



# Inhoudsopgave

3	Stroomsterkte, spanning en weerstand .....	3-5
3.1	Wat leer je in dit hoofdstuk? .....	3-5
3.2	Wat is elektrische stroom? .....	3-5
3.2.1	Elektronen, atomen en moleculen .....	3-5
3.2.2	Geleiders en isolatoren.....	3-6
3.2.3	Elektrische neutraliteit, ionen.....	3-6
3.2.4	Samengevat .....	3-7
3.3	Elektrische spanning, stroom, weerstand en vermogen.....	3-7
3.3.1	Stroom is verplaatsen van lading.....	3-7
3.3.2	Verplaatsing van elektrische lading, ofwel elektrische stroom .....	3-8
3.3.3	Spanning: potentiaalverschil tussen twee punten.....	3-9
3.3.4	Weerstand, wet van Ohm.....	3-9
3.3.5	Stroom-spanningskarakteristiek.....	3-10
3.3.6	Soortelijke of specifieke weerstand .....	3-11
3.4	Opgaven .....	3-13
3.4.1	Aanwijzingen (dezelfde als in hoofdstuk 2) .....	3-13
3.4.2	Opgave 3-1.....	3-13
3.4.3	Opgave 3-2.....	3-14
3.4.4	Opgave 3-3.....	3-15
3.4.5	Opgave 3-4.....	3-16
3.4.6	Opgave 3-5.....	3-17
3.4.7	Opgave 3-6.....	3-18
3.4.8	Opgave 3-7.....	3-19
3.4.9	Opgave 3-8.....	3-20
3.4.10	Opgave 3-9.....	3-21
3.4.11	Opgave 3-10.....	3-22
3.4.12	Opgave 3-11.....	3-23
3.5	Metten van spanning, stroom en weerstand .....	3-24
3.5.1	Inleiding.....	3-24
3.5.2	Schema's en schemasymbolen .....	3-24



3.5.3	Het meten van spanning .....	3-25
3.5.4	Het meten van stroom .....	3-26
3.5.5	Weerstandsmeting .....	3-27
3.5.6	Verschillen tussen spannings-, stroom- en weerstandstroommeting .....	3-27
3.6	Energie en arbeid, vermogen en dissipatie.....	3-27
3.7	Uitvoeringsvormen en kleurcode van vaste weerstanden .....	3-30
3.7.1	Enkele uitvoeringsvormen.....	3-30
3.7.2	Kleurcode van vaste weerstanden .....	3-31
3.8	Schakelen van weerstanden.....	3-32
3.8.1	Inleiding.....	3-32
3.8.2	Behoudswetten: de wetten van Kirchhoff.....	3-32
3.8.3	Serieschakeling van weerstanden.....	3-33
3.8.4	Spanningsdelers.....	3-35
3.8.5	Variabele weerstanden.....	3-36
3.8.6	Parallelschakeling van weerstanden .....	3-37
3.8.7	Combinaties van serie- en parallelgeschakelde weerstanden.....	3-38
3.9	Opgaven .....	3-40
3.9.1	Opgave 3-12.....	3-40
3.9.2	Opgave 3-13.....	3-41
3.9.3	Opgave 3-14.....	3-42
3.9.4	Opgave 3-15.....	3-43
3.9.5	Opgave 3-16.....	3-44
3.9.6	Opgave 3-17.....	3-45
3.9.7	Opgave 3-18.....	3-46
3.9.8	Opgave 3-19.....	3-47
3.9.9	Opgave 3-20.....	3-48
3.9.10	Opgave 3-21.....	3-49
3.9.11	Opgave 3-22.....	3-50
3.10	Spanningsbronnen, afzonderlijk en geschakeld.....	3-51
3.10.1	Schemasymbolen voor spanningsbronnen en enkelvoudige schakelaars ...	3-51
3.10.2	Spanningsbronnen, EMK.....	3-51
3.10.3	Hoeveel vermogen leveren een ideale en een niet-ideale bron?.....	3-52



3.10.4	Schakelen van spanningsbronnen .....	3-53
3.10.5	De capaciteit van een batterij of accu .....	3-55
3.11	Opgaven.....	3-56
3.11.1	Opgave 3-23.....	3-56
3.11.2	Opgave 3-24.....	3-57
3.11.3	Opgave 3-25.....	3-58
3.11.4	Opgave 3-26.....	3-59
3.11.5	Opgave 3-27.....	3-60
3.12	Uitwerkingen van de opgaven .....	3-61
3.12.1	Uitwerking van Opgave 3-1 .....	3-61
3.12.2	Uitwerking van Opgave 3-2 .....	3-62
3.12.3	Uitwerking van Opgave 3-3 .....	3-63
3.12.4	Uitwerking van Opgave 3-4 .....	3-64
3.12.5	Uitwerking van Opgave 3-5 .....	3-65
3.12.6	Uitwerking van Opgave 3-6 .....	3-66
3.12.7	Uitwerking van Opgave 3-7 .....	3-67
3.12.8	Uitwerking van Opgave 3-8 .....	3-68
3.12.9	Uitwerking van Opgave 3-9 .....	3-69
3.12.10	Uitwerking van Opgave 3-10.....	3-70
3.12.11	Uitwerking van Opgave 3-11.....	3-71
3.12.12	Uitwerking van Opgave 3-12.....	3-72
3.12.13	Uitwerking van Opgave 3-13.....	3-73
3.12.14	Uitwerking van Opgave 3-14.....	3-74
3.12.15	Uitwerking van Opgave 3-15.....	3-75
3.12.16	Uitwerking van Opgave 3-16.....	3-76
3.12.17	Uitwerking van Opgave 3-17.....	3-77
3.12.18	Uitwerking van Opgave 3-18.....	3-78
3.12.19	Uitwerking van Opgave 3-19.....	3-79
3.12.20	Uitwerking van Opgave 3-20.....	3-80
3.12.21	Uitwerking van Opgave 3-21.....	3-81
3.12.22	Uitwerking van Opgave 3-22.....	3-82
3.12.23	Uitwerking van Opgave 3-23.....	3-83



3.12.24	Uitwerking van Opgave 3-24.....	3-84
3.12.25	Uitwerking van Opgave 3-25.....	3-85
3.12.26	Uitwerking van Opgave 3-26.....	3-86
3.12.27	Uitwerking van Opgave 3-27.....	3-87



## 3 Stroomsterkte, spanning en weerstand

### 3.1 Wat leer je in dit hoofdstuk?

We behandelen in dit hoofdstuk elektrische stroom, geleiders en hoe geleiding van stroom in grote lijnen in zijn werk gaat. Bij geleiders hoort hun tegendeel: isolatoren. Ideale geleiders en ideale isolatoren komen in de praktijk niet voor

Daarna komen de begrippen spanning en weerstand. Hoe meet je stroom, spanning en weerstand? Vermogen, energie en dissipatie komen daarna aan de orde.

Na wat informatie over praktische uitvoeringsvormen van weerstanden, zullen we het hebben over manieren van schakelen van weerstanden, de behoudswetten die aan de berekening van zulke schakelingen ten grondslag liggen en hun toepassing.

Tot slot bespreken we ideale spanningsbronnen en hoe je niet-ideale spanningsbronnen in een schakeling opneemt, hoe je ze tot een maximale energieafgifte brengt en welke theoretische manier van schakelen in de praktijk niet kan. Tussendoor zitten opgaven waarmee je je kennis kunt toetsen.

### 3.2 Wat is elektrische stroom?

#### 3.2.1 Elektronen, atomen en moleculen

Elektrische stroom is verplaatsing van elektronen. Elektronen zijn onderdelen van atomen. Ze zijn negatief geladen. Atomen hebben een kern waarin protonen zitten. Die hebben een positieve lading. De lading van een proton en die van een elektron zijn even groot, maar tegengesteld. Tegengestelde ladingen trekken elkaar aan; gelijksoortige ladingen stoten elkaar af. Elektronen en protonen trekken elkaar dus aan. Elektronen cirkelen om de atoomkern zoals planeten om de zon die de planeten aantrekt. Een atoom heeft evenveel protonen als elektronen en is daardoor, zoals dat heet, elektrisch neutraal.

Atomen zijn de kleinste deeltjes van stoffen die we *elementen* noemen. De zuurstof en de stikstof in de atmosfeer zijn elementen. Metalen ook.

Iets meer over atomen is bijvoorbeeld te vinden op <https://nl.wikipedia.org/wiki/Atoom>; iets meer over elementen op [https://nl.wikipedia.org/wiki/Chemisch element](https://nl.wikipedia.org/wiki/Chemisch_element).

Moleculen zijn de kleinste deeltjes van chemische verbindingen. In chemische verbindingen zijn atomen door middel van hun elektronen aan elkaar gekoppeld. Hoe dat zit, is onderwerp van de scheikunde. Daarover gaat deze cursus niet. Iets meer over moleculen staat bijvoorbeeld in <https://nl.wikipedia.org/wiki/Molecuul>. Verreweg de meeste stoffen die we kennen bestaan uit moleculen. Ze worden *moleculaire stoffen* genoemd.

Een moleculaire stof is niet hetzelfde als een mengsel. Meng bijvoorbeeld zuurstof en waterstofgas. Dat wordt een mengsel. Dat mengsel is explosief. Het heet niet voor niets



*knal*gas. Het resultaat van de knal is water, waarvan elk molecuul uit twee atomen waterstof en één atoom zuurstof bestaat. Water is niet explosief. Het is zelfs een blusmiddel. Dat alleen al laat zien dat een mengsel geen verbinding is.

Voor ons als zendamateurs is vooral van belang hoe elektronen zich in een stof gedragen. Bewegen ze zich daarin gemakkelijk of juist heel moeilijk? Daarover gaat de volgende subparagraaf. Wie wat meer over stroom en lading wil horen, kan bijvoorbeeld terecht op <https://www.youtube.com/watch?v=emBbdVrlDO4>.

### 3.2.2 Geleiders en isolatoren

In sommige stoffen springen elektronen gemakkelijk van het ene atoom naar het andere. Zulke stoffen zijn vrijwel altijd elementen. In moleculaire stoffen hebben elektronen ook een bindingsfunctie tussen atomen die samen het molecuul vormen. Daardoor zitten elektronen daar ‘vaster’ dan bij sommige elementen.

Een stof waarin elektronen zich gemakkelijk kunnen verplaatsen, heet een *geleider*. Alle metalen hebben die eigenschap. Metalen zijn dus geleiders, al geleidt het ene metaal wel beter dan het andere.

Een stof waarin elektronen zich heel moeilijk verplaatsen, noemen we een *isolator*. Er is geen geleidelijke overgang is tussen geleiders en isolatoren. Een stof isoleert of geleidt.

Wel zijn er goede en minder goede geleiders. Er zijn ook goede en minder goede isolatoren. Vrijwel alle elementen die geen metaal zijn, zoals fosfor of zwavel, zijn isolatoren. Een uitzondering is koolstof. De meeste vormen ervan zijn geleiders, maar diamant, een zeldzame vorm van koolstof, is juist een goede isolator. Moleculaire stoffen als glas, rubber, porselein of kunststoffen, zijn vrijwel altijd isolatoren.

Als een stof toch ‘een beetje’ geleidt, is er meestal sprake van een bijzonder soort geleiding. Een voorbeeld is zout water. Zuiver water, een moleculaire stof, is een isolator. Als je er zout in oplost, wordt het een geleider. Het zijn dan niet de elektronen die van watermolecuul naar watermolecuul springen. Het is het opgeloste zout dat wordt gesplitst in een positief en een negatief geladen deel. Die delen verplaatsen zich door de vloeistof onder invloed van elektrische aantrekking en afstoting.

Liefhebbers kunnen nog eens kijken op [https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektrische\\_isolatie](https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektrische_isolatie). Vanuit die webpagina vind je ook links naar onderwerpen als geleiding.

### 3.2.3 Elektrische neutraliteit, ionen

We hebben gezien dat in een atoom even grote positieve als negatieve ladingen zitten. De som van de ladingen van een atoom is dus 0.

Een atoom of een molecuul met één of meer elektronen te veel of te weinig, heet een *ion*. Een ion is daarom óf negatief óf positief, nooit neutraal. In het voorbeeld van geleidend water worden opgeloste zouten gesplitst in positieve en negatieve ionen. Je moet mede daarom altijd zorgen dat er geen water in een schakeling komt. Zo’n onbedoelde geleider

in een schakeling is op zijn best slecht, maar meestal funest voor een goede werking. Batterijen, al of niet oplaadbaar, werken altijd op basis van ionen, maar die blijven er netjes binnenin. Een lekkende batterij kan het beste meteen naar een inleverpunt.

### 3.2.4 Samengevat

- Alle stoffen om ons heen zijn opgebouwd uit atomen met een positief geladen kern en negatief geladen elektronen die daaromheen bewegen. Alle elektronen zijn gelijk, ongeacht de stof waarin ze zitten.
- Zoals stoffen in de natuur voorkomen, zijn ze bijna altijd elektrisch neutraal.
- Als we van een neutraal atoom één of meer elektronen wegnemen, is het atoom positief geladen. Het heet dan een *positief ion*. Stoppen we er één of meer elektronen bij, dan is het geheel negatief geladen en is het een *negatief ion* geworden.
- Als elektronen zich in een stof gemakkelijk verplaatsen, dan is de stof een geleider.
- Als elektronen zich in een stof moeilijk verplaatsen, is de stof een isolator.
- Metalen zijn *geleiders*, bijna alle andere elementen en moleculaire stoffen *isolatoren*.

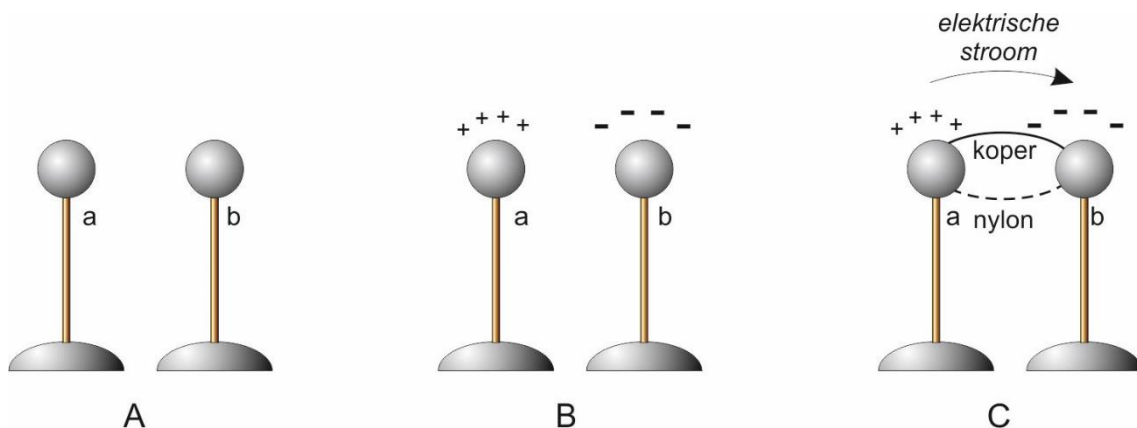
## 3.3 Elektrische spanning, stroom, weerstand en vermogen

### 3.3.1 Stroom is verplaatsen van lading

We weten dat stoffen zijn in te delen in geleiders en isolatoren.

- Geleiders bestaan uit atomen met elektronen die zich gemakkelijk van het ene atoom naar het andere verplaatsen. Daaronder vallen alle metalen;
- Isolatoren zijn ofwel atomaire stoffen met elektronen die zó vastzitten dat zij heel moeilijk van hun plaats te krijgen zijn, ofwel het zijn moleculaire stoffen, zoals glas, rubber of kunststoffen.

Als een deel van een geleider negatief geladen is en dus een overschot aan elektronen heeft en een ander deel positief door een tekort, ontstaat verplaatsing van elektronen van overschot naar -tekort. Dat heet *stroom*. We bekijken dat in Figuur 3.3-1. Die toont paren metalen bolletjes *a* en *b*, gemonteerd op een isolerend staafje, bijvoorbeeld van kunststof.



Figuur 3.3-1. Elektrische lading. A: bolletjes *a* en *b* zijn elektrisch neutraal. B: bolletje *a* is positief, bolletje *b* negatief geladen. C: verbind de bolletjes met een nylondraadje en het ladingsverschil blijft in stand. Verbind ze met een koperdraadje en er ontstaat een stroom, waardoor het verschil in lading verdwijnt.

We bespreken drie mogelijke gebeurtenissen. De letters A, B en C komen overeen met de letters onder de plaatjes in Figuur 3.3-1.

- A. Beide bolletjes zijn elektrisch neutraal. Er gebeurt niets.
- B. Bolletje a heeft een tekort aan elektronen (+) en bolletje b een overschot (-). Door de isolerende staafjes gebeurt er opnieuw niets.
- C. De bolletjes worden eerst verbonden met een nylon hengelsnoertje (stippellijn). Er gebeurt niets! Nylon is een kunststof en een isolator. Het nylon draadje wordt vervangen door een koperen draadje. Koper is een metaal en geleidt. Zo ontstaat een verplaatsing van elektronen van *b* naar *a*. De doorstroming gaat zo: een atoom met een tekort aan elektronen trekt aan de elektronen van een naastliggend atoom dat zo een elektron kwijtraakt en een nieuw elektron van aan ander atoom pikt, enz. Dit proces gaat door tot alles elektrisch neutraal is geworden. De elektronen ‘springen’ dus van atoom naar atoom. De drijvende kracht daarachter heet *potentiaalverschil*. Daarover lees je in 3.3.3 meer. Hoe groter het potentiaalverschil, des te sneller gaat de verplaatsing van elektronen. Dat geldt ook voor de dikte van de verbindingsdraad. Hoe dikker de draad, des te sneller verloopt het proces. We zeggen dat de *weerstand* van de draad lager is, naarmate hij dikker is.

We hebben zo kennis gemaakt met drie begrippen uit de elektriciteitsleer die met elkaar samenhangen:

- Verplaatsing van elektrische lading
- Potentiaalverschil tussen twee punten
- Weerstand

Die gaan we eerst stuk voor stuk en daarna in onderling verband bezien.

### 3.3.2 Verplaatsing van elektrische lading, ofwel elektrische stroom

Sommigen zullen zich afvragen, waarom de lading van elektronen ‘negatief’ heet. Het is niet meer dan naamgeving, een erfenis uit het verleden. Lang geleden wist men al dat er twee soorten lading bestonden en dat gelijksoortige ladingen elkaar afstoten en ongelijksoortige elkaar aantrekken. De één werd plus genoemd, de ander min. Toen men erachter kwam dat de ladingsdragers bij een elektrische stroom, elektronen dus, de ‘minnen’ waren, waren die termen inmiddels ingeburgerd.

