PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS 1

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede, herziene druk 1976
Derde druk 1977
Vijfde, herziene druk 1979

161210

PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS 1

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

OVER DEZE SCANS
Als basis voor deze scans hebben wij gebruik gemaakt van de door 'Freeservicemanuals' in 2018 gemaakte scans. Wij hebben de pagina's van deze scans echter zorgvuldig naar de originele staat gerestaureerd, onder andere door alle persoonlijke notities en de antwoorden op alle oefeningen en vragen te verwijderen.

Tweede, herziene druk 1976
Derde druk 1977
Vijfde, herziene druk 1979

161210

DEEL A BASISELEKTRONICA

INHOUDSOPGAVE

A 1

I N L E I D I N G

AAN DE START

U gaat beginnen aan een cursus "Bedrijfselektronica". Ongetwijfeld hebt u bepaalde verwachtingen van deze cursus en bent u misschien zelfs ongeduldig, omdat u zo snel mogelijk enig inzicht wil verkrijgen in de "geheimen" van de elektronica. Het zal duidelijk zijn dat het volgen van een dergelijke cursus de nodige inspanning vraagt. Het feit dat u er aan begonnen bent bewijst dat u daar niet tegenop ziet. Toch kunnen we ons voorstellen dat u nog maar een vaag idee hebt van wat u in deze cursus te wachten staat. Het lijkt ons daarom nuttig om te beginnen met u iets meer te vertellen over de inhoud van de cursus "Bedrijfselektronica".

INHOUD VAN DE CURSUS

De hele cursus is opgebouwd uit 4 stukken, die we *trajecten* noemen. Op de volgende bladzijde ziet u deze opbouw in een zogenaamd "blokschema".
De trajecten zijn: AS, BS, CS en DS. Deze trajecten zijn bedoeld om u de kennis bij te brengen die noodzakelijk is om met begrip in de elektronica te kunnen werken.

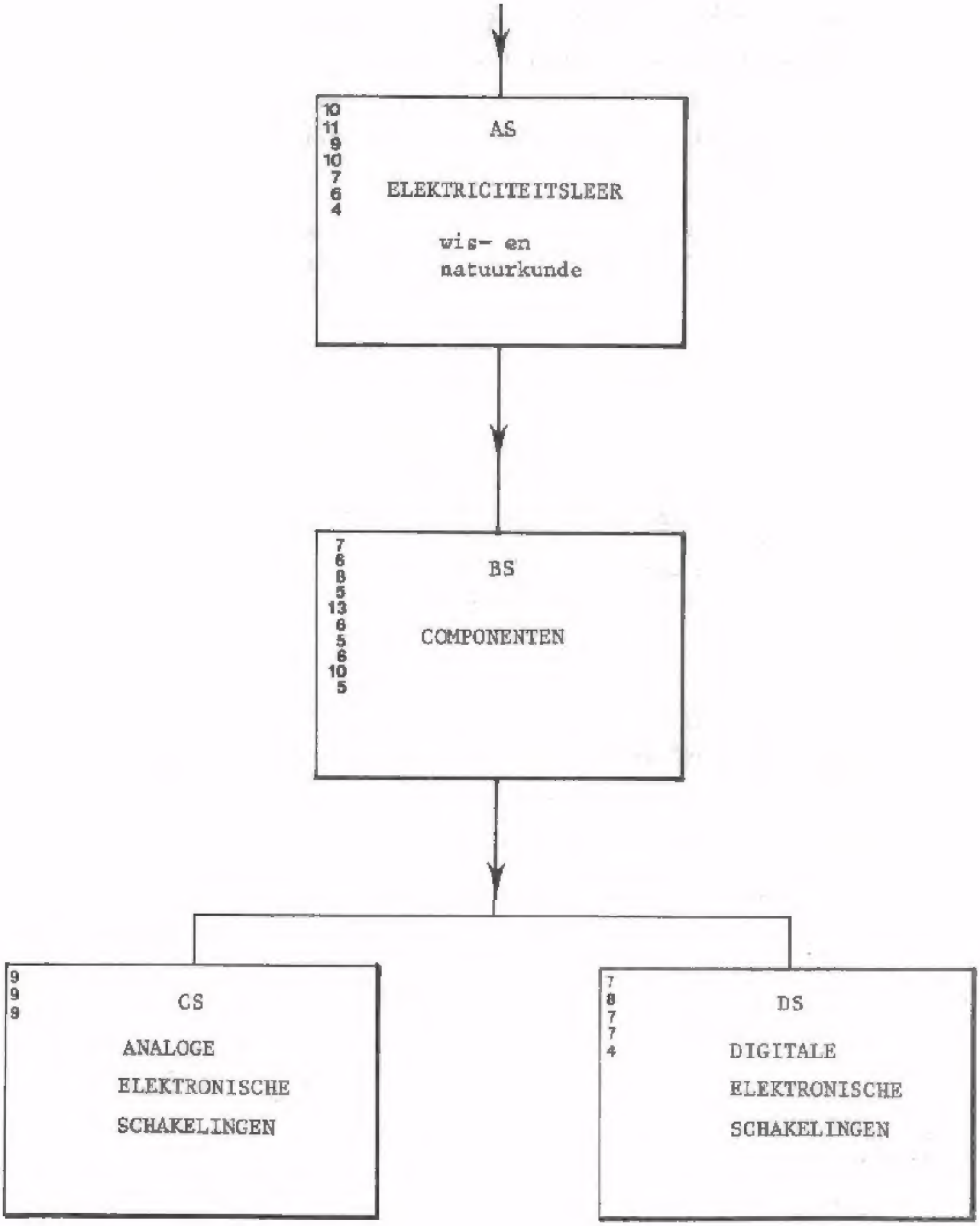
In traject AS wordt een onmisbare basis gelegd. Een aantal steeds terugkerende begrippen uit de elektriciteitsleer komt hier ter sprake. Dit is echter niet mogelijk zonder daarbij ook enige aandacht te besteden aan wat eenvoudige rekenkunde, algebra, meetkunde en natuurkunde.
Dit traject AS , waarmee de cursus begint, zullen we straks nog uitvoeriger bespreken.

In traject BS komen de verschillende elektrische onderdelen - de zogenaamde "componenten" - aan de orde. Hier maakt u kennis met de eigenschappen en toepassingen van b.v. weerstanden, condensatoren, spoelen, transformatoren en halfgeleiders.

In traject CS en DS tenslotte krijgen we te maken met complete elektronische schakelingen, zoals gelijkrichters, versterkers, oscillatoren, enz.

In elk traject wordt de lesstof behandeld door kleine stukken theorie af te wisselen met oefeningen en proeven. De proeven bestaan meestal uit metingen aan componenten en schakelingen, met behulp van elektronische meetapparaten.

BLOKSCHEMA VAN DE CURSUS



Intussen hebt u waarschijnlijk in het blokschema in elk traject reeds een rij getallen opgemerkt. Deze rij getallen geeft aan uit hoeveel boeken het traject bestaat en elk van de getallen geeft aan hoeveel lessen in één boek zijn ondergebracht. Na elk boek volgt een test waaraan uzelf en uw docent kunnen zien of u de gewenste vorderingen maakt. Elke les die 100 à 150 minuten duurt en waaraan u thuis ook nog minstens 1 uur dient te besteden, is van een volgnummer voorzien. Deze eerste les draagt nummer A1.

In het blokschema van de cursus is te zien, dat traject A b.v. 57 van deze lessen bevat. Verder zitten er 7 testlessen.

Vul zelf eens in:

De cursus "Bedrijfselektronica" heeft:

______________ boeken in het traject A

en bevat ______________ lessen

en ______________ testen.

De gehele cursus bestaat dus uit:

______________ boeken

______________ lessen

______________ testen.

We zullen het eerste traject eens wat nauwkeuriger bekijken.

TRAJECT A

Nu we een indruk hebben van de gehele cursus gaan we wat nauwkeuriger kijken naar het eerste traject.

