 minuten).
3. Individuele antwoorden worden geregistreerd (handopsteken, antwoordkaarten, clickers, ...).
4. Leerlingen overtuigen hun buur van de oplossing (peer instruction). Dit duurt maximaal 3 minuten.
5. Leerlingen denken heel kort in stilte na, dan worden de nieuwe antwoorden geregistreerd.
6. Het correct antwoord wordt kort klassikaal besproken.

De tijd voor het individueel nadenken wordt beperkt. Op die manier moeten de leerlingen het antwoord zuiver conceptueel vinden, zonder terug te vallen op vergelijkingen of rekenen.

Indien 30-80% van de leerlingen fout antwoordt, wordt er peer instructie ingelast. Als de meeste leerlingen in de derde stap onmiddellijk juist antwoorden of als te weinig leerlingen correct antwoorden, dan heeft de peer instructie geen zin. Bij te weinig correcte antwoorden herhaalt de leerkracht de leerinhoud vooraleer een nieuwe ConcepTest te gebruiken als evaluatie. Als de meerderheid van de leerlingen wel juist antwoordt, wordt de verklaring kort klassikaal behandeld zodat ook de leerlingen die fout waren de correcte redenering meekrijgen.

De overtuig-je-buur sessies doorbreken het klassieke lespatroon, betrekken leerlingen actief bij het lesgebeuren, leiden systematisch tot betere resultaten en werken ook positief op het zelfvertrouwen van leerlingen.

Leerlingen worden beloond voor deze moeite: uit onderzoek blijkt dat het beter conceptueel begrijpen van fysicacontexten hen ook helpt bij het oplossen van meer traditionele oefeningen. We zouden trouwens willen aanraden ook dergelijke conceptuele vragen te durven inlassen in evaluaties (toetsen, examens).

3.1.2 Voorbeelden van ConcepTests [4]

- 1) Je gooit een bal recht omhoog. Op het hoogste punt geldt dat
 - a. zowel de snelheid als de versnelling van de bal nul zijn.
 - b. de snelheid van de bal niet nul is maar de versnelling wel.
 - c. de versnelling van de bal niet nul is, maar de snelheid wel.
 - d. noch de snelheid noch de versnelling van de bal nul is.

- 2) Je staat in een lift die naar boven versnelt. De opwaartse normaalkracht \vec{F}_N die de liftvloer op je uitoefent is
 - a. groter dan
 - b. gelijk aan
 - c. kleiner danje gewicht.

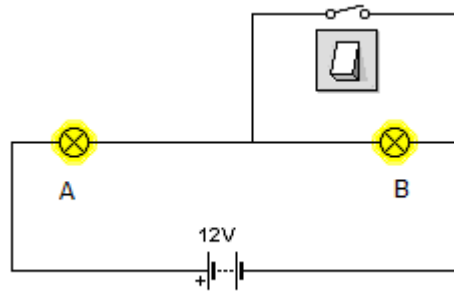
- 3) Je houdt twee bakstenen onder water. De eerste (steen A) bevindt zich juist onder het wateroppervlak, terwijl de andere (steen B) dieper zit. De kracht nodig om steen B ter plaatse te houden is
 - a. groter dan
 - b. even groot als
 - c. kleiner dande kracht nodig om steen A op zijn plaats te houden.

- 4) Twee glazen zijn tot op hetzelfde niveau gevuld met water. In één van de twee glazen zitten enkele ijsblokjes. In welk glas staat het water het hoogst als de ijsblokjes gesmolten zijn?
 - a. In het glas zonder ijsblokjes.
 - b. In het glas met de ijsblokjes.
 - c. Het waterpeil is hetzelfde in beide glazen.

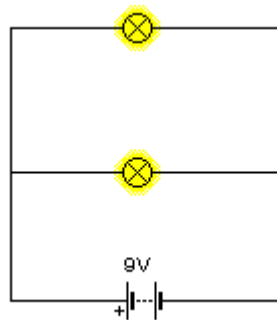
- 5) Twee glazen zijn tot hetzelfde niveau gevuld met water. In één van de glazen drijven plastic balletjes. Welk van de glazen weegt het meest als de dichtheid van de balletjes kleiner is dan die van ijs?
 - a. Het glas zonder de balletjes.
 - b. Het glas met de balletjes.
 - c. Beide glazen wegen evenveel.

6) De schakeling hieronder bevat twee identieke lampjes die branden met gelijke lichtsterkte en een 12 V batterij. Als de schakelaar wordt gesloten zal lamp A

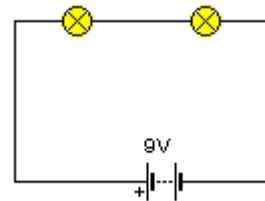
- sterker branden.
- even helder blijven branden.
- minder helder branden.



7) Als de vier lampjes in de figuur identiek zijn, welke schakeling geeft dan het meest licht?



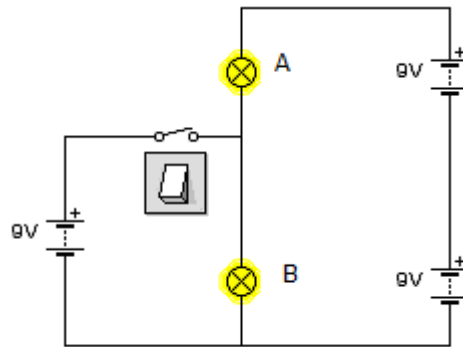
I



II

- I
- Beiden geven evenveel licht.
- II

8) De lampjes in de schakeling zijn identiek. Als de schakelaar wordt gesloten



- a. zullen beide lampjes uitgaan.
- b. neemt de intensiteit van lamp A toe.
- c. neemt de intensiteit van lamp A af.
- d. neemt de intensiteit van lamp B toe.
- e. neemt de intensiteit van lamp B af.
- f. zal een combinatie van 1-5 plaatsvinden.
- g. zal er niets veranderen.

3.2 Concept Cartoons [5, 6]

3.2.1 Omschrijving

Concept cartoons werden ontwikkeld door Brenda Keogh en Stuart Naylor [7, 8]. In een concept cartoon doen de personages een voorspelling over het resultaat van een experiment (zie voorbeelden). Ze maken deze voorspelling op basis van hun eigen denkbeelden. De cartoon vormt het startpunt van een discussie in kleine groepjes (van 3 à 4 leerlingen) waarbij de leerlingen eerst zelf een standpunt innemen en dan de argumenten van de verschillende personages proberen af te wegen ten opzichte van elkaar. Doordat de discussie over de visies van anderen gaat, wordt de drempel om mee te discussiëren verlaagd.



bron: http://www.conceptcartoons.com/science/examples_bungee.html

De verschillende visies vertegenwoordigen de verschillende leerlingendenkbeelden die in een doorsnee groep aanwezig zijn. De leerlingen identificeren zich gemakkelijk met één van deze denkbeelden. Het is natuurlijk de bedoeling om die denkbeelden te selecteren die de experimenten het best verklaren. Leerlingen zullen maar echt leren van de discussie als hun denkbeelden niet in staat zijn om de experimenten overtuigend te verklaren.

Belangrijk is dat alle denkbeelden zelf op een positieve manier worden benaderd. Ze hebben allen waarde (want ze zijn gebaseerd op een conceptueel model). Meer nog dan te bepalen welke van de uitspraken de wetenschappelijk juiste is, is het zoeken naar het waarom men bepaalde denkbeelden heeft, belangrijk.

3.2.2 Het nut van concept cartoons

Leerkrachten kunnen concept cartoons gebruiken bij het starten van een nieuw onderwerp om de aanwezige ideeën of leerlingendenkbeelden in een klasgroep te achterhalen, om een discussie op te starten of een experimenteel onderzoek te motiveren. Ze kunnen ook gebruikt worden ergens halfweg in een hoofdstuk om de relatie tussen de theorie en het dagelijkse leven te illustreren.

Concept cartoons werken differentiërend (zie verder). Leerlingen zullen de cartoon interpreteren op het niveau dat voor hen relevant is. De cartoons werken ook motiverend. Leerlingen worden uitgedaagd om hun eigen denkbeelden te formuleren en te verdedigen maar ook deze te controleren. De ervaring leert dat leerlingen heel enthousiast zijn over deze werkvorm.

3.2.3 Hoe worden concept cartoons gebruikt?

Concept cartoons kunnen op verschillende manieren in het klasgebeuren geïntegreerd worden. We geven hier als voorbeeld een mogelijke werkvorm in een klassieke klasgroep van een 20-tal leerlingen.

1. Het onderwerp van de cartoon wordt kort geïntroduceerd en de cartoon met de verschillende visies wordt getoond.
2. Leerlingen bestuderen *individueel* de cartoon en nemen een stelling in (bv. door handopsteken of antwoordkaarten).
3. De klasgroep wordt in kleine *groepjes* (3 à 4 leerlingen) verdeeld. Elke groep streeft naar consensus. Deze groepen mogen kleine experimenten opzetten om eventuele twistpunten uit te klaren. De leraar bezoekt de verschillende groepen maar blijft op de achtergrond en levert geen inhoudelijke bijdrage. Soms valt de discussie binnen de groepjes stil (de leerlingen zitten bijvoorbeeld allemaal op dezelfde golflengte). Op zo een moment stimuleert de leraar de discussie door leerlingen verduidelijking te vragen bij wat ze zeggen en schrijven.

Hierbij kunnen volgende vragen helpen:

- Waarom zijn de andere visies wetenschappelijk foutief?
 - Kan je concrete voorbeelden of toepassingen vinden die je standpunt versterken of de andere standpunten tegenspreken?
 - Kan je een tekening of schema maken dat je standpunt ondersteunt?
 - Kan je een eenvoudig experiment bedenken waarmee je zou kunnen aantonen dat je standpunt correct is?
4. De kleine groepen brengen hun visies in de grote klasgroep. De discussie (en de experimenten) gaan eventueel verder in de volledige klas. Er wordt weer naar een consensus gestreefd.

5. Bespreking: waarom werken bepaalde visies niet en waarom hebben bepaalde leerlingen hun visie gewijzigd.
6. Samenvatting van wat de groep heeft geleerd uit deze discussie.

Er bestaan natuurlijk een heleboel andere manieren om met deze cartoons te werken. Men kan de tekstballonnen wit maken en die door de leerlingen zelf laten invullen. De leerkracht kan zelf concept cartoons ontwerpen, of zelfs leerlingen stimuleren om over bepaalde onderwerpen een concept cartoon te maken. De leerlingen kunnen een rollenspel spelen waarbij ze de verschillende visies moeten verdedigen.

3.2.4 Een concreet voorbeeld: de sneeuwman conceptcartoon [5]



'Doe je jas aan, dan krijg je het warm.' Ons dagelijks taalgebruik suggereert het: sommige stoffen/materialen hebben de eigenschap om dingen warm te maken. Wanneer je de sneeuwman een jas aandoet, maak je hem warm en zal hij dus sneller smelten.

Binnen dit leerlingenbeeld zijn 'warmte' en 'koude' soorten stoffen die in een voorwerp opgeslagen zitten. Deze visie strookt met de visie binnen de vroege warmtetheorie. Resten van deze theorie zijn in ons taalgebruik verweven en worden onbewust van generatie op generatie overgedragen.

De huidige wetenschappelijke visie stelt dat wanneer twee voorwerpen, op een verschillende temperatuur in thermisch contact worden gebracht, het voorwerp met de laagste temperatuur (de sneeuwman) in temperatuur zal stijgen. Het voorwerp met de hoogste temperatuur (de omgevende lucht) zal in temperatuur dalen.

De temperatuur van een voorwerp is een maat voor de gemiddelde kinetische energie van de deeltjes waaruit het voorwerp is gemaakt. Wanneer voorwerpen op een verschillende temperatuur thermisch

contact maken zullen de deeltjes in het contactvlak door 'botsingen' kinetische energie uitwisselen tot beide voorwerpen eenzelfde eindtemperatuur bereiken.

