

Hoofdstuk 2 Lading

2.1. Wrijving

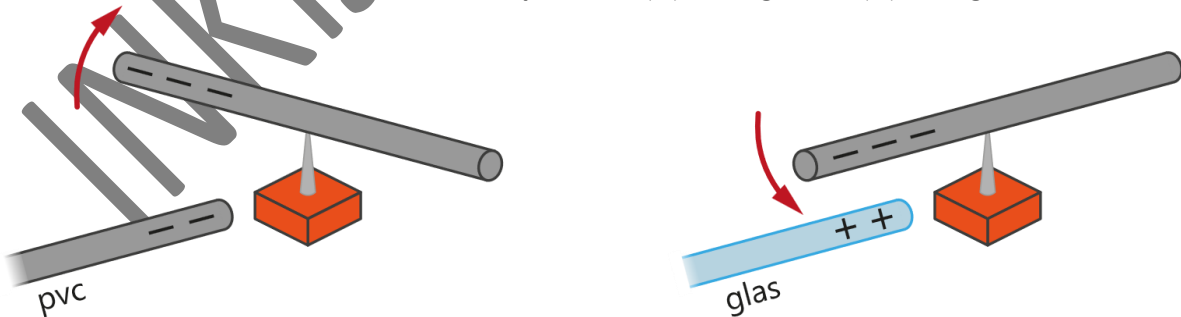
Soms is een voorwerp na wrijving **elektrisch geladen**. Je hebt dit ongetwijfeld al eens meegemaakt: je haren staan recht nadat je je trui uittrok, of nadat je van de glijbaan gaat.



Wrijf je twee pvc-staven (een soort plastic) op met pels, en een glazen staaf met papier, dan kan je waarnemen dat de pvc-staven elkaar afstoten, terwijl pvc en de glas elkaar aantrekken.



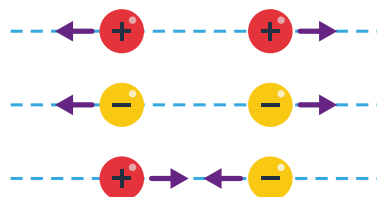
Aangezien er twee verschillende effecten waar te nemen zijn, moeten er wel twee soorten lading bestaan. We maken een onderscheid tussen **positieve (+)** en **negatieve (-)** lading.



EIGENSCHAP

Gelijksoortige ladingen stoten elkaar af.

Tegengestelde ladingen trekken elkaar aan.



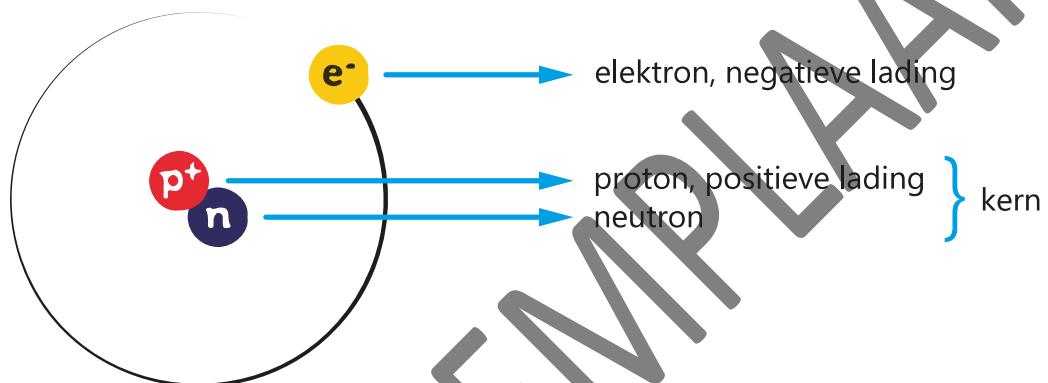
2.2. Oorzaak van lading

De aantrekking en afstoting die je kan waarnemen worden veroorzaakt door twee subatomaire deeltjes waar we in het vorige hoofdstuk kennis mee maakten.

EIGENSCHAP

Een elektron is de kleinst mogelijke **negatieve lading**, een proton de kleinst mogelijke **positieve lading**.