De echte stroomrichting, de verplaatsingsrichting van elektronen, is van min naar plus. Wiskundig gezien is dat hetzelfde als positieve lading die van plus naar min loopt. Dit laatste noemen we de *technische stroomrichting*. Die is tegengesteld aan de echte stroomrichting. We werken praktisch altijd met de technische stroomrichting, dus van plus naar min. Het lijkt raar, maar het went snel.

Elektrische stroom is dus verplaatsing van lading. De eenheid van lading, de coulomb, symbool C, is al in Hoofdstuk 2 ter sprake geweest. 1 coulomb is gelijk aan de





gezamenlijke lading van  $6,241\ 506 \cdot 10^{18}$  protonen en  $-1$  coulomb is gelijk aan de elektrische lading van  $6,241\ 506 \cdot 10^{18}$  elektronen. Dat zijn duizelingwekkende getallen. Een elektron heeft een lading van  $-1,602\ 214 \cdot 10^{-19}$  coulomb. Leer deze getallen niet uit het hoofd!

De eenheid van stroomsterkte is de A (ampère).  $1A = 1C/s$ . In woorden: 1 ampère is 1 coulomb per seconde. Omdat de ampère één van de basisgrootheden van het SI-stelsel is, zeggen we liever dat  $1C = 1As$ . Die kwamen we al tegen in Hoofdstuk 2.

### 3.3.3 Spanning: potentiaalverschil tussen twee punten

In de elektriciteitsleer is potentiaal energie per lading. De grootte energie is in Hoofdstuk 2 wel aan de orde geweest, maar zonder een nauwkeurige definitie. Omdat in onze tijd iedereen wel een notie heeft van wat energie ongeveer is, laten we dat voorlopig zo. Verderop in dit hoofdstuk komen we erop terug.

Elektrische spanning is potentiaalverschil. Je kunt dat vergelijken met druk in de waterleiding. Binnen de leiding is de druk groter dan erbuiten. Daardoor stroomt water uit de kraan als je hem openzet. Als de luchtdruk net zo groot is als de waterdruk in de leiding, komt er niets uit. Het gaat dan ook om het drukverschil. Spanning over een geleider is vergelijkbaar met het drukverschil tussen de einden van een waterleidingbuis.

Je moet een spanning daarom altijd tussen twee punten meten. Spanning is daarom iets relatiefs. Je kunt dat bedenken als je vogels op een hoogspanningsleiding ziet zitten. Er gebeurt ze niets. Het potentiaalverschil tussen twee vogelpootjes op de leiding is verwaarloosbaar klein. Tussen de draad en de tegenpool –de aarde– is lucht. Lucht isoleert. Zou een vogel op de draad toch geleidend contact maken met de grond, dan is het dier dood en deels in rook opgegaan.

De eenheid van spanning is de volt, symbool V. Het symbool voor de grootte spanning is  $U$ . Een autoaccu heeft meestal een spanning van 12 V. Die meet je tussen de positieve pluspool en de negatieve minpool. Meten aan één pool heeft geen zin.

### 3.3.4 Weerstand, wet van Ohm

Spanning  $U$  over een geleider en weerstand  $R$  van de geleider bepalen de stroom  $I$  die door de geleider loopt. De eenheid van weerstand is de ohm, symbool  $\Omega$  (omega). Het symbool voor de grootte weerstand is  $R$ . Denk aan het Engelse woord *resistance*, dat ‘weerstand’ betekent. Het verband tussen spanning, stroom en weerstand is

$$U = IR \quad (3.3-1)$$

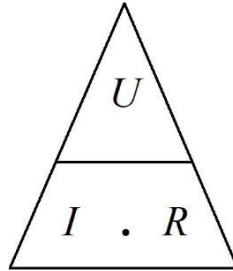
Vergelijking ( 3.3-1) heet **Wet van Ohm**. Het is een van de belangrijkste verbanden in de elektriciteitsleer. Je zult hem vaak tegenkomen. In vergelijking ( 3.3-1) is de grootte  $U$  het product van  $I$  en  $R$ . Delen door  $R$  aan beide kanten van het ‘=’ teken geeft

$$\frac{U}{R} = I \text{ wat hetzelfde is als } I = \frac{U}{R} \quad (3.3-2)$$

Stroom is dus evenredig met spanning en omgekeerd evenredig met weerstand. Met vergelijking (3.3-2) vind je de stroom uit spanning  $U$  en weerstand  $R$ . Linker- en rechterlid delen door  $I$  geeft

$$\frac{U}{I} = R \text{ wat hetzelfde is als } R = \frac{U}{I} \quad (3.3-3)$$

We kunnen de drie verbanden weergeven in een driehoek (Figuur 3.3-2).



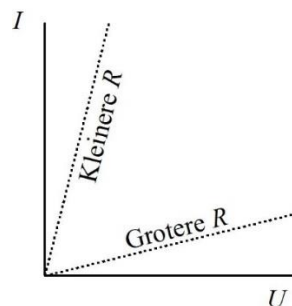
Figuur 3.3-2. Zo vind je de vergelijking om  $U$ ,  $I$  of  $R$  uit de overige twee grootheden te berekenen. Denk de te berekenen grootheid weg of leg er een vinger op. De twee overgebleven symbolen geven het rechterlid van de bijbehorende vergelijking die je kunt afleiden van vergelijking (3.3-1).

Een geleidende draad heeft altijd een zekere weerstand. Er zijn ook elektronica-onderdelen met de naam *weerstand*. Die doen in schakelingen wat hun naam zegt: (gecontroleerde) weerstand bieden aan stroom. Volgens de wet van Ohm stroomt door een weerstand van  $1\Omega$  waarover een spanning van  $1V$  staat, een stroom van  $1A$ . Als de weerstand  $10\Omega$  is, loopt er bij diezelfde spanning van  $1V$  een stroom van  $0,1 A=100\text{ mA}$ .

De weerstand  $R$  van een geleider is niet alleen afhankelijk van de grootte van de doorsnede van de geleider. Ook lengte, soort materiaal en de temperatuur spelen een rol.

### 3.3.5 Stroom-spanningskarakteristiek

De wet van Ohm kun je weergeven in een grafiek, de stroom-spanningskarakteristiek. Zet  $I$  uit op de verticale as en  $U$  op de horizontale. De grafiek is dan een rechte lijn. In hoofdstuk 2 hebben we het over dit soort grafieken gehad. Voor elke waarde van  $R$  gaat de lijn onder een andere hoek omhoog. Een steile lijn wijst op een lage waarde van  $R$  en een vlakke lijn op een hoge, want bij een lage weerstand loopt de stroom  $I$  met toenemende spanning  $U$  sterker op dan bij een hoge weerstand (Figuur 3.3-3).



Figuur 3.3-3. Stroom-spanningskarakteristiek voor een lage en voor een hoge weerstand  $R$ .

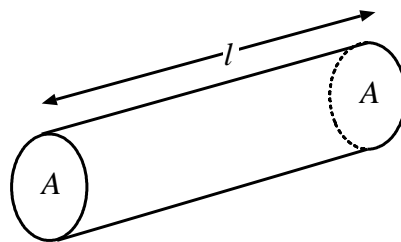
### 3.3.6 Soortelijke of specifieke weerstand

Ook een geleider heeft bij aardse temperaturen weerstand. Die is afhankelijk van

- Het materiaal
- De doorsnede
- De lengte
- (De temperatuur)

Temperatuur staat tussen haakjes omdat die bij N-examens niet of nauwelijks aan de orde komt.

We beginnen met het verband tussen materiaal, doorsnede en lengte (Figuur 3.3-4).



Figuur 3.3-4. Ronde geleider met doorsnede  $A$  en lengte  $l$ .

Het is niet moeilijk in te zien dat de weerstand van de geleider in de lengterichting groter wordt, naarmate hij langer is. De stroom moet dan een langere weg afleggen. Het is ook niet lastig te begrijpen dat de weerstand van de geleider kleiner wordt, naarmate deze dikker is. Dan is er meer ruimte voor de stroom. Er is wat dat aangaat, weinig verschil met water dat door een buis wordt gepompt. Hoe wijder de buis, des te gemakkelijker loopt water erdoorheen en hoe langer de buis, des te harder moet er gepompt worden om er dezelfde hoeveelheid water per tijd doorheen te krijgen.

Geleiders met dezelfde afmetingen, maar van ongelijk materiaal, hebben ongelijke weerstand. Het materiaal doet er dus toe. Om de weerstand van een geleider als in Figuur 3.3-4 te berekenen, hebben we de *specifieke weerstand* of de *soortelijke weerstand van het materiaal nodig*. Beide termen betekenen hetzelfde. Het algemeen gebruikte symbool is het Griekse broertje van onze letter 'r'. Dat broertje heet rho (spreek uit: 'ro'), geschreven als  $\rho$ . Voor de weerstand  $R$  van de geleider in Figuur 3.3-4 kun je schrijven:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.3-4)$$

De uitkomst van het rechterlid in (3.3-4) moet weerstand zijn, omdat het linker lid  $R$  is en ze gelijk zijn. De grootheid  $l$  is de lengte, de grootheid  $A$  oppervlakte. Oppervlakte is lengte.lengte is lengte<sup>2</sup>. Lengte gedeeld door lengte<sup>2</sup> is 1/lengte. Rechts van het = teken staat dan ook soortelijke weerstand gedeeld door lengte. Als dit de grootheid weerstand moet opleveren, is  $\rho$  weerstand.lengte. De soortelijke (of specifieke) weerstand  $\rho$  drukken we dan ook uit in  $\Omega\text{m}$  (ohmmeter). Tabel 3.3-1 geeft de soortelijke weerstand van tien metalen bij 15 °C.

Tabel 3.3-1. Soortelijke weerstand  $\rho$  van een aantal metalen.

Materiaal	$\rho$ in $\Omega\text{m}$ bij $15^\circ\text{C}$	Materiaal	$\rho$ in $\Omega\text{m}$ bij $15^\circ\text{C}$
zilver	$0,016 \cdot 10^{-6}$	nikkel	$0,44 \cdot 10^{-6}$
koper	$0,0172 \cdot 10^{-6}$	tin	$0,445 \cdot 10^{-6}$
aluminium	$0,026 \cdot 10^{-6}$	Manganine <sup>1</sup>	$0,43 \cdot 10^{-6}$
messing	$0,075 \cdot 10^{-6}$	Constantaan <sup>2</sup>	$0,49 \cdot 10^{-6}$
ijzer	$0,10 \cdot 10^{-6}$	lood	$0,21 \cdot 10^{-6}$

In Tabel 3.3-1 wordt niet voor niets de temperatuur van  $15^\circ\text{C}$  genoemd. Weerstand en dus ook specifieke weerstand zijn temperatuurafhankelijk is. Bij praktisch alle metalen neemt de soortelijke weerstand toe bij hogere temperatuur. Constantaan heet niet voor niets zo: de afhankelijkheid van temperatuur van de soortelijke weerstand is over een groot bereik vrijwel 0. Constantaan wordt onder meer gebruikt in ijkweerstand.

### De weerstand van een draad; een rekenvoorbeeld

Een stuk ijzerdraad heeft een doorsnede  $A$  van  $1 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$  en een lengte  $l$  van 10 m. Hoe groot is de weerstand? We herhalen vergelijking (3.3-4):

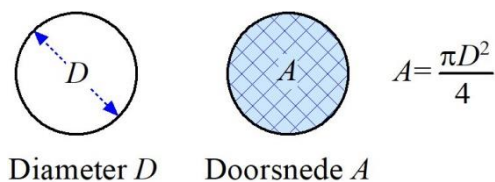
$$R = \rho \frac{l}{A}$$

De soortelijke of specifieke weerstand van ijzer is volgens Tabel 3.3-1 gelijk aan  $0,1 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m} = 10^{-7} \Omega\text{m}$ . We zetten alles in de vergelijking:

$$R = 10^{-7} * \frac{10}{10^{-6}} \Omega = \frac{10^{-6}}{10^{-6}} \Omega = 1 \Omega$$

Je kunt deze uitkomst omrekenen in  $\Omega$  per meter draad, ofwel  $\Omega/\text{m}$ . De draad was 10 m lang. Delen van  $1 \Omega$  door 10 m levert  $0,1 \Omega/\text{m}$ . **Let op:  $\Omega/\text{m}$  is niet hetzelfde als  $\Omega\text{m}$ !**

Een valkuil bij de berekening van de weerstand van een stuk ronde draad kun je tegenkomen als niet de doorsnede  $A$  maar de diameter  $D$  wordt gegeven (Figuur 3.3-5).


 Figuur 3.3-5. Verschil tussen diameter  $D$  en doorsnede  $A$  en hoe je  $A$  uit  $D$  berekent.

Je kunt er als volgt de doorsnede uit berekenen:

$$r = \frac{D}{2} \quad \text{en dan: } A = \pi r^2 \quad \text{of zoals in de figuur: } A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.3-5)$$


<sup>1</sup> Handelsnaam van een mengsel (legering) van 82-84% koper, 12-15% mangaan en 2-4% nikkel

<sup>2</sup> Een mengsel (legering) van 54% koper, 45% nikkel en 1% mangaan


## 3.4 Opgaven

### 3.4.1 Aanwijzingen (dezelfde als in hoofdstuk 2)


Deze paragraaf bevat meerkeuzevragen over de tot nu toe in dit hoofdstuk behandelde stof. Om bij de uitwerking te komen, klik je op de pijl die er zo uitziet:

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

Bij de uitwerking is het juiste antwoord vetgedrukt, maar belangrijker is de uitwerking zelf. Na de uitwerking vind je een pijl die je terugbrengt naar de opgave. Die ziet er zo uit:

 Terug naar de opgave

Wil je met de volgende opgave aan de slag, dan klik je op deze pijl:


Naar de volgende opgave 

Bij de uitwerking van de laatste opgave van een paragraaf ontbreekt deze laatste pijl en is er alleen de rode pijl die je terugbrengt naar de opgave. Ga dan verder met de cursusstof.

### 3.4.2 Opgave 3-1

Spanning is

- A. Verplaatsing van elektronen
- B. Elektrische lading
- C. Energie
- D. Alleen meetbaar ten opzichte van een ander punt in dezelfde schakeling


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.3 Opgave 3-2

Stroom is

- A. Verplaatsing van elektrische lading
- B. Elektrische lading
- C. Energie
- D. Alleen meetbaar ten opzichte van een ander punt


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.4 Opgave 3-3

Lading is

- A. Verplaatsing van elektronen
- B. Positief of negatief
- C. Energie
- D. Alleen meetbaar ten opzichte van een ander punt


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.5 Opgave 3-4

Rubber is

- A. Een goede geleider
- B. Een isolator
- C. Een stof die bij lage temperatuur geleidt
- D. Een stof die bij hoge temperatuur geleidt

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 






### 3.4.6 Opgave 3-5

De wet van Ohm luidt:

- A.  $I = R/U$
- B.  $R = U/I$
- C.  $U = I/R$
- D.  $R = I \cdot U$


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.7 Opgave 3-6

Over een weerstand van  $5 \Omega$  staat een spanning van 10 V. De stroom door de weerstand bedraagt

- A. 2 A
- B. 0,5A
- C. 50 A
- D. 5 A


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.8 Opgave 3-7

Over een weerstand van  $1\text{ k}\Omega$  staat  $10\text{ V}$ . De stroom door de weerstand bedraagt

- A.  $10\text{ mA}$
- B.  $10\text{ A}$
- C.  $100\text{ mA}$
- D.  $1\text{ mA}$


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.9 Opgave 3-8

Door een weerstand van  $100 \Omega$  loopt een stroom van 100 mA. De spanning over de weerstand bedraagt

- A. 100 V
- B. 1 V
- C. 10 V
- D. 0,1 V


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.10 Opgave 3-9

Een stuk koperen installatiedraad heeft een lengte van 10 m en een doorsnede van  $2 \text{ mm}^2$ . De soortelijke weerstand van koper is  $0,000\ 000\ 017 \ \Omega\text{m}$ . De weerstand van de draad bedraagt

- A.  $1,7\ \Omega$
- B.  $0,034 \ \Omega$
- C.  $0,085 \ \Omega$
- D.  $8,5 \ \Omega$


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.11 Opgave 3-10

Door een draad loopt gedurende 10 s een stroom van 2 A. De hoeveelheid lading die door de draad is gestroomd, bedraagt

- A. 5 C
- B. 0,2 C
- C. 20 V
- D. 20 C


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.4.12 Opgave 3-11

Welke draad heeft de grootste weerstand?

- A. Draad lang 1 m,  $\varnothing 1 \text{ mm}^2$
- B. Draad lang 1 m,  $\varnothing 0,5 \text{ mm}^2$
- C. Draad lang 0,5 m,  $\varnothing 1 \text{ mm}^2$
- D. Draad lang 0,5 m,  $\varnothing 0,5 \text{ mm}^2$

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

## 3.5 Meten van spanning, stroom en weerstand

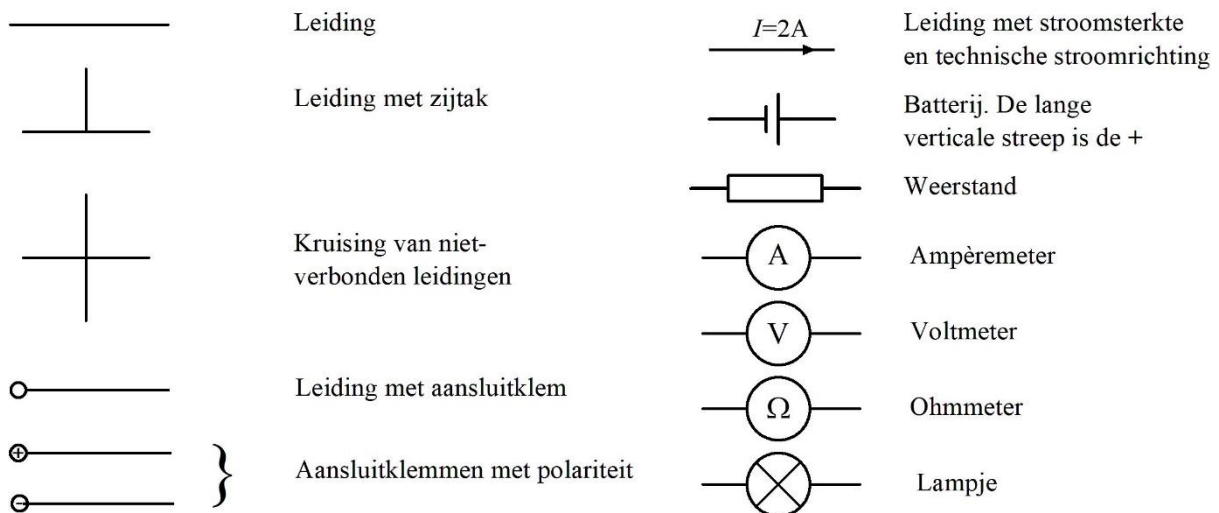
### 3.5.1 Inleiding

Elektronen zijn onzichtbaar. Met meetinstrumenten is elektriciteit aan te tonen en te meten. We behandelen hier (nog) niet de ins en outs van meetinstrumenten. Het gaat nu om enige basiskennis van het meten van spanning, stroom en weerstand.