Breng je tussen de stoffen een stof aan die isoleert dan vertraag je dat proces. In het voorbeeld van de sneeuwman, fungeert de jas als een isolator. Het energietransport tussen de sneeuwman en de omgeving neemt af. De sneeuwman met jas zal dus minder snel smelten.

3.2.5 Van cartoon naar experiment

De leerlingen moeten gestimuleerd worden om zo nauwkeurig mogelijk hun visies te beschrijven en af te wegen ten opzichte van elkaar. Laat hen voorbeelden zoeken die hun visies ondersteunen of andere visies verzwakken (bv. wij houden ons warm met een jas, maar we produceren zelf warmte of in de supermarkt krijgen we ook een thermische zak mee om onze producten koel te houden). Het is soms interessant om deze experimenten ook daadwerkelijk uit te voeren (bijvoorbeeld als er geen consensus ontstaat). Hierin kruipt dan wel extra tijd, maar dit kan gekaderd worden als een uitdagende leerlingenproef. In dit geval kan men als model voor de sneeuwman gebruik maken van ijsblokken gemaakt in plastic bekertjes. In een eerste fase geven leerlingen de 'sneeuwman' al dan niet een jas en onderzoeken ze welke sneeuwman het snelst smelt. Hoe ze die waarneming doen, op basis waarvan ze het smelten opmeten, is een opdracht op zich. In een tweede fase kunnen leerlingen onderzoeken welke materialen het meest geschikt zijn als thermische isolator en met het deeltjesmodel kunnen ze een verklaring geven voor hun experimentele resultaten. Ook als thuisopdracht biedt dit experiment veel mogelijkheden.

3.2.6 Cartoons en differentiatie

Conceptcartoons laten ook toe op verschillende niveaus te werken. Als de leerlingen geen problemen hebben met de isolatie dan kunnen ze de oefening overdoen met een stralende zon op de achtergrond, een luchttemperatuur van 0 °C en een zwarte jas. Soms komen deze omstandigheden die een volledig ander zicht op de situatie werpen spontaan in de discussies naar boven.

Een aantal cartoons is zo geconstrueerd dat verschillende antwoorden correct zijn, afhankelijk van het niveau waarop men het probleem analyseert. Deze concept cartoons werken dus differentiërend. Leerlingen zullen de cartoon vooral interpreteren op het niveau dat voor hen relevant is. Zo zal het gebruik van de concept cartoon over de schaduwen (zie verder) in een 'niet geschoolde' groep kunnen leiden tot het inzicht dat de donkerte van de schaduwen niet wordt bepaald door de kleur van de kaarten of door de dikte er van. In een verder gevorderde groep kan men de dikte van de kaart wel laten meespelen en kan men via experimenten aantonen dat dunne kaarten weldegelijk een deel van het licht kunnen doorlaten. Men kan echter nog verder gaan. In een goed verlichte kamer kan de witte kaart aanleiding geven

tot een lichtere schaduw. Het omgevingslicht reflecteert op de witte kaart en maakt de schaduw van die kaart iets lichter. Zo zullen zelfs wetenschappelijk geschoolde mensen soms verplicht zijn om hun concepten aan te passen en geïnteresseerd zijn in deze methodiek.

Het proces waarbij vanuit een (al dan niet wetenschappelijk) model naar de werkelijkheid wordt gekeken, en waarbij men een botsing van verschillende uitgangspunten krijgt, is een belangrijk onderdeel van de wetenschappelijke methode. De deelnemers doen dus zelf aan wetenschap, verruimen hun eigen denkbeelden, en krijgen inzicht in hoe een wetenschappelijk proces zelf werkt.

3.2.7 Nog meer voorbeelden



bron: Depoorter, J., *Vakdidactiek Fysica 1*, syllabus Arteveldehogeschool



bron: http://www.conceptcartoons.com/science/examples_twotrees.html

3.3 Interactieve demonstraties [9]

3.3.1 Omschrijving

Bij deze werkvorm wordt getracht de klas bij demonstratie-experimenten om te vormen tot een meer actieve leeromgeving door leerlingen actief de uitkomst van de proef te laten voorspellen en bediscussiëren. De verschillende stappen van de procedure zijn:

1. De leraar beschrijft het experiment.
2. De leerlingen noteren hun naam en individuele voorspellingen op het voorspellingenblad, deze zullen later worden opgehaald maar niet inhoudelijk gequoteerd.
3. Leerlingen argumenteren in kleine groepjes (2 of 3).
4. Leerlingen noteren hun definitieve voorspelling. De bladen worden ingediend.
5. Enkele voorspellingen worden reeds aangehaald.
6. Het experiment wordt uitgevoerd.
7. De leerlingen vullen het resultatenblad in en vergelijken dit met hun voorspellingen.
8. De interpretatie en analoge situaties worden klassikaal besproken.

Het is hierbij belangrijk dat de leraar nauwlettend observeert en op het juiste moment overgaat naar de volgende stap in de procedure. Daarnaast moeten ook stappen 7 en 8 grondig voorbereid zijn en zal de leraar in veel gevallen de discussie moeten leiden naar de belangrijkste punten.

De experimenten moeten erg zorgvuldig gekozen worden. Ze moeten zodanig worden gepresenteerd dat de leerlingen het experiment kunnen verstaan en dat ze de opstelling en de meetapparatuur 'vertrouwen'. Erg flashy demonstraties zijn vaak te complex om tot effectieve leerervaringen te leiden.

3.3.2 Voorbeeld: Fysica op een skateboard

Deze opdracht kan ingepast worden nadat de leerlingen de derde wet van Newton 'ontdekten' door bv. een spelletje touwtrekken of de klassieke proef met twee dynamometers.

Verdeel de leerlingen in kleine groepjes (2 of 3) en geef hen bijgevoegde reeks vragen (zie bijlage 1, p. 22). Laat de leerlingen eerst individueel nadenken (ongeveer 1 minuut) en opschrijven wat ze verwachten dat er zal gebeuren en waarom.

Daarna werken de leerlingen in hun groepje samen om te komen tot een gemeenschappelijk antwoord. Deze antwoorden worden gedeeld met de rest van de klas. De leraar vraagt hierbij eventueel om verduidelijking bij vage antwoorden.

Laat nu één van de leerlingen neerzitten op een karretje en een zware bal weggoeien. De leerlingen noteren wat er gebeurt.

Laat de leerlingen opnieuw in groepjes aan elkaar uitleggen wat er gebeurde en waarom. Begeleid hen hierbij aan de hand van vragen. Laat leerlingen eventueel een extra experiment uitvoeren met kleinere zandzakjes.

Verklaar klassikaal het experiment, maak eventueel de link met de terugslag van een geweer.

3.3.3 Voorbeeld: Een voorbeeld van elektrostatische inductie

In dit voorbeeld wordt een proef in verband met elektrostatische inductie gedaan.

De leerlingen voorspellen de uitkomst van de proef individueel. Daarna overleggen ze in kleine groepjes en voorspellen de uitkomst van een analoog experiment.

Nadat de leerkracht het experiment effectief heeft uitgevoerd en besproken, vullen de leerlingen individueel de resultaatpapieren in.

De beschrijving van de proef is terug te vinden in bijlage 2 (p. 23). De leerlingenbladen zijn bijgevoegd in bijlage 3 (p. 24).

3.4 Conceptual Understanding Programme [10, 11]

3.4.1 Omschrijving

Deze strategie van samenwerkend leren werd in de eerste plaats ontwikkeld om studenten te helpen bij het uit de weg ruimen van misconcepties in mechanica. De focus ligt hierbij op het maken van conceptuele oefeningen.

De werkvorm volgt volgend stramien:

1. Leerlingen krijgen de opgave van de oefeningen op een A4-blad. De leraar beklemtoont de afspraken, bv. in verband met het voorstellen van krachten.
2. Leerlingen trachten de oefeningen eerst individueel op te lossen. Op deze manier worden ze verplicht na te denken alvorens met andere leerlingen in gesprek te gaan. Hun ideeën kunnen ze noteren op het opgaveblad.
3. De leerlingen werken in (heterogene) groepjes van 3. Hierbij vertellen alle leerlingen hun eigen ideeën en luisteren naar die van anderen. De bedoeling is dat leerlingen hun eigen ideeën scherper leren formuleren, redeneerfouten ontdekken om uiteindelijk een gemeenschappelijk antwoord te formuleren dat (met stift) wordt genoteerd op het opgaveblad in A3-formaat. Het is belangrijk dat de oplossing voldoende groot wordt neergeschreven.

Elke leerling van het groepje moet uiteindelijk in staat zijn de oplossing van zijn/haar groep uit te leggen aan de anderen.

Tijdens de groepsdiscussie loopt de leraar rond in de klas en kan extra uitleg geven bij de opgave. Het is echter belangrijk dat de leraar niet betrokken wordt in de discussies.

4. De ingevulde A3-formulieren worden samengebracht aan het bord en de leerlingen nemen plaats rond deze flappen.
5. De leraar bekijkt de antwoorden en zoekt gelijkenissen en verschillen. Een aantal antwoorden zal hetzelfde of gelijkaardig zijn. Hij start de discussie vanuit een oplossing die representatief is voor een aantal antwoordflappen en vraagt een leerling van dit groepje om het antwoord uit te leggen. Leerlingen van groepjes met een ander antwoord worden uitgenodigd hun oplossing te verklaren of verdedigen. Leerlingen zouden een consensus moeten bereiken over het uiteindelijke antwoord.

Het is hierbij belangrijk dat de leraar het antwoord niet geeft en voldoende denktijd geeft vooraleer vragen te stellen!

6. Op het einde van de sessie zouden alle leerlingen het uiteindelijke antwoord moeten kennen en kunnen verwoorden. Hiertoe kan de

leraar het uiteindelijke antwoord nogmaals verwoorden en eventueel neerschrijven op een blanco A3-formulier.

3.4.2 Voorbeelden

a. Onderweg naar Paulien

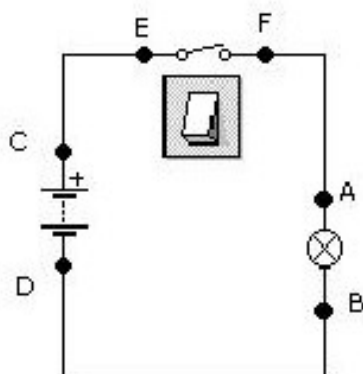
Met deze oefening willen we leerlingen vertrouwd maken met een aantal grafieken: verplaatsing-tijd, afgelegde weg-tijd, snelheid-tijd, versnelling-tijd.

Deze oefening wordt best ingelast nadat enkele oefeningen met numerieke data werden gemaakt. Bv.: Angela rijdt naar huis na een volleybalmatch met een snelheid van 60 km/h. Ze stopt aan de verkeerslichten

De opgave en de werkbladen voor de leerlingen zijn bijgevoegd in bijlage 4 (p. 26).

b. Wat is de spanning?

In deze oefening wordt getracht leerlingen inzicht bij te brengen rond het begrip spanning. Daartoe krijgen ze een eenvoudige elektrische schakeling bestaande uit een spanningsbron, een lamp en een schakelaar (zie figuur).



Het is de bedoeling dat leerlingen nadenken over en inzicht krijgen in het potentiaalverschil tussen de verschillende punten in het circuit in verschillende situaties.

De concrete opgave en de leerlingenwerkbladen zijn terug te vinden in bijlage 5 (p. 27).

3.5 Taakafhankelijk groepswork met experts

3.5.1 Omschrijving

In deze samenwerkingsstructuur worden verschillende leerlingen 'expert' in een verschillende leerinhoud. Daarna worden de leerlingen herverdeeld zodat experts in verschillende inhouden samen komen te zitten in een nieuw groepje. De verschillende expertises moeten dan worden samengebracht om moeilijkere oefeningen op te lossen.