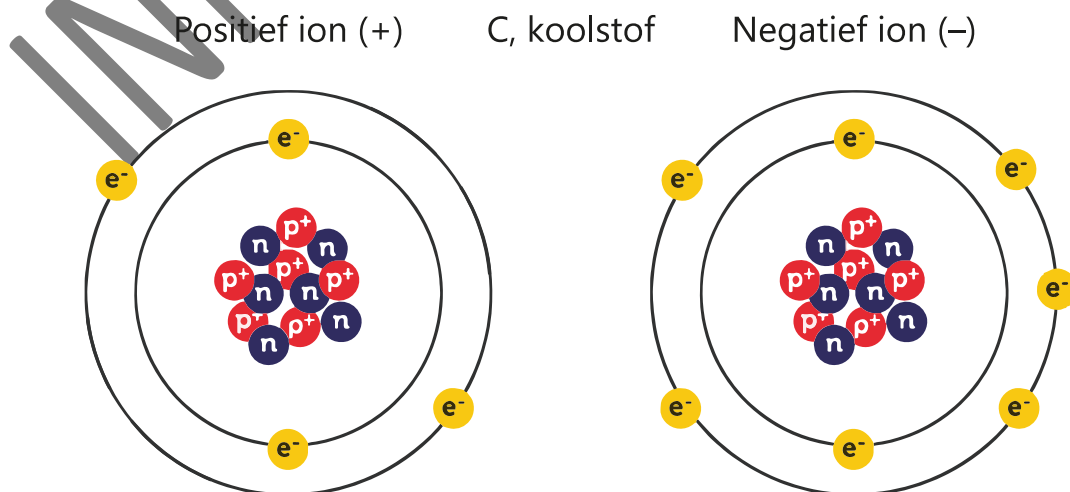
Het neutron heeft geen lading, het is **neutraal**.



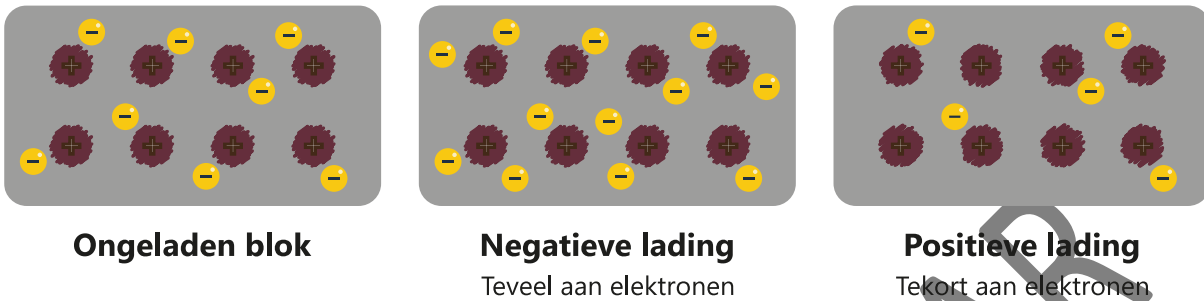
Een neutraal atoom bevat evenveel positieve lading (protonen) als negatieve lading (elektronen). Meer algemeen kan je zeggen dat een niet-geladen voorwerp neutraal is, en dus evenveel protonen als elektronen bevat.

Als een neutraal voorwerp lading opneemt of afstaat wordt het elektrisch geladen, dat wil zeggen dat de hoeveelheid positieve en negatieve lading verschillend wordt. In de praktijk kunnen enkel elektronen zich verplaatsen, omdat de protonen vastzitten in de kern.

Wanneer een atoom een lading krijgt spreken we van een **ion**.



Onderstaande figuur geeft een vereenvoudigde voorstelling van een metalen blok, een lichaam dat in werkelijkheid bestaat uit zeer veel atomen. Voor elk metaaldeeltje zijn er in ongeladen toestand evenveel elektronen als protonen aanwezig. Om het blok een lading te geven zal je elektronen moeten toevoegen (negatieve lading) of wegnemen (positieve lading).



Hoe komt het nu dat bij het experiment, de PVC-staaf een negatieve lading kreeg? Door wrijving met de pels sprongen er elektronen over van de pels naar de PVC-staaf. Dankzij die extra elektronen werd de staaf negatief geladen. De pels zelf verloor enkele van zijn elektronen; hij werd positief geladen.

