

Rollenspel: Koekjes en Schakelingen

Ed van den Berg

<i>Nummer</i>	<i>Rollenspel: Koekjes en Schakelingen</i>		<i>Vaksymbool</i>
	<i>Subtitel</i>		
	<i>Benodigde tijd</i> 1 les	<i>Niveau</i> Onderbouw en bovenbouw vmbo/havo/vwo	
	Begrippen: Spanning, stroomsterkte, weerstand, energie, vermogen, parallel, en serie		
	Leerdoelen: Visualiseren van verschillen tussen de basisbegrippen.		

Inleiding

Het volgende rollenspel werd ontwikkeld naar aanleiding van een interview met een 5 vwo leerling in Almere die 2½ jaar eerder in de onderbouw een rollenspel over schakelingen had gedaan. De herinnering was zo sterk dat hij daaruit zijn ideeën over stroom, spanning, en weerstand opnieuw construeerde. Vervolgens werd het rollenspel een vast onderdeel van mijn onderwijs over elektrische schakelingen met studenten en met leerlingen.

Gebruik

Het spel kan gebruikt worden om de begrippen op te bouwen, eventueel met stukjes spel in verschillende lessen. Het kan ook gebruikt worden als begripsoefening nadat de begrippen in een serie lessen geïntroduceerd zijn. De eenvoudige schakelingen zullen nog genoeg problemen opleveren.

Nodig

Leerlingen, koekjes, labels voor elektron, batterij, lamp. Het is handig ook kabels, A-meter en U-meter, batterijen en lampjes bij de hand te hebben.

Plenair

Een “batterij-leerling” speelt de batterij en deelt koekjes, pepernoten, of crackers (energie) uit aan 3 of 4 leerlingen die elektronen spelen. De “elektronleerlingen” geven de koekjes af aan een “lamp-leerling” die lamp speelt. De docent laat duidelijk de rol zien van batterij (energiebron), elektronen (transporteren energie), en lamp (zet energie om). De docent benadrukt het behoud van elektronen, ze komen allemaal weer terug in de batterij, gelijke stroomsterkte overal in de schakeling, en gelijke spanning over batterij en lamp. Dat kan tijdens het rollenspel ook gedemonstreerd worden met een eenvoudige schakeling van batterij, lamp, stroommeters voor en na de lamp, en spanningsmeters over batterij en over de lamp.

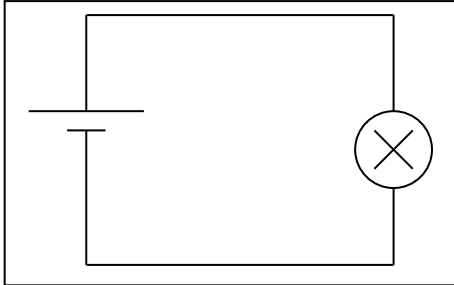
Ga snel door enkele variaties. Stel dat we 1,5V gelijkstellen aan een koekje per elektron. Hoe zit het dan als we twee 1,5V batterijen in serie gebruiken? Zie schakeling 2. Wat als we twee lampjes in serie gebruiken? Zie schakeling 3.

Als zo'n plenair rollenspel leuk gaat, dan denk je “ze snappen het”. Maar leerlingen hebben oefening nodig. Dat kan door het rollenspel in groepjes voort te zetten. Oefening kan natuurlijk ook door vragen en opgaven, maar dan krijg je minder conceptuele discussie.

Groepjes

Groepjes van 5 of 6 leerlingen krijgen dan de taak enkele situaties te spelen (zie onder). De eerste situaties zijn voor alle groepen gelijk. Een laatste probleem kan per groep verschillend zijn en kan – als er tijd is – aan elkaar plenair gedemonstreerd worden mits het rollenspel serieus is uitgevoerd.