Omdat we in deze paragraaf en later schema's en schemasymbolen nodig hebben, beginnen we daarmee. We beperken ons hoofdzakelijk tot wat we in deze paragraaf nodig hebben. In de loop van de cursus zullen er symbolen bijkomen.

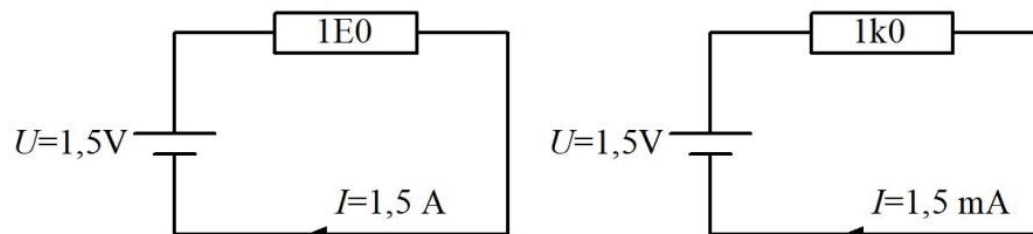
### 3.5.2 Schema's en schemasymbolen

Een elektronische schakeling geven we weer in een schakelschema, bijna altijd kortweg *schema* genoemd. Uit een schema is af te lezen, wat er in de schakeling gebeurt. Elk soort onderdeel heeft zijn schemasymbool.



Figuur 3.5-1. Enkele schemasymbolen.

In theorie zijn dit ideale onderdelen die precies doen wat ze horen te doen. De dagelijkse werkelijkheid komt in de buurt, maar is er nooit helemaal gelijk aan. Soms moet je met die verschillen rekening mee houden, vaak ook niet,



Figuur 3.5-2. Schakeling met batterij en weerstand. De waarde van de weerstanden is in het symbool zelf opgenomen, maar mag er ook naast. In plaats van de komma staat er een letter. De letter E betekent dat de weerstandswaarde in  $\Omega$  geen voorvoegsel heeft. 1E0 betekent dus 1,0  $\Omega$ . 1k0 betekent 1,0 k $\Omega$ . Soms is de k een hoofdletter: 1K0. Dat is niet consequent, maar het gebeurt.



Een eenvoudige schakeling met een batterij en een weerstand zien we in Figuur 3.5-2. Uit de spanning en de weerstand in het schema kun je met behulp van de wet van Ohm, vergelijking (3.3-1), de stroom  $I$  berekenen. Links is dat 1,5 A, rechts 1,5 mA, want de weerstand links is 1000 keer zo klein als rechts. Het aangeven van de stroomsterkte in een schema gebeurt weinig en voor het begrijpen van een schakeling is het ook zelden nodig. In Figuur 3.5-2 is de pijl opgenomen om de *technische stroomrichting* te benadrukken. Die blijkt die ook uit de polariteit van de batterij.

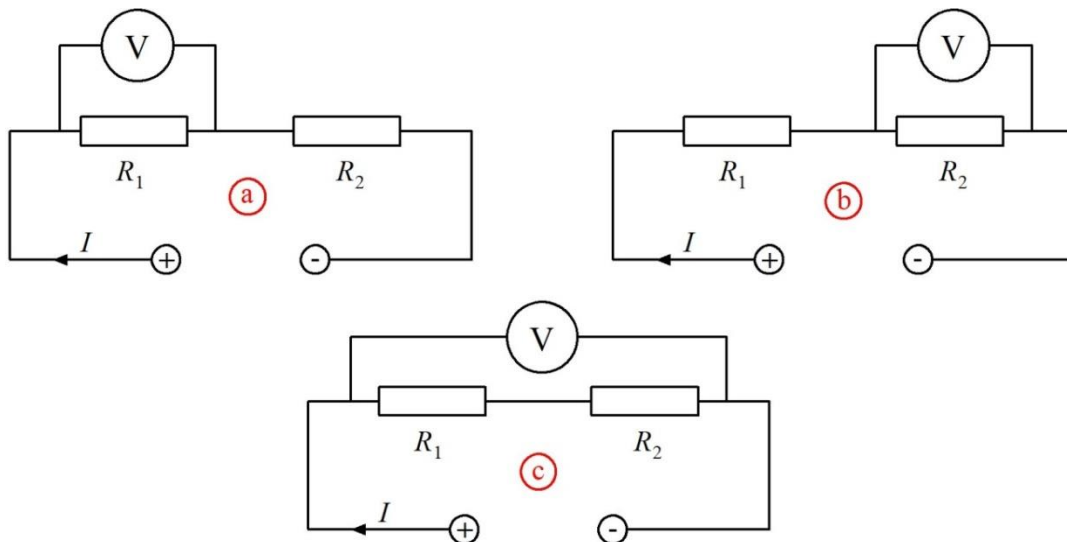
In het bijschrift van Figuur 3.5-2 wordt gesproken over de 'E' in de weerstand van het linkerschema. Er zijn nog andere manieren om waarden van enkele  $\Omega$  of waarden kleiner dan  $1\Omega$  aan te duiden. 1E2 of 1R2 betekenen bijvoorbeeld allebei  $1,2\Omega$ . Gebruik van het symbool  $\Omega$  mag natuurlijk altijd. E39 of R39 betekenen  $0,39\Omega$ . 1K5 betekent  $1500\Omega$ . Vaak wordt dat ook als 'één ka vijf' uitgesproken.

### 3.5.3 Het meten van spanning

Basisprincipe van een goede meting is dat de invloed van de meting op wat we meten minimaal is. Een natuurwet zegt dat nul invloed niet kan, maar we kunnen ervoor zorgen dat die invloed zo klein is dat het meetresultaat voor het doel nauwkeurig genoeg is.

Spanning meet je tussen twee punten, zoals de aansluitpunten van een of ander onderdeel. Een spanningsmeter wordt meestal *voltmeter* genoemd.

In Figuur 3.5-3 zien we het schema van een spanningsmeting in een eenvoudige schakeling met twee weerstanden waardoorheen een stroom  $I$  loopt. In a) wordt de spanning over weerstand  $R_1$  gemeten, in b) die over  $R_2$  en in c) die over beide weerstanden.

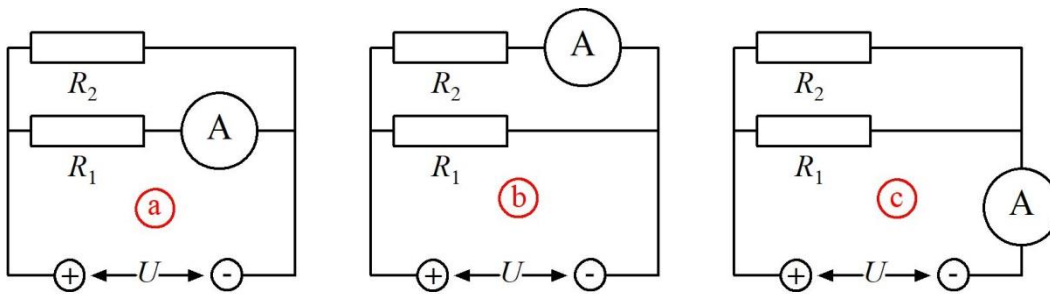


Figuur 3.5-3. Spanningsmeting. a) Spanning over  $R_1$ ; b) Spanning over  $R_2$ ; c) Spanning over beide weerstanden.

De weerstand van een ideale voltmeter is oneindig. Die van een echte meter is hoog, maar een oneindig grote weerstand bestaat niet. Bij elke meting wordt de weerstand van de voltmeter onderdeel van de schakeling. De schakeling verandert dus door de meting. We meten zo aan een andere schakeling dan we eigenlijk willen. Als de weerstand van de voltmeter heel veel groter is dan die van  $R_1$  en  $R_2$ , is die invloed klein en kunnen we toch een voldoende nauwkeurige meting doen. Dat *heel veel* en *voldoende nauwkeurig* hangen dus met elkaar samen. De eis die je moet stellen aan de weerstand van je voltmeter hangt direct samen met de gevraagde nauwkeurigheid van de meting en de weerstand in de schakeling zelf. In praktische situaties is de meterweerstand (als het goed is) heel groot ten opzichte van die van de schakeling die bemeten moet worden.

### 3.5.4 Het meten van stroom

Stroom is, zoals gezegd, verplaatsing van lading. Die meet je niet ten opzichte van een andere verplaatsing. Stroom loopt door een leiding. Dan moet de stroom ook in de leiding worden gemeten. Vergelijk het met de watermeter in de meterkast. Die zit in de leiding, want alle gebruikte water moet door de meter stromen om te kunnen worden gemeten. Bij een stroommeter (ampèremeter) gebeurt hetzelfde met de stroom. Omdat de meter in de stroomleiding moet zitten, moet de leiding worden onderbroken, zoals in Figuur 3.5-4.



Figuur 3.5-4. Stroommeting. a) Stroom door  $R_1$ ; b) Stroom door  $R_2$ ; c) Stroom door de hele schakeling.

In a) wordt de stroom door  $R_1$  gemeten, in b) die door  $R_2$  en in c) de totale stroom door de schakeling. De ampèremeters die steeds rechts van de weerstanden zijn getekend, mogen ook links staan. Het resultaat is hetzelfde. Omdat een ampèremeter **in** de schakeling staat, voegt hij weerstand aan de schakeling toe. Daarom moet zijn inwendige weerstand heel veel kleiner zijn dan die van de schakeling voor een meting die voldoende nauwkeurig is. Net als bij de voltmeting hangen *heel veel* en *voldoende* samen met de gevraagde meetnauwkeurigheid.

Stroommeting in een schakeling is meestal lastiger dan spanningsmeting, omdat de ampèremeter **in** de schakeling moet worden opgenomen. Een voltmeter staat **over** de schakeling. Als er een weerstand van bekende waarde in de leiding zit, is de stroomsterkte ook met de wet van Ohm te berekenen na meting van de spanning over de weerstand.

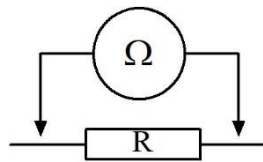
### 3.5.5 Weerstandsmeting

De meting van weerstanden is meestal een combinatie van een spannings- en een stroommeting.

Als in Figuur 3.5-4  $U=10\text{ V}$  en de stroom  $I$  door  $R_1$  is  $20\text{ mA}$ , dan is de weerstand  $R_1$  te berekenen met de Wet van Ohm, vergelijking (3.3-1).  $R=U/I$ , dus in dit geval is  $R_1=10/0,02\ \Omega$  is  $500\ \Omega$ . Stel dat  $I$  door  $R_2$   $10\text{ mA}$  bedraagt, dan is  $R_2=1\text{ k}\Omega$ .

Dit vraagt rekenwerk. Gemakkelijker is de zogenoemde *multimeter*. Daarmee kunnen spanning, stroom, weerstand en vaak nog meer worden gemeten. Een multimeter bevat een batterij waarmee een spanning over de weerstand wordt gezet. De stroom wordt dan gemeten. De schaal is zo gemaakt dat je daarop meteen de weerstandswaarde afleest.

In een schakeling gemonteerde weerstanden kun je niet zomaar meten. Als je bijvoorbeeld over  $R_1$  in Figuur 3.5-4 een weerstandsmeter aansluit, loopt er ook stroom uit de meter door  $R_2$ . De door de schakeling opgenomen stroom wordt dus bepaald door  $R_1$  en  $R_2$  samen. Je meet dan de zogenoemde *vervangingsweerstand* van  $R_1$  en  $R_2$ . Vervangingsweerstand komen in paragraaf 3.8 en verder aan de orde. In het voorbeeld van Figuur 3.5-4 is er maar één oplossing: de weerstand uit de schakeling halen, meten (Figuur 3.5-5) en terug monteren.



Figuur 3.5-5. Weerstandsmeting

### 3.5.6 Verschillen tussen spannings-, stroom- en weerstandsmeting

De verschillen tussen spannings- en stroommeting zijn samengevat in Tabel 3.5-1.

Tabel 3.5-1. Verschillen tussen spannings-, stroom- en weerstandsmeting

Meting	Soort meter	Positie van het meetinstrument	Inwendige weerstand
Spanning	voltmeter	Over de schakeling	Zeer hoog
Stroom	ampèremeter	In de schakeling	Zeer laag
Weerstand	Ohmmeter	Over de losse weerstand	Niet aan de orde

## 3.6 Energie en arbeid, vermogen en dissipatie

Een weerstand waar stroom doorheen loopt, wordt warm. Soms onmerkbaar weinig en soms kun je er letterlijk je vingers aan branden. Warmte is energie. Een weerstand zet elektrische energie om in warmte-energie. Als je van de drie grootheden stroom, spanning en weerstand twee kent, kun je de hoeveelheid energie berekenen die per tijd wordt



omgezet in warmte. Energie per tijd heet *vermogen*. Voor we daarmee verder gaan, eerst iets over energie, arbeid en vermogen.

De natuurkundige begrippen energie en arbeid betekenen hetzelfde. Je kunt ze dus door elkaar gebruiken. Het symbool is  $W$  (van het Engelse *work*). De SI-eenheid is de joule, afgekort J en genoemd naar de Engelsman Joule (spreek uit: *zjoel* of *zjoul*).

De eenheid van vermogen is de watt, afgekort W. Verwar die rechtopstaande  $W$  niet met de cursief gedrukte  $W$  van energie. De Watt is genoemd naar de Schot James Watt die in de 18<sup>e</sup> eeuw de stoommachine energiezuiniger maakte en daarna doorontwikkelde, zodat deze een draaiende beweging kon produceren ([https://nl.wikipedia.org/wiki/James\\_Watt](https://nl.wikipedia.org/wiki/James_Watt)).

De grootte vermogen heeft meestal het symbool  $P$  (van *power*). Het verband tussen  $W$  en  $P$  is

$$W = Pt \quad (3.6-1)$$

Voor de eenheden geldt (let op de rechtopstaande symbolen voor de eenheden):

$$1J = 1Ws \quad \text{en} \quad 1W = 1\frac{J}{s} \quad (3.6-2)$$

**Voorbeeld 1:** Hoeveel J verbruikt een lamp van 100 W die 1 uur brandt?

$$P=100 \text{ W} = 100 \text{ J/s.}$$

$$\text{Een uur is } 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s. } W = Pt = (100 \text{ J/s}) \cdot (3600 \text{ s}) = 3,6 \cdot 10^5 \text{ J} = 360 \text{ kJ.}$$

**Voorbeeld 2:** Hoeveel joule is een kWh (kilowattuur)?

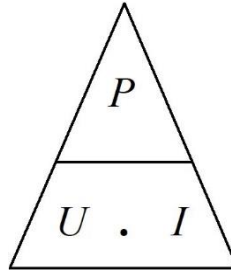
$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}; 1 \text{ kWh is } 1000 \text{ Wh, Een uur (h) is } 3600 \text{ s, dus het antwoord is } 3,6 \text{ MJ.}$$

Uit deze uitkomsten blijkt dat de J een eenheid is die je meestal met een voorvoegsel k, M of zelfs G zult tegenkomen.

We gaan nu naar spanning en stroom.  $1W=1VA$ . Door een weerstand van  $1\Omega$  loopt  $1A$  als over die weerstand  $1V$  staat. Omdat  $1V \cdot 1A = 1W$ , is  $P=1W$ . Wordt de stroom  $2A$ , dan moet er over diezelfde weerstand  $2V$  staan en wordt  $P=4W$ . In vergelijkingvorm:

$$P = UI \quad (3.6-3)$$

Vergelijking (3.6-3) is weer een vergelijking waarin een grootte, in dit geval  $P$ , het product is van twee andere, namelijk  $U$  en  $I$ . We kunnen dus weer de driehoekstruc van Figuur 3.3-2 toepassen (Figuur 3.6-1).



Figuur 3.6-1. Hulpje bij vergelijking (3.6-3). Dezelfde werkwijze als in Figuur 3.3-2 (Wet van Ohm).

Voor de energieomzetting in meestal nutteloze warmte in een weerstand wordt vaak de term *dissipatie* gebruikt. Het woord komt uit het Latijn en betekent letterlijk *verstrooiing*. De term wordt gebruikt voor allerlei processen in apparatuur waarbij elektrische energie verloren gaat als warmte. We zeggen dat een weerstand een aantal watt *dissipeert*. Je mag voor *dissiperen* ook de term *verbruiken* toepassen. We raden aan, ze allebei te kennen.

De wet van Ohm beschrijft de relatie tussen  $U$ ,  $I$  en  $R$ . In vergelijking (3.6-3) komen  $U$  en  $I$  voor. Dat betekent dat we van (3.6-3) met behulp van de wet van Ohm ook een vergelijking kunnen maken met  $R$  erin. Dat gaat zo:

$$U = IR \text{ en } P = UI \rightarrow P = IR \cdot I = I^2 R \quad (3.6-4)$$

En

$$I = \frac{U}{R} \text{ en } P = UI \rightarrow P = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \quad (3.6-5)$$

**Voorbeeld 1.** Door een weerstand van  $1\Omega$  loopt  $2A$ . Hoeveel  $W$  wordt er in de weerstand gedissipeerd? Antwoord:  $P=2 \cdot 2 \cdot 1 \text{ W}=4 \text{ W}$ .

**Voorbeeld 2:** Over een weerstand van  $2\Omega$  staat  $3V$ . Hoeveel  $W$  wordt er in de weerstand verbruikt? Antwoord:  $P=3^2/2 \text{ W}=4,5 \text{ W}$ .

**Onthoud:**

$$P = I^2 R \text{ en } P = \frac{U^2}{R} \quad (3.6-6)$$

## 3.7 Uitvoeringsvormen en kleurcode van vaste weerstanden

### 3.7.1 Enkele uitvoeringsvormen

Vaste weerstanden zijn weerstanden die één waarde hebben. Ze kunnen eruitzien als op Foto 3.7-1.