2.3. Sterkte van een lading

Tijdens het experiment met de pvc- en glasstaven heb je wellicht al opgemerkt dat je de staven *sterker* kan laden door er langer over te wrijven. Deze sterkte werd zichtbaar doordat de staven elkaar harder gingen aantrekken of afstoten.

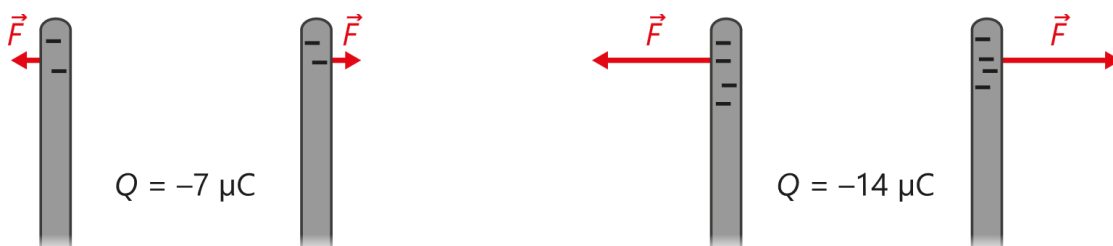
Hoe sterk een voorwerp elektrisch geladen is hangt af van hoeveel elektronen er werden overgedragen. De sterkte van de lading zouden we dus kunnen uitdrukken in het aantal elektronen. Het bestaan van elektronen werd echter pas aangetoond in 1897.

In het verleden, nog voor de ontdekking van elektronen en protonen, hebben wetenschappers ervoor gekozen om de **sterkte van een elektrische lading Q** uit te drukken in de eenheid **coulomb C**.

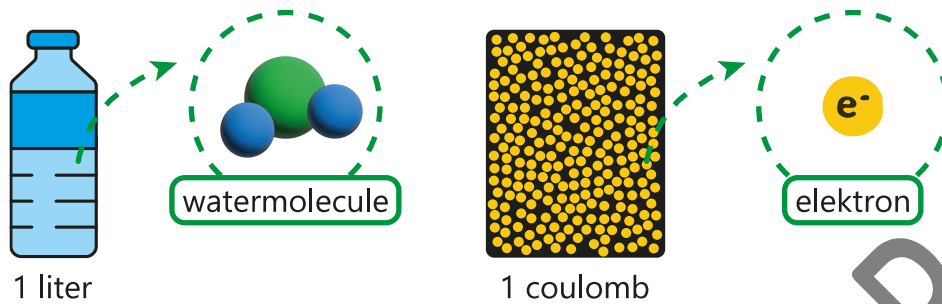
DEFINITIE

De **lading** van een voorwerp is een maat voor de elektrische krachtenwerking met een ander geladen voorwerp.

Grootheid:	lading	Q
Eenheid:	coulomb	C



Ondertussen weten we dat de elektronen en protonen verantwoordelijk zijn voor deze krachtenwerking. Toch is het éénevoudiger om te blijven werken met de eenheid coulomb. Bestudeer volgende analogie:



Een liter water bestaat uit een veelvoud van watermoleculen. Gelijkaardig bestaat een coulomb uit een veelvoud van elektronen.

Na verder wetenschappelijk onderzoek hebben wetenschappers gevonden dat een elektron een erg kleine lading heeft van $-1,602 \cdot 10^{-19}$ coulomb. De lading van een proton is even groot, maar tegengesteld.

CONSTANTE

Elektronen en protonen hebben de kleinst mogelijke lading. Uit experimenten blijkt:

$$Q_{e^-} = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$Q_{p^+} = +1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Met:	Q_{e^-}	lading van één elektron	[C]	coulomb
	Q_{p^+}	lading van één proton	[C]	coulomb

WEETJE



De eenheid van lading is vernoemd naar Charles-Augustin de Coulomb (1736 – 1806), een Fransman die veel onderzoek deed naar elektriciteit en een apparaat uitvond om de zwakke kracht tussen twee ladingen te meten. Hij ontdekte dat die kracht omgekeerd evenredig is met de afstand tussen de ladingen in het kwadraat, hierover leer je volgend jaar meer.