Het model



Elektronen gaan de schakeling rond. Ze ontvangen energie in de batterij, vervoeren het naar de lamp, dragen de energie daar over, en de lamp geeft licht en warmte. De elektronen vervolgen hun weg, komen terug in de batterij, laden nieuwe energie, en gaan weer de schakeling rond. Als de batterij 1,5 V is, dan krijgt elk elektron 1,5 eV als het door de batterij gaat. Als er meerdere lampjes of andere componenten in serie staan, dan verdeelt het elektron de energie over die verschillende componenten evenredig met de weerstand.

Dit is een te simpel model. Een aantal zaken klopt NIET:

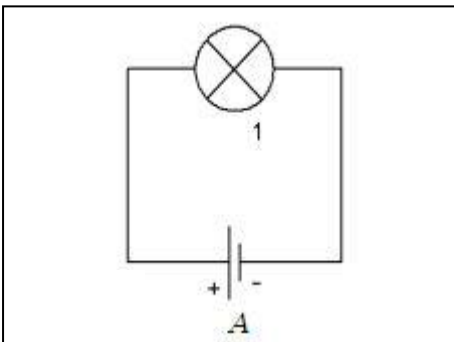
- Zodra de schakeling wordt aangesloten, wordt een elektrisch veld opgezet rond de kabels. Alle geleidingselektronen in batterij en kabels en apparaat starten tegelijkertijd zodra de schakelaar is omgezet, en ze hebben dan ook al direct hun “koekje” energie van het elektrisch veld en hoeven niet te wachten tot ze de batterij passeren.
- Het elektron is niet energieloos na passage door een apparaat maar wel is het zo dat per passage 1,5 eV of 220 eV wordt overgedragen afhankelijk van de bronspanning.
- Alle leerlingelektronen verschillen van elkaar. Echte elektronen zijn identiek. Ook de aantallen kloppen niet, het is lastig 10^{18} leerlingen per seconde door een Ampere meter te laten gaan!
- In de analogie mist het ladingsconcept en daardoor ook het voortstuwings-mechanisme van spanning. Je zou eventueel nog kunnen toevoegen dat de energie een soort van buitenboordmotor is voor het elektron... dubbele energie, dan ook dubbele snelheid. Dus bij 3V 2x zo snel als bij 1,5V.

Als je echt een brandende kritiek wilt lezen over deze analogie, lees dan het artikel van Sefton (2002).

Het sterke punt van de koekjes-analogie is dat leerlingen het verschil leren tussen energie en stroom en dat leerlingen moeten nadenken over de relatie tussen spanning over componenten en verdeling van energie. De stroom is behouden. De energie wordt omgezet van chemisch naar elektrisch naar licht/warmte of andere vormen. Alle elektronen keren terug naar de batterij. De energie wordt gedistribueerd en omgezet.

Schakeling 1: Een lampje met een batterij

De eenvoudigste schakeling bestaat uit een batterij en een lamp. Leerlingen starten bij de batterij en verlaten die elk met een koekje dat ze overdragen aan de lamp. Wat we willen laten zien is:



- Er is een stroom van elektronen en alle elektronen blijven behouden en keren terug naar de batterij (behoud van elektronen ofwel lading).
- De stroomsterkte, het aantal elektronen dat per seconde langskomt, is overal in de schakeling gelijk (stroombehoud).
- De stroom vervoert energie en die energie wordt omgezet in de lamp. De energie per elektron is constant en wordt bepaald door de spanning van de batterij of spanningsbron.
- Elektronen gaan van – naar + (verwarrend).

Na rollenspel: Demonstratie dat $I_{in} = I_{uit}$ in een echte schakeling met spanningsbron, 2 amperemeters, en een lampje. Een handige aanvulling is een PhET simulatie (PhET. colorado.edu).