Concreet gaat men als volgt te werk:

1. Verdeel de klas in kleine groepjes. Elk groepje krijgt in de eerste ronde informatie over één van de deelaspecten. Na deze eerste ronde is elke leerling 'expert' in één deelonderwerp.
2. Verschillende experts worden samengezet in een nieuw groepje.
3. De nieuwe groepjes krijgen nu een opdracht waarin de expertise van elk van de deelnemers nodig is. Leerlingen zullen hun expertise aan elkaar moeten doorgeven en kennis bij elkaar leggen om een gezamenlijke opdracht tot een goed einde te kunnen brengen.

3.5.2 Voorbeeld: Serie- en parallelschakeling

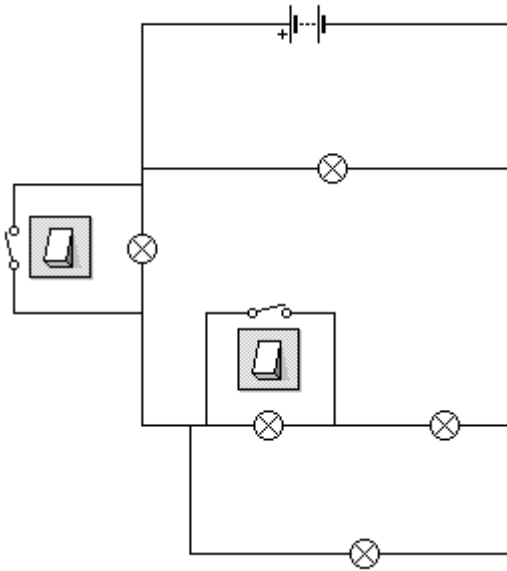
In bijlage 6 (p. 30) is een taakafhankelijk groepswork met experts concreet uitgewerkt voor de leerstof rond serie- en parallelschakeling. Hierbij werkt de helft van de klas in de eerste ronde de opdrachten rond serieschakeling door. De andere helft verwerft dieper inzicht in parallelschakeling. In ronde twee worden duo's of viertallen gevormd die samenwerken om gemengde schakelingen te bestuderen.

Concreet stellen we volgende werkwijze voor:

1. Verdeel de klas in groepjes van 4.
2. Elk groepje werkt één van de twee opdrachtenreeksen van de eerste ronde door (hetzij serieschakelingen, hetzij parallelschakelingen). In deze opdrachten worden de leerlingen vertrouwd met de verschillende schakelingen en bouwen ze de redenering op voor het berekenen van de substitutieweerstand. We zouden voorstellen de verschillende groepjes ook effectief eenvoudige serie- of parallelschakelingen te geven en stroom en spanning te laten meten of om leerlingen simulaties te laten maken in Crocodile Physics.
3. De klas wordt herverdeeld in duo's waarbij elk duo bestaat uit een 'expert' in serieschakelingen en één in parallelschakelingen. Deze nieuwe duo's werken de opdracht rond gemengde schakelingen van de tweede ronde door.

3.6 Extra voorbeeld: Schakelen-zonder-spanning

Als inleiding op serie-, parallel- en gemengde schakelingen en met het oog op een dieper conceptueel verstaan van de hiermee gerelateerde begrippen, krijgen de leerlingen in dit voorbeeld een paneel met een schakeling zonder dat die mag aangesloten worden op een spanningsbron. Een voorbeeld van zo een schakeling is in de figuur hieronder weergegeven.



Alle lampjes in de schakeling zijn identiek, elk lampje kan in of uit de schakeling gedraaid worden, elke schakelaar kan aan of uit staan.

De leerlingen werken in groepjes van drie. Het is de bedoeling dat zij voor drie zelfgekozen situaties (zie voorbeeld in bijlage 7, p. 50) trachten te voorspellen wat er zal gebeuren (welke lampjes zullen branden, welke lampjes branden harder of minder hard, ...).

Concreet kan er als volgt worden gewerkt:

1. Elk groepje krijgt het paneel met de schakeling.
2. Elke leerling kiest een concrete situatie van lampjes en schakelaars.
3. De gekozen situaties worden samengelegd. Het is de bedoeling dat elk groepje drie verschillende situaties bekijkt. De leraar ziet erop toe dat er in de klas zoveel mogelijk verschillende situaties zullen worden overdacht.
4. Elk groepje kiest met welke situatie ze beginnen.
5. De leden van het groepje denken individueel na en duiden op het schema (zie bijlage) aan wat ze voorspellen.
6. Binnen het groepje wordt overlegd en gediscussieerd. De definitieve voorspelling wordt op A3 formulieren getekend.
7. Dezelfde werkwijze wordt gehanteerd voor de andere 2 gekozen situaties.
8. De verschillende flappen worden samengebracht en eventueel gegroepeerd. De voorspellingen worden klassikaal besproken en

bediscussieerd. Het is hierbij belangrijk dat de leerkracht enkel de discussie leidt, maar geenszins al het antwoord tracht aan te brengen. Het is de bedoeling dat de klas tot één antwoord komt.

9. Als er consensus is over de voorspelling, testen de verschillende groepjes de besproken situatie uit.
10. Indien nodig wordt de situatie nogmaals klassikaal besproken, waarbij de leerkracht dan wel zorgt dat het juiste antwoord voor iedereen duidelijk is.

4. Referenties

- [1] McDermott, L. C. 1991 Millikan Lecture 1990 : *What we teach and what is learned – closing the gap*. Am. J. Phys. **23** 266-75
- [2] Van Thienen, K., *Krachtig leren binnen een taakgerichte benadering. Naar een cultuuromslag in de taalles*. Garant, Antwerpen-Apeldoorn, 2004, pp 129-148
- [3] Heller, P., Keith, R., Andersen, S., Am. J. Phys. **60**, 627-636, 1992
- [4] Mazur, E., *Peer Instruction: A User's Manual*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1997
- [5] Debusschere, M., *Concept Fysica*. syllabus Woudschoten Conferentie, 2005
- [6] Depoorter, J., *Vakdidactiek Fysica*, syllabus Arteveldehogeschool, 2004
- [7] Keogh, B., Naylor, S., *Concept cartoons, teaching and learning in science: an evaluation*. International Journal of Science Education 1999;**21**(4):431-46.
- [8] Keogh, B., Naylor, S., *Concept Cartoons In Science Education : the ConCISE Project*. Millgate House Publishers; 2002.
- [9] Sokoloff, D.R. and Thornton, R.K., *Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment*. The Physics Teacher **35**(6), 340-347 (1997)
- [10] Mills, D., McKittrick, B., Mulhall, P. and Feteris, S., *CUP: cooperative learning that works*. Phys. Educ. **34**(1) 11-16 (1999)
- [11] www.education.monash.edu.au/research/groups/snte/projects/cups
- [12] Hellemans, J., Janssens, G., Van Peteghem, R., Nys, F., *Kwantum 3A – Deel 1: Elektriciteit*, uitgeverij de boeck, Antwerpen, 2004, p. 124

Met dank aan Geneviève Janssens, Frans Nys en Jo Vanhaecht voor de vele suggesties en het kritisch nalezen van de tekst.

Voorspelling

Beeld je in dat je op een karretje zit op een glad oppervlak. Er is nauwelijks wrijving.

Je houdt een zware bal vast die je vooruit gooit (zie tekening).



Wat zal er gebeuren? Waarom?

Na het experiment

1. Waar grijpt de grootste kracht aan, op de bal of op jou?
2. Wie heeft de grootste versnelling, jij of de bal? Waarom?
3. Hoe zou je de versnelling van het karretje kunnen vergroten?
4. Vind je gelijkenissen met de terugslag van een geweer?

Materiaal:

- glazen staaf
- PVC staaf
- wollen en zijden doek
- Leeg drankblik

Uitvoering:

Wrijf een staaf om ze electrostatisch te laden. Breng de staaf in de buurt van een drankblikje zonder het aan te raken. Van zodra het blikje begint te rollen, beweeg je met de staaf. Het blik 'volgt' de staaf ...

Deze proef werkt beter als een grote staaf wordt gebruikt.

Doe de proef met een positief en een negatief geladen staaf.

Verklaring:

Wanneer een positief geladen staaf in de buurt van een blikje wordt gebracht, verschuift een deel van de vrije elektronen van het blikje naar de tegenoverliggende rand. Daardoor ontstaat aan de kant het kortst bij het blikje een tekort aan elektronen. Die kant wordt dus positief geladen. De aantrekkende kracht tussen de positief geladen staaf en de negatief geladen kant van het blikje is groter dan de afstotende kracht tussen de staaf en de positieve kant van het blikje (omwille van de $\frac{1}{r^2}$ -afhankelijkheid). Dit verschil in kracht is voldoende om het blik in beweging te zetten.

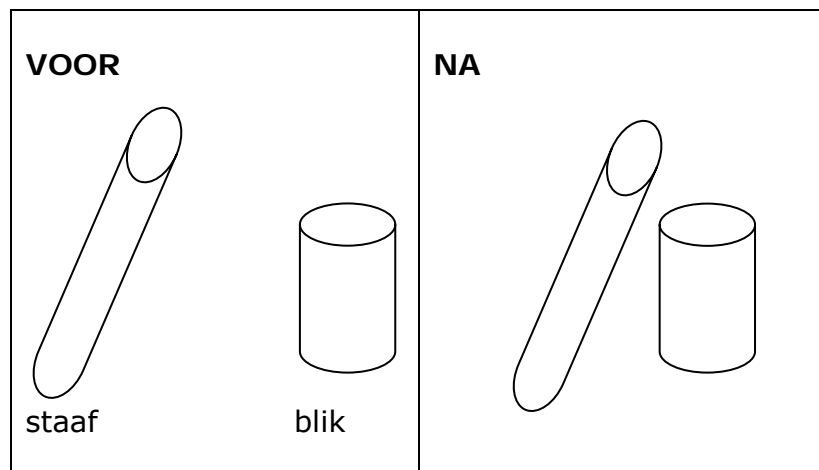
Als de staaf negatief geladen is, zullen vrije elektronen afgestoten worden van de staaf, waardoor de kant van het blik bij de staaf positief geladen is. Opnieuw is de nettokracht aantrekkend en rolt het blik naar de staaf toe.

Bijlage 3: Elektrostatische inductie – Leerlingenbladen

Voorspellingen: dien dit document in.

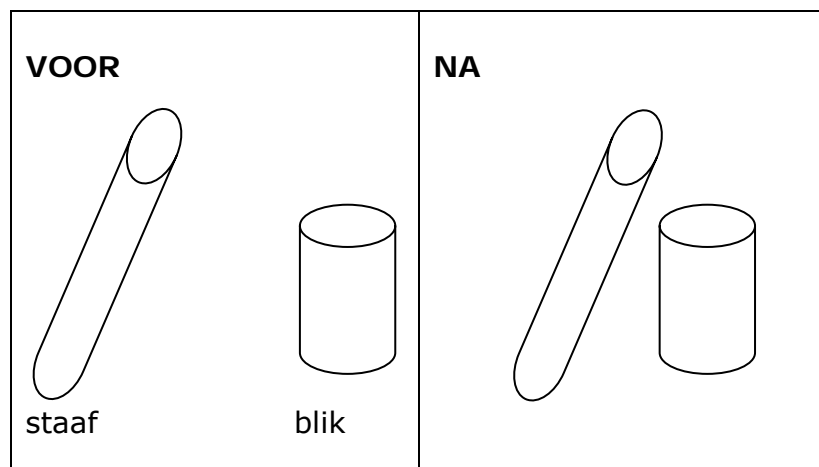
De leerkracht zal een staaf elektrostatich laden (negatief) en in de buurt van een leeg drankblikje brengen.

- A. Hoe zal het blikje reageren?
- B. Schets de ladingsverdeling op de tekening hieronder.



Overleg samen met je buurman/buurvrouw over je antwoord. Vul daarna individueel volgende vragen in:

- C. Hoe zal het blikje reageren als een positief geladen staaf wordt gebruikt?
- D. Schets de ladingsverdeling ook in dit geval.