De lading van één elektron werd voor het eerst nauwkeurig bepaald door de Amerikaan Robert Millikan in 1909. In zijn *oliedruppelexperiment* liet hij minuscule geladen druppels olie zweven. Zijn gemeten resultaten waren altijd een exact veelvoud van $-1,602 \cdot 10^{-19}$.



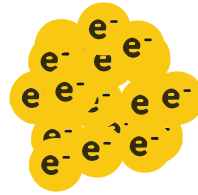
Nu je de lading kent van één elektron/proton kan je dit eenvoudig omrekenen naar de totale lading.



$$\begin{aligned} &1 \text{ elektron} \\ &-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ &1 \cdot Q_{e^-} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &2 \text{ elektronen} \\ &-3,204 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ &2 \cdot Q_{e^-} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &n_{e^-} \text{ elektronen} \\ &Q \\ &n_{e^-} \cdot Q_{e^-} \end{aligned}$$

DEFINITIE

De lading van een voorwerp is recht evenredig met het aantal elektronen/protonen (in overschot).

$$Q = n_{e^-} \cdot Q_{e^-}$$

$$Q = n_{p^+} \cdot Q_{p^+}$$

Met:	Q	lading	[C]	coulomb
	n_{e^-/p^+}	aantal elektronen/protonen	[]	
	Q_{e^-/p^+}	lading van één elektron/proton	[C]	coulomb

VOORBEELD

Hoeveel protonen zijn er nodig om een lading van 0,0430 C te bekommen?

Geg.: $Q = 0,0430 \text{ C}$
 $Q_{p^+} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ (constante)

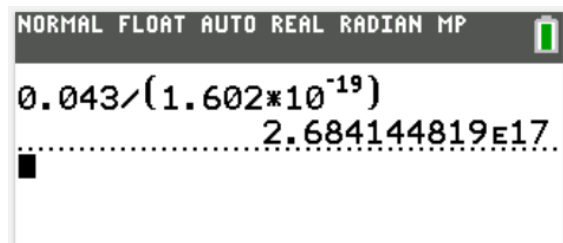
Gev.: $n_{p^+} = ?$

Opl.: $Q = n_{p^+} \cdot Q_{p^+}$

$$\Leftrightarrow \frac{Q}{Q_{p^+}} = n_{p^+}$$

$$\Leftrightarrow n_{p^+} = \frac{Q}{Q_{p^+}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,0430 \text{ C}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \\ &= 2,684144819 \cdot 10^{17} \\ &\rightarrow 2,68 \cdot 10^{17} \end{aligned}$$



Let goed op de haakjes en de E17 in je rekenmachine!

2.4. Geleiders en isolatoren

Een rijdende auto kan door wrijving met de omringende lucht geladen worden. Bij het uitstappen kun je dan een schokje voelen bij het aanraken van de auto. Je voelt dan dat lading overspringt naar je lichaam. Om dit te vermijden brengt men soms onderaan de achterkant van de wagen een strip aan. In die strip zitten metalen draadjes waarlangs de lading van de auto naar de aarde kan wegstromen.



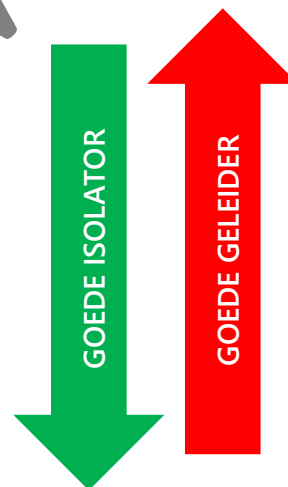
Het voorbeeld geeft aan dat er verschillende soorten materiaal bestaan. De banden van een auto bestaan uit rubber, dat lading slecht transporteert. Daardoor kan de lading op de wagen ophopen. De metalen draadjes in de strip transporteren de lading veel beter, en laten hem wegstromen naar de aarde.

DEFINITIE

Geleiders zijn materialen die lading vlot transporteren.

Isolatoren zijn materialen die lading slecht transporteren.