Schakeling 2: Een lamp in serie met twee batterijen (dubbele spanning)

Nu krijgt elk leerlingelektron twee koekjes i.p.v. één koekje. De energie per elektron die verzameld

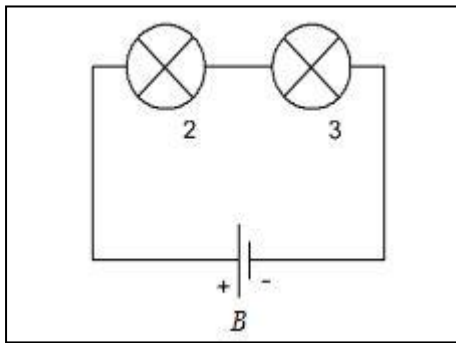
wordt bij de twee batterijen is de som van de spanningen van beide batterijen in serie. Bij de lamp worden 2 koekjes overhandigd en gegeten. Wat we willen laten zien is:

- Twee batterijen in serie geven dubbele spanning dus dubbele energie per elektron. Dus grotere spanning... dan grotere energie per elektron.
- De lamp krijgt twee koekjes per elektron en zal dus meer energie per seconde omzetten.
- We stellen het effect van spanning op stroomsterkte nog even uit.

De lamp geeft dus meer licht. In het begin ligt onze aandacht bij de koekjes en hun distributie. De docent kan nog even wachten met het andere effect, namelijk dat verdubbeling van spanning ook leidt tot verdubbeling van de stroomsterkte. Per elektron is er nu 2x zoveel energie, ze gaan dubbel zo snel dus het aantal elektronen dat langs komt, verdubbelt ook. Bij verdubbeling van de spanning krijgt de lamp dus 4x zoveel energie! Maar zoals gezegd, de docent kan dit stroomverdubbelingseffect nog even uitstellen. Na dit rollenspel kan een snelle demonstratie volgen met een echte lamp, verdubbelde spanning, en Voltmeter.

Schakeling 3: Twee gelijke lampjes in serie met een batterij

Er is één batterij, dus de leerling-elektronen krijgen elk één koekje. Dat koekje moet verdeeld worden tussen twee lampjes. De lampjes zijn identiek, dus elk krijgt de helft. De spanning van de batterij is 1,5 Volt, dus de spanning over elk van de lampjes zal 0,75 Volt zijn. De stroomsterkte zal ook afnemen.



Focus eerst op spanning en koekjes per elektron en verdeling daarvan over de lampjes. Behandel vervolgens het effect van verdubbelde weerstand op stroomsterkte waardoor het aantal elektronen per seconde halveert.

Dus in schakeling 3 leren we:

- Als er meer lampjes of weerstanden zijn in serie, dan worden de koekjes verdeeld. Bij gelijke lampjes krijgt elk de helft van de elektronenergie. Waarom? De spanning verdeelt zich en de spanning bepaalt hoeveel energie wordt afgegeven door het elektron. Dus 0,75 eV bij lampje 1 en 0,75 eV bij lampje 2.

Eventueel in een demonstratie even de spanning over elk lampje nameten.

Schakeling 4: Twee ongelijke lampjes in serie met een batterij

Er is één batterij, dus elk elektron krijgt één koekje. Dat koekje moet verdeeld worden tussen twee lampjes. We meten (of schatten) de spanning over elk van de lampjes. De lamp met de hogere spanning krijgt een groter deel van het koekje (van de energie) dan de lamp met de kleinere spanning. Stel dat de spanning over het eerste lampje 1,0 Volt is en het tweede 0,5V, dan krijgt het eerste 2/3 van het koekje. Ik gebruik vaak crackers die gemakkelijk in drieën te breken zijn. Wat leren we?

- Energie wordt verdeeld over serie componenten evenredig met de spanning over die componenten (en die blijkt evenredig te zijn met de weerstand).
- De som van de spanningen over de seriecomponenten is gelijk aan de spanning van de spanningsbron (de koekjes gaan op!).

Indien nodig, maak wat variaties op schakelingen 2 en 3 voor oefening. Dan schakelen we over van koekjes (spanning en energie) naar stroomsterkte.