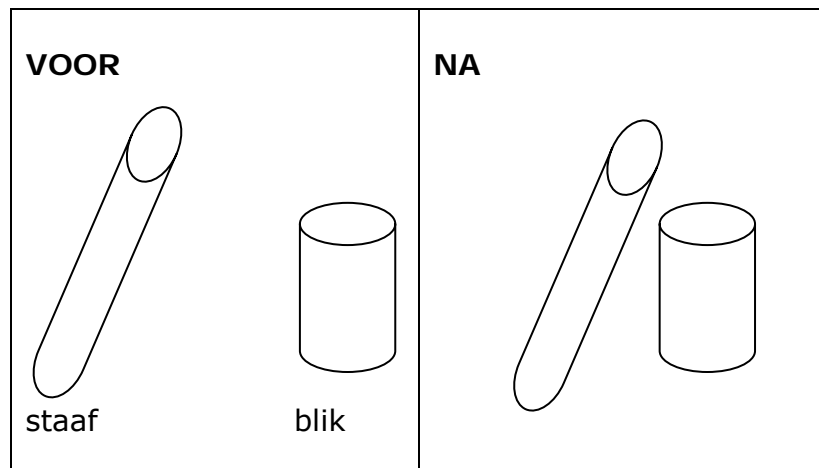


- E. Het aluminium blikje is een geleider. In een geleider kunnen ladingen vrij bewegen. De leerkracht zal nu dezelfde proef doen met een isolator (een isolator is een materiaal waarin de ladingsdragers niet vrij kunnen bewegen). Zal de isolator hetzelfde reageren? Argumenteer.

Resultaat: Dien dit blad in op het einde van de les

Een geladen staaf werd bij een drankblikje gebracht.

- A. Hoe reageerde het blikje?
- B. Teken de correcte ladingsverdeling als de staaf negatief geladen was.



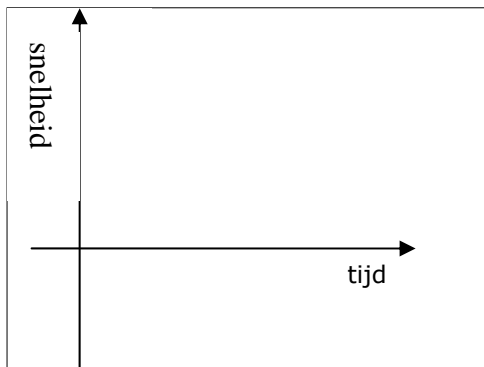
Beantwoord volgende vragen na de klassikale bespreking:

- D. Hoe was de ladingsverdeling op de (geladen) staaf bij het begin?
- E. Hoe was de ladingsverdeling op de staaf nadat die bij het blik werd gebracht?
- F. Hoe was de ladingsverdeling op het blik bij het begin?
- G. Hoe was de ladingsverdeling op het blik als de staaf in de buurt werd gebracht?
- H. Waarom bewoog het blik?
- I. Waarom reageerde het blik hetzelfde bij een positief geladen staaf?
- J. Kan polarisatie ook optreden bij isolatoren? Verklaar.

Bijlage 4: Conceptual understanding Programme: Onderweg naar Paulien

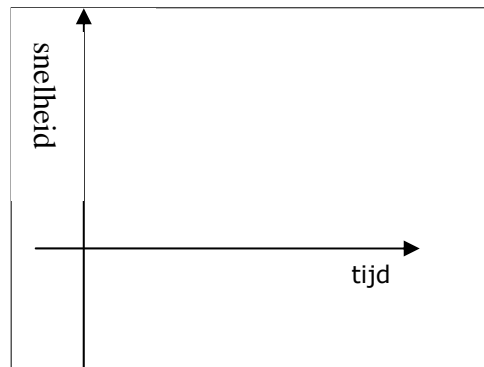
Hannah rijdt, aan de maximum toegelaten snelheid, noordwaarts over de Mechelsesteenweg als de verkeerslichten voor haar rood worden en ze moet stoppen. Beschrijf haar beweging met een schets van volgende grafieken:

1. snelheid als functie van de tijd

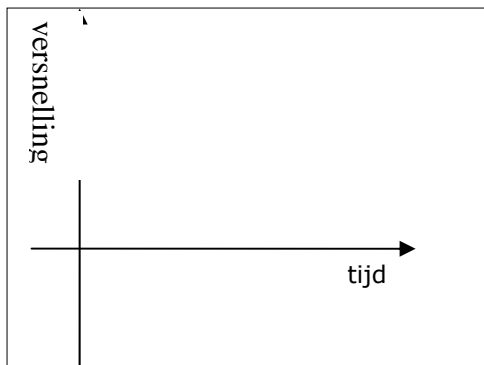


Later rijdt Hannah traag, op zoek naar het huisnummer van Paulien. Ze rijdt voorbij, draait terug en stopt voor de deur. Beschrijf deze beweging met een schets van volgende grafieken:

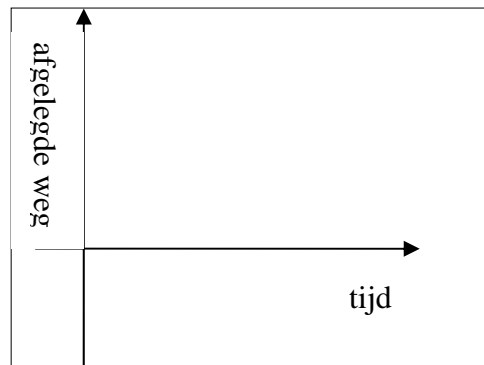
1. snelheid als functie van de tijd



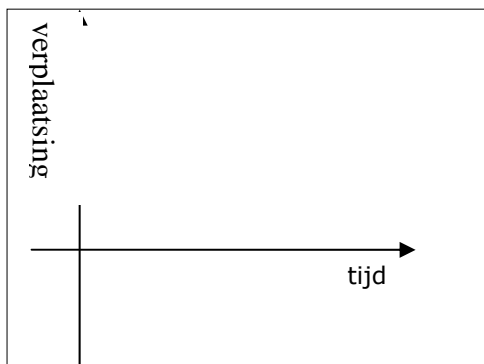
2. versnelling als functie van de tijd



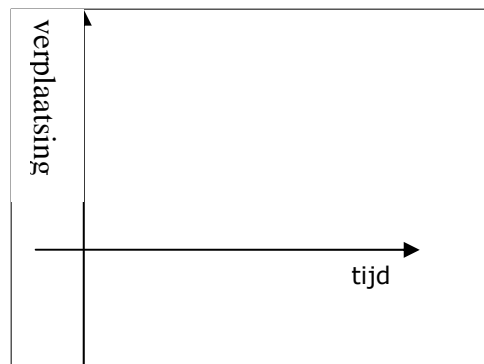
2. afgelegde weg als functie van de tijd



3. verplaatsing als functie van de tijd

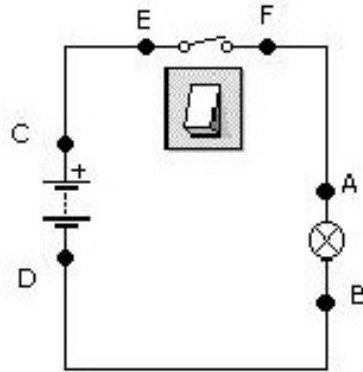


3. verplaatsing als functie van de tijd



Bijlage 5: Conceptual Understanding Programme: Wat is de spanning ?

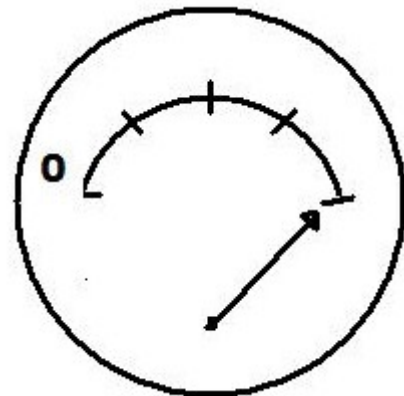
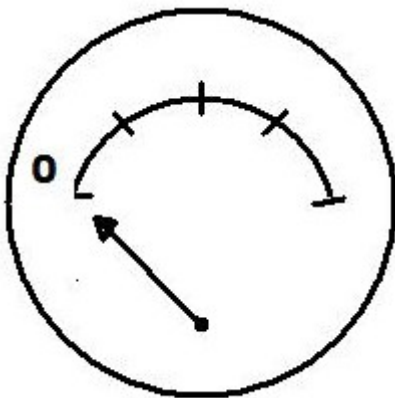
1) Bekijk de schakeling in onderstaande figuur, bestaande uit een spanningsbron, een lamp en een schakelaar. Tussen verschillende punten van het circuit kan een voltmeter geschakeld worden.



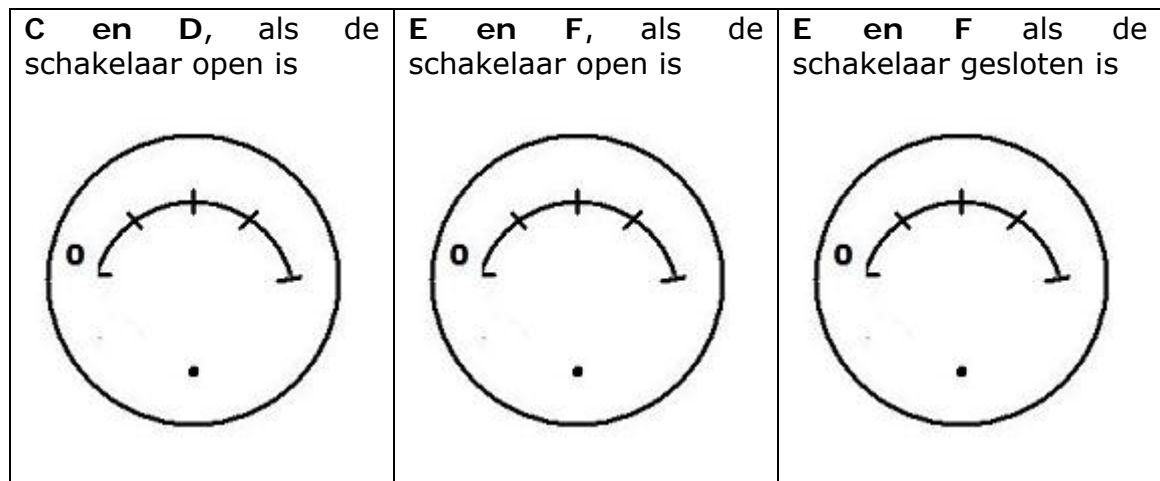
Als de voltmeter geschakeld wordt tussen de punten A en B, dan lezen we volgende resultaten uit:

(i) als de schakelaar open is

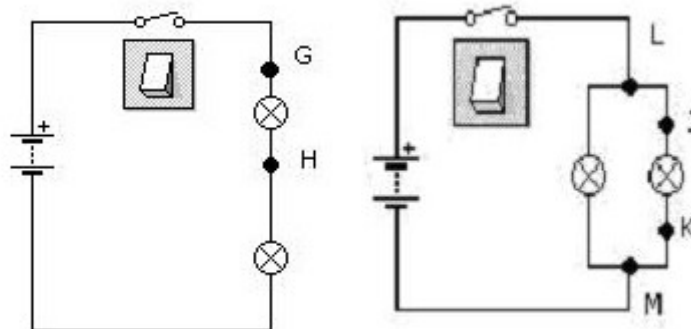
(ii) als de schakelaar gesloten is



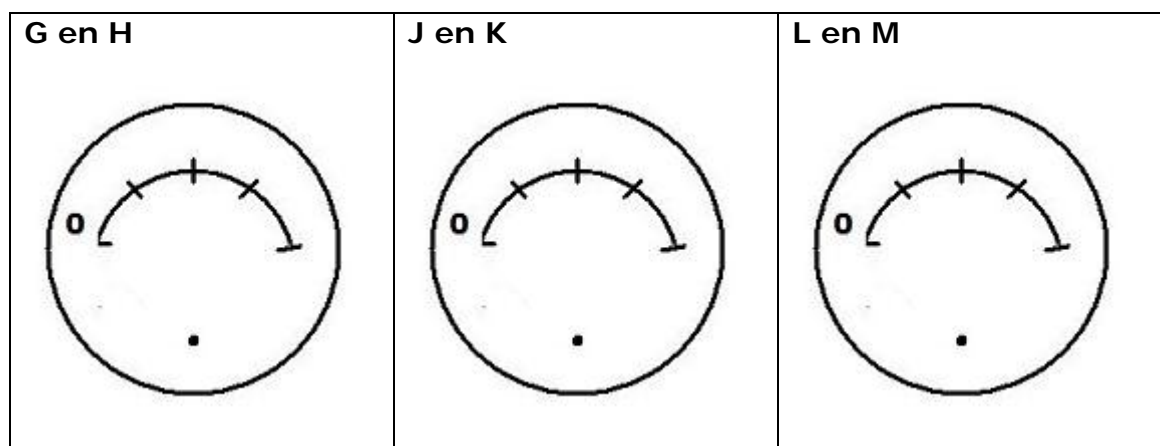
Geef op onderstaande figuren de positie van de naald van de voltmeter aan als deze is geschakeld tussen