De opbouw van traject A is op volgende bladzijde in een blokschema weergegeven. Duidelijk is hierin een hoofdlijn te onderscheiden: van "Gelijkstroom en -spanning", via "Wisselstroom en -spanning" naar "Enkele toepassingen". Dit stuk van het vak vat men dikwijls samen onder de naam: "Gelijk- en wisselstroomtheorie". Naast de hoofdlijn treft u links twee blokken "Wis- en natuurkunde aan. In deze cursus worden de vakken wiskunde en natuurkunde niet afzonderlijk gegeven. Voor een goed begrip van de gelijk- en wisselstroomtheorie is het echter nodig dat u enkele regels uit de rekenkunde en algebra kunt toepassen en dat u enige grondbeginselen van de natuurkunde kent. Op het moment dat we in de gelijk- en wisselstroomtheorie de noodzaak gaan voelen aan wat wis- of natuurkunde brengen we dit ter sprake.

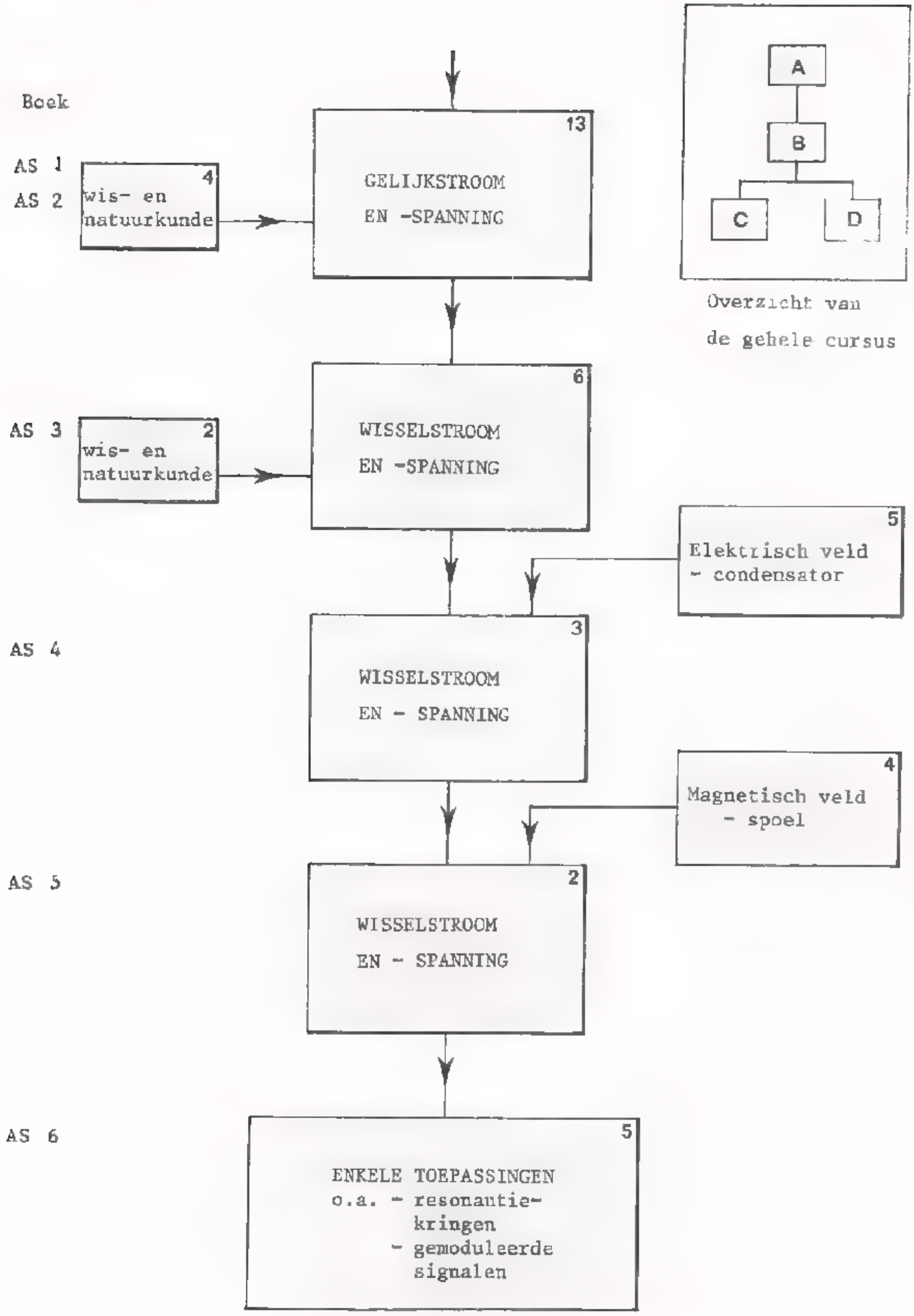
Iets lager in het blokschema staat rechts een blok "Elektrisch veld" en daaronder een blok "Magnetisch veld". Op deze twee plaatsen wordt de hoofdlijn onderbroken, omdat we voor een goed begrip van de wisselstroomtheorie enige extra kennis van de condensator en de spoel niet kunnen missen.

In de blokken van het traject A staan telkens de aantallen lessen aangegeven. De laatste les of lessen van elk boek is herhaling. Het laatste boek van elk traject bevat uitsluitend herhalingslessen, waarin al het geleerde nog eens met elkaar in verband gebracht wordt.

Reken eens uit:

In traject A is het aantal lessen dat gereserveerd is voor herhalingen en tests: ______ - ______ = ______ stuks, (zie inhoudsopgave).

BLOKSCHEMA VAN TRAJECT A



HOE GAAN WE TE WERK?

In vele cursussen gaat het ongeveer als volgt:

> "Voor de klas staat in een wolk van krijtstof een schoolmeester. Hij weet alles heel goed en hij tracht met veel omhaal van woorden iets daarvan bij te brengen aan zijn leerlingen. Vele leerlingen verliezen al in het begin van de les de draad van het verhaal. Ze zitten wat lusteloos in hun banken te wachten totdat het huiswerk wordt opgegeven. Buiten de klas moeten zij dan de lesstof nog gaan begrijpen en verwerken".

Deze voorstelling is misschien wat overdreven, maar iets daarvan zult u toch wel herkennen. Het is begrijpelijk dat het moeilijk is om zó de moed er in te houden. Laten we heel duidelijk stellen, dat wij *niet* op deze manier gaan werken!

Iedere cursist dient bij elke les actief bezig te zijn. Hij moet het juist van de les hebben; thuis moet hij de lesstof hoogstens nog eens doorlezen en verdere routine opdoen. De activiteit in de klas gaan we op verschillende manieren bevorderen.

- De lesstof staat geheel en duidelijk op papier. De nodige kennis kunt u opdoen door goed te lezen. De leraar geeft aanwijzingen en toelichtingen, helpt u bij uw moeilijkheden, maar houdt geen lange redevoeringen.
- In de lessen is er voortdurend afwisseling van "theoretische gedeelten met oefeningen" en "proeven die u zelf doet". U leest, maakt berekeningen, voert metingen uit, enz., zodat u voortdurend bezig blijft tijdens de les.

Deze manier van werken wijkt nogal af van wat er meestal in klassen gebeurt en u zult er wel even aan moeten wennen. Wij hebben de overtuiging dat deze werkwijze niet alleen veel plezieriger is, maar ook dat u zich de elektronica veel sneller en beter eigen zult kunnen maken.

Nog een laatste opmerking:

De leraar is er voor u! Als u iets niet snapt - en natuurlijk komt dat regelmatig voor -, vraag hem dan om uitleg. Hij zal zijn uiterste best doen om uw moeilijkheden te helpen oplossen; daar is hij voor!

DE BEDRIJFSELEKTRONICUS

Reeds verschillende malen is in het voorafgaande gesproken over de "Bedrijfselektronica". Wat betekent "*ELEKTRONICA*" eigenlijk? Dit woord is afkomstig van *elektron*. In de volgende les zult u leren dat elektronen zéér kleine deeltjes zijn die in elke stof voorkomen. Als deze deeltjes zich in een stof verplaatsen, dan krijgen we een elektrische stroom. Elektronen zijn er altijd en ze zijn overal. Maar of zij zich verplaatsen, en hoe zij zich verplaatsen hangt van een groot aantal omstandigheden af. De regels en de wetten waarin de gedragingen van elektronen zijn samengevat vormen de "elektronenleer" of *elektronica*.
Als we de regels en de wetten van de elektronica kennen, dan is het mogelijk om zélf te bepalen wanneer, waar, hoe en hoeveel elektronen er verplaatst zullen worden. Men kan dan vooraf berekenen wat er zal gebeuren. Kortweg: We kunnen de elektronen "besturen".