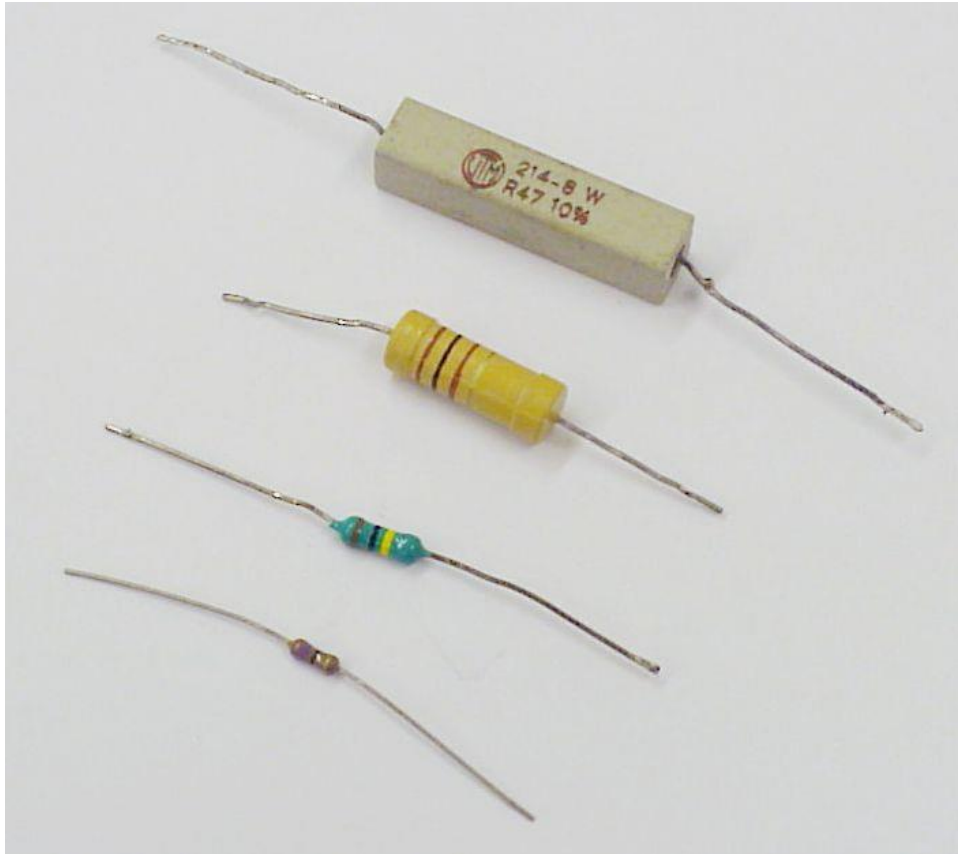


Foto 3.7-1. Voorbeelden van vaste weerstanden.

Weerstanden kunnen zijn gemaakt van dun metaaldraad, zogenoemde *draadgewonden weerstanden*. Als je een geleider maar dun genoeg maakt, kun je toch een hoge weerstand bereiken. Een metaallegering met een relatief hoge soortelijke weerstand als Manganine (Tabel 3.3-1) helpt ook en wordt vaak toegepast. Draadgewonden weerstanden zitten meestal op een isolerend keramisch lichaam en zijn bedoeld voor relatief hoge vermogens omdat ze flink heet mogen worden. De bovenste weerstand op Foto 3.7-1 is er één. Er staat op dat de weerstand 8 W ‘kan hebben’, dat de weerstand  $0,47 \Omega$  is en dat de *tolerantie* 10% is. Dat laatste betekent dat de werkelijke waarde 10% kan afwijken van de aangegeven waarde. Dat houdt in dit geval een waarde in tussen  $0,42$  en  $0,52 \Omega$ .

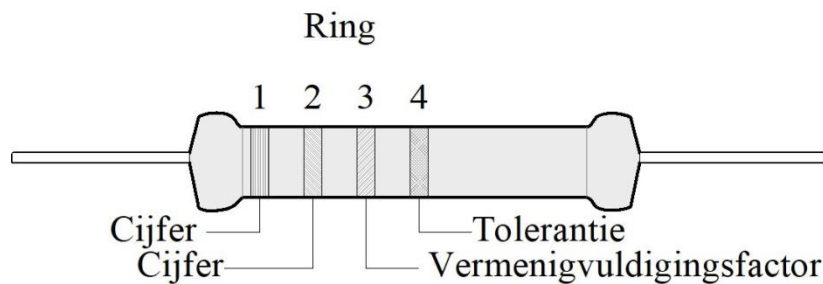
De andere drie weerstanden op de foto zijn koolweerstanden. Koolweerstanden bestaan meestal uit een cilindertje van keramisch materiaal of glasvezel. Daarop is een dun geleidend laagje koolstof aangebracht. Hun maximaal te dissiperen vermogen hangt af van de grootte. De grootste op de foto is vermoedelijk voor 1 W (staat er niet op), de kleintjes

voor (veel) minder. Er zijn ook metaalfilmweerstanden met een vergelijkbare opbouw. Daarin neemt een heel dunne laag metaal de plaats in van de al genoemde koolstof.

Op de drie koolweerstanden zien we gekleurde ringen. Die geven de weerstandswaarde met behulp van de zogenoemde kleurcode. Deze manier van aanduiden heeft twee voordelen: 1) de cijfers worden niet onleesbaar klein en 2) hoe de stand van een weerstand in een schakeling ook is, de weerstandswaarde is altijd af te lezen. Wel moet je de kleurcode kennen (ook op het examen). Daarom wijden we er een stukje tekst aan.

### 3.7.2 Kleurcode van vaste weerstanden

We beperken ons tot de code met vier ringen, zoals op Foto 3.7-1. Die komt vooral voor op kool- en metaalfilmweerstanden. De 4 ringen zijn weergegeven in Figuur 3.7-1.



Figuur 3.7-1. De vier ringen van de kleurcode voor weerstanden.

De eerste twee ringen zijn voor cijfers. De derde ring geeft de vermenigvuldigingsfactor (exponent van 10) en de vierde de tolerantie. De kleuren lopen voor een groot deel in de volgorde van de kleuren van de regenboog. Het beproefde ezelsbruggetje is “zij brengt rozen op Gerrits graf bij vies grijs weer”. Tabel 3.7-1 geeft de kleurcode.

Tabel 3.7-1. Kleurcode voor weerstanden met ezelsbrug om de betekenis van de kleuren te onthouden.

Kleur	Zwart	Bruin	Rood	Oranje	Geel	Groen	Blauw	Violet	Grijs	Wit	Zilver	Goud
Ezelsbrug	Zij	brengt	rozen	op	Gerrits	graf	bij	vies	grijs	weer		
Ring 1	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-
Ring 2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-
Ring 3	$10^0=1$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	-	-	$10^{-2}$	$10^{-1}$
Ring 4 <sup>1</sup>	-	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	-	-	$\pm 0,5\%$	-	-	-	-	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$

**Voorbeeld:** we hebben een weerstand met ringen in de kleurvolgorde bruin, grijs, rood, zilver. De bruine ring is een 1, de grijze een 8, de rode staat voor  $10^2$ , is twee nullen. De zilveren ring staat voor een tolerantie van  $\pm 10\%$ . We hebben dan  $1800 \Omega$  en de weerstandswaarde mag tot  $180 \Omega$  naar boven en naar beneden afwijken van de

<sup>1</sup> Als ring 4 ontbreekt, is de tolerantie 20%.

aangegeven waarde. De tolerantie van een goede koolweerstand is meestal 5%; metaalfilmweerstand zitten eerder bij 1% (bruine ring in plaats van een goudkleurige).

Handelswaarden van weerstanden (en condensatoren) komen vrijwel altijd uit een standaardreeks. Die vind je bijvoorbeeld op <https://nl.wikipedia.org/wiki/E-reeks>. De kleurcode vind je op: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Kleurcodering\\_voor\\_elektronica](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kleurcodering_voor_elektronica).

## 3.8 Schakelen van weerstanden

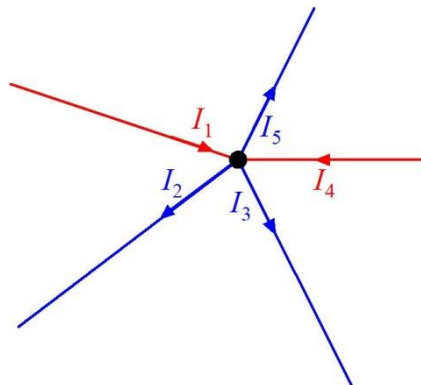
### 3.8.1 Inleiding

Weerstand en andere onderdelen kunnen op allerlei manieren onderling worden geschakeld. We kennen *serieschakeling*, *parallelschakeling* en combinaties daarvan. De wet van Ohm is gebaseerd op één weerstand. Daarom moeten schakelingen met meerdere weerstanden worden teruggebracht tot het eenvoudigste schema met maar één weerstand. Die ene weerstand heet de *vervangingsweerstand*, de weerstand waardoorheen bij dezelfde spanning dezelfde stroom loopt als door de oorspronkelijke schakeling. Dat mag op het eerste gezicht een onnodig ingewikkeld gedoe lijken (waarom bouw je die schakeling dan niet meteen zo simpel?), maar in de praktijk liggen de zaken soms anders.

### 3.8.2 Behoudswetten: de wetten van Kirchhoff

Voor we verder gaan met het schakelen van weerstanden, hebben we nog één onmisbaar natuurkundig beginsel nodig. Dat zijn behoudswetten. Ze komen steeds op hetzelfde neer, maar het gaat per tak van de natuurkunde om een andere naam en andere grootheden. In de elektriciteitsleer hebben we onder meer te maken met twee wetten van Kirchhoff. Dat was in de 19<sup>e</sup> eeuw een Duits natuurkundige die zich met een aantal takken van de natuurkunde bezighield, waaronder de elektriciteitsleer.

**De eerste wet van Kirchhoff** houdt in dat bij stroom door een schakeling lading niet verloren gaat en dat er niets bij komt. In de eenvoudigste vorm betekent dit dat stroom die een weerstand of een stuk draad inloopt, er aan de andere kant onveranderd uitkomt. Datzelfde geldt voor ingewikkelder gevallen, zoals een knooppunt van twee of meer weerstanden, draden of andere componenten (onderdelen). Zie Figuur 3.8-1.



Figuur 3.8-1. Stroomknooppunt met vijf takken. De stromen naar het knooppunt zijn rood, die van het knooppunt af zijn blauw.



In de figuur is een knooppunt met vijf takken weergegeven. De rode geven een stroom naar het knooppunt aan, de blauwe één van het knooppunt af. Het is gebruikelijk om stromen naar een knooppunt positief die die vanuit het knooppunt negatief te noemen. In theorie mag andersom ook, als het consequent gebeurt. De eerste wet van Kirchhoff zegt:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0 \quad (3.8-1)$$

En voor een knooppunt met  $n$  takken

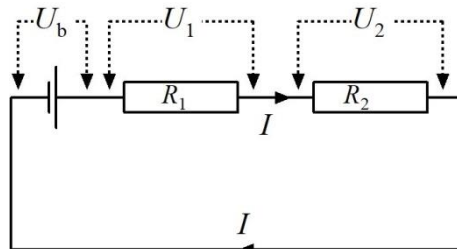
$$I_1 + \dots + I_n = 0 \quad (3.8-2)$$

In hoofdstuk 2 bij de opgaven over optellen en aftrekken hebben we eigenlijk de eerste wet van Kirchhoff al toegepast, maar dan op verkeersstromen op kruispunten.

Waterstromen in leidingbuizen met aftakkingen doen wiskundig gezien hetzelfde.

De eerste wet van Kirchhoff wordt ook wel de *stroomwet* van Kirchhoff genoemd. Dat doet vermoeden dat er ook een spanningswet is. Die is er dan ook.

De spanningswet is **de tweede wet van Kirchhoff**. Deze tweede wet volgt voor een belangrijk deel uit de eerste. Hij gaat niet over een knooppunt, maar over een kring, dat wil zeggen één of meer spanningsbronnen van waaruit een stroom door een schakeling van een aantal onderdelen loopt. Een eenvoudig voorbeeld zien we in Figuur 3.8-2.

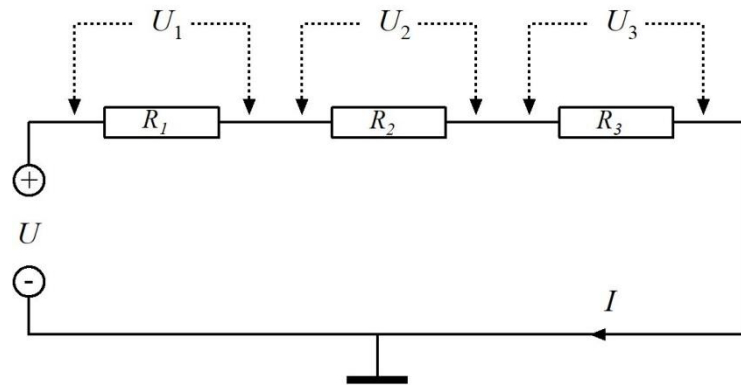


Figuur 3.8-2. Kring met batterij en twee weerstanden.

De tweede wet van Kirchhoff stelt dat de som van de spanningen in de kring 0 is. Over de batterij staat de spanning  $U_b$ . De stroom  $I$  doorloopt de batterij en de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$ . Op de linkeraansluiting van  $R_1$  is de spanning  $+U_b$ . Over weerstand  $R_1$  staat de spanning  $U_1$ . Op de rechteraansluiting van  $R_1$  en de linker van  $R_2$  is de spanning  $U_b - U_1$ . Over de weerstand  $R_2$  staat de spanning  $U_2$ . Op de rechteraansluiting van  $R_2$  is de spanning  $U_b - (U_1 + U_2) = 0$ . Dat is precies wat de tweede wet van Kirchhoff zegt.

### 3.8.3 Serieschakeling van weerstanden

Wanneer weerstanden met elkaar zijn verbonden als in Figuur 3.8-3, zijn ze in serie geschakeld. Kop-staart dus. Bij de wetten van Kirchhoff zagen we dat door elke weerstand dezelfde stroom  $I$  loopt. De som van spanningen over de weerstanden is gelijk, maar tegengesteld aan de spanning die over de hele kring staat. De som van alle spanningen is dus 0.



Figuur 3.8-3. Serieschakeling van drie weerstanden.

De drie weerstanden in Figuur 3.8-3 kun je vervangen door een enkele weerstand, waardoor bij de gegeven spanning  $U$  dezelfde stroom  $I$  loopt. Met de wet van Ohm is die *vervangingsweerstand* altijd te berekenen uit  $U$  en  $I$ . Maar die moet je dan wel gemeten hebben. De vraag is nu, of we die vervangingsweerstand ook kunnen berekenen uit de weerstanden  $R_1$ ,  $R_2$  en  $R_3$  en hoe dat dan moet. Omdat dezelfde stroom alle weerstanden moet passeren, kun je bijna ‘op je klompen’ aanvoelen dat de vervangingsweerstand  $R_{tot}$  (‘tot’ staat voor ‘totaal’) kan worden berekend volgens

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (3.8-3)$$

De vervangingsweerstand is dus altijd groter dan de grootste van de weerstanden in de serieschakeling.

Te onthouden:

**Bij serieschakeling van weerstanden is de vervangingsweerstand gelijk aan de som van de in serie geschakelde weerstanden.**

En uit de wet van Ohm volgt:

**De spanningen over de afzonderlijke weerstanden zijn evenredig met de grootte van die weerstanden. Over de grootste weerstand staat de grootste spanning, over de kleinste weerstand de kleinste spanning.**

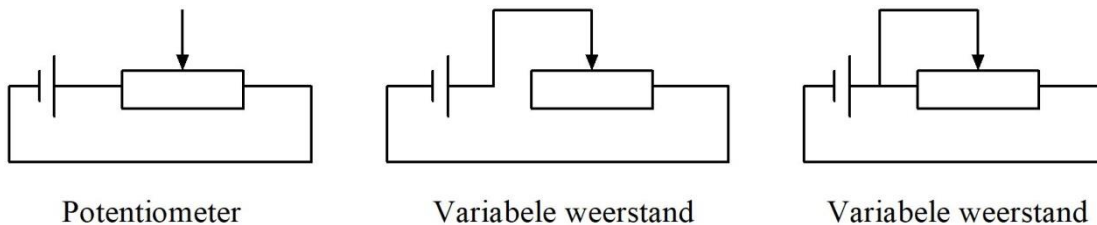
Die tweede ‘te onthouden’ is van belang bij zogenoemde *spanningsdelers*. In de N-exameneisen komt die term niet voor, maar sommige examenopgaven gaan er wel over, zonder dat de term wordt genoemd. We houden daarom in deze cursus de deler erin, dat is wel zo handig. De tot nu toe opgedane kennis is genoeg om die te begrijpen.

Spanningsdelers behandelen we dus meteen. Daarna gaan we naar de parallelschakeling van weerstanden, want daar gaat het er anders aan toe dan bij serieschakeling. Maar nu eerst de spanningsdeler.

### 3.8.4 Spanningsdelers

Een spanningsdeler bestaat uit twee of meer in serie geschakelde weerstanden. De werking van een spanningsdeler volgt direct uit de tweede wet van Kirchhoff. Op elk knooppunt tussen twee weerstanden is de spanning lager dan de spanning die over de hele serieschakeling staat.

**Een variabele spanningsdeler** (Figuur 3.8-4 links) is de *potentiometer*, onder elektronici meestal afgekort tot *potmeter*. Het schuifcontact is het knooppunt. Door de positie ervan te veranderen, is de spanning op het knooppunt in te stellen. De rechter twee in Figuur 3.8-4 zijn potentiometers, geschakeld als variabele weerstand. De middelste schakeling lijkt af te wijken van de meest rechtse, maar dat is schijn. In de rechter schakeling is het linkerdeel van de potentiometer weliswaar aangesloten, maar kortgesloten door de verbinding tussen schuifcontact en linker aansluiting. Dat deel speelt dus geen rol, want de stroom loopt eromheen.



Figuur 3.8-4. Potentiometer (links) en 2x een variabele weerstand, gemaakt van een potentiometer.

Bij de potentiometer hangt de spanning tussen het schuifcontact en een aansluitpunt van de batterij af van de positie van het schuifcontact. Bij de variabele weerstand geldt die afhankelijkheid voor de stroom door de weerstand.

Foto 3.8-1 laat enkele uitvoeringsvormen van potentiometers zien, De grote boven is bedoeld voor toepassing als voortdurend regelbare potmeter, de kleintjes onder voor éénmalige instelling met een schroevendraaier. De kleine rechthoekige potmeter rechtsonder is bedoeld voor precisie-instelling, waarbij het schuifcontact in 10 schroevendraaierslagen van het ene naar het andere uiteinde wordt verplaatst.