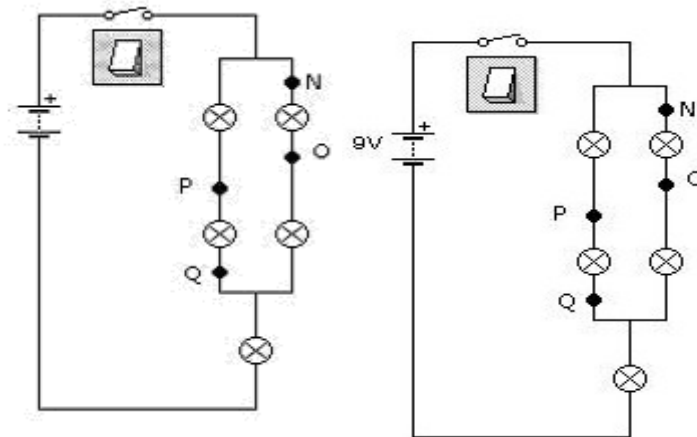
2) De schakeling is nu aangepast door een tweede lamp tussen te schakelen zoals in de onderstaande figuren.



Duid opnieuw de positie van de naald van de voltmeter aan als deze is geschakeld tussen



3) Er worden nu nog drie identieke lampjes tussengevoegd:



Duid weer de positie van de naald van de voltmeter aan als deze geschakeld is tussen

N en O	N en O als lamp X werd losgedraaid	P en Q met lamp X nog steeds losgedraaid

Eerste ronde – Deelopdracht Serieschakelingen

1. Inleiding

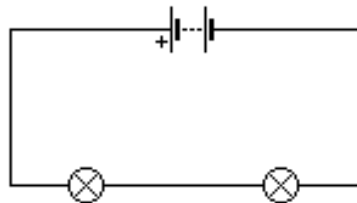
Als je rondkijkt in huis, zie je de snoeren van de computer in een verdeeldoos steken en die verdeeldoos steekt in het stopcontact. De verlichting in de zithoek en die boven de tafel kan je onafhankelijk van elkaar aansteken of uitdoen. De elektrische leidingen in een huis zijn opgesplitst in verschillende kringen. Al de kringen vertrekken vanuit de zekeringenkast. Alle elektrische toestellen, stopcontacten, schakelaars en zekeringen vormen samen een elektrische schakeling.

In deze opdrachten kijken we enkel naar schakelingen van weerstanden met één spanningsbron in de kring. De lampjes in een schakeling hebben altijd een vaste weerstand.

Er zijn verschillende soorten schakelingen. In deze reeks opdrachten maak je kennis met *serieschakelingen*. Je partner van straks onderzoekt op dit moment *parallelschakelingen*. Later zal je al deze expertise moeten samenleggen om *gemengde schakelingen* te bestuderen.

2. Serieschakelingen

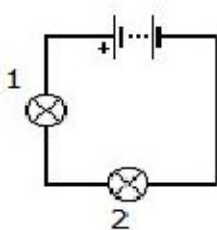
Schakel je weerstanden achter elkaar, dan ontstaat een *serieschakeling*.



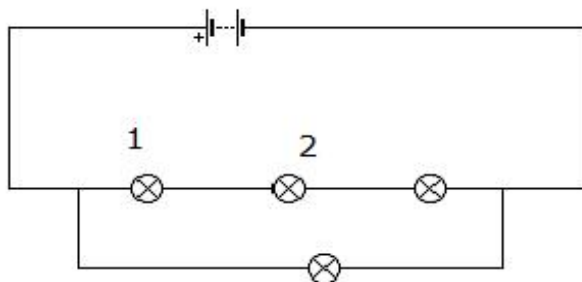
figuur 1: serieschakeling

Opdracht: In welk van de volgende situaties staan de lampjes L_1 en L_2 in serie geschakeld?

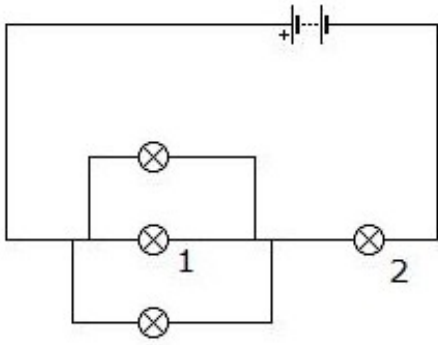
(a)



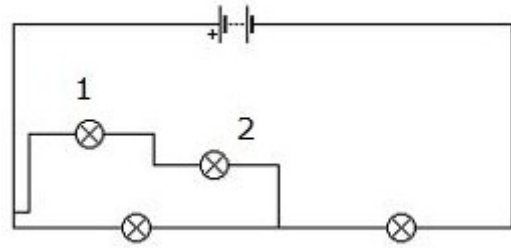
(b)



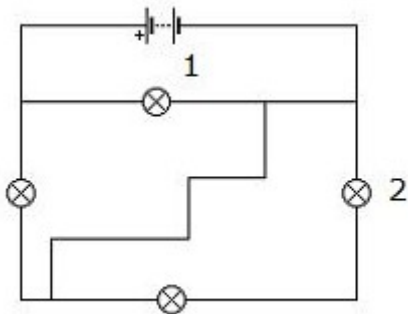
(c)



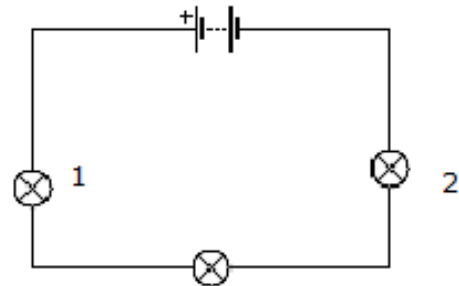
(d)



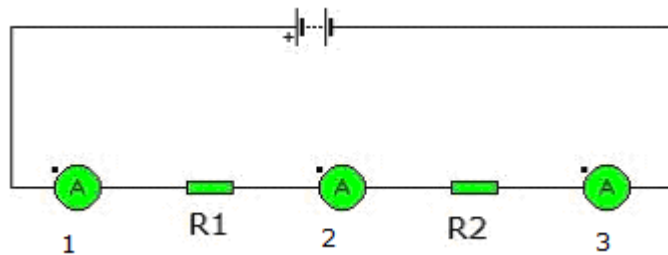
(e)



(f)



Stel nu dat twee weerstanden R_1 en R_2 in serie aangesloten worden op een bron met spanning U_b . Met een ampèremeter kan je de stroom I meten voor weerstand R_1 , tussen de weerstanden en achter weerstand R_2 .

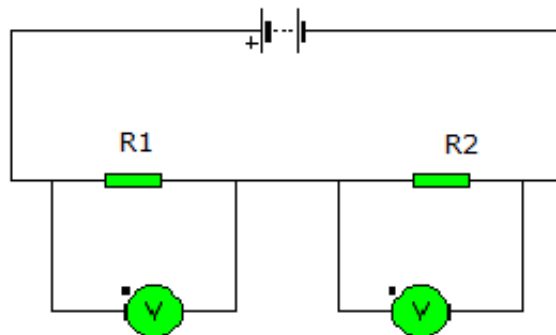


Meet de stroom op de verschillende plaatsen. Vul de tabel in:

R_1 (...)	R_2 (...)	I_1 (...)	I_2 (...)	I_3 (...)

Besluit: In een serieschakeling is de stroomsterkte I

Meet nu met een voltmeter de spanningen U_{R1} en U_{R2} over R_1 en R_2 respectievelijk:



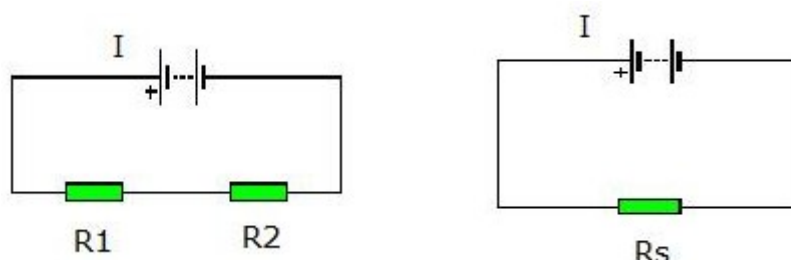
U_b	U_{R1}	U_{R2}

Welk verband zie je tussen de verschillende meetresultaten? Geldt dit ook als er meer dan 2 weerstanden in serie geschakeld zijn?

Besluit: In een serieschakeling is de spanning

3. Substitutieweerstand van weerstanden in serie

Twee weerstanden R_1 en R_2 zijn in serie geschakeld en aangesloten op een bron met spanning U_b .



Beide weerstanden kan je vervangen door één weerstand, aangesloten op dezelfde bron die dezelfde stroom I levert. Dit noemen we de *substitutieweerstand* R_s . We zoeken nu de waarde van R_s voor een serieschakeling van weerstanden.

Bekijken we eerst de oorspronkelijke schakeling. Omdat we de stroom I kennen, kunnen we met de wet van Ohm de spanning over de twee weerstanden bepalen:

$$U_{R1} =$$

$$U_{R2} =$$

Uit de metingen van daarnet weten we dat

$$U_b = \quad (1)$$

De wet van Ohm toepassen in de schakeling met de substitutieweerstand geeft

$$U_b = \quad (2)$$

Uit (1) en (2) samen volgt

$$R_s =$$

Eenzelfde redenering kunnen we maken voor meer dan twee weerstanden in serie.

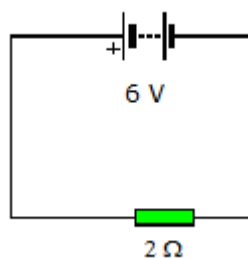
Besluit:

De substitutieweerstand R_s van weerstanden R_1, R_2, \dots, R_n in serie geschakeld is gelijk aan

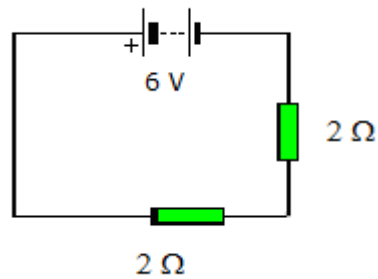
$$R_s =$$

4. Oefeningen

- (1) In de schakeling hieronder is een batterij van 6 V aangesloten op een weerstand van 2Ω . Bereken de stroom door de weerstand.



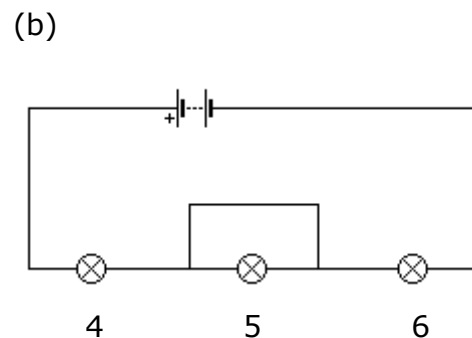
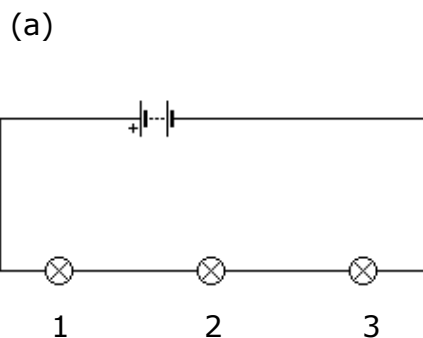
- (2) Wat is de totale weerstand van de schakeling als een tweede identieke weerstand wordt toegevoegd zoals in de figuur? Bereken de stroom.