Wat is nu een "bedrijfselektronicus"? Dat is niet gemakkelijk in een paar woorden te beantwoorden. Wel kunnen we vertellen wat u zult leren door deze cursus "bedrijfselektronica" te volgen.

WAT KUNT U AAN HET EINDE VAN DE CURSUS?

Aan het einde van de cursus verwachten we:

- dat u de voornaamste spelregels van de elektronica met begrip kunt toepassen en eenvoudige berekeningen die daarbij nodig zijn kunt uitvoeren.

- dat u tekeningen en schema's van elektronische apparaten en schakelingen kunt lezen en de werking van apparaten met behulp daarvan kunt beredeneren.

- dat u elektronische apparaten kunt bouwen aan de hand van schema's en tekeningen; hierbij zult u soms zelf moeten beslissen over de keuze en de opstelling van de onderdelen.

- dat u door middel van metingen kunt controleren of een apparaat goed functioneert.

- dat u defecten kunt opsporen en doelmatig herstellen althans in niet te moeilijke gevallen.

We horen u al zeggen: "Nou, nou, dat is héél wat!"
Inderdaad, er wordt heel wat van u gevraagd. Ter geruststelling willen we u een indruk geven van de manier waarop we dit denken te bereiken.

OPBOUW VAN ELEKTRONISCHE APPARATEN

Alle elektronische apparaten zijn opgebouwd uit één of meer delen die *schakelingen* heten. Deze schakelingen vervullen elk een eigen functie in het apparaat. Voorbeelden: gelijkrichter, versterker, oscillator, detector.

Om de werking van een geheel apparaat te kunnen begrijpen is het nodig eerst de werking en eigenschappen van elke afzonderlijke schakeling door te hebben.

Een schakeling bestaat uit een uitgekiende combinatie van componenten, zoals: weerstanden, condensatoren, spoelen, buizen, halfgeleiders, enz. De werking van de schakeling hangt dus af van de rol die de verschillende componenten vervullen. Een gedegen kennis van het gedrag en de eigenschappen van de componenten is dus vereist.

Maar hoe listig de combinatie van onderdelen ook gekozen wordt, een component - en dus ook de schakeling- blijft een "dood ding" zolang we niet beschikken over een of andere vorm van elektriciteit.

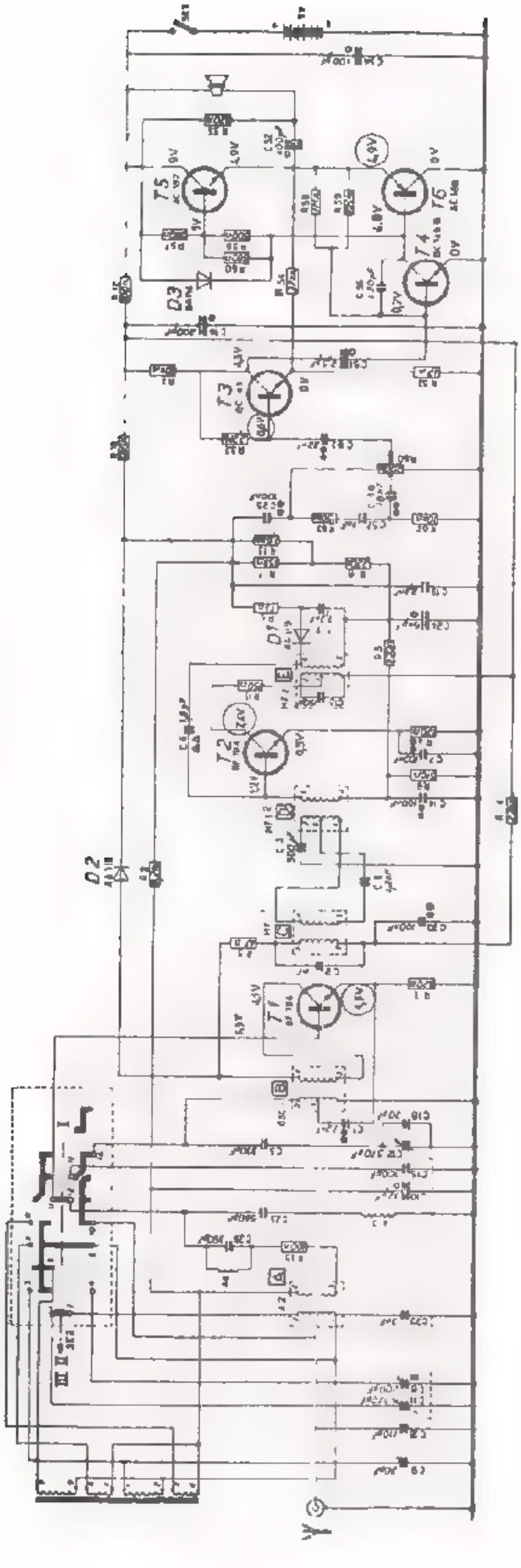
Om het gedrag en de eigenschappen van de diverse componenten te leren kennen moeten we dan ook eerst weten in welke "vormen" elektriciteit kan voorkomen - als gelijk- en wisselstroom bijvoorbeeld - en hoe elektriciteit zich gedraagt.

Als U nog eens kijkt naar pagina A1.3, dan vindt U deze logische opbouw ook in de cursus terug. Eerst "electriciteitsleer", dan "componenten" en tenslotte "electronische schakelingen".

WE KIJKEN IN EEN APPARAAT

Als we een willekeurig elektronisch apparaat van binnen bekijken, dan zien wij een enorme chaos van onderdelen. Zodra we echter in staat zijn deze onderdelen te herkennen en bij naam te noemen, dan zal blijken dat er maar een klein aantal wezenlijk verschillende soorten zijn. Om u daar een voorbeeld van te geven volgt een oefening.

Op volgende bladzijde staat het zogenaamde *principeschema* van een zakradio. Zo'n principeschema geeft aan hoe de verschillende componenten met elkaar verbonden zijn om tezamen een apparaat te vormen.


T1
T2
T3
T4
T5
T6
D1
D2
D3

In een principeschema worden de componenten niet getekend zoals ze er in werkelijkheid uitzien, maar worden ze voorgesteld door een *symbool*.

Bekijk het schema eens rustig. Het valt onmiddellijk op, dat een bepaald figuurtje dikwijls voorkomt:

Dit is het symbool voor een *weerstand*.

- Kleur alle weerstanden in dit schema nu eens rood en tel op hoeveel er in staan.

Antwoord: Er zijn: [weerstanden.]

Een eveneens vaak voorkomend symbool is:

Dit is het symbool voor een *condensator*.

- Zet een rood cirkeltje om elke condensator en vermeld het aantal:

[condensatoren.]

Verder zien we nog:

Dit is het symbool voor een *spoel*.

- Zet met rood een schuine streep door elke spoel en tel ze.

Er zijn: [spoelen.]

Temidden van de vele weerstanden, condensatoren en spoelen ziet u een enkele keer het volgend symbool:

Dit is het symbool voor een *transistor*.

- Kleur alle transistoren in het schema rood en tel hoeveel het er zijn.

[transistoren.]