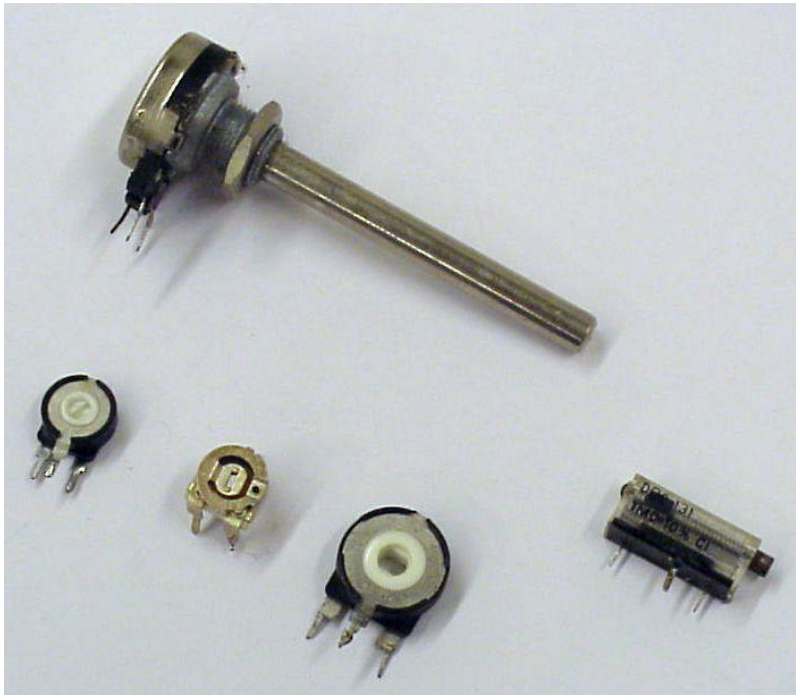
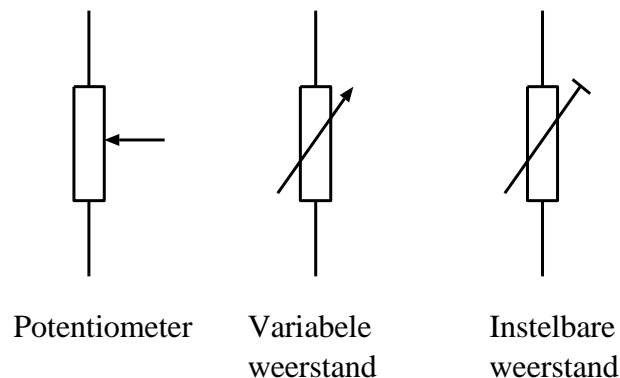


Foto 3.8-1. Voorbeelden van potentiometers. Merk op dat ze allemaal drie contacten hebben: de twee uiteinden en de aftakking. De vier kleintjes zijn bedoeld voor éénmalige instelling met behulp van een schroevendraaier, de grote om een blijvende instelmogelijkheid van een schakeling te hebben, bijvoorbeeld als volumeregelaar van een audioversterker.

### 3.8.5 Variabele weerstanden

Variabele weerstanden hebben een aftakking die tussen de uiteinden van de weerstand heen en weer kan schuiven. Ook die heet schuifcontact. Eén weerstandsuiteinde doet niet mee. Dat is goed te zien in Figuur 3.8-4. Ze worden het meest gebruikt om in een schakeling een spanning in te stellen. Daaruit kun je de conclusie trekken dat een variabele weerstand meestal een wat anders geschakelde potmeter is.

Figuur 3.8-5 geeft schemasymbolen voor potentiometer en variabele weerstand.

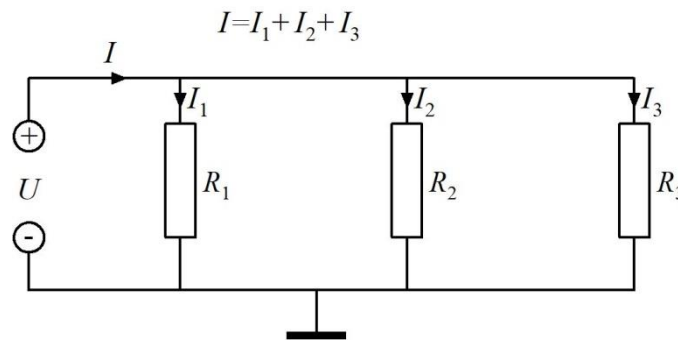


Figuur 3.8-5. Schemasymbolen voor potentiometer en variabele weerstand. Bij de potentiometer is de lijn met de pijl het schuifcontact.

Een variabele weerstand is tijdens gebruik van de schakeling instelbaar; een instelbare weerstand wordt één keer ingesteld, waarna de betreffende schakeling goed hoort te werken.

### 3.8.6 Parallelschakeling van weerstanden

Wanneer weerstanden met elkaar zijn verbonden als in Figuur 3.8-6, zijn ze parallel geschakeld. Bij serieschakeling (Figuur 3.8-3) loopt door alle weerstanden dezelfde stroom. Bij parallelschakeling zoals in Figuur 3.8-6 staat over alle weerstanden dezelfde spanning.



Figuur 3.8-6. Parallelschakeling van drie weerstanden.

De stroom door elke weerstand wordt volgens de wet van Ohm bepaald door de spanning en de weerstandswaarde. De vraag is nu, hoe je de vervangingsweerstand van parallel geschakelde weerstanden berekent. De stroom  $I$  in de figuur heeft drie routes: via  $R_1$ , via  $R_2$  en via  $R_3$ . De stroom door de schakeling ondervindt daarom minder weerstand dan wanneer maar één van die weerstanden zou zijn aangesloten. De vervangingsweerstand is daarom kleiner dan de kleinste weerstand in de schakeling. De bijbehorende vergelijking:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (3.8-4)$$

In woorden: **De omgekeerde waarde van de vervangingsweerstand is gelijk aan de som van de omgekeerde waarden van de parallel geschakelde weerstanden.**

Een tweede redenering is de volgende. Het geleidingsvermogen van de vervangende weerstand is de som van de geleidingsvermogens van de afzonderlijke weerstanden. Geleidingsvermogen is het omgekeerde van weerstand, dus niet  $R$ , maar  $1/R$ . Ook dan vind je vergelijking (3.8-4)

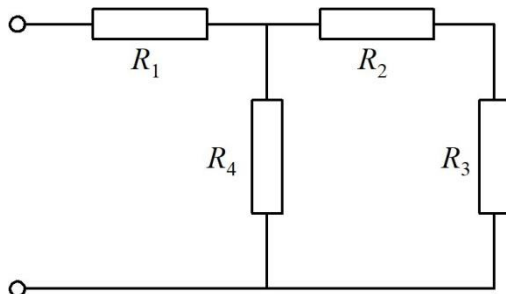
Voor twee parallelle weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  kun je (3.8-4) vereenvoudigen tot

$$R_{tot} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.8-5)$$

Met andere woorden: **bij twee parallel geschakelde weerstanden is de vervangingsweerstand gelijk aan het product van beide weerstanden gedeeld door hun som.**

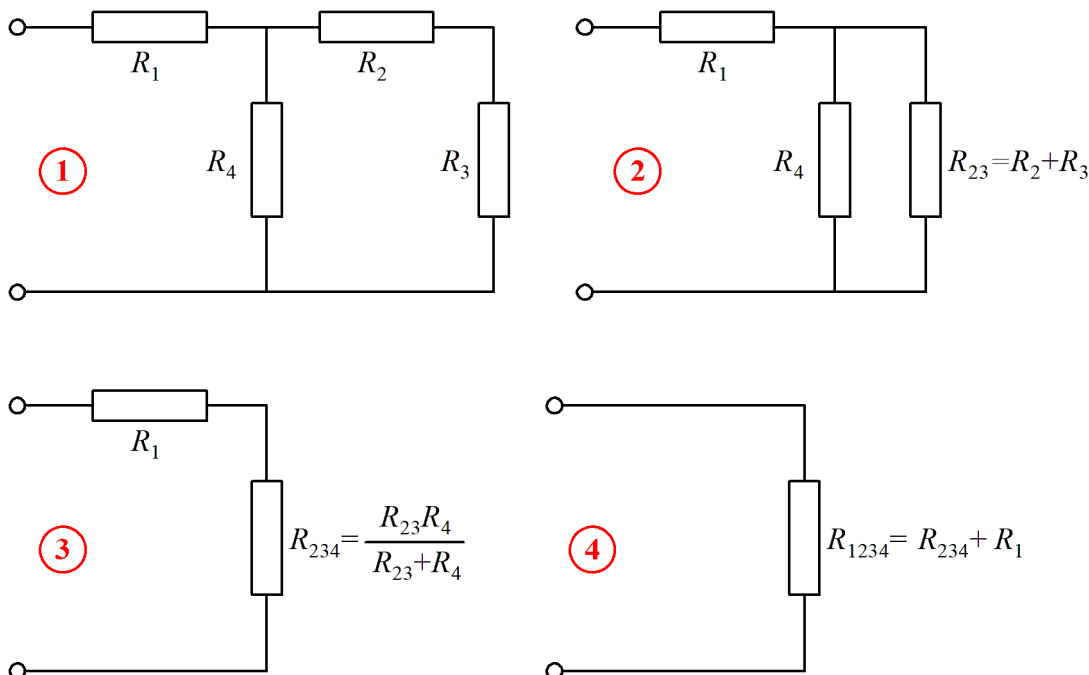
### 3.8.7 Combinaties van serie- en parallelgeschakelde weerstanden

Een voorbeeld van serie- en parallelgeschakelde weerstanden zien we in Figuur 3.8-7.



Figuur 3.8-7. Parallel- en seriegeschakelde weerstanden in één schakeling.

Als je een spanning over de aansluitklemmen zet, loopt er een stroom door de schakeling. Om die te berekenen, heb je behalve de spanning ook de vervangingsweerstand nodig. Hoe bereken je die?. Dat los je stap voor stap en van achteren naar voren op (Figuur 3.8-8). Deze aanpak, van achter naar de aansluitpunten toe, in dit geval van rechts naar links, werkt bijna altijd.



Figuur 3.8-8. Stapsgewijs vinden van de vervangingsweerstand van de schakeling in Figuur 3.8-7.

$R_2$  en  $R_3$  staan in serie, dus die zijn volgens vergelijking (3.8-3) te vervangen door een enkele weerstand  $R_{23}$ , gelijk aan  $R_2 + R_3$ . Die staat parallel aan  $R_4$ . Daarvoor is weer een vervangingsweerstand  $R_{234}$  te berekenen met vergelijking (3.8-5). Het resultaat staat in serie met  $R_1$ . Tel die op bij  $R_{234}$  en je vindt de vervangingsweerstand  $R_{1234}$  voor alle weerstanden. Zo 'rol je het probleem op'. De gang van zaken is als een opeenvolging van vervangingschema's weergegeven in Figuur 3.8-8. Hieronder nog een keer de stappen.



**Stap 1** is het goed bekijken van de schakeling van Figuur 3.8-7.

**Stap 2.**  $R_2$  en  $R_3$  staan in serie. Ze worden samengevoegd tot  $R_{23}$ , dus  $R_{23} = R_2 + R_3$ .

**Stap 3.**  $R_{23}$  staat parallel aan  $R_4$ . Die twee kunnen met behulp van vergelijking (3.8-5), zie figuur, worden samengevoegd tot  $R_{234}$ .

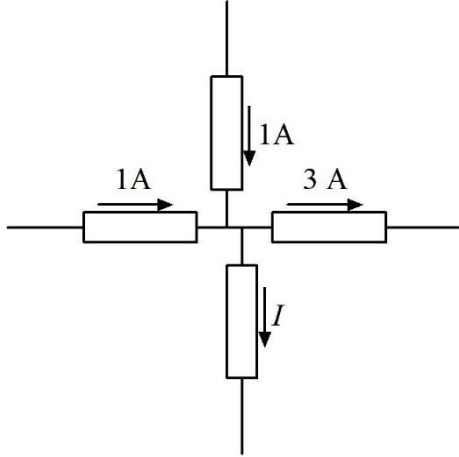
**Stap 4.**  $R_{234}$  staat in serie met  $R_1$ . Die twee kunnen we dus optellen tot  $R_{1234}$  –zie figuur- en het vraagstuk is opgelost.

**Met getallen:** stel dat alle weerstanden gelijk zijn aan  $100\Omega$  zijn. Dan is  $R_{23} = 200\Omega$ ,  $R_{234} = 200\Omega \cdot 100\Omega / 300\Omega = 67\Omega$  en  $R_{1234} = 100\Omega + 67\Omega = 167\Omega$ .

Tot zover de combinatie van parallel- en seriegeschakelde weerstanden.


### 3.9 Opgaven

#### 3.9.1 Opgave 3-12



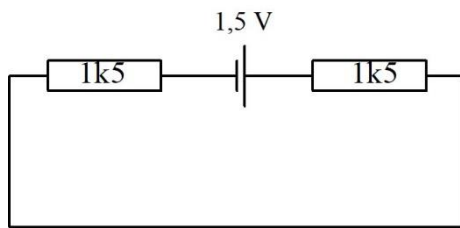
De stroom  $I$  bedraagt

- A. 1 A en de pijl voor de stroomrichting staat de juiste kant op
- B. 1 A en de pijl voor de stroomrichting staat de verkeerde kant op
- C. 2 A en de pijl voor de stroomrichting staat de juiste kant op
- D. 2 A en de pijl voor de stroomrichting staat de verkeerde kant op

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 




## 3.9.2 Opgave 3-13

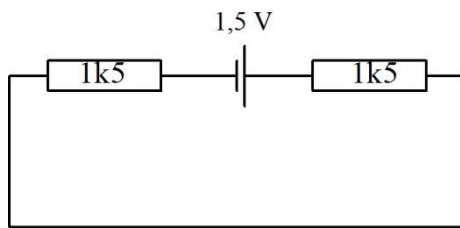


De spanning over elke weerstand bedraagt

- A. 0,75V
- B. 1,5V
- C. 0,5V
- D. 2V


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

### 3.9.3 Opgave 3-14

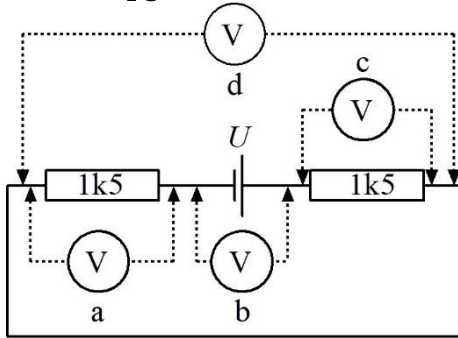


De stroomsterkte in dit schema bedraagt

- A. 1 mA per weerstand
- B. 0,5 mA
- C. 2 mA
- D. 1A

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

## 3.9.4 Opgave 3-15



De juiste meterpositie om de hoogste spanning in de hele kring te meten is

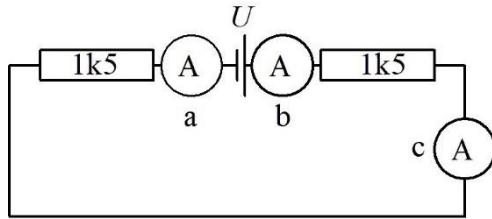
- A. a
- B. b
- C. c
- D. d

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



### 3.9.5 Opgave 3-16

Welke meterpositie is het meest geschikt om de stroom door de kring te meten

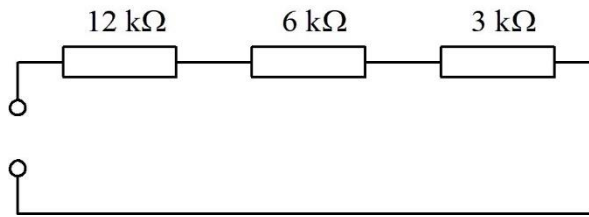


- A. a
- B. b
- C. c
- D. a, b en c

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking




## 3.9.6 Opgave 3-17

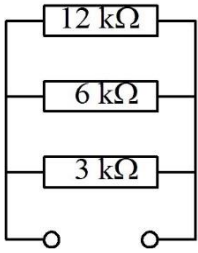


De vervangingsweerstand is

- A. 6 kΩ
- B. 15 kΩ
- C. 21 kΩ
- D. 1700 Ω


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

## 3.9.7 Opgave 3-18

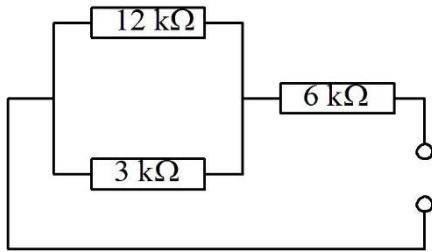


De vervangingsweerstand is ongeveer

- A. 6 k $\Omega$
- B. 15 k $\Omega$
- C. 21 k $\Omega$
- D. 1700  $\Omega$


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

## 3.9.8 Opgave 3-19

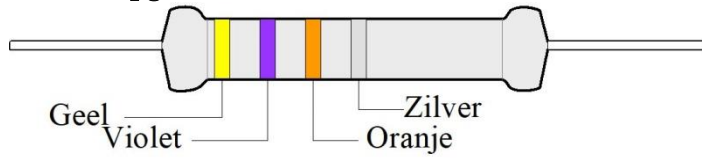


De vervangingsweerstand is ongeveer

- A. 21 kΩ
- B. 15 kΩ
- C. 8,4 kΩ
- D. 4,8 kΩ


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

### 3.9.9 Opgave 3-20



Waarde en tolerantie van de afgebeelde weerstand zijn

- A. 47000  $\Omega$ , 5%
- B. 74 k $\Omega$ , 10%
- C. 4,7 k $\Omega$ , 10%
- D. 47 k $\Omega$ , 10%

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 






### 3.9.10 Opgave 3-21

Een lampje wordt gevoed uit een batterij van 4,5 V. Het verbruikt 0,1 A. De weerstand van het lampje bedraagt ongeveer

- A. 0,022  $\Omega$
- B. 45  $\Omega$
- C. 4,5  $\Omega$
- D. 0,45  $\Omega$

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



### 3.9.11 Opgave 3-22

Een apparaat moet worden gevoed met een spanning van 6 V en gebruikt 0,1 A. Er is alleen een spanning van 10 V beschikbaar bij ruim voldoende stroom. Om de spanning omlaag te brengen naar 6 V wordt een weerstand tussen spanningsbron en apparaat opgenomen. Die weerstand moet een waarde hebben van

- A. 40  $\Omega$
- B. 0,25  $\Omega$
- C. 0,4  $\Omega$
- D. 25  $\Omega$

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking

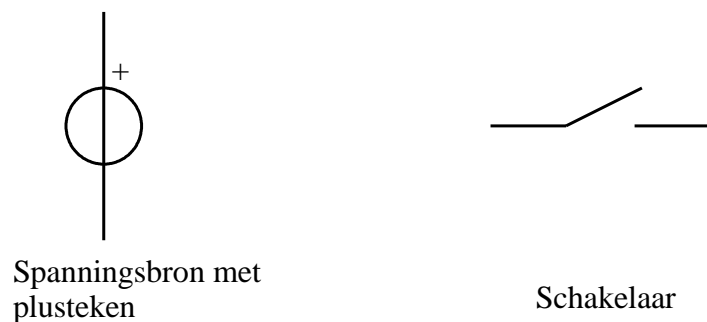


## 3.10 Spanningsbronnen, afzonderlijk en geschakeld

### 3.10.1 Schemasymbolen voor spanningsbronnen en enkelvoudige schakelaars

We zijn tot nu toe wat losjes omgegaan met spanningsbronnen. In deze paragraaf pakken we dat onderwerp wat strikter aan. Die striktheid hebben we nodig voor allerlei zaken die hierna nog aan de orde moeten komen en dus ook voor het examen. We maken kennis met ideale en werkelijke spannings- en stroombronnen en hoe we die inpassen in schakelingen.