Materiaal	Geleidbaarheid[S/m]
/	∞
Zilver	$6,29 \cdot 10^7$
Koper	$5,95 \cdot 10^7$
IJzer	$9,17 \cdot 10^6$
Zeewater	~ 5
Gedemineraliseerd water	$5,6 \cdot 10^{-6}$
Droge lucht	$\sim 10^{-12}$
Rubber	$\sim 10^{-13}$
Vacuüm	0



De beste geleiders zijn allemaal metalen. Dat komt door de unieke eigenschap van de metaalbinding om haar elektronen relatief vrij te laten bewegen doorheen de stof.

WEETJE

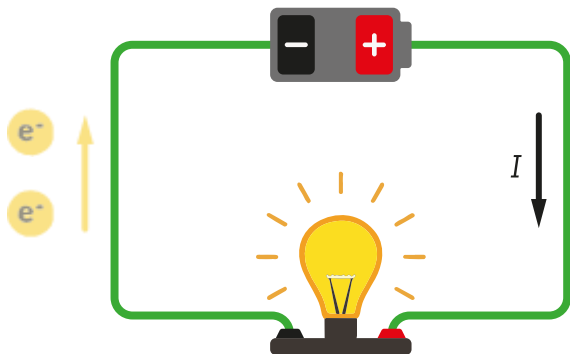
Van alle metalen is zilver de beste geleider, maar toch gebruikt men meestal koper. Het verschil in geleidbaarheid tussen beide materialen is erg klein. Als je de prijs mee in rekening neemt is koper voordeliger.

Een kilogram zilver kost wel 100 keer meer dan een kilogram koper. De exacte marktprijs verschilt van dag tot dag.

Hoofdstuk 5 Spanning

5.1. Spanning

We nemen de stroomkring opnieuw onder de loep.



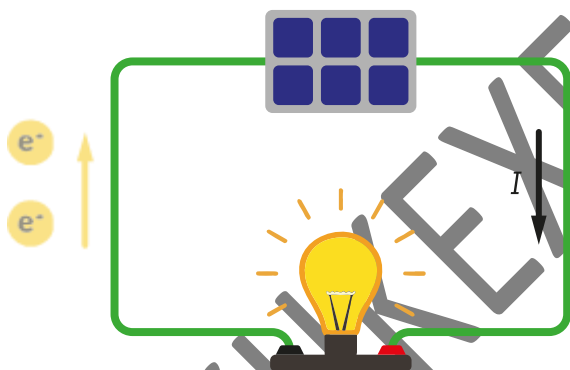
Bekijk de batterij bovenaan. Elektronen vol energie vertrekken in de batterij.

Ter hoogte van de lamp spelen de elektronen hun energie kwijt, hun elektrische energie wordt omgezet in stralingsenergie en warmte.

Energieleze elektronen komen terug aan in de batterij.



Opmerking: eigenlijk bewegen de elektronen in de tegengestelde zin; voor de eenvoud gaan we dit vanaf nu negeren.



In een zonnepaneel komen energieleze elektronen aan. Het paneel geeft hun extra energie en de elektronen gaan weer op pad richting lamp.

Hoewel de inwendige werking van de bron verschilt (dit leer je later), is het effect op de stroomkring in beide voorbeelden gelijk. We kunnen concluderen dat rondgaande elektronen/lading een hoeveelheid energie **ontvangen** in de bron, en deze weer **afgeven** in de verbruiker.

Hoeveel energie de bron uitdeelt hangt af van hoeveel lading erdoor stroomt. Elke bepaalde hoeveelheid lading ontvangt telkens eenzelfde hoeveelheid energie. De constante verhouding tussen beide wordt gedefinieerd als de elektrische spanning.