Als u in het schema bekijkt wat er nog over blijft, dan zult u niet veel meer ontdekken. Er zijn nog maar vier niet gekleurde symbolen,

batterij met meerdere cellen — schakelaar — luidspreker — halfgeleider-diode

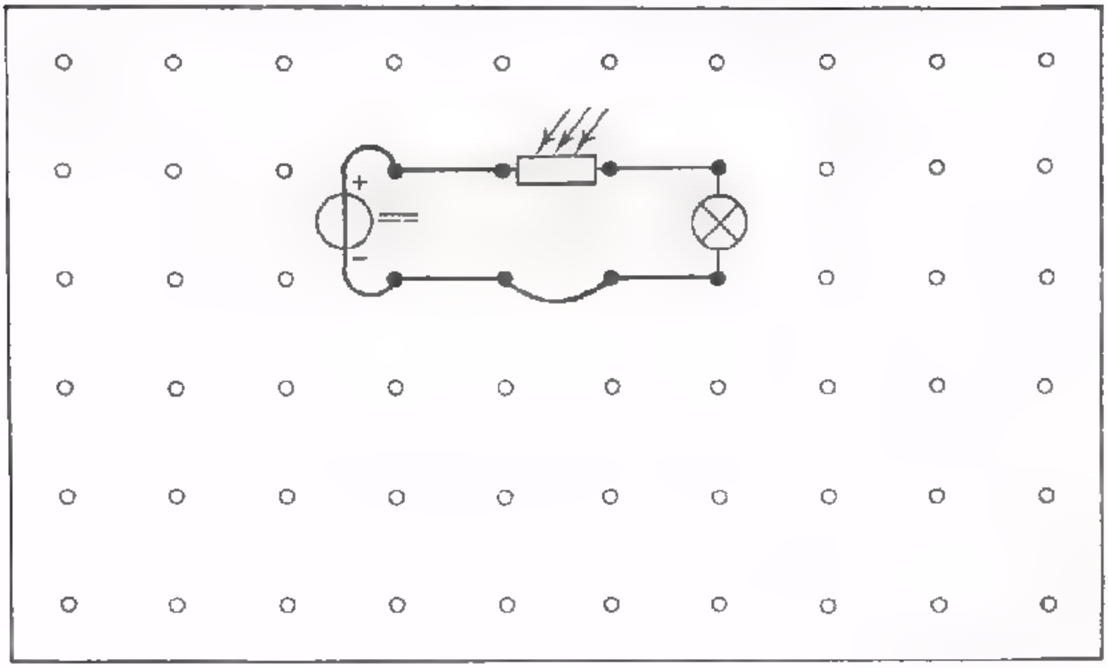
U hebt gemerkt, dat er in zo'n apparaat maar enkele wezenlijk verschillende componenten veelvuldig voorkomen. Wel zijn er in elk soort component een aantal variaties mogelijk, wat betreft: uiterlijk, constructie, afmetingen, waarde, al of niet regelbaarheid, enz.

HET OEFENPANEEL

De werking van componenten en schakelingen laat zich op papier en schoolbord wel verklaren. Maar de praktijk, het zèlf doen, is nog altijd de beste leermeester. Daarom zullen we in deze cursus dikwijls gebruik maken van panelen, waarop schakelingen snel en eenvoudig opgebouwd kunnen worden. Daarvoor heeft u een oefenpaneel ter beschikking, waarop uzelf door middel van stekerverbindingen allerlei schakelingen kunt opbouwen.

Om u alvast een voorproefje te geven zullen we u een eenvoudige schakeling op dit paneel laten bouwen. Op volgende bladzijde is het bovenaanzicht van het paneel afgebeeld. Schematisch is daarop een schakeling weergegeven met een gloeilampje en een lichtafhankelijke weerstand. Bouw deze schakeling op het paneel.

BOVENAANZICHT OEFENPANEEL MET EENVOUDIGE SCHAKELING



gelijkspanningsbron

van licht afhankelijke weerstand (LDR)

lampje

verbindingsstripjes zijn recht getekend

verbindingssnoeren zijn gekromd getekend.

TESTEN

Deze les was bedoeld om u wegwijs te maken in de cursus en bovendien als een eerste kennismaking met de elektronica.
Het heeft op dit moment niet veel zin om over het voorafgaande een serieuze test af te nemen. Toch doen we dit, omdat u zodoende kennis maakt met een soort test die we vaak zullen gaan gebruiken.

De volgende test is van een bijzondere soort. Bij iedere vraag staan 4 antwoorden, waarvan er maar één goed is. Achter dit goede antwoord moet u een vakje zwart maken.

Voorbeeld:

7 x 8 =

42	O
56	O
63	O
72	O

Nog een voorbeeld om te wennen: Maak één vakje zwart:

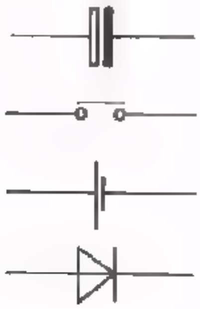
De hoofdstad van Spanje is:

Barcelona	O
Lissabon	O
Gibraltar	O
Madrid	O

TEST

Maak telkens een vakje zwart bij het goede antwoord. Kijk desnoods nog even op de voorafgaande bladzijden.

1. Het schemateken voor een batterij is:



O

O

O

O

2.

Dit symbool is het schemateken voor een:

weerstand	O
spoel	O
condensator	O
geen van deze	O

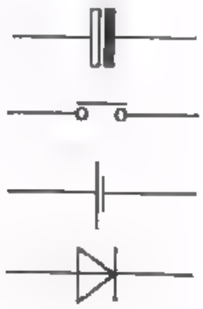
3. Reeds enige malen is het woord "componenten" gebruikt. Componenten zijn:

Onderdelen van schakelingen	O
Blokken in een blokschema	O
Onderdelen van een les	O
Onderdelen van een traject	O

TEST

Maak telkens een vakje zwart bij het goede antwoord. Kijk desnoods nog even op de voorafgaande bladzijden.

1. Het schemateken voor een batterij is:



O

O

O

O

2.

Dit symbool is het schemateken voor een:

weerstand O

spoel O

condensator O

geen van deze O

3. Reeds enige malen is het woord "componenten" gebruikt. Componenten zijn:

Onderdelen van schakelingen O

Blokken in een blokschema O

Onderdelen van een les O

Onderdelen van een traject O

4.  Dit is het schemateken voor een:

lichtafhankelijke weerstand O
gloeilamp O
elektronenbuis O
geen van deze O

5. Het traject B bevat circa 85 lessen. Hiervan zijn voor herhalingen en testen gereserveerd:

25 lessen O
20 lessen O
ongeveer 10 lessen O
ik kan het niet weten O

6. In deze cursus "Bedrijfselektronica" komen vier trajecten voor. Welke van de volgende beweringen is juist?

Ieder traject bevat evenveel lessen. O
Ieder traject bevat evenveel testen. O
Ieder traject bevat evenveel boeken. O
De trajecten A en B bevatten elke ongeveer evenveel lessen als de trajecten C en D tezamen. O

A 2

E L E K T R I S C H E   S T R O O M

ATOMEN, KERNEN EN ELEKTRONEN

Alle stof, ook wel materie genoemd, bestaat uit *moleculen*. Water b.v. bestaat uit watermoleculen. Een molecuul is al zeer klein, maar blijkt uit nog kleinere deeltjes opgebouwd: *atomen*. Een watermolecuul b.v. bestaat uit twee atomen waterstof en een atoom zuurstof. Elk atoom is op zijn beurt samengesteld uit een *atoomkern*, waaromheen *elektronen* draaien.

Elektronen zijn in alle opzichten dezelfde deeltjes. Zij blijken elkaar af te stoten. Ook atoomkernen blijken elkaar af te stoten. Atoomkernen en elektronen blijken elkaar echter aan te trekken. Dit alles kunnen we kort samenvatten als:

- Gelijknamige deeltjes stoten elkaar af.
- Ongelijknamige deeltjes trekken elkaar aan.

Van dit gedrag zegt men: "Elke atoomkern en elk elektron heeft een *elektrische lading*". Daarbij hebben de kernen een ander soort lading dan de elektronen.

Atoomkernen zowel als elektronen oefenen een kracht uit op geladen deeltjes in de buurt. Een volledig atoom doet dit niet. Het is net alsof de lading van de kern en die van de elektronen eromheen elkaars werking opheffen. We zeggen dat een volledig atoom zich als een ongeladen deeltje gedraagt, of kortweg: "Een volledig atoom is *neutraal*".

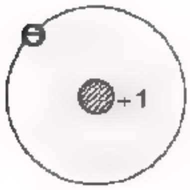
Men heeft afgesproken de ladingssoort van de kernen *positief* te noemen en die van de elektronen *negatief*. De reden hiervoor is de volgende. De werking van de kernlading wordt te niet gedaan door de werking van de bijbehorende elektronen. Dit doet sterk denken aan een positief getal en een even groot negatief getal, die samen nul zijn. B.v. $(+1) + (-1) = 0$ of $(+5) + (-5) = 0$.