- (3) In onderstaande figuur werden 4 identieke weerstanden van 5Ω geschakeld. Bereken de substitutieweerstand.



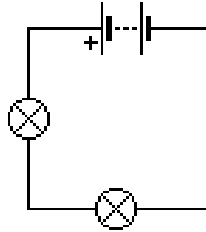
- (4) Schakelingen a en b bevatten dezelfde identieke lampjes en dezelfde spanningsbron. Het enige verschil tussen beide schakelingen is de kortsluiting bij lamp 5.



- Door welke schakeling loopt de grootste stroom?
- In welke schakeling branden de drie lampjes even hard?
- Welke lampjes branden het hardst?
- Welke lampjes branden het minst helder?
- Over welke lampjes is het spanningsverschil het grootst?

(bron: Hewitt, P.G., *Practicing Physics - Conceptual Physics*, ninth edition, Addison-Wesley, 2002)

- (5) In onderstaande schakeling heeft lamp A een weerstand van $6,0 \Omega$. De batterij levert 12 V . De stroom door lamp A is $1,0 \text{ A}$.

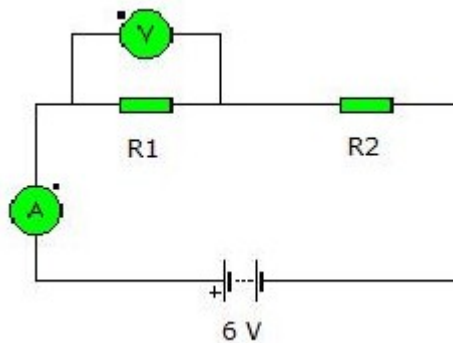


A

- Bereken de weerstand van de andere lamp.
- Hoeveel stroom gaat er door de batterij?

(bron: Hewitt, P.G., *Practicing Physics - Conceptual Physics*, ninth edition, Addison-Wesley, 2002)

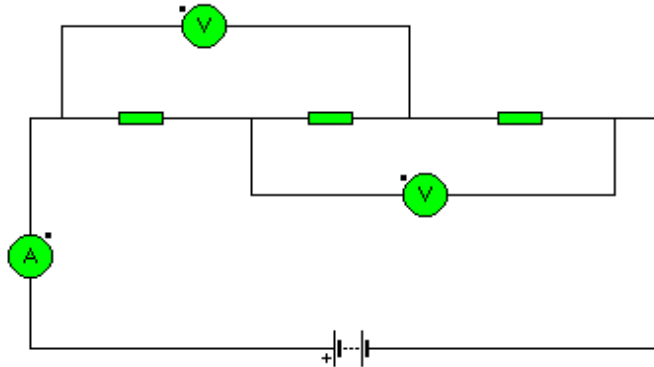
- (6) Schakel twee weerstanden in serie met een spanningsbron van $6,0 \text{ V}$.



Plaats een ampèremeter in de kring en een voltmeter over de eerste weerstand. Op de meters lees je 50 mA en $3,4 \text{ V}$. Hoe groot zijn de twee weerstanden?

(bron: Hellemans, J., Janssens, G., Van Peteghem, R., Nys, F., *Kwantum 3A – Deel 1: Elektriciteit*, uitgeverij de boeck, Antwerpen, 2004, p. 129)

- (7) Plaats drie weerstanden in serie met een bron van 12,0 V. Schakel een ampèremeter in de kring: daarop lees je 160 mA. Plaats een eerste voltmeter over de eerste twee weerstanden: die wijst 6,40 V aan. Een tweede voltmeter staat over de laatste twee weerstanden en wijst 9,60 V aan.



- Bereken de substitutieweerstand van die schakeling.
- Hoe groot zijn de drie weerstanden?
- Haal de middelste weerstand uit de kring en laat die plaats open: wat lees je op de drie meters?
- Leg een sluitdraad zonder weerstand in plaats van de middelste weerstand. Wat lees je af op de drie meters?

(bron: Hellemans, J., Janssens, G., Van Peteghem, R., Nys, F., *Kwantum 3A – Deel 1: Elektriciteit*, uitgeverij de boeck, Antwerpen, 2004, p. 130)

Eerste ronde – Deelopdracht Parallelschakelingen

1. Inleiding

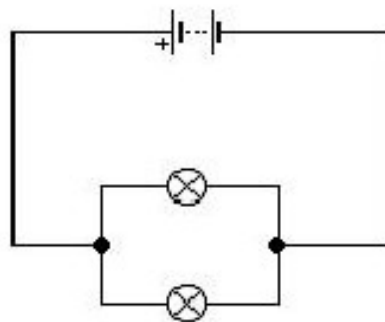
Als je rondkijkt in huis, zie je de snoeren van de computer in een verdeeldoos steken en die verdeeldoos steekt in het stopcontact. De verlichting in de zithoek en die boven de tafel kan je onafhankelijk van elkaar aansteken of uitdoen. De elektrische leidingen in een huis zijn opgesplitst in verschillende kringen. Al de kringen vertrekken vanuit de zekeringenkast. Alle elektrische toestellen, stopcontacten, schakelaars en zekeringen vormen samen een elektrische schakeling.

In deze opdrachten kijken we enkel naar schakelingen van weerstanden met één spanningsbron in de kring. De lampjes in een schakeling hebben altijd een vaste weerstand.

Er zijn verschillende soorten schakelingen. In deze reeks opdrachten maak je kennis met *parallelschakelingen*. Je partner van straks onderzoekt op dit moment *serieschakelingen*. Later zal je al deze expertise moeten samenleggen om *gemengde schakelingen* te bestuderen.

2. Parallelschakelingen

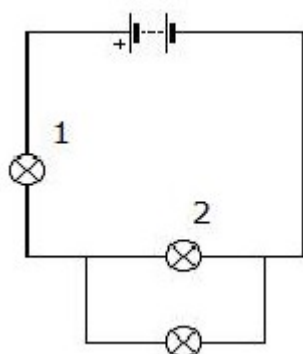
Bij een *parallelschakeling* zijn alle weerstanden parallel met elkaar en parallel met de bron aangesloten. Die schakeling bevat *knooppunten*; daar komen minstens drie geleiders samen.



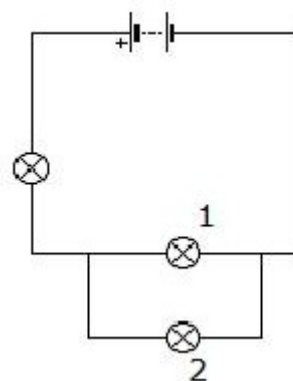
figuur 1: parallelschakeling

Opdracht: In welk van de volgende situaties staan de lampjes L_1 en L_2 in parallel geschakeld?

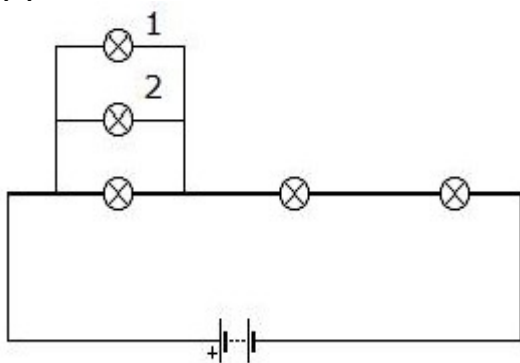
(a)



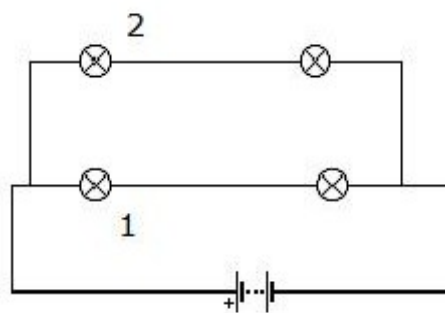
(b)



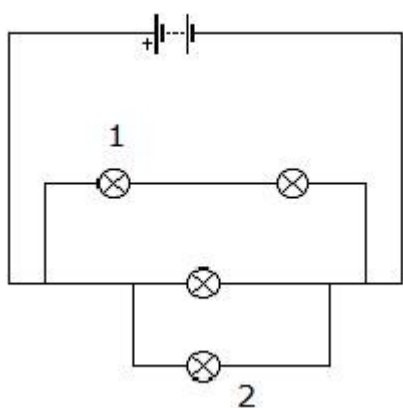
(c)



(d)

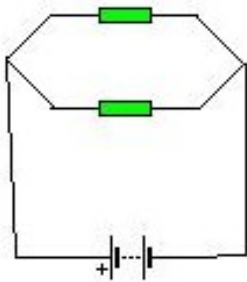


(e)

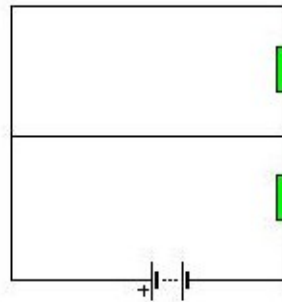


Opdracht: Welke schakeling is niet equivalent met de kring uit figuur 1?

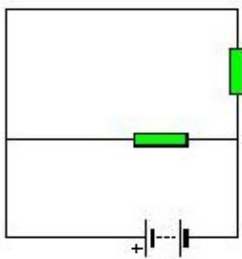
(a)



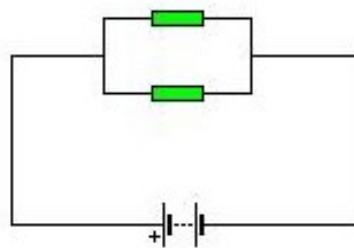
(b)



(c)

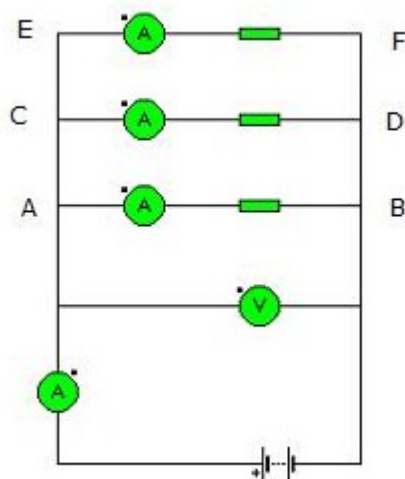


(d)



Stel nu dat 3 weerstanden R_1 , R_2 en R_3 parallel zijn aangesloten op een bron met spanning U_b .

We plaatsen in de hoofdkring en in elke vertakking een ampèremeter. Met een voltmeter meten we de spanning aan de bron en de spanning tussen de punten AB, CD en EF respectievelijk.



Vul de tabel aan:

$R_1 (...)$	$R_2 (...)$	$R_3 (...)$
$I_1 (...)$	$I_2 (...)$	$I_3 (...)$
$U_{AB} (...)$	$U_{CD} (...)$	$U_{EF} (...)$
-	I	U_b

Welk verband zie je tussen de meetresultaten van de ampèremeter? Wat merk je op als je kijkt naar de meetresultaten van de voltmeter?

Besluit:

1. In een parallelschakeling is de spanning U

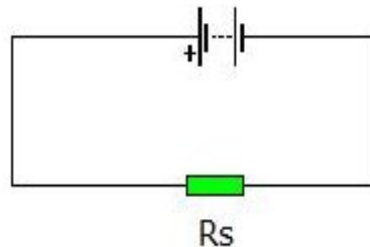
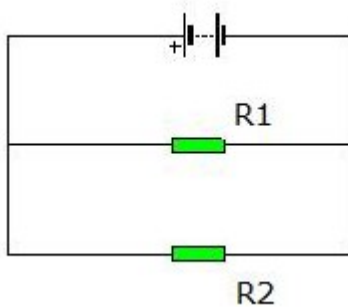
$$U =$$

2. In een parallelschakeling is de stroom I

$$I =$$

3. Substitutieweerstand van parallel geschakelde weerstanden

Twee weerstanden R_1 en R_2 zijn parallel aangesloten op een bron met spanning U_b .