Stroomsterkte, terug naar schakeling 3, twee lampjes in serie met batterij

Het aantal elektronen dat per tijdseenheid de batterij verlaat is nu kleiner. Dat is moeilijk voor de leerlingen want velen verwachten dat de stroomsterkte constant is en onafhankelijk van de schakeling (constante stroom misconceptie). De manier om dit begrijpelijk te maken is een analogie te maken met verkeer. Bij twee lampen of weerstanden in serie heb je twee smalle bruggen achter elkaar en wordt het verkeer dus extra gehinderd (extra weerstand). Met deze twee obstakels, wordt de verkeersstroom kleiner en gaan er dus minder elektronen per tijdseenheid voorbij. De stroom halveert. Elk elektron krijgt nog steeds hetzelfde koekje (energie) van de batterij, maar het aantal elektronen/seconde halveert, bovendien moet het koekje tussen twee gelijke lampjes verdeeld worden. Elk lampje krijgt 1/2

koekje per passage en de elektronenstroom halveert...dus krijgt elk lampje per tijdseenheid maar $\frac{1}{4}$ van de energie vergeleken met het lampje in schakeling 1. Wat we leren:

- Grotere weerstand, kleinere stroom. Nog steeds dezelfde U dus dezelfde hoeveelheid energie per elektron, maar er zijn nu minder elektronen per seconde.

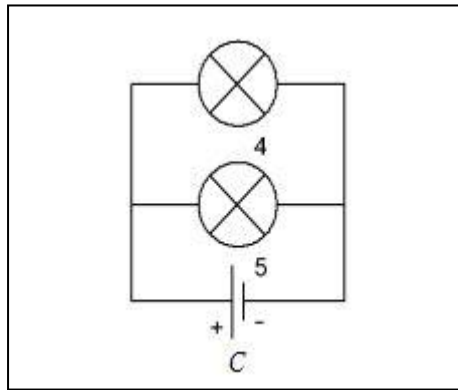
Terug naar schakeling 2: Lampje met twee batterijen in serie

De grotere spanning van de twee batterijen samen zorgt niet alleen voor 2 koekjes per leerlingelektron, maar zal ook de stroom verdubbelen. Als elk elektron twee koekjes heeft, en als het aantal elektronen per tijdseenheid verdubbelt, dan krijgt het lampje 4x zoveel energie als in schakeling 1 ($P=U.I$). Dubbele spanning leidt tot een viervoudig vermogen. De les:

- *Grotere spanning dus meer energie per elektron.*
- *Grotere spanning, dan grotere stroomsterkte, dus ook meer elektronen per seconde.*

Schakeling 5: Twee identieke lampjes in parallel met een batterij

Als twee lampjes parallel staan, staat over elk lampje de batterij spanning. Dus elk elektron dat passeert geeft een compleet koekje af, niet een halve. Als beide lampjes identiek zijn, dan verdeelt de stroom zich. Een elektron naar lamp 1, een elektron naar lamp 2, etc. Maar, in analogie met het



verkeer, er zijn nu twee parallel wegen, elk met een nauwe brug (lampje), de verkeersstroom verdubbelt. Dit is weer het moeilijke voor leerlingen. Ze denken dat stroom alleen bepaald wordt door de bron, maar stroomsterkte is afhankelijk van zowel bron (U) als schakeling (R). Dus:

- Parallel: stroom verdeelt zich...elektronen verdelen zich.
- De stroom in de tak wordt bepaald door de spanning over de tak en de weerstand van de tak, dat geeft in elke tak dezelfde situatie als schakeling 1 dus dezelfde stroomsterkte.
- Totale stroom verdubbelt, dus elk lampje heeft dezelfde helderheid als schakeling 1

Schakeling 6: Wisselstroom (NIET in de NiNa-module)