Elektronen zijn in alle opzichten dezelfde deeltjes. Met atoomkernen is dit niet het geval, omdat hun lading even sterk is als de lading van de gezamenlijke elektronen die bij een kern horen. Hoe meer elektronen er om de kern van een bepaalde atoomsoort draaien, des te groter is de kernlading.

Er bestaan ruim 100 verschillende atoomsoorten. Deze verschillen in:

- het aantal elektronen dat om de kern draait,
- de grootte van de lading van de atoomkern.

Voorbeelden:



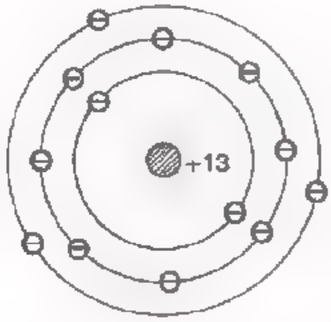
Het eenvoudigste atoom is dat van de waterstof. Om een kern met lading +1 draait één elektron met lading -1. Het gehele atoom is neutraal. De "kring" geeft de baan aan waarin het elektron beweegt.


elektron

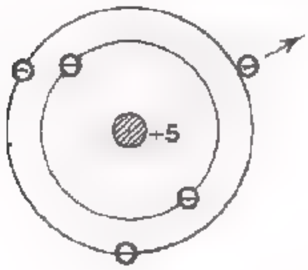

atoomkern

Hiernaast een ingewikkelder atoom. Het Aluminiumatoom heeft 13 elektronen met een gezamelijke lading -13.

De lading van de kern is +13. Het atoom is neutraal, immers (+13) + (-13) = 0

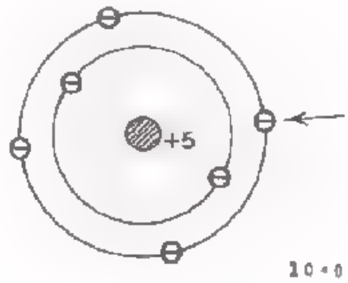


Een atoom kan een elektron kwijt raken, waardoor zijn gezamenlijke elektronenlading kleiner wordt dan zijn kernlading. Het atoom wordt dan een positief geladen deeltje.



In dit voorbeeld is een volledig Borium-atoom weergegeven. Als dit atoom een elektron verliest, dan ontstaat een deeltje met een positieve lading: (+5) + (-4) = +1.

Als het Borium-atoom een extra elektron oppikt, dan wordt het een negatief geladen deeltje, immers: (+5) + (-6) = -1.



GELEIDERS EN ISOLATORS

Elektrisch gezien kan men de verschillende stoffen onderscheiden in twee groepen, de *geleiders* en *isolators* (of de niet-geleiders).

Bij geleiders zitten sommige elektronen, de zgn. *vrije elektronen*, nogal los aan de atomen. Deze elektronen zwerven van het ene atoom naar het andere, kris kras door de stof heen.

Voorbeelden van geleiders: metalen, zoals zilver, koper, aluminium, ijzer, zink; vele vloeistoffen, zoals zuren, zoutoplossingen.

In isolators komen geen vrije elektronen voor. Daarin zitten alle elektronen vast aan het atoom waarbij zij horen.

Voorbeelden van isolators: glas, porcelein, mica, polystyreen, droge lucht, droog papier.

GELADEN LICHAMEN

Net zoals atomen in het klein kunnen geleiders in het groot elektronen kwijtraken of opvangen.

Is een geleider vrije elektronen kwijt geraakt, dan zal zijn gezamenlijke elektronenlading kleiner zijn dan zijn gezamenlijke kernlading. De geleider zal zich dan als een positief geladen brok stof gaan gedragen.

Heeft een geleider een aantal vrije elektronen opgevangen, dan is zijn gezamenlijke elektronenlading groter dan zijn gezamenlijke kernlading. De geleider gedraagt zich dan als een negatief geladen brok stof.

GROOTHEDEN, EENHEDEN EN FORMULES

In de techniek werkt men met *grootheden*, zoals lengte, oppervlakte, snelheid, tijd. Om handig te kunnen werken in berekeningen kort men grootheden af met letters die men dan "symbolen" noemt, b.v.:

l voor lengte,
A voor oppervlakte,
v voor snelheid,
t voor tijd.

Voor elke grootheid heeft men een *eenheid* nodig om hem te kunnen meten. Zo gebruikt men als eenheden:

"meter", afgekort m voor lengte,
"vierkante meter", m^2 voor oppervlakte, geen eenheid
"seconde", s voor tijd.

Voorbeeld.

Een van de beweringen uit de mechanica luidt:

"Afgelegde weg is het product van snelheid en tijd".

Dit kunnen we kort in *formule* opschrijven:

$$s = v \times t$$

s = afgelegde weg in m,
v = snelheid in m/s,
t = tijd in s.

In de formule staan drie grootheden; de eenheden zijn er telkens bij vermeld.

HET SYMBOOL VOOR LADING EN DE EENHEID VAN LADING

Men duidt de grootheid "elektrische lading" altijd aan met de hoofdletter Q. Er is gesproken over twee soorten lading, positieve en negatieve. Beide soorten lading geeft men met Q aan. In geval van een positieve lading vult men in formules een positieve waarde in en in geval van een negatieve lading een negatieve waarde.

Als eenheid van elektrische lading zou men de lading van één elektron kunnen kiezen. Deze lading is echter zo ontzettend klein, dat men in de praktijk beter uitkomt met een grotere eenheid van lading. We gebruiken als eenheid de *coulomb*, afgekort met C.

Om u een idee te geven van deze eenheid:

1 C is de elektrische lading die even groot is als die van:

6 300 000 000 000 000 000 elektronen.

Dit moet u overigens niet trachten te onthouden!

OEFENING

Men voegt de ladingen $Q_1 = +10\ C$,

$Q_2 = -3\ C$,

en $Q_3 = +4\ C$ bij elkaar.

Hoe groot is nu de totale lading Q_{tot}?

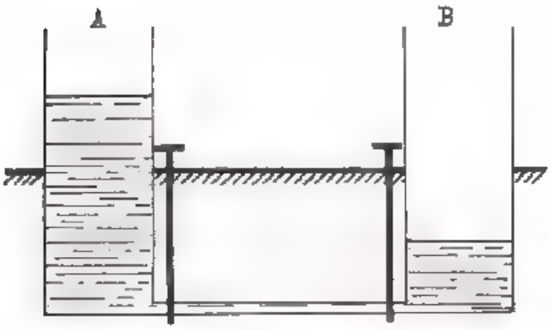
Vul in:

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

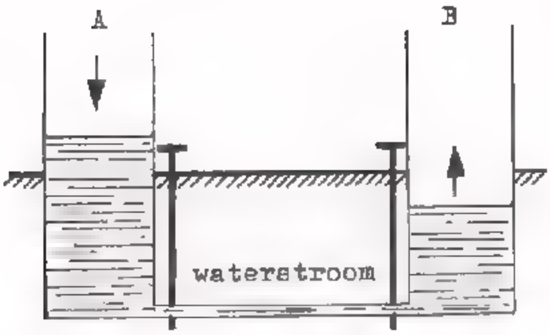
$\boxed{\qquad\qquad\qquad\qquad C.}$

ELEKTRONENSTROOM

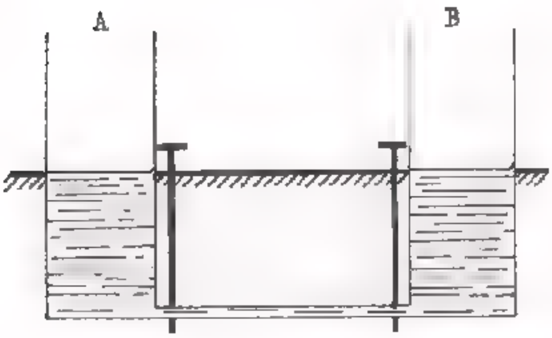
De "geheimzinnige" elektrische verschijnselen kan men vaak verduidelijken door ze te vergelijken met wat er gebeurt bij waterleidingen. We beginnen daarom met zo'n watervoorbeeld.