DEFINITIE

De **spanning** is de hoeveelheid elektrische energie die de ladingen ontvangen/afgeven, per eenheid verplaatste lading.

$$U = \frac{\Delta E}{\Delta Q}$$

Met:	U	spanning	[V]	volt
	ΔE	energieverschil of -hoeveelheid	[J]	joule
	ΔQ	hoeveelheid (verplaatste) lading	[C]	coulomb

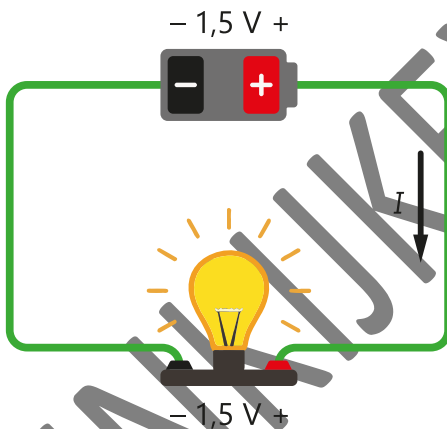
! Zonder stroom, zonder ladingsverplaatsing, wordt er geen elektrische energie omgevormd (ontvangen noch afgegeven). Toch spreken we ook zonder stroom van een spanning.

NAAMGEVING

Batterijen, generatoren, stopcontacten... noemen we **spanningsbronnen**. Ze zorgen voor een constante spanning, terwijl de stroom afhankelijk is van het aangesloten toestel.

Enkele typische spanningen:

- AA-batterij 1,5 V gelijkspanning
- Autobatterij 12 V gelijkspanning
- Stopcontact 230 V wisselspanning
- Hoogspanning 1 kV – 380 kV wisselspanning



In een stroomkring met één bron en één verbruiker zal de spanning van de bron ook over de verbruiker komen te staan. Dat is een gevolg van de wet van behoud van energie.

WEETJE

De eenheid van spanning is vernoemd naar de Italiaan Alessandro Volta (1745 – 1827). In 1800 vond hij een primitieve vorm van de batterij uit; de eerste betrouwbare bron die een constante spanning kon aanhouden.

De batterij vergemakkelijkte het onderzoek naar elektriciteit en plaveide de weg naar verdere ontdekkingen. Latere wetenschappers perfectioneerden de batterij tot een handige energiebron voor de gemiddelde burger.



5.2. Weerstand

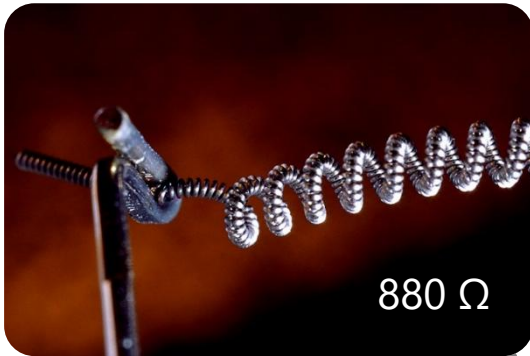
5.2.1. Weerstand van een verbruiker

Sluit je een verbruiker aan op een spanningsbron, dan zorgt die bron voor een stroom. Eén vraag blijft nog onbeantwoord: hoeveel stroom ontstaat er?



Hoeveel stroom een spanningsbron zoals een stopcontact of een batterij veroorzaakt hangt af van het precieze toestel dat je erop aansluit. Meer specifiek van de **vorm** en het **soort materiaal** waaruit de geleidende delen van dat toestel bestaan.

We bekijken twee voorbeelden:



Een close-up van het filament van een gloeilamp. Het is gemaakt van goed geleidend wolfram, maar is slechts 0,05 mm dik, wat een stroom van enkele honderden milliampères teweegbrengt.



Het verwarmingselement van een friteuse bestaat uit matig geleidend nichroom. Deze geleider is veel dikker, waardoor de meeste friteuses rond de 10 A trekken.

Samengevat: verbruikers bieden **weerstand** tegen de beweging van elektronen. De stroomsterkte zal klein zijn bij een grote weerstandswaarde, en omgekeerd.