Daarbij gebruiken we het schemasymbool voor de ideale spanningsbron en de aan/uit-schakelaar. Ze staan in Figuur 3.10-1.



Spanningsbron met plus-teken

Schakelaar

Figuur 3.10-1. Schemasymbolen voor de ideale spanningsbron en de aan/uit schakelaar.

Als een schakelaar *open* is, wil dat zeggen dat er geen verbinding is. Is een schakelaar *gesloten*, dan wil dat zeggen dat de contacten zijn verbonden. Een manier om dit te onthouden is: als er tussen de contacten licht kan passeren, is de schakelaar open. Kan dat niet, dan is hij dicht.

### 3.10.2 Spanningsbronnen, EMK

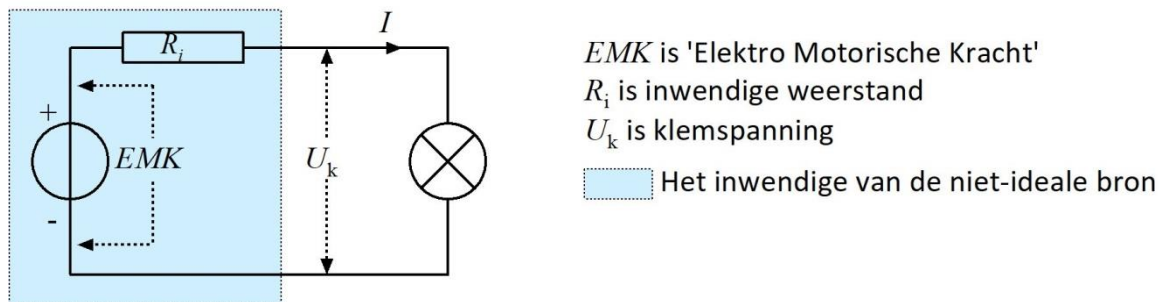
Een ideale spanningsbron heeft een weerstand van  $0 \Omega$ . Elke spanningsbron in de echte wereld heeft van binnen een zekere weerstand. Als je een batterij belast met een flinke stroom, zal hij merkbaar warm worden. Dat kan alleen als hij een weerstand heeft. Die heet *inwendige weerstand*. Als een ideale bron wordt kortgesloten is de stroom oneindig; bij een niet-ideale bron wordt de stroom beperkt door de inwendige weerstand.

Als we praten over de inwendige weerstand van een batterij of andere reële spanningsbron, beschouwen we die eigenlijk als ideale bron, in serie met een weerstand. Zo mag je elke batterij of andersoortige spanningsbron in de werkelijke wereld zien.

Stel dat we een batterij van 4,5 V hebben met een inwendige weerstand van  $1 \Omega$ . Als we geen stroom afnemen, is de spanning 4,5 V. Dat heet ook wel de EMK. EMK staat voor ElektroMotorische Kracht. EMK is de spanning van een niet-ideale spanningsbron die geen stroom levert, of in elektrotechnische termen, niet wordt belast. EMK heeft zijn naam te danken aan de gedachte dat het een kracht is die lading een geleider in duwt. Natuurkundig gezien is het geen kracht, maar een spanning. EMK is daarom een ongelukkige term, maar ingeburgerd. Een andere en betere term voor EMK is

*bronspanning*, de spanning van de theoretische ideale spanningsbron binnenin de niet-ideale bron. Figuur 3.10-2 laat het in schemavorm zien. Het blauwe deel bevat de niet-ideale bron als ideale bron plus inwendige weerstand  $R_i$ .

Stel, de spanningsbron heeft een EMK van 4,5 V bij een inwendige weerstand  $R_i$  van 1  $\Omega$ . Als we deze bron met bijvoorbeeld 0,5 A belasten, dat is hetzelfde als 0,5 A laten leveren, meten we op de aansluiting geen 4,5 V, maar minder. Hoeveel minder? 0,5 A  $\cdot$  1  $\Omega$  = 0,5 V minder, dus 4 V. Die 4V heet de *klemspanning* van de batterij,  $U_k$  in Figuur 3.10-2



Figuur 3.10-2. Niet-ideale spanningsbron, dus met inwendige weerstand, EMK en klemspanning  $U_k$  en met belasting in de vorm van een lampje.

Bij een ideale spanningsbron is de klemspanning onder alle omstandigheden gelijk aan de EMK. Bij een niet-ideale (reële) spanningsbron, zoals in Figuur 3.10-2, zijn EMK en klemspanning alleen aan elkaar gelijk als de stroom 0 is.

Wordt een niet-ideale bron kortgesloten, dan wordt de stroom alleen beperkt door de inwendige weerstand. Dan hebben we te maken met de *kortsluitstroom*. In het hiervoor genoemde voorbeeld komt dat neer op een ideale bron die met een weerstand van 1  $\Omega$  wordt belast. Dat levert een stroom van ongeveer 4,5 A op en een dissipatie van ruim 20W (ga dit na!!), waardoor de batterij snel flink heet wordt en ongelukken niet denkbeeldig zijn. **Probeer het niet zelf**, maar google bijvoorbeeld 'batterij kortsluiten'.

### 3.10.3 Hoeveel vermogen leveren een ideale en een niet-ideale bron?

Over het vermogen dat een **ideale spanningsbron** levert, kunnen we kort zijn. Hoe kleiner de belastingsweerstand  $R$ , des te groter is het vermogen  $P$  dat buiten de bron beschikbaar komt. Vergelijking (3.6-5) geeft het antwoord in de vorm van een vergelijking:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3.6-5)$$

De bronspanning  $U$  ligt vast.  $R$  staat in de noemer, dus hoe kleiner  $R$ , des te groter is  $P$ .

**Bij een niet-ideale bron** verbruikt (dissipeert) de inwendige weerstand een deel van het vermogen. Een batterij bijvoorbeeld wordt merkbaar warm als er een tijdje een flinke stroom aan wordt onttrokken. We volgen Figuur 3.10-2.

De totale weerstand  $R$  van de stroomkring en de EMK bepalen de stroom.  $R = R_i + R_u$ , want  $R_i$  en  $R_u$  staan in serie. Voor twee situaties valt snel te bedenken wat er gebeurt:

*Situatie 1:*  $R_u$  is 0 (kortsluiting). Het vermogen wordt volledig verbruikt door  $R_i$ . Dit is vergelijking (3.6-5) van de ideale bron die meer vermogen levert, naarmate  $R$  kleiner is.

*Situatie 2:* Niets aangesloten, dus  $R_u$  is oneindig. Stroom en geleverd vermogen zijn 0.

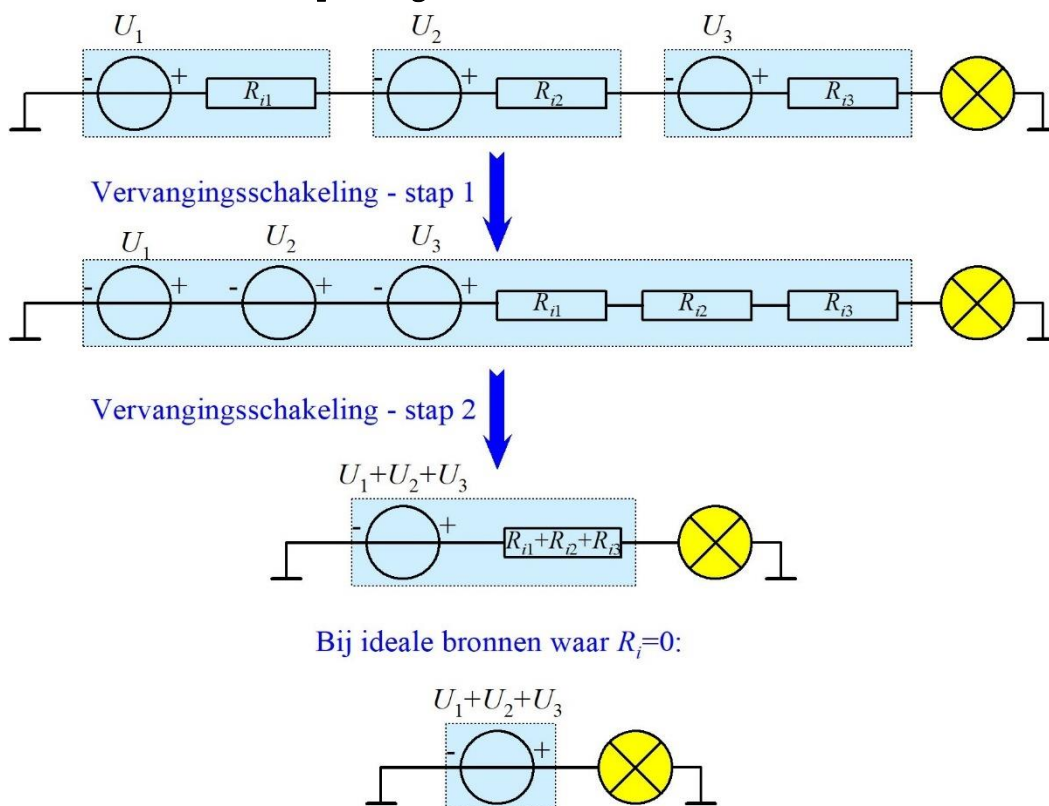
In situatie 1 wordt alle vermogen binnen de bron (denk bijvoorbeeld aan een batterij) gedissipeerd. In situatie 2 wordt er niets gedissipeerd.

In beide gevallen is het geleverde elektrische vermogen 0. In situaties daartussenin levert de reële bron wel vermogen naar buiten. Dat geleverde vermogen is maximaal als  $R_i = R_u$ , dus als inwendige en uitwendige weerstand gelijk zijn. Voor de nieuwsgierigen onder ons: het bewijs staat in hoofdstuk 3 van de F-cursus. In woorden:

**Een niet-ideale bron levert het hoogste vermogen aan een uitwendige weerstand als die gelijk is aan de inwendige weerstand van de bron.**

Dit is het belangrijkste uitgangspunt als het erom gaat, uit een zender zoveel mogelijk vermogen de antenne in te krijgen. De zender is dan de bron, de antenne de belasting.

### 3.10.4 Schakelen van spanningsbronnen



Figuur 3.10-3. Serieschakeling van niet-ideale spanningsbronnen en vervangingschakelingen met brandend lampje (vandaar de kleur) als belasting.

Net als weerstanden kun je spanningsbronnen in serie of parallel schakelen. Bij in serie geschakelde spanningsbronnen moet je de spanningen van de afzonderlijke bronnen optellen om de totale spanning te berekenen. De meesten van ons kennen dat wel van bijvoorbeeld zaklantaarns of afstandsbedieningen van de TV, waar meer dan één batterijtje in moet. Figuur 3.10-3 toont een serieschakeling van drie spanningsbronnen uit de echte wereld. Die bekijken we stapsgewijs.

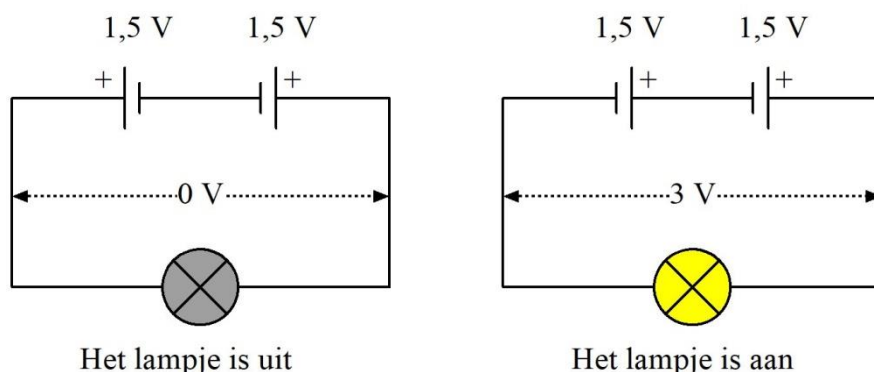
**Stap 1.** Alle drie de bronnen zijn weergegeven als ideale bron in serie met hun inwendige weerstand  $R_i$ . Als de lamp stroom afneemt, loopt door elke bron en elke inwendige weerstand dezelfde stroom (stroomwet van Kirchhoff). Volgens de spanningswet is de som van alle spanningen over bronnen, weerstanden en de belasting (de lamp) gelijk aan 0. Het is een optelsom van positieve waarden over de bronnen en negatieve over weerstanden en lamp. In een optelsom maakt de volgorde van de termen niets uit. We mogen dan ook zonder bezwaar de bronnen en de weerstanden bij elkaar zetten. (tweede rijtje in de figuur).

**Stap 2** in Figuur 3.10-3. Drie in serie geschakelde ideale bronnen mogen volgens dezelfde tweede wet van Kirchhoff worden gezien als één bron met de som van alle drie de spanningen. Drie in serie geschakelde weerstanden mogen om dezelfde reden worden vervangen door één, waarvan de weerstand gelijk is aan de som van de drie.

Verschil met ideale bronnen: ideale bronnen hebben geen inwendige weerstand. Bij ideale bronnen houden we één bron over zonder weerstanden (onderin Figuur 3.10-3).

**Een serieschakeling van spanningsbronnen kunnen we vereenvoudigen tot een enkele bron met een EMK gelijk aan de som van de EMK's van de afzonderlijke bronnen en een inwendige weerstand gelijk aan de som van de afzonderlijke inwendige weerstanden.**

**Waarschuwing.** Bij het in serie schakelen van batterijen of andere spanningsbronnen moet op de polariteit worden gelet (Figuur 3.10-4).



*Figuur 3.10-4. Als batterijen tegengesteld zijn geschakeld, is het resultaat het spanningsverschil, in dit geval 0 V. Staan ze in dezelfde richting, dan is het resultaat de som van beide spanningen.*

Als twee batterijen ‘tegen elkaar in’ staan, zoals in Figuur 3.10-4 links, werken ze elkaar tegen. De spanningen zijn tegengesteld en het resultaat is het verschil tussen beide



spanningen (eigenlijk de som van een positieve en een negatieve spanning). Als de spanningen even groot zijn, is het verschil 0 en wordt er geen stroom geleverd (Figuur 3.10-4 links). Als beide spanningen in dezelfde richting staan, gebeurt dat wel (Figuur 3.10-4 rechts). Oppassen dus: op het examen kun je zo'n soort valkuil tegenkomen.

In theorie kunnen spanningsbronnen, bijvoorbeeld batterijen, ook parallel worden geschakeld. De geleverde spanning blijft dan dezelfde, de inwendige weerstand van het geheel is die van de parallel geschakelde inwendige weerstanden en de stroom is de som van de stromen van de afzonderlijke bronnen. Het addertje onder het gras is dat de bronnen volkomen identiek moeten zijn. Heeft de één een iets grotere spanning dan de ander, dan is er geen gelijke verdeling van de stroom over de afzonderlijke bronnen. Hetzelfde geldt in wat mindere mate voor de inwendige weerstanden.

Parallelschakelingen van batterijen en andere niet-ideale bronnen zul je dan ook praktisch nooit tegenkomen.

### 3.10.5 De capaciteit van een batterij of accu

Eerder is opgemerkt dat een batterij na verloop van tijd uitgeput raakt. Het is van belang om te weten wanneer dat ongeveer gebeurt. Daarvoor hebben we de grootheid *batterij- of accucapaciteit*<sup>1</sup>. Die wordt uitgedrukt in Ah, ampèreuur. Die kennen we al van hoofdstuk 2, toen het ging om het vermenigvuldigen van grootheden en van eenheden. Een batterij van 1 Ah kan in theorie gedurende 1 uur 1 A leveren, gedurende 2 uur  $\frac{1}{2}$  A of gedurende  $\frac{1}{2}$  uur 2 A, zolang het product van de stroomsterkte en het aantal uren maar 1 Ah oplevert.

In werkelijkheid is dat niet helemaal zo, omdat in de praktijk bij een hogere stroom de capaciteit wat terugloopt. Hoeveel, hangt onder meer af van de soort batterij. Bij een ideale batterij is dat natuurlijk niet zo, maar die komen vooral in examens voor.

De capaciteit van een batterij (of accu, waaronder we hier hetzelfde verstaan) is de hoeveelheid lading die een batterij kan leveren. Stroom is lading per tijd. 1 A is één C/s, zagen we in paragraaf 3.3. En dan is (C/s).s hetzelfde als C. 1Ah is dan 3600 s maal 1 C/s en dat is 3600 C. Deze manier van uitdrukken zul je niet gauw tegenkomen. Het is praktisch altijd Ah of mAh.

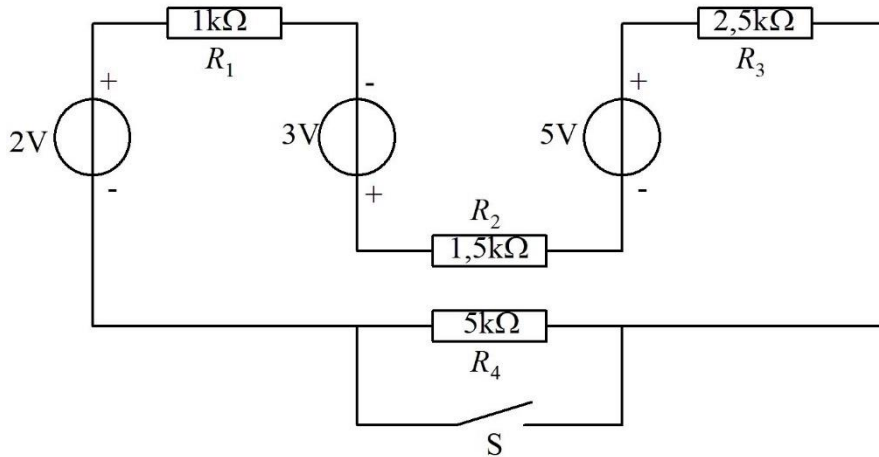
Capaciteit van een batterij is niet hetzelfde als energie!

---

<sup>1</sup> In hoofdstuk 4 zullen we een ander soort capaciteit tegenkomen, die van de condensator. Maak je nu geen zorgen over het verschil. Dat blijkt wel uit de bijbehorende tekst of het bijbehorende schema.