Twee gelijke bakken zijn verbonden door een buis met twee kranen. De bakken zijn voor de helft onder het aardoppervlak ingegraven. In de normale toestand zijn de bakken allebei juist tot aan het aardoppervlak gevuld met water.
Als wij de kranen sluiten en water van bak B naar bak A overbrengen, dan zal in A een "water-teveel" en in B een even groot "water-tekort" zijn.

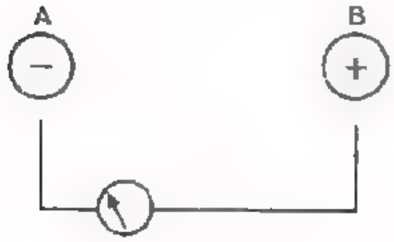


Als we nu de kranen openen dan zal er tijdelijk water door de buis stromen, totdat het tekort in B is aangevuld door het teveel in A. Het teveel aan de ene kant van de buis en het tekort aan de andere kant doet water door de buis stromen van de "teveel-kant" naar de "tekort-kant".

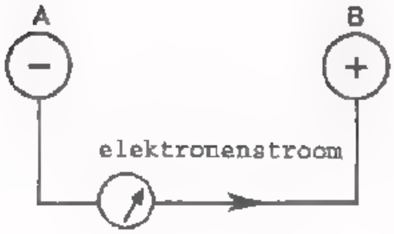


Na enige tijd is de eindtoestand bereikt. Het teveel heeft het tekort geheel aangevuld en er loopt geen stroom meer.

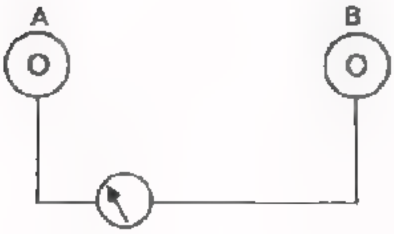
Na dit watervoorbeeld nu het elektrisch geval.



Een geleider A geven we een elektronenteveel: een negatieve lading Q_A. De geleider B geven we een even groot elektronentekort: een positieve lading Q_B.



Verbinden we nu A en B door een geleidende draad, dan zal het teveel aan elektronen in A worden aangetrokken door de positief geladen geleider B. Er zal dan tijdelijk een elektronenstroom van A via de draad naar B gaan.



Is het elektronentekort in B aangevuld door het even grote elektronenteveel in A, dan vloeit er geen stroom meer.

Dit elektrisch voorbeeld vertoont veel overeenkomst met het waterleidingvoorbeeld. In beide gevallen zal er tijdelijk een stroom gaan lopen, omdat een "teveel" de neiging heeft het "tekort" aan te vullen. Zodra dit is gebeurd, is de stroom nul geworden.

ELEKTRONENSTROOM EN ELEKTRISCHE STROOM

In het voorafgaande voorbeeld zagen we dat er tijdelijk een stroom van negatief geladen elektronen liep. De elektronenstroom loopt in een geleider van de "- zijde" naar de "+ zijde"; gelijknamige ladingen stoten elkaar immers af.

In de vorige eeuwen, toen men het bestaan van elektronen nog niet kende, heeft men vóor de richting van de stroom de tegengestelde aangenomen. Achteraf bleek dit jammer genoeg net fout, maar het is nooit meer veranderd.

U moet onthouden:

De elektrische stroom waarmee wij werken loopt in een geleider van + naar -. Dit is tegen de richting van de elektronenstroom in.

DE AMPERE

De grootheid "waterstroomsterkte" geeft bij een waterleiding de hoeveelheid water aan die per seconde door de leiding stroomt. De waterstroomsterkte kan men b.v. meten in aantal liter per seconde, l/s.
Onder de elektrische stroomsterkte verstaat men de lading die per seconde door een geleider stroomt. In formules duidt men de elektrische stroomsterkte aan met de letter: I.
Als *eenheid van elektrische stroomsterkte* is gekozen de coulomb per seconde, C/s, die men de naam *ampere* heeft gegeven.

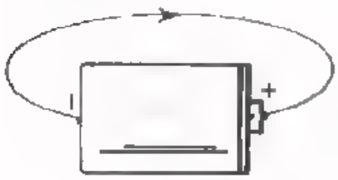
eenheid van stroomsterkte I: ampere, (A)
1 ampere = 1 coulomb/seconde
1 A = 1 C/s

Voor kleine stroomsterkten gebruikt men:

1 milli ampere = $\frac{1}{1000}$ ampere; 1 mA = 0,001 A
1 micro ampere = $\frac{1}{1\,000\,000}$ ampere; 1 µA = 0,000 001 A

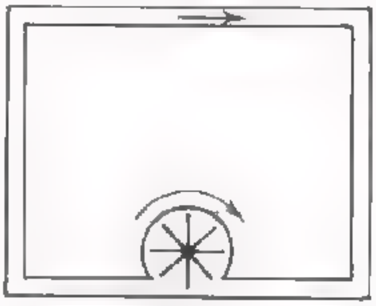
In het voorbeeld van de geladen geleiders trad een *tijdelijke* elektrische stroom op, dankzij de van tevoren negatief en positief geladen geleiders A en B. Een *voortdurende* elektrische stroom kan men verkrijgen met een zgn. *bron van elektrische stroom*. Bekende voorbeelden van dergelijke bronnen: zakbatterij, auto-accu, fietsdynamo, generator van een elektrische centrale.

Een bron van elektrische stroom zorgt ervoor dat aan zijn ene zijde (de "+ aansluitklem" of *pluspool*) voortdurend een elektronentekort blijft bestaan en aan de andere zijde (de "- aansluitklem" of *minpool*) een elektronenteveel.



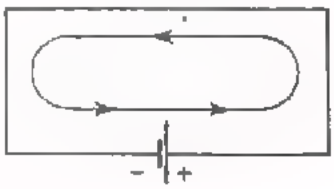
Sluit men b.v. een koperdraad aan op een batterij, dan zal de "- pool" voortdurend elektronen in de draad blijven sturen, terwijl de "+ pool" voortdurend elektronen uit de draad blijft wegtrekken. De batterij is als het ware een "elektronenpomp".

Hiernaast is een waterleiding getekend, waarin een pomp is opgenomen. Er is nu geen tijdelijke waterstroom meer, maar een voortdurende waterstroom.



Hier ziet u het elektrisch geval schematisch getekend. In het schema is de richting van de elektronenstroom aangegeven. De afspraak is dat de elektrische stroom buiten de batterij van + naar - loopt, dus:

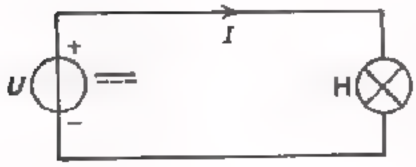
De waterpomp pompt het water echt rond door de leiding en de pomp.
Ook een batterij pompt de elektronen echt rond, waardoor deze buiten de batterij van - naar + en binnen de batterij van + naar - gaan.
De elektrische stroom loopt buiten de batterij dus van + naar - en daarbinnen van - naar +.
Om dit rondgaan van de stroom goed uit te laten komen, tekent men in een schema wel zo'n "kringstroom".



WE METEN EEN ELEKTRISCHE STROOM

Elektrische stroom kan men meten door de stroom door een *stroommeter* - ook wel amperemeter genoemd - te laten gaan. Hiertoe moet men de leiding waar de stroom doorheen zal gaan lopen onderbreken en de stroommeter in de open plaats aanbrengen.

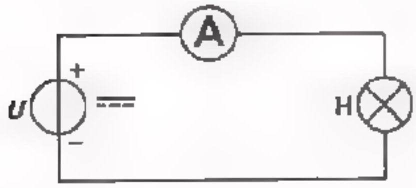
Hier is een eenvoudige schakeling getekend, waarin een bron van elektrische spanning aan een lampje stroom toevoert.



bron van elektrische spanning, ook wel *voedingsbron* genoemd.

lamp

Om de rondgaande stroom *I* te meten moet men de leiding ergens onderbreken en er de stroommeter in plaatsen. In volgend schema is dit getekend.