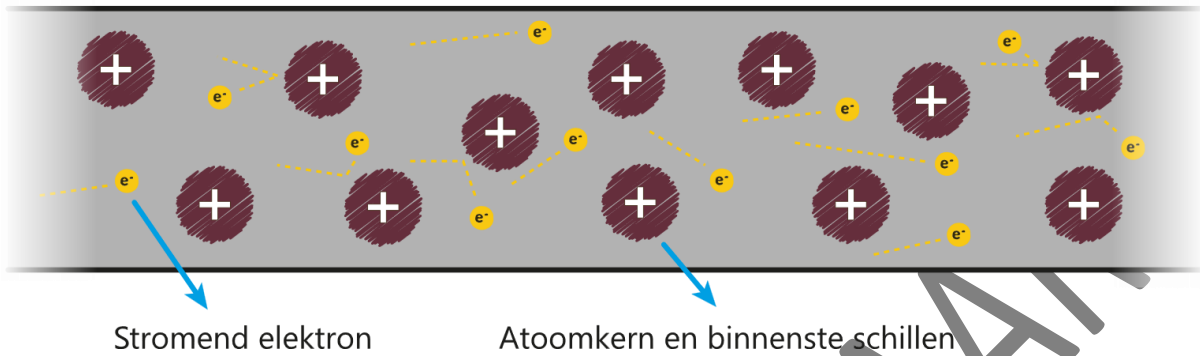
DEFINITIE

Weerstand is de eigenschap van verbruikers om elektrische stroom te bemoeilijken.

Grootheid:	weerstand	R
Eenheid:	ohm	Ω

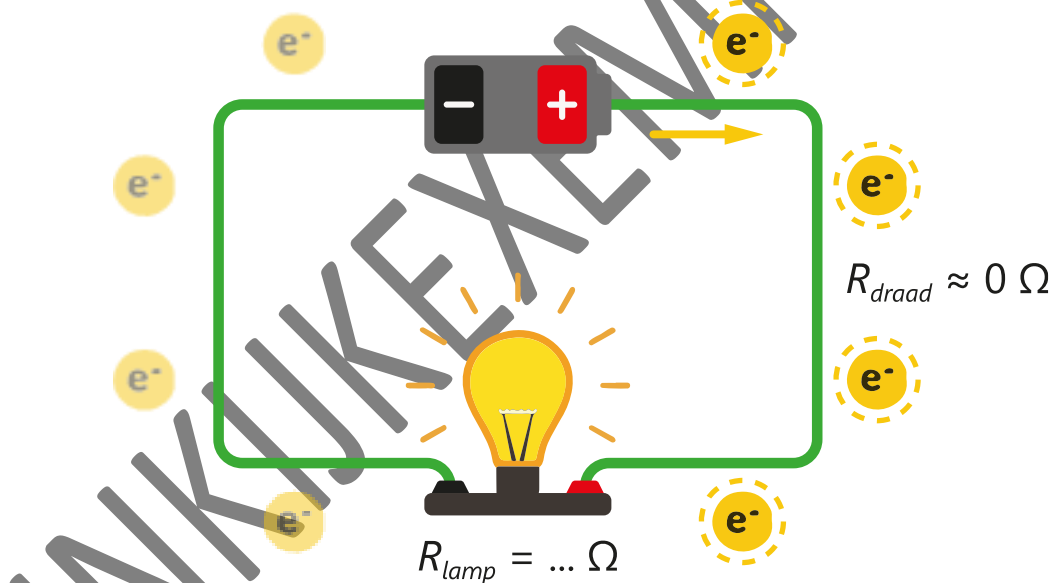
De exacte wiskundige relatie tussen spanning en stroom komt in een later hoofdstuk aan bod, net als hoe de vorm en het materiaal de weerstandswaarde precies beïnvloeden, en welke andere factoren er nog een impact kunnen hebben op de weerstand.

Hoe komt het dat een materiaal weerstand biedt? Dit valt te verklaren met het deeltjesmodel. De aanwezige vrije elektronen moeten zich een weg banen door het materiaal, maar botsen hierbij tegen de aanwezige atoomkernen. Hoe meer botsingen, hoe meer weerstand. Bij elke botsing *verliezen* de elektronen wat van de energie die ze in de bron hadden gekregen.



5.2.2. Weerstand van een verbindingdraad

In onderstaande stroomkring spelen de elektronen hun energie kwijt in de lamp, omdat die ze niet zomaar doorlaat: de lamp biedt weerstand.



Bij het bewegen door de verbindingdraad stellen we dat de elektronen geen energie verliezen. Elk materiaal biedt weerstand, maar de draad is zo'n goede geleider dat dit verwaarloosbaar is ten opzichte van de weerstand van de lamp.

AFSPRAAK

De weerstand van draden is **verwaarloosbaar klein**. Praktisch nemen we 0Ω als weerstand van een draad, tenzij anders vermeld.