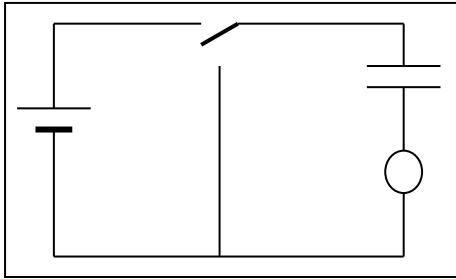
Er zit nog wat rek in het koekjesmodel. Bij wisselstroom gaan elektronen nu eens de ene en dan weer de andere kant op. Je kunt dit spelen door bij allebei de polen van de spanningsbron koekjes uit te delen. Nog echter is het om de koekjes uit de lucht te laten vallen. Elektronen nemen energie op uit het elektrische veld en betalen met koekjesenergie om een weerstand, apparaat, of lamp te passeren. Maar het model is nu wel erg ver opgerekt. Want geeft elk elektron bij wisselstroom dezelfde energie af? Nee, want de spanning wisselt niet alleen van teken, maar de amplitude verandert ook in de tijd. En zo loopt het model tegen zijn grenzen aan, maar elk natuurkundig model en zeker elk didactisch-natuurkundig model heeft zijn grenzen!

In de Filippijnen vroeg ik mijn studenten om het koekjesmodel uit te proberen op het opladen en ontladen van een condensator. Ook dat werd een harde confrontatie met de grenzen van het model, maar het leidde elk jaar weer tot een heel nuttige discussie over wat er nu precies met stroom, spanning en energie gebeurt bij het opladen en ontladen.

Schakeling 7 (voor studenten lerarenopleiding en docenten): Een lamp in serie met een $1000 \mu\text{F}$ condensator en batterij

Studenten zien eerst een demonstratie met het laden en ontladen van een condensator in serie met een lampje. Bij het aanschakelen van de batterij, gaat het lampje even aan, wordt snel minder fel, en gaat uit. Bij het kortsluiten van de condensator-lampje schakeling gaat het lampje ook even aan. Verder wordt er niets uitgelegd. Studenten moeten het verschijnsel uitleggen en dan de uitleg vertalen naar een rollenspel. Dit is een moeilijk probleem dat leidt tot veel discussie. Niet alle groepjes komen eruit, de docent kan ze met vragen wat verder helpen. Terwijl de condensator geladen wordt, gaat er stroom door het lampje en het gaat aan. Naarmate de condensator vol loopt, wordt de stroom kleiner en staat er ook meer spanning over de condensator en dus minder over het lampje. Minder elektronen en

kleinere koekjes voor de lamp. Bij het ontladen gebeurt iets soortgelijks. Wanneer het ontladen start is de spanning over het lampje het grootst evenals de stroomsterkte. Naarmate de condensator leegloopt,



worden spanning (koekjesgrootte) en stroomsterkte (aantal studentelektronen per tijd) kleiner.

Belangrijk: elektronen kunnen de condensator niet passeren. Wel is er voor elke aankomst van een elektron bij de negatieve kant van de condensator een vertrekkend elektron aan de positieve kant van de condensator (opladen) en omgekeerd bij ontladen.

Gedurende het ontladen hebben elektronen ook energie.

Waar komt die vandaan? Een kort antwoord kan zijn van het

veld en daar kun je het bij laten. Een langer alternatief is om te diverse energieconversies in de schakeling te analyseren, de opbouw van het elektrostatisch veld met zijn potentiële energie, etc. Hoe dan ook, de oefening leidt tot veel conceptuele discussie, veel oefening van de hersens, veel heen en weer denken tussen het nu te simpele koekjesmodel en echte elektronen. Dat alles leidt tot een dieper begrip van het elektronen model en wat exponentiele tijdrelaties in stroom en spanning in dit geval betekenen.

Literatuur

Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2006). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. Rotterdam: Sense Publishers. ISBN 90-77874-23-2

Sefton, I. M. (2002). *Understanding Electricity and Circuits: What the Text Books Don't Tell You*. Science Teachers Workshop. <http://science.uniserve.edu.au/school/curric/stage6/phys/stw2002> (laatst geconsulteerd op 17 juni 2017).