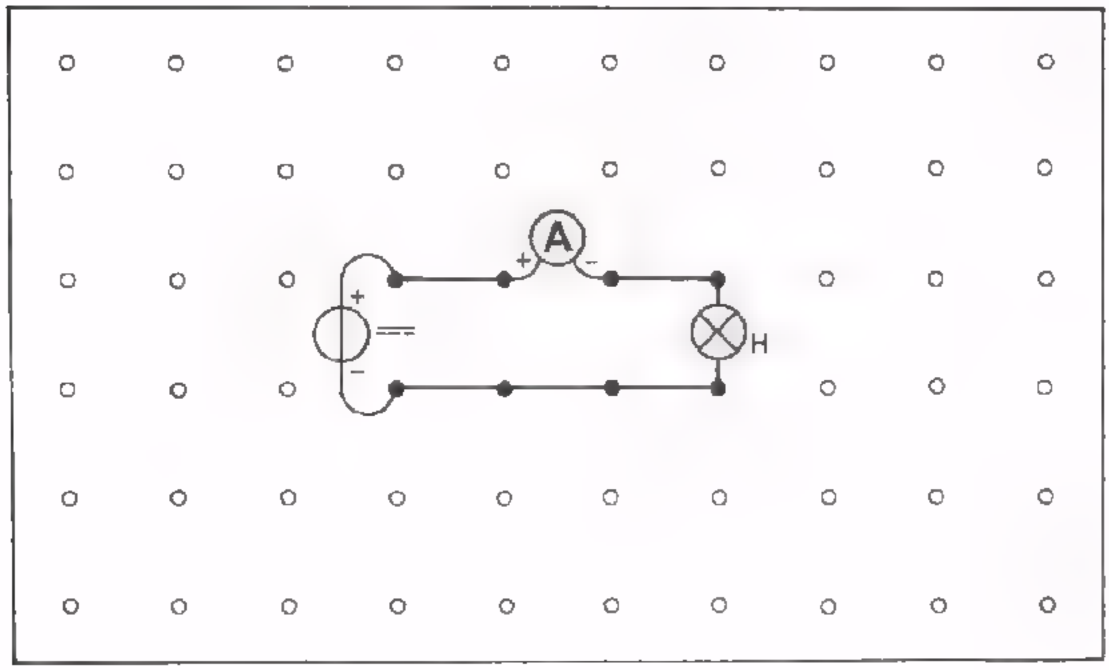


stroom- of ampere-meter

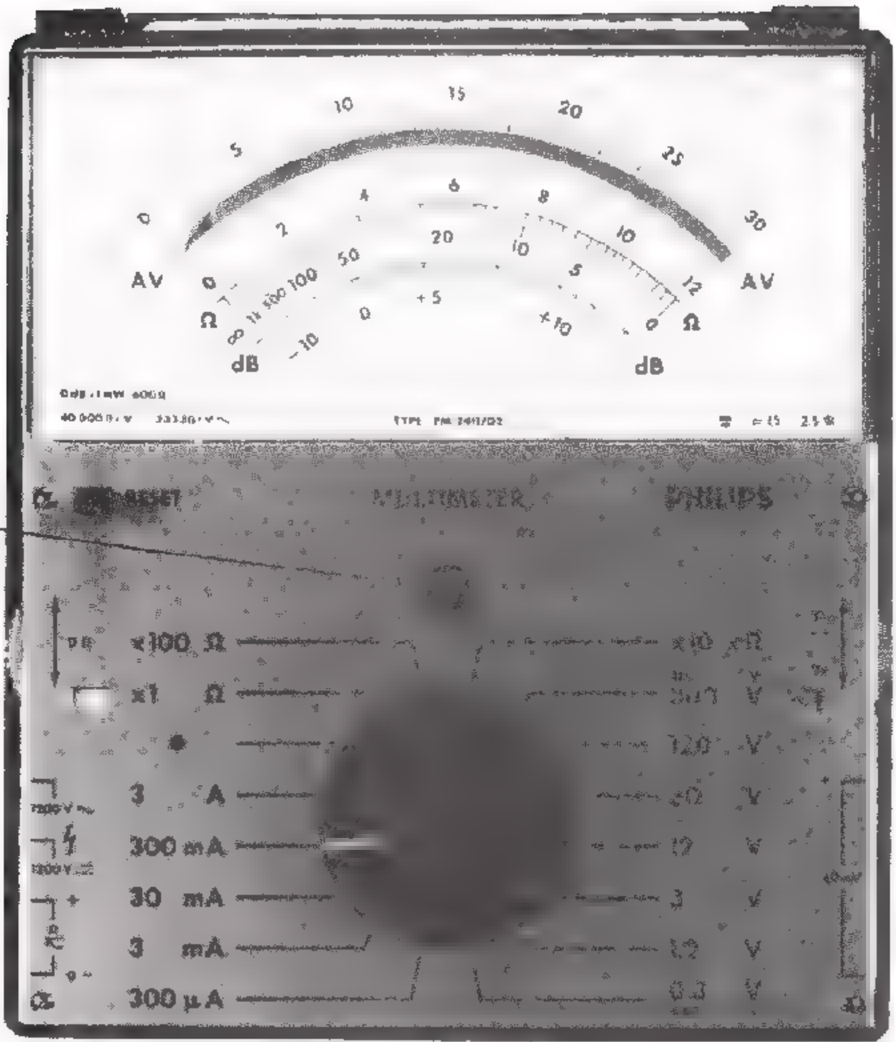
Bij het aansluiten van de meter moet men er goed op letten, dat de "+zijde" van de meter aan de + pool van de bron komt te zitten, en de "-zijde" van de meter via het lampje aan de - pool komt. We zeggen, dat in dit geval de + zijde van de meter *direct* en de - zijde *indirect* aan de voedingsbron zit.

OPDRACHT

- Stel op het oefenpaneel de schakeling met een lampje en een stroommeter samen. Hieronder is dit afgebeeld.
- Sluit de voedingsbron nog niet aan; dit zal de leraar doen.
- Stel de knop B van de meter in zoals aangegeven op bladzijde A2-12 en knop A op 300 mA.
- Probeer de stroom op de meter af te lezen. U vindt een stroom van:



mechanische
nul instelling



knop B

aansluitbussen
aan de zijkant

knop A

gelijkstroom-symbool ⎓
wisselstroom-symbool ∿

Dit voor de stroommeting gebruikte instrument is een zgn. *universeelmeter*. Behalve stroom kunt u hiermee ook andere grootheden meten. In de volgende lessen komt dit nog ter sprake.

HET AFLEZEN VAN DE STROOMMETER

We bekijken nog eens het plaatje van de universeelmeter op blz. A2-12. Veronderstel dat knop A van deze meter op 3 A is ingesteld. We zeggen, dat de meter op een *bereik* van 3 A staat. Dit betekent, dat we stromen kunnen meten van 0 tot 3 A. Op de meter vindt u een schaal die loopt van 0 tot 30. Veronderstel nu dat de meter op deze schaal uitslaat en bij 23 staat. We zeggen dan dat de meter de *schaalwaarde* 23 aanwijst.

De hiermee overeenkomende *stroomwaarde* is $\frac{1}{10}$ van 23 of 2,3 A. Wijst de meter nu b.v. 18 aan, dan is de schaalwaarde 18 en de stroomwaarde is $\frac{1}{10} \times 18 = 1{,}8$ A.

Nog een voorbeeld.

Een stroommeter staat op het bereik: 0 - 500 mA. Bij volle uitslag is de schaalwaarde 50 en dit komt dus overeen met 500 mA. Hieruit volgt dus, dat de stroomwaarde 10 maal de schaalwaarde is. Als de meter b.v. 39 aanwijst op deze schaal, dan is de stroomwaarde: 39 x 10 = 390 mA.

De wijzer van de meter zal niet altijd precies een deelstreep van de schaal aanwijzen. Als de wijzer niet op een deelstreep staat, moet u eerst de stroomwaarden bepalen die horen bij de deelstrepen aan weerszijden van de wijzer. Vervolgens moet u de door de wijzer aangegeven stroomwaarde zo goed mogelijk schatten: deze zal tussen de twee eerder bepaalde stroomwaarden in moeten liggen.

We zullen het aflezen van de stroommeter gaan beoefenen.

OEFENING

Hier zijn enige stroommeters getekend. Lees de stroom af die door deze meters wordt aangewezen en vul de gevonden stroom in de daarvoor bestemde hokjes in.

1.

De meter wijst aan:

A

2.

De meter wijst aan:

A

3.

De meter wijst aan:

mA

4.