Beide weerstanden kan je vervangen door één weerstand, aangesloten op dezelfde bron die dezelfde stroom I levert. Dit noemen we de substitutieweerstand R_s . We zoeken nu de waarde van R_s voor een parallelschakeling van weerstanden.

Bekijken we eerst de oorspronkelijke schakeling. Omdat we de spanning U over de weerstanden kennen, kunnen we met de wet van Ohm de stroom door de twee weerstanden bepalen:

$$I_{R1} =$$

$$I_{R2} =$$

Uit de metingen van daarnet weten we dat

$$I = \quad (1)$$

De wet van Ohm toepassen in de schakeling met substitutieweerstand geeft

$$I = \quad (2)$$

Uit (1) en (2) samen volgt

$$\frac{1}{R_s} =$$

Eenzelfde redenering kunnen we maken voor meer dan twee parallel geschakelde weerstanden.

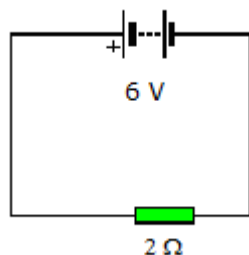
Besluit:

De substitutieweerstand R_s van weerstanden R_1, R_2, \dots, R_n die parallel geschakeld zijn, kan je berekenen met

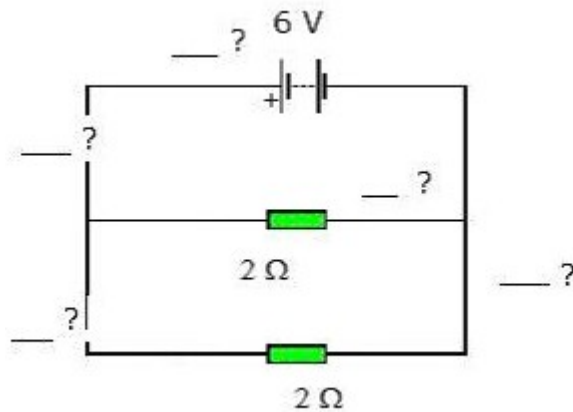
$$\frac{1}{R_s} =$$

4. Oefeningen

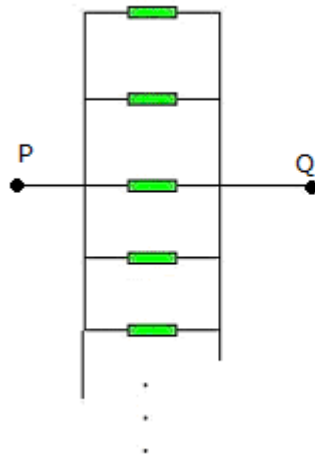
- (1) In de schakeling hieronder is een batterij van 6 V aangesloten op een weerstand van 2Ω . Bereken de stroom door de weerstand.



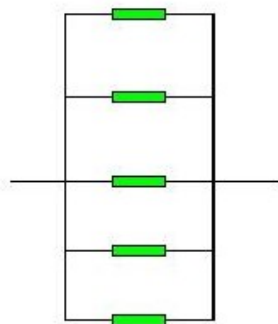
- (2) Een tweede identieke weerstand wordt parallel geschakeld met de eerste. Bereken de stroom op de verschillende aangeduide punten.



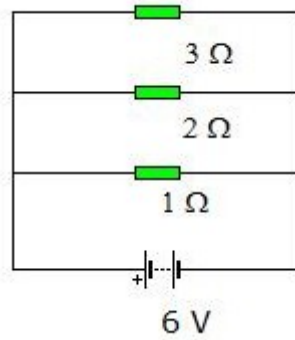
- (3) Als steeds meer weerstanden R worden toegevoegd aan het parallel circuit hieronder, dan zal de totale weerstand tussen de punten P en Q
- groter worden.
 - gelijk blijven.
 - kleiner worden.



- (4) In onderstaande figuur werden 5 identieke weerstanden van 5Ω geschakeld. Bereken de substitutieweerstand.



(5) Bekijk de stroomkring in de figuur.



- Bereken de spanning over iedere weerstand.
- Bereken de stroom in elke tak.
- Bereken de stroom door de batterij.
- Bereken de substitutieweerstand.

Tweede ronde – Gemengde schakelingen

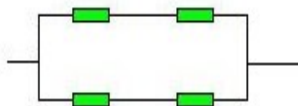
1. Inleiding

Een eenvoudige kring bevat doorgaans verschillende weerstanden. Die zijn niet noodzakelijk allemaal in serie of parallel geschakeld, maar ze vormen een *gemengde schakeling*. Zo'n gemengde schakeling is dikwijls te herleiden tot een combinatie van serie- en parallelschakelingen. In dat geval kan je de waarde van de substitutieweerstand bepalen.

In dit deel beschouwen we enkel schakelingen die een combinatie zijn van serie- en parallelschakelingen.

Opdracht: Duid in volgende schakelingen de weerstanden die in serie staan aan in het groen.

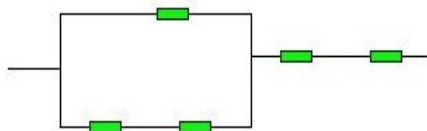
(a)



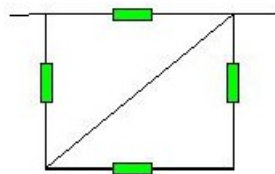
(b)



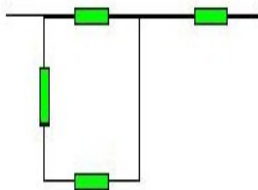
(c)



(d)

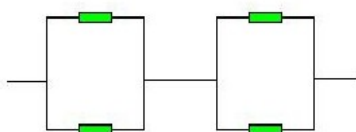


(e)

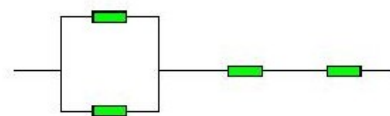


Opdracht: Duid in volgende schakelingen de weerstanden die parallel staan aan in het rood.

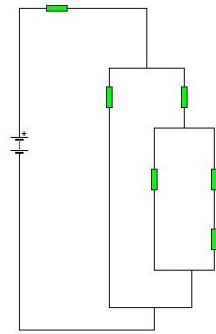
(a)



(b)



(c)

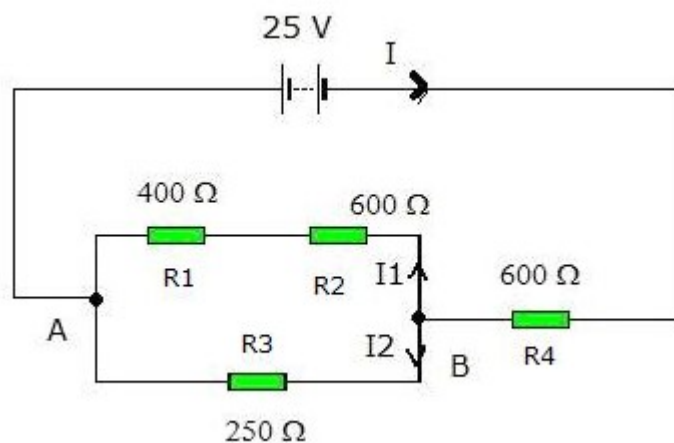


2. Oplossen van vraagstukken

2.1 Voorbeeldoefening [12]

Opgave: Beschouw de gemengde schakeling in figuur 2.

- Bereken de substitutieweerstand van die schakeling.
- Bereken de (deel)stroom door elke weerstand en de (deel)spanning over elke weerstand van de kring.



Figuur 1: opgave

Oplossing:

- Duid alle knooppunten aan op de figuur van de schakeling.
- Welke weerstanden staan in serie?
 - Bereken de substitutieweerstand R_{s1} .

$$R_{s1} =$$

- Herteken de schakeling.

3. a. Welke weerstanden zijn parallel geschakeld in de nieuwe schakeling?
- b. Bereken de substitutieweerstand R_{s2} .

$$R_{s2} =$$

c. Hertekenen de schakeling.

4. a. Bevat de nieuwe schakeling nog knooppunten?
- b. Welke weerstanden staan nu in serie?
- c. Bereken de substitutieweerstand.

$$R_{s3} =$$

d. Hertekenen de schakeling.

5. Bereken de hoofdstroom I met behulp van de wet van Ohm.
6. Wat is de stroom door R_4 ?
7. Bereken de spanning over R_4 .
8. Bereken de spanning tussen de punten A en B.
9. Bereken de stroom I_2 met behulp van de wet van Ohm. Bereken de stroom I_1 .
10. Bereken de spanningen over R_1 en R_2 met behulp van de wet van Ohm.

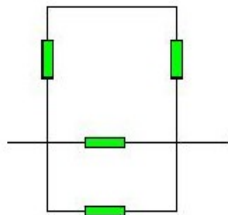
2.2 Algemeen [12]

1. Zoek de substitutieweerstand van de gemengde schakeling.
 - Duid alle knooppunten aan op de figuur van de schakeling.
 - Vervang in elke tak weerstanden die in serie staan door hun substitutieweerstand. Hertekenen de schakeling.
 - Vervang in elke tak weerstanden die parallel staan door hun substitutieweerstand. Hertekenen de schakeling.
 - Ga zo voort tot je de hele schakeling herleid hebt tot een schakeling met één enkele substitutieweerstand.
2. Bereken de stroom door de wet van Ohm toe te passen voor de schakeling met één substitutieweerstand.
3. Bereken de stroom in elke tak door de wet van Ohm toe te passen voor de verschillende takken in de gepaste schakeling.
 - Werk van de vereenvoudigde schakeling in stappen terug naar de oorspronkelijke schakeling.
 - Maak gebruik van de wet van Ohm om de deelstromen en alle deelspanningen van de gemengde schakeling te berekenen.

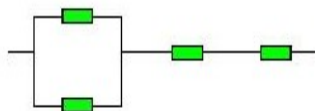
3. Oefeningen

- (1) Hoe gebeurt de schakeling bij huishoudelijke toestellen? In serie of parallel? Motiveer je antwoord.
- (2) Hoe zijn de lampjes van de kerstboomverlichting geschakeld? Motiveer.
- (3) In onderstaande schakelingen zijn alle weerstanden $10,0 \Omega$. Bereken telkens de substitutieweerstand.

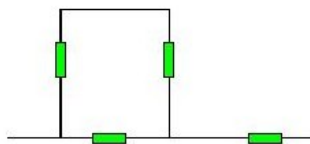
(a)



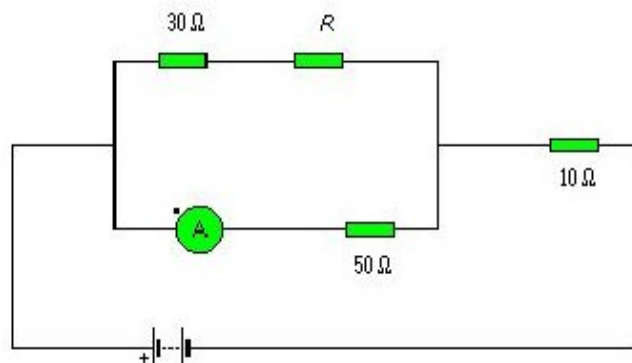
(b)



(c)



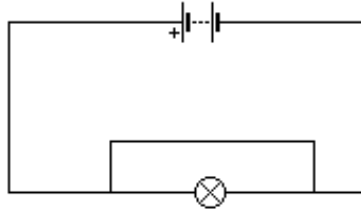
- (4) Je schakelt vier weerstanden op de volgende manier in een kring.



De bron levert $24,0 \text{ V}$ en de ampèremeter wijst 360 mA aan. Bereken de onbekende weerstand R .