### 3.11 Opgaven

#### 3.11.1 Opgave 3-23



In de figuur zijn de drie spanningsbronnen met de weerstanden  $R_1$  t/m  $R_3$  op te vatten als

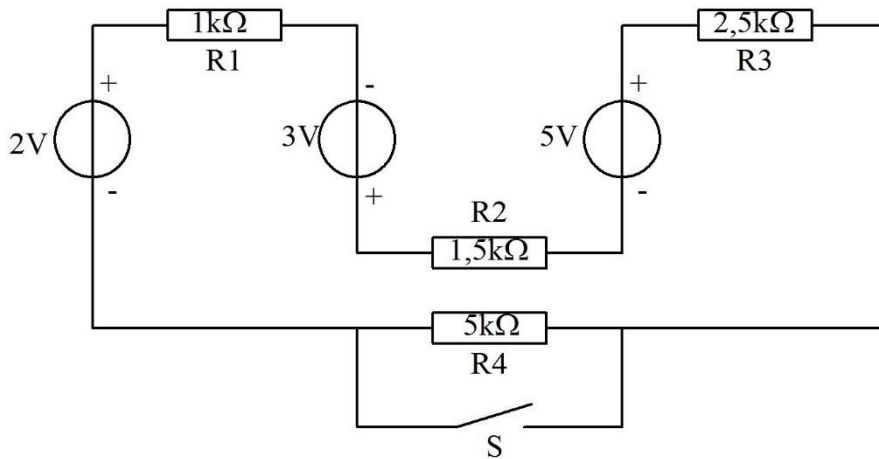
- A. Eén niet-ideale spanningsbron met een EMK van 4V
- B. Eén niet-ideale spanningsbron met een EMK van 10 V en een inwendige weerstand van 5 k $\Omega$
- C. Eén niet-ideale spanningsbron met een EMK van 10 V en een inwendige weerstand van 10 k $\Omega$
- D. Drie in serie geplaatste spanningsbronnen met een totale inwendige weerstand van ongeveer 485  $\Omega$ .

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 




### 3.11.2 Opgave 3-24

In Opgave 3-23 zagen we dat de drie bronnen met weerstanden  $R_1$  t/m  $R_3$  te beschouwen zijn als één niet-ideale spanningsbron met een EMK van 10 V en een inwendige weerstand van 5 k $\Omega$ .



Bij geopende schakelaar S (de schakelaar geleidt dan dus niet) en gesloten schakelaar S is de stroom door  $R_2$  ongeveer gelijk aan

- A. 6,7 mA bij S open en 13,4 mA bij S dicht
- B. 2 mA bij S open en 1 mA bij S dicht
- C. 1 mA bij S open en 2 mA bij S dicht
- D. 0,5 mA bij S open en 1 mA bij S dicht


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



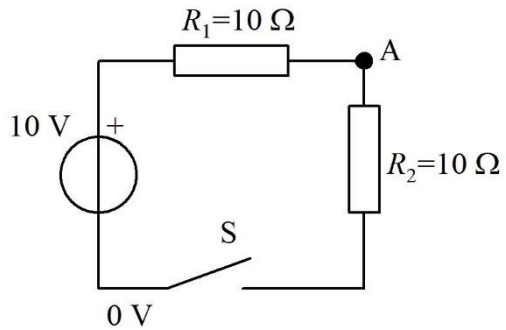
### 3.11.3 Opgave 3-25

Een batterij heeft een bronspanning van 10 volt en een inwendige weerstand van 1 ohm. De batterij wordt per ongeluk kortgesloten. In de batterij wordt een vermogen gedissipeerd van

- A. 0,1 W
- B. 1 W
- C. 10 W
- D. 100 W


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

## 3.11.4 Opgave 3-26

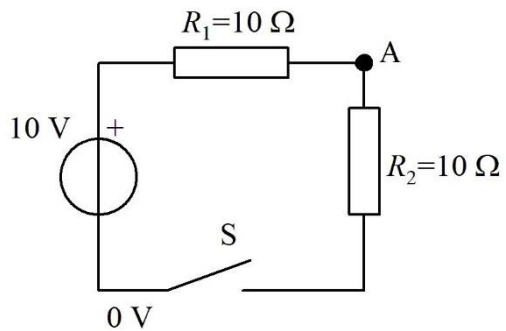


De spanning op punt A bedraagt

- A. 5 V bij geopende schakelaar S
- B. 5 V bij gesloten schakelaar S
- C. 10 V bij gesloten schakelaar S
- D. 0 V bij geopende schakelaar S


Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

## 3.11.5 Opgave 3-27



In de figuur bij Opgave 3-26 is de dissipatie door  $R_1$

- A. 0 W bij gesloten schakelaar S
- B. 10 W bij gesloten schakelaar S
- C. 10 W bij geopende schakelaar S
- D. 2,5 W bij gesloten schakelaar S

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

## 3.12 Uitwerkingen van de opgaven

### 3.12.1 Uitwerking van Opgave 3-1

Spanning is

- A. Verplaatsing van elektronen
- B. Elektrische lading
- C. Energie
- D. Alleen meetbaar ten opzichte van een ander punt in dezelfde schakeling**

#### Uitwerking

Hier staat vooral wat spanning niet is. Geen verplaatsing van elektronen, geen lading, geen energie. Blijft over: antwoord D.

Een belangrijke eigenschap van spanning is dat je nooit de spanning van één punt kunt meten. Spanning is potentiaal verschil met een streep onder verschil. Het is altijd de spanning *tussen* twee punten. Soms lees je de term *spanningsverschil*. Eigenlijk is dat onzin, omdat spanning zelf al een verschil is.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





### 3.12.2 Uitwerking van Opgave 3-2

Stroom is

- A. Verplaatsing van elektrische lading
- B. Elektrische lading
- C. Energie
- D. Alleen meetbaar ten opzichte van een ander punt

#### **Uitwerking**

Stroom is geen lading, geen energie en in tegenstelling tot spanning niet meetbaar ten opzichte van een ander punt. Stroom wordt gemeten **in** de geleider en is verplaatsing van elektrische lading. Dat is antwoord A.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.3 Uitwerking van Opgave 3-3

Lading is

- A. Verplaatsing van elektronen
- B. Positief of negatief**
- C. Energie
- D. Alleen meetbaar ten opzichte van een ander punt

#### Uitwerking

Lading is een overschot of tekort aan elektronen, geen verplaatsing. Lading kan zich wel verplaatsen, maar is zelf geen verplaatsing. Een overschot aan elektronen is een negatieve lading, een tekort positief. Vreemd, maar ontstaan in een tijd waarin men de aard van elektriciteit nog niet goed begreep. Het goede antwoord is dan ook B.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





### 3.12.4 Uitwerking van Opgave 3-4

Rubber is

- A. Een goede geleider
- B. Een isolator**
- C. Een stof die bij lage temperatuur geleidt
- D. Een stof die bij hoge temperatuur geleidt

#### **Uitwerking**

Rubber is een isolator. De stof geleidt niet bij wat voor temperatuur ook. Antwoord B is het juiste antwoord.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





### 3.12.5 Uitwerking van Opgave 3-5

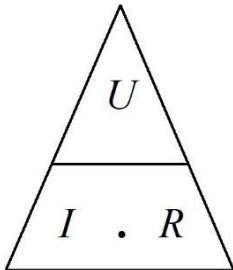
De wet van Ohm luidt:

- A.  $I = R/U$
- B.  $R = U/I$
- C.  $U = I/R$
- D.  $R = I \cdot U$

#### Uitwerking

We kennen de wet van Ohm meestal als  $U = IR$ . Aan beide kanten van het “=”-teken delen door  $I$  levert  $U/I = R$ . En dat is hetzelfde als  $R = U/I$ , antwoord B.

Het kan ook zonder rekenwerk met de driehoek van Figuur 3.3-2:



Daaruit blijkt hetzelfde, zoals het hoort (!)



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



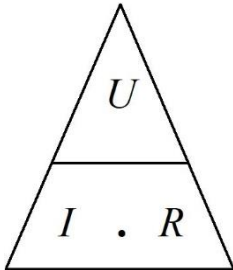
### 3.12.6 Uitwerking van Opgave 3-6

Over een weerstand van  $5 \Omega$  staat een spanning van  $10 \text{ V}$ . De stroom door de weerstand bedraagt

- A.  $2 \text{ A}$
- B.  $0,5 \text{ A}$
- C.  $50 \text{ A}$
- D.  $5 \text{ A}$

#### Uitwerking

Er staat  $10 \text{ V}$  over een weerstand van  $5 \Omega$ . We hebben dus een spanning  $U = 10 \text{ V}$  en een weerstand  $R = 5 \Omega$ . Gevraagd: de stroom  $I$ . Een gevalletje voor de wet van Ohm:



Uit de driehoek blijkt dat  $I = U/R$ . Invullen van  $10 \text{ V}$  voor  $U$  en  $5 \Omega$  voor  $R$  levert  $2 \text{ A}$ . Dat is antwoord A.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.7 Uitwerking van Opgave 3-7

Over een weerstand van  $1\text{ k}\Omega$  staat  $10\text{ V}$ . De stroom door de weerstand bedraagt

- A.  $10\text{ mA}$
- B.  $10\text{ A}$
- C.  $100\text{ mA}$
- D.  $1\text{ mA}$

#### Uitwerking

Ook dit is weer een toepassing van de wet van Ohm.  $R$  is  $1000\ \Omega$ , de spanning  $10\text{ V}$ .

$U = IR$  ofwel  $10\text{ V} = I \cdot 1000\ \Omega$ . Dan is  $I = 10/1000\text{ A}$  is  $10\text{ mA}$ . Antwoord A.

#### Opmerking

Als je  $R$  uitdrukt in  $\text{k}\Omega$  en  $U$  in  $\text{V}$ , dan is de uitkomst in  $\text{mA}$ . Controleer:  $10\text{ V}$  delen door  $1\text{ k}\Omega$  levert getalsmatig gezien  $10$ , met  $\text{mA}$  erachter kom je op de zojuist berekende uitkomst. Dit handigheidje kan van pas komen, omdat bij opgaven met  $\text{k}\Omega$  en spanning in  $\text{V}$  bijna altijd iets in  $\text{mA}$  hoort. Ook geldt: als weerstand in  $\text{k}\Omega$  en stroom in  $\text{mA}$  zijn gegeven, kun je meteen volts uitrekenen.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.8 Uitwerking van Opgave 3-8

Door een weerstand van  $100\ \Omega$  loopt een stroom van  $100\ \text{mA}$ . De spanning over de weerstand bedraagt

- A.  $100\ \text{V}$
- B.  $1\ \text{V}$
- C.  **$10\ \text{V}$**
- D.  $0,1\ \text{V}$

#### **Uitwerking**

We kunnen hier het trucje met  $\text{k}\Omega$  en  $\text{mA}$  van de vorige opgave meteen toepassen.  
 $100\ \Omega = 0,1\ \text{k}\Omega$ .

$U=IR$ .  $I$  en  $R$  zijn gegeven, dus omkeren is gemakkelijker:  $IR = U$  en dus:

$0,1\ \text{k}\Omega * 100\ \text{mA} = 10\ \text{V}$ . Antwoord C



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.9 Uitwerking van Opgave 3-9

Een stuk koperen installatiedraad heeft een lengte van 10 m en een doorsnede van 2 mm<sup>2</sup>. De soortelijke weerstand van koper is 0,000 000 017 Ωm. De weerstand van de draad bedraagt

- A. 1,7Ω
- B. 0,034 Ω
- C. **0,085 Ω**
- D. 8,5 Ω

#### Uitwerking

Voor we met vergelijkingen gaan werken: deze opgave kan ook wel met een beetje begrip. Hoe langer een draad is, des te groter is de weerstand. Een twee keer zo lange draad heeft een twee keer zo grote weerstand, Conclusie: om de weerstand van de draad te vinden, moet de soortelijke weerstand in elk geval worden vermenigvuldigd met de werkelijke lengte. Nu nog de doorsnede.

Hoe groter de doorsnede van een draad, des te gemakkelijker gaat de stroom erdoorheen. Twee keer zo grote doorsnede → twee keer zo kleine weerstand.

Conclusie: je vindt de weerstand van de draad door de soortelijke weerstand te vermenigvuldigen met de lengte en te delen door de doorsnede (niet te verwarren met de diameter!).

Nu is de doorsnede niet in m<sup>2</sup>, maar in mm<sup>2</sup> gegeven.

1 mm is 0,001 m. Dus is 1 mm<sup>2</sup> gelijk aan 0,000 001 m<sup>2</sup> en is de weerstand van de draad gelijk aan

$$\frac{10 * 0,000\ 000\ 017}{2 * 0,000\ 001} \Omega = 0,085 \Omega$$

En dat is antwoord C.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.10 Uitwerking van Opgave 3-10

Door een draad loopt gedurende 10 s een stroom van 2 A. De hoeveelheid lading die door de draad is gestroomd, bedraagt

- A. 5 C
- B. 0,2 C
- C. 20 V
- D. 20 C

#### Uitwerking

1 A is hetzelfde als 1 coulomb per seconde, ander geschreven: 1 C/s. Dan is 2 A gelijk aan 2 C/s. Als dat 10 seconden doorgaat, heeft zich door de draad  $10 * 2 C = 20 C$  verplaatst.

Dat is antwoord D (en niet antwoord C, want een coulomb is niet hetzelfde als een volt!)



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





### 3.12.11 Uitwerking van Opgave 3-11

Welke draad heeft de grootste weerstand?

- A. Draad lang 1 m,  $\varnothing 1 \text{ mm}^2$
- B. Draad lang 1 m,  $\varnothing 0,5 \text{ mm}^2$**
- C. Draad lang 0,5 m,  $\varnothing 1 \text{ mm}^2$
- D. Draad lang 0,5 m,  $\varnothing 0,5 \text{ mm}^2$

#### Uitwerking

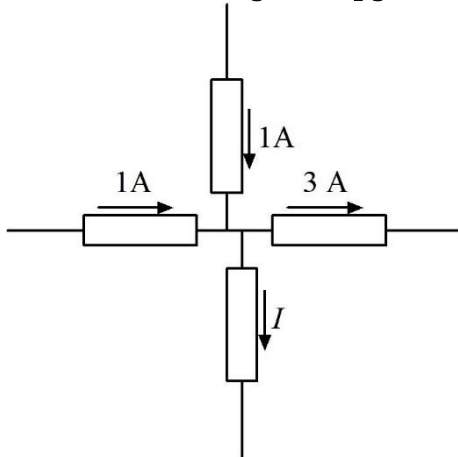
Blijkbaar gaat het om draad van eenzelfde materiaal, want over het materiaal en zijn eigenschappen wordt niets gezegd.

We moeten blijkbaar uitgaan van de afmetingen. Het teken  $\varnothing$  staat voor doorsnede. Zoek de combinatie van langste draad en kleinste doorsnede. Dat is die van antwoord B.



Terug naar de opgave

### 3.12.12 Uitwerking van Opgave 3-12



De stroom  $I$

- A. Bedraagt 1A en de pijl voor de stroomrichting staat de juiste kant op
- B. Bedraagt 1A en de pijl voor de stroomrichting staat de verkeerde kant op**
- C. Bedraagt 2A en de pijl voor de stroomrichting staat de juiste kant op
- D. Bedraagt 2A en de pijl voor de stroomrichting staat de verkeerde kant op

#### Uitwerking

Op het knooppunt komt 1A van links en van boven binnen. Er gaat naar rechts 3A uit. Er is een "tekort" van 1A. Dat moet volgens Kirchhoff via de vierde weerstand worden aangevuld. Er moet daarom van beneden naar boven 1 A naar het knooppunt toe lopen, maar de pijl staat de andere kant op. Dat betekent dat antwoord B goed is.



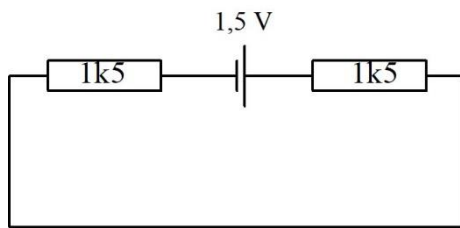
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





### 3.12.13 Uitwerking van Opgave 3-13



De spanning over elke weerstand bedraagt

- A. 0,75V
- B. 1,5V
- C. 0,5V
- D. 2V

#### Uitwerking

De weerstanden zijn gelijk en er loopt dezelfde stroom door. Dan moet de spanning over beide weerstanden dezelfde zijn. De batterij levert 1,5 V. Volgens de tweede wet van Kirchhoff moeten de spanningen over de weerstanden samen 1,5 V zijn. Conclusie: dan is over elke weerstand de spanning de helft van 1,5 V is 0,75 V. Antwoord A.

#### Opmerkingen

We hebben ons niet bekommerd om de polariteit van de spanning, maar dat is bij dit soort opgaven pas nodig als er meerdere spanningsbronnen zijn die niet allemaal in dezelfde richting zijn aangesloten.

Je hebt voor deze berekening de stroom niet nodig. Met dank aan de heer Kirchhoff.

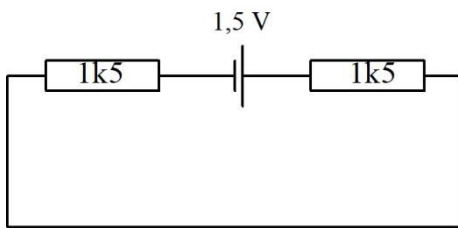


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.14 Uitwerking van Opgave 3-14



De stroomsterkte in dit schema bedraagt

- A. 1 mA per weerstand
- B. 0,5 mA**
- C. 2 mA
- D. 1A

#### Uitwerking

De beide weerstanden van  $1,5 \text{ k}\Omega$  staan in serie. Door beide weerstanden loopt daarom dezelfde stroom. Om te stroomsterkte te berekenen, is de vervangingsweerstand van de twee weerstanden nodig. Die is de som van beide weerstanden, dus  $1,5 \text{ k}\Omega + 1,5 \text{ k}\Omega = 3,0 \text{ k}\Omega$ .  $1,5 \text{ V}$  over  $3 \text{ k}\Omega$  of over  $3\text{k}$ , zoals sommigen zeggen, geeft  $0,5 \text{ mA}$ . Dat is antwoord B.

#### Opmerking

Ook hier is bij gebruik van volts en kilo-ohms het resultaat in milli-ampères, zonder dat er iets hoeft te worden omgerekend.

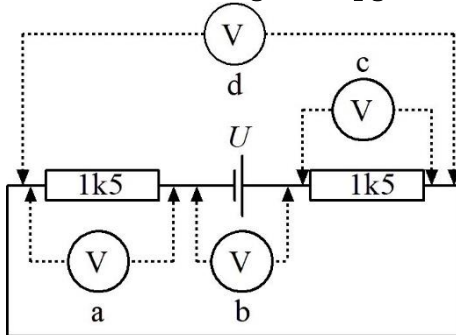


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.15 Uitwerking van Opgave 3-15



De juiste meterpositie om de hoogste spanning in de hele kring te meten is

- A. a
- B. b**
- C. c
- D. d

#### Uitwerking

De hoogste spanning in de kring is tussen de polen van de batterij, zoals altijd wanneer er maar één spanningsbron in het spel is. Dat betekent dat voltmeter b de hoogste spanning meet. Dat is antwoord B.