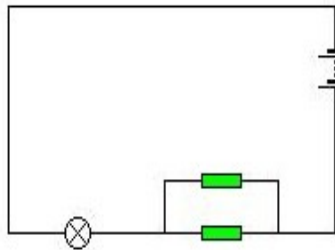
(bron: Hellemans, J., Janssens, G., Van Peteghem, R., Nys, F., *Kwantum 3A – Deel 1: Elektriciteit*, uitgeverij de boeck, Antwerpen, 2004, p. 130)

- (5) Stroom vloeit door een lamp. Veronderstel dat een draad verbonden wordt over de lamp zoals op de figuur. Dan zal
- alle stroom door de lamp blijven vloeien.
 - de helft van de stroom door de lamp gaan, de helft door de draad.
 - alle stroom door de draad gaan.
 - er geen van bovenstaande zaken gebeuren.

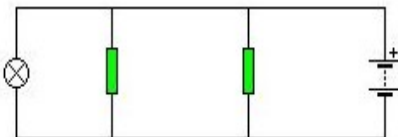


- (6) In elke schakeling is dezelfde spanningsbron gebruikt. De weerstanden in de schakelingen zijn identiek. Bij iedere schakeling is hetzelfde lampje gebruikt. Dan is het lampje dat het sterkst brandt dat van de schakeling:

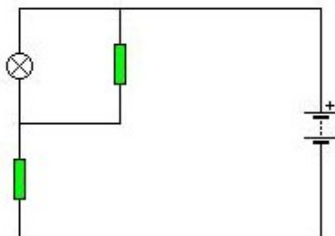
(a)



(b)

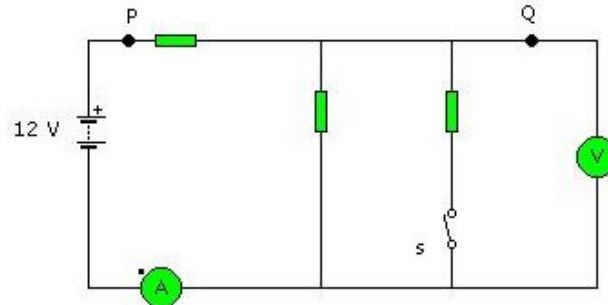


(c)



(bron: Depover, A., Herreman, W., Vandekerckhove, A. et al., *Fysica Vandaag 5.2 – Elektriciteit, Elektromagnetisme, Radioactiviteit*, uitgeverij Pelckmans, Kapellen, 2004, p.75)

- (7) Een spanningsbron van 12 V, die aangesloten is zoals op onderstaand schema, levert een stroom I die op de ampèremeter A kan afgelezen worden. Met schakelaar s open leest men op de voltmeter V een potentiaalverschil van 6,0 V af.

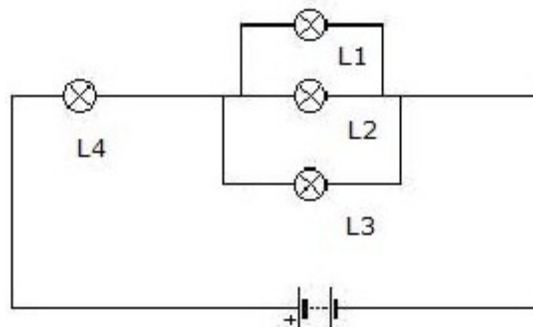


Wanneer de schakelaar s gesloten wordt, dan

- i. stijgt U ;
- ii. daalt I ;
- iii. stijgt de weerstand tussen de punten P en Q;
- iv. daalt U .

(bron: Depover, A., Herreman, W., Vandekerckhove, A. et al., *Fysica Vandaag 5.2 – Elektriciteit, Elektromagnetisme, Radioactiviteit*, uitgeverij Pelckmans, Kapellen, 2004, p.76)

- (8) De vier lampjes in de onderstaande schakeling zijn identiek. De bron levert een zodanige spanning dat alle lampjes zichtbaar branden.



Als men lampje L_3 uit de fitting losdraait, dan

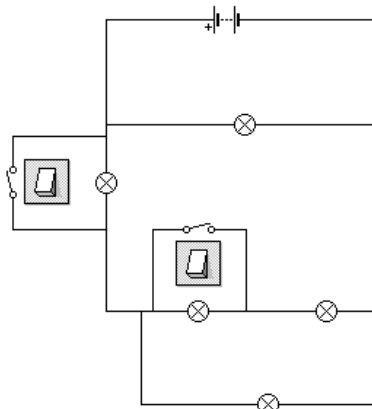
- i. zullen L_4 en L_1 sterker gaan branden;
- ii. zullen L_1 en L_2 op dezelfde sterkte blijven branden en L_4 zwakker gaan branden;
- iii. zullen L_1 en L_2 sterker gaan branden en L_4 op dezelfde sterkte blijven branden;
- iv. zal L_4 zwakker gaan branden en L_1 sterker gaan branden.

(bron: Depover, A., Herreman, W., Vandekerckhove, A. et al., *Fysica Vandaag 5.2 – Elektriciteit, Elektromagnetisme, Radioactiviteit*, uitgeverij Pelckmans, Kapellen, 2004, p.77)

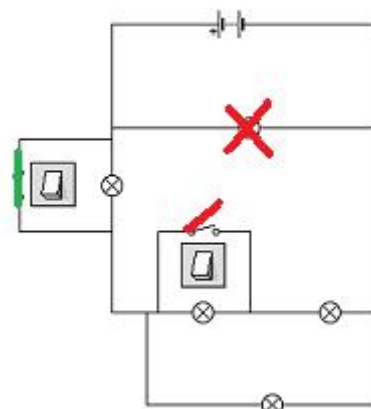
Bijlage 7: Schakelen-zonder-bron

Opdracht :

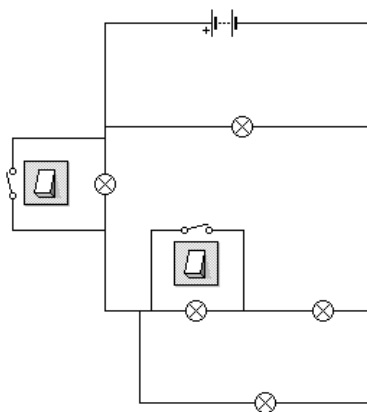
1. Je kreeg met je groepje een paneel met een schakeling, maar zonder spanningsbron. De schakeling is hieronder in figuur 1 weergegeven. Kies voor jezelf een situatie van de schakelaars en in- en uitgedraaide lampjes waarover je wil nadenken (zoals in het voorbeeld van figuur 2). Teken deze situatie in de eerste schakeling van de figuur onderaan.



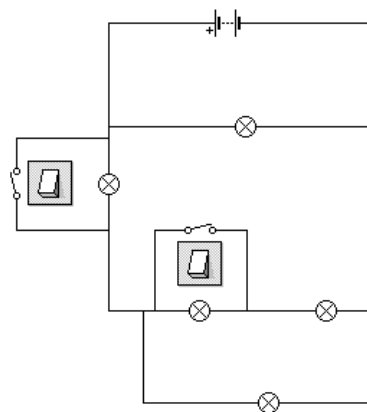
figuur 1: schakeling



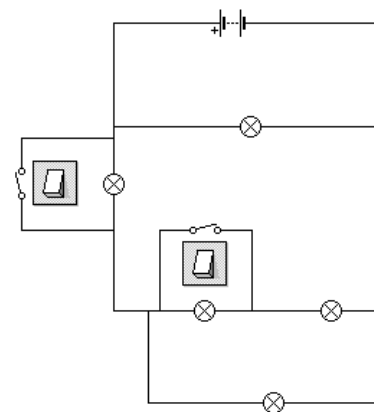
figuur 2: voorbeeldsituatie



situatie 1



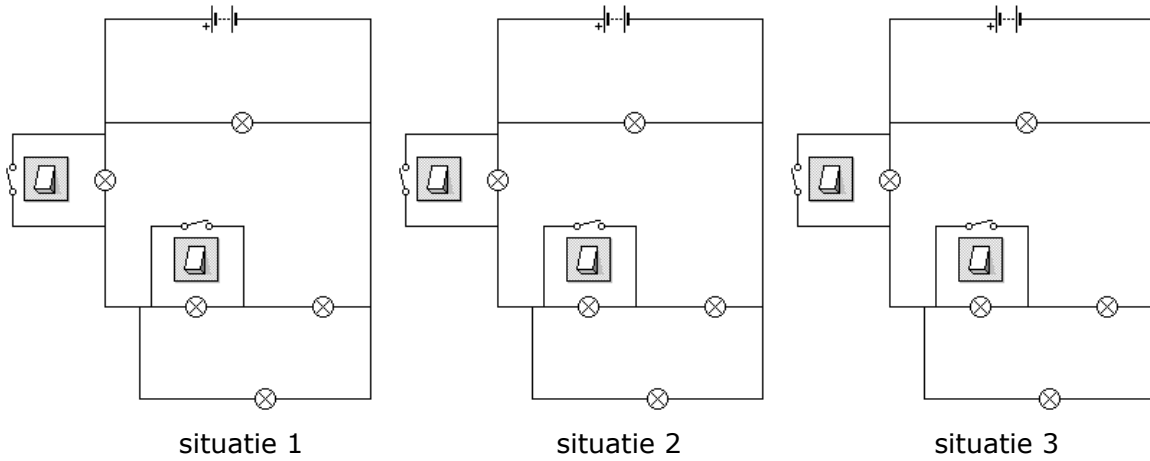
situatie 2



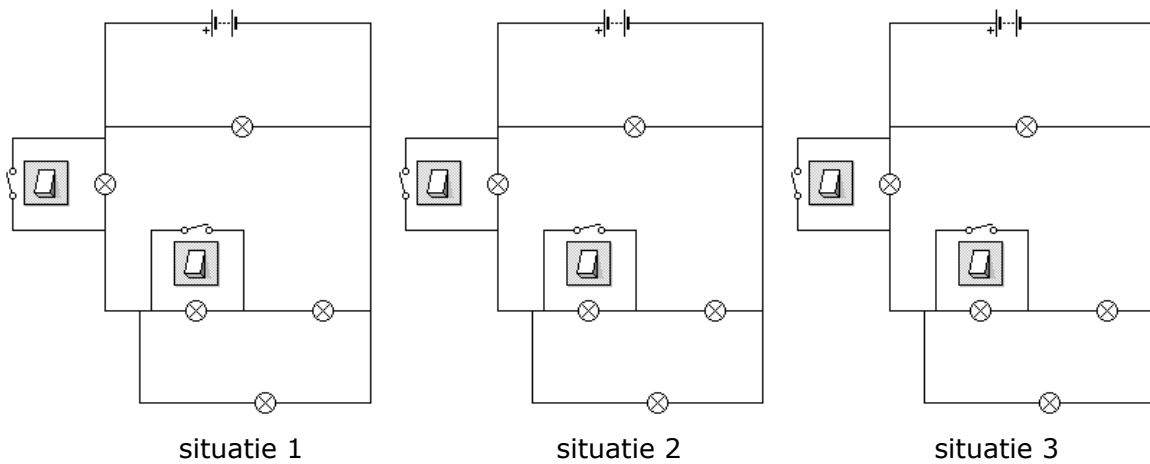
situatie 3

2. Neem in de andere twee schakelingen van de figuur de andere situaties die je zal bespreken met je groepje over.

3. Duid op de onderstaande figuren **zelf** aan wat je verwacht dat er zal gebeuren: duid aan welke lampjes zullen branden. Werk met verschillende kleuren: rood voor lampjes die veel licht geven, lampjes die minder sterk branden oranje en lampjes die maar flauw branden geel.



4. Bespreek je voorspellingen met de andere leden van je groepje en duid op onderstaande figuren aan welk antwoord je samen **met je groepje** voorspelt.



5. Neem deze antwoorden over op de A3-flappen die je ter beschikking kreeg.

6. Gebruik onderstaande schakelingen om de situaties die klassikaal worden besproken, te noteren.