#### Opmerkingen

Voltmeter d meet 0 V, omdat beide aansluitingen zijn kortgesloten.

De meters a en c geven de halve batterijspanning.



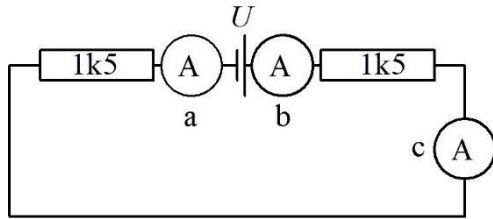
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.16 Uitwerking van Opgave 3-16

Welke meterpositie is het meest geschikt om de stroom door de kring te meten



- A. a
- B. b
- C. c
- D. a, b en c

#### Uitwerking

In het schema is er één stroomkring zonder vertakkingen. Gevolg is dat overal dezelfde stroom loopt. Dan maakt het niet uit, op welke plaats in de kring de stroom wordt gemeten. Antwoord D is daarom het goede antwoord.

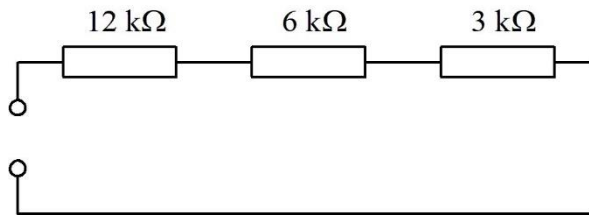


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.17 Uitwerking van Opgave 3-17



De vervangingsweerstand is

- A. 6 kΩ
- B. 15 kΩ
- C. **21 kΩ**
- D. 1700 Ω

#### Uitwerking

Bij serieschakeling van weerstanden zoals hier, is de vervangingsweerstand de som van de weerstanden. De vervangingswaarde **is dus altijd groter dan de grootste weerstand**. Daarmee vallen de antwoorden A en D zonder enig rekenwerk al af.

Optellen van de weerstandswaarden in het schema levert  $(12+6+3) \text{ k}\Omega = 21 \text{ k}\Omega$ .  
Antwoord C.

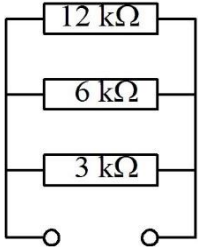


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.18 Uitwerking van Opgave 3-18



De vervangingsweerstand is ongeveer

- A. 6 kΩ
- B. 15 kΩ
- C. 21 kΩ
- D. 1700 Ω

#### Uitwerking

De vervangingsweerstand  $R_{\text{tot}}$  van drie parallel geschakelde weerstanden bereken je met

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Dat betekent dat  $R_{\text{tot}}$  altijd kleiner is dan de kleinste afzonderlijke weerstand van de schakeling. Dat is ook te beredeneren: de meeste stroom gaat door de kleinste weerstand, maar er is altijd nog stroom die via de andere parallelle weerstand(en) loopt. Dan moet het geheel een kleinere weerstand hebben dan de kleinste weerstand.

De kleinste weerstand in de schakeling is 3 kΩ. In het rijtje antwoorden staat maar één weerstand die kleiner is, die van 1700 Ω = 1,7 kΩ (antwoord D). Die moet het dus zijn. Ter controle rekenen we hem uit met de vergelijking. We doen het in kΩ.

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{12 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{6 \text{ k}\Omega} + \frac{1}{3 \text{ k}\Omega} = \frac{1}{12 \text{ k}\Omega} + \frac{2}{12 \text{ k}\Omega} + \frac{4}{12 \text{ k}\Omega} = \frac{7}{12 \text{ k}\Omega}$$

Dan is  $R_{\text{tot}} = 12/7 \text{ k}\Omega \approx 1,71 \text{ k}\Omega$ . Afgerond is dat 1,7 kΩ. Antwoord D is dus goed, want in de opgave staat het woordje 'ongeveer'.

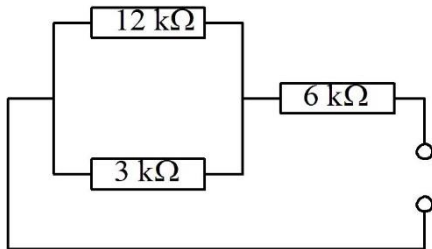


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.19 Uitwerking van Opgave 3-19



De vervangingsweerstand is ongeveer

- A. 21 kΩ
- B. 15 kΩ
- C. **8,4 kΩ**
- D. 4,8 kΩ

#### Uitwerking

Dit is een parallelschakeling in serie met een derde weerstand. We beginnen met de stelregel voor serieschakeling: de uitkomst is groter dan de grootste weerstand. Dan moet de vervangingsweerstand in elk geval groter zijn dan 6 kΩ. Daarmee valt antwoord D af. De vervangingsweerstand van het parallelle deel moet kleiner zijn dan de kleinste, dus minder dan 3 kΩ. Dan moet de vervangingswaarde voor de hele schakeling kleiner zijn dan 9 kΩ. Dat kan alleen nog antwoord C zijn. Deze opgave kan dus zonder rekenen worden gemaakt!

Nu met rekenwerk: 3 kΩ parallel aan 12 kΩ is  $3 * 12 / (3 + 12) \text{ k}\Omega = 36 / 15 \text{ k}\Omega = 2,4 \text{ k}\Omega$ .

6 kΩ + 2,4 kΩ = 8,4 kΩ. Inderdaad antwoord C.

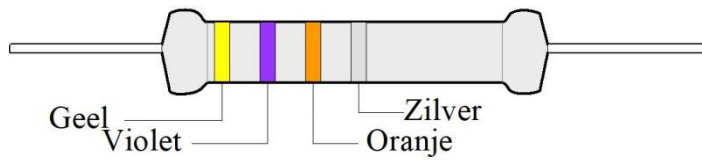


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.20 Uitwerking van Opgave 3-20



Waarde en tolerantie van de afgebeelde weerstand zijn

- A. 47000  $\Omega$ , 5%
- B. 74 k $\Omega$ , 10%
- C. 4,7 k $\Omega$ , 10%
- D. 47 k $\Omega$ , 10%

#### Uitwerking

We lezen de ringen van links naar rechts:

Geel is 4. Violet is 7. Oranje is drie nullen. 47000  $\Omega$  = 47 k $\Omega$ . De zilveren ring betekent een tolerantie van 10%. Antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





### 3.12.21 Uitwerking van Opgave 3-21

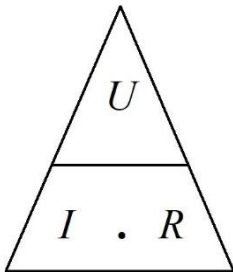
Een lampje wordt gevoed uit een batterij van 4,5 V. Het verbruikt 0,1 A. De weerstand van het lampje bedraagt ongeveer

- A. 0,022  $\Omega$
- B. 45  $\Omega$**
- C. 4,5  $\Omega$
- D. 0,45 $\Omega$

#### Uitwerking

We hebben te maken met een spanning van 4,5 V die belast is met een weerstand  $R$  (in dit geval de lamp) waar 0,1 A doorheen loopt. Gevraagd: de weerstand.

We pakken er de wet van Ohm bij met de bijbehorende driehoek



Die toont dat  $R = U/I$ . Dat is  $4,5 \text{ V} / 0,1 \text{ A} = 45 \Omega$ . Antwoord B.

Voor wie liever de vergelijking  $U = IR$  hanteert: deel aan beide kanten van het = teken door  $I$ , draai de vergelijking om en je vindt  $R = U/I$ .



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.22 Uitwerking van Opgave 3-22

Een apparaat moet worden gevoed met een spanning van 6 V en gebruikt 0,1 A. Er is alleen een spanning van 10 V beschikbaar bij ruim voldoende stroom. Om de spanning omlaag te brengen naar 6 V wordt een weerstand tussen spanningsbron en apparaat opgenomen. Die weerstand moet een waarde hebben van

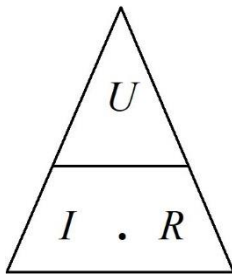
- A. 40  $\Omega$
- B. 0,25  $\Omega$
- C. 0,4  $\Omega$
- D. 25  $\Omega$

#### Uitwerking

Om 6 V voor het apparaat te krijgen, moet de spanning van 10 V met 4 V omlaag. Als het verbruik 0,1 A is, moet in de schakeling een serieweerstand worden opgenomen waarover bij een stroom van 0,1 A een spanning van 4 V staat.

Dat brengt de vraag terug tot: “Bij welke weerstandswaarde combineer je 4 V met 0,1 A?”

We halen de driehoek van Ohm weer tevoorschijn. Die geeft  $R = U/I$ .

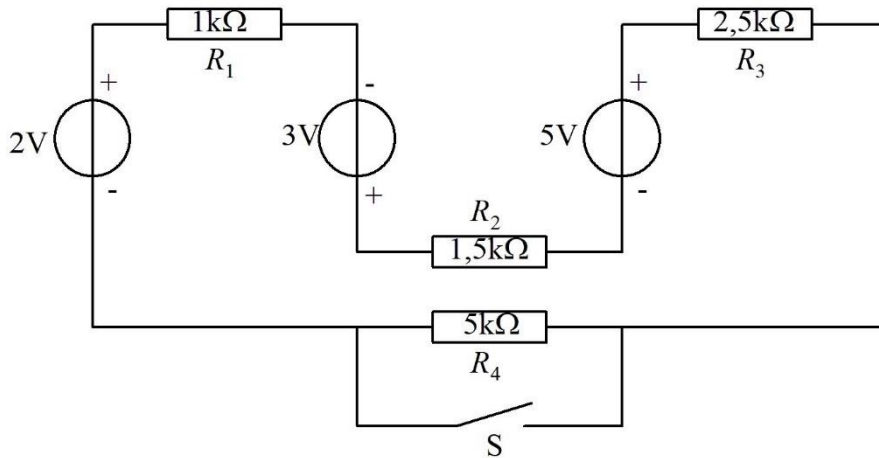


Dus  $R = 4\text{ V} / 0,1\text{ A} = 40\ \Omega$ . Antwoord A.



Terug naar de opgave

## 3.12.23 Uitwerking van Opgave 3-23



In de figuur zijn de drie spanningsbronnen met de weerstanden  $R_1$  t/m  $R_3$  op te vatten als

- A. Eén niet-ideale spanningsbron met een EMK van 4V
- B. Eén niet-ideale spanningsbron met een EMK van 10 V en een inwendige weerstand van 5 kΩ**
- C. Eén niet-ideale spanningsbron met een EMK van 10 V en een inwendige weerstand van 10 kΩ
- D. Drie in serie geplaatste spanningsbronnen met een totale inwendige weerstand van ongeveer 485 Ω.

**Uitwerking**

De EMK is  $2\text{ V} + 3\text{ V} + 5\text{ V} = 10\text{ V}$ . De inwendige weerstand is de vervangende weerstand van  $R_1$  t/m  $R_3$  in serie. Dat is  $1\text{ k}\Omega + 1,5\text{ k}\Omega + 2,5\text{ k}\Omega = 5\text{ k}\Omega$ . Dat is antwoord B.

**Opmerking**

De weerstand van 5 kΩ bij de schakelaar S is de uitwendige weerstand.



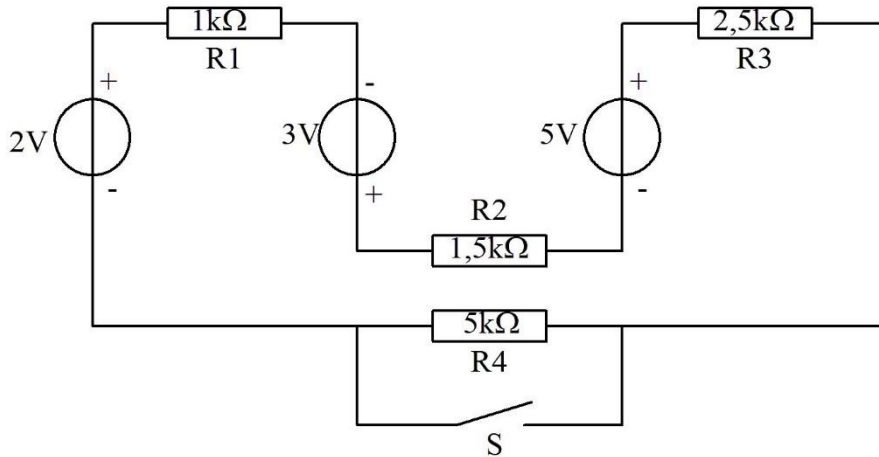
Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.24 Uitwerking van Opgave 3-24

In Opgave 3-23 zagen we dat de drie bronnen met weerstanden  $R_1$  t/m  $R_3$  te beschouwen zijn als één niet-ideale spanningsbron met een EMK van 10 V en een inwendige weerstand van 5 k $\Omega$ .



Bij geopende schakelaar S (de schakelaar geleidt dan dus niet) en gesloten schakelaar S is de stroom door  $R_2$  ongeveer gelijk aan

- A. 6,7 mA bij S open en 13,4 mA bij S dicht
- B. 2 mA bij S open en 1 mA bij S dicht
- C. 1 mA bij S open en 2 mA bij S dicht**
- D. 0,5 mA bij S open en 1 mA bij S dicht

#### Uitwerking

Bij geopende schakelaar S staat de inwendige weerstand van 5 k $\Omega$  in serie met  $R_4$  die ook 5 k $\Omega$  is. Samen vertegenwoordigen ze 10 k $\Omega$ . 10 V over 10 k $\Omega$  betekent 1 mA.

Als S gesloten is, doet  $R_4$  niet meer mee. De totale weerstand is dan 5 k $\Omega$ , de bronspanning nog steeds 10 V en de stroom dus 2 mA.

Antwoord C.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.25 Uitwerking van Opgave 3-25

Een batterij heeft een bronspanning van 10 volt en een inwendige weerstand van 1 ohm. De batterij wordt per ongeluk kortgesloten. In de batterij wordt een vermogen gedissipeerd van

- A. 0,1 W
- B. 1 W
- C. 10 W
- D. 100 W

#### Uitwerking

Bij kortsluiting is de uitwendige weerstand praktisch 0. De enige weerstand is dan de inwendige weerstand  $R_i$ . De dissipatie  $P$  bereken je dan volgens

$$P = \frac{U^2}{R_i}$$

$U$  bedraagt 10 V,  $R_i$  1  $\Omega$ . Dan is

$$P = \frac{100}{1} \text{ W} = 100 \text{ W}$$

Antwoord D.

#### Opmerking

De uitkomst geeft aan, wat er kan gebeuren als je een batterij kortsluit. Op zijn best hete vingers en op zijn slechtst een bijtende vloeistof uit de batterij, brand of een explosie.

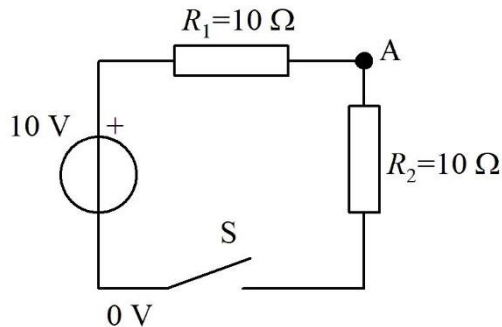


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.26 Uitwerking van Opgave 3-26



De spanning op punt A bedraagt

- A. 5 V bij geopende schakelaar S
- B. 5 V bij gesloten schakelaar S**
- C. 10 V bij gesloten schakelaar S
- D. 0 V bij geopende schakelaar S

#### Uitwerking

Hier wordt eigenlijk iets gevraagd over twee schakelingen, één met S open en één met S gesloten.

Als S open is, is er geen stroom en is de spanning op punt A 10 V. Bij de antwoorden staat er één met 10 V (antwoord C), maar met gesloten in plaats van geopende schakelaar S.

We kijken naar de schakeling met gesloten schakelaar.  $R_1$  en  $R_2$  zijn gelijk. Door elk van beide weerstanden loopt dezelfde stroom. Dan moet over beide dezelfde spanning staan. Volgens de tweede wet van Kirchhoff zijn die allebei 5 V, de helft van de bronspanning (EMK) van 10 V. Dan is de spanning op punt A 5 V. Antwoord B.

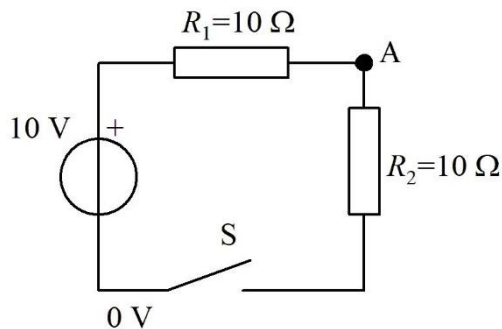


Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



### 3.12.27 Uitwerking van Opgave 3-27



In de figuur bij Opgave 3-26 is de dissipatie door  $R_1$

- A. 0 W bij gesloten schakelaar S
- B. 10 W bij gesloten schakelaar S
- C. 10 W bij geopende schakelaar S
- D. 2,5 W bij gesloten schakelaar S

#### Uitwerking

Zonder enig rekenwerk kunnen we vaststellen dat er bij geopende schakelaar geen stroom kan lopen en er dus ook geen dissipatie kan zijn. Daarmee kan antwoord C naar de prullenmand.

Bij gesloten schakelaar berekenen we de stroom door de schakeling en daaruit en uit de weerstand van  $R_1$  de dissipatie.  $R_1$  en  $R_2$  staan in serie en vormen samen een weerstand van  $20 \Omega$ .

Dan is  $I = U / (R_1 + R_2) = 10 \text{ V} / 20 \Omega = 0,5 \text{ A}$ . De dissipatie in  $R_1$  is dan gelijk aan  $I^2 R_1 = 0,25 * 10 \text{ W} = 2,5 \text{ W}$ . Antwoord D.

Het kan natuurlijk ook met de uitkomst van de vorige opgave. Over zowel  $R_1$  als  $R_2$  staat 5 V. Voor de dissipatie  $P$  in  $R_1$  geldt dan  $P = 5^2 / 10 \text{ W} = 2,5 \text{ W}$ . Dat klopt met de uitkomst voor de stroom. Voor  $R_2$  zouden we dezelfde uitkomst hebben gevonden, want beide weerstanden zijn even groot en er loopt dezelfde stroom door.



Terug naar de opgave