De meter wijst aan:

A

5.

De meter wijst aan:

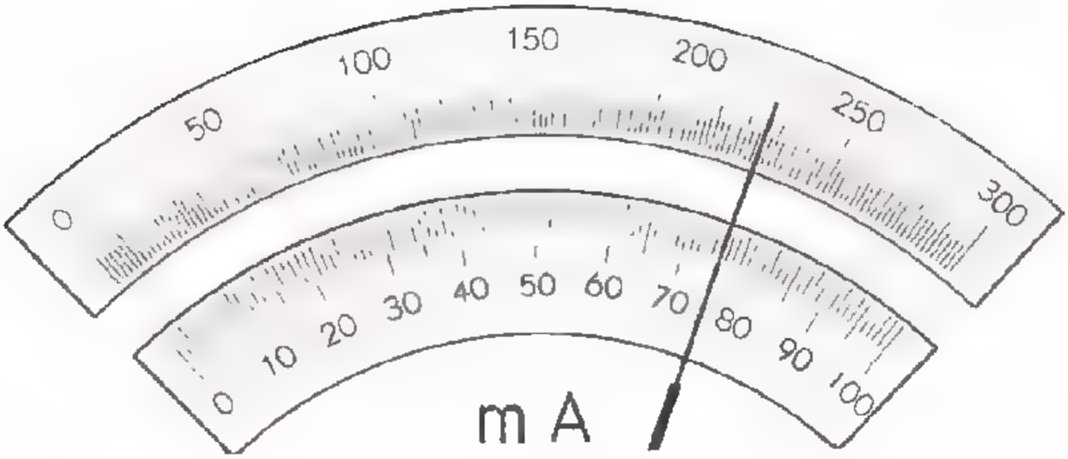
mA =	µA

6.

De meter wijst aan:

mA =	A

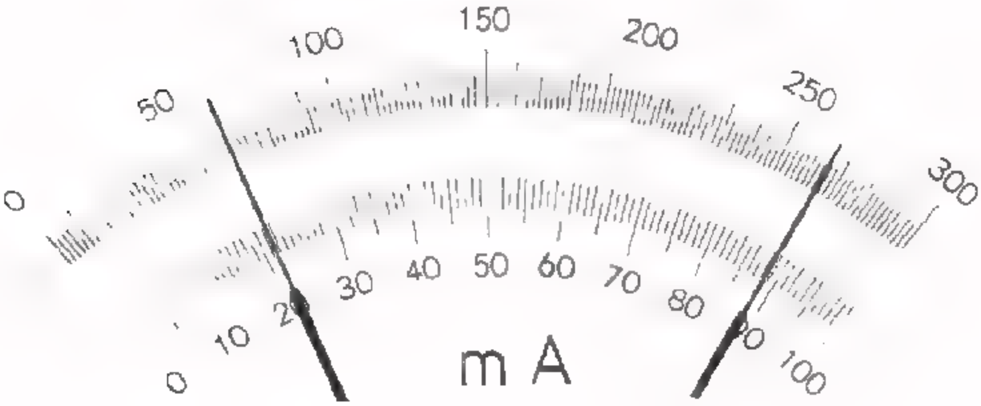
7.



De meter wijst aan:

voor meetbereik 0 - 300	mA = A
voor meetbereik 0 - 100	mA = µA

8.



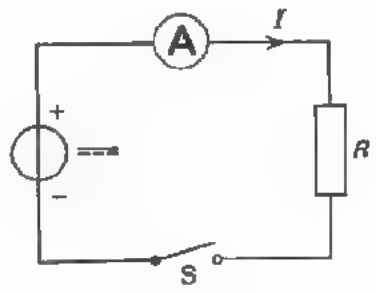
stand A stand B

De meter wijst aan:

in stand A:	mA	in stand B:	mA
of	mA	of	mA

OPDRACHT

Na deze oefeningen op papier wordt het tijd echt stromen te gaan meten. We doen dit in een schakeling, waarvan het schema hiernaast is getekend.



- Bouw deze schakeling op uw oefenpaneel volgens onderstaand voorbeeld.
- Volg de instructie van bladzijde A2.17, punt 1 tot en met 6.
- Laat de leraar de voeding inschakelen.
- Bekijk A2.17, punt 8, 9 en 10. Doe wat daar staat.

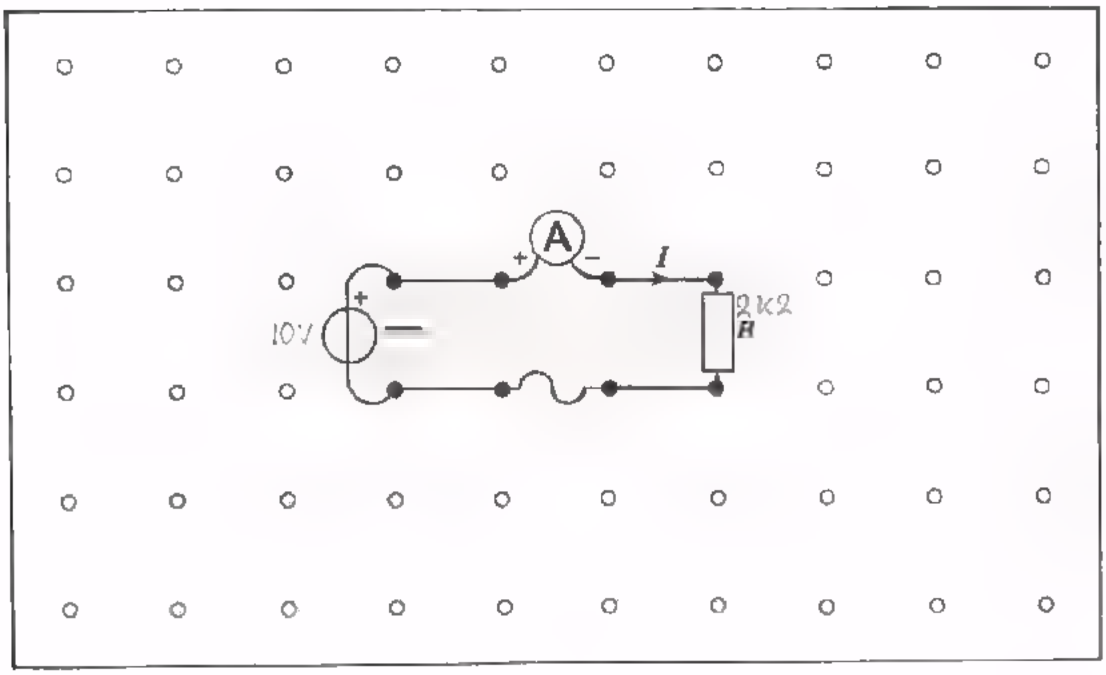
 weerstand

 schakelaar,

op het paneel een snoertje:

- U vindt schaalwaarde:

  en stroomwaarde I =



DE TIEN GEBODEN BIJ HET GEBRUIKEN VAN EEN STROOMMETER

Bij het meten van stroom dient u zich aan vaste regels te houden. Hieronder sommen we deze op. Neem deze regels ernaast als u stromen moet meten. Op den duur raakt u er zó mee vertrouwd, dat u ze uit het hoofd goed kunt toepassen.

1. Stel de meter in op de juiste stroomsoort (op bladzijde A2.12 met knop B op ⎓ of ∿). *)
2. Stel de meter in op het hoogste stroombereik (op bladzijde A2.12 met knop A op 3 A).
3. Controleer of de meter op nul staat en draai zo nodig aan de mechanische nulinstelling (zie A2.12).
4. Zorg dat de schakeling waaraan men moet meten niet is ingeschakeld.
5. Onderbreek de leiding daar waar men de stroom wil meten.
6. Breng de stroommeter in de onderbreking aan. Let erop dat de + van de meter aan de + zijde van de voedingsbron komt te zitten.
7. Schakel de schakeling in.
8. Schakel, indien de meter weinig uitslaat, *voorzichtig* over op lagere stroombereiken totdat de meter een flinke uitslag heeft.
9. Ga na op welke schaal u het beste kunt aflezen en met welke stroomwaarde de volle uitslag overeenkomt.
10. Lees de aangewezen schaalwaarde af en ga na hoe groot de stroom nu is.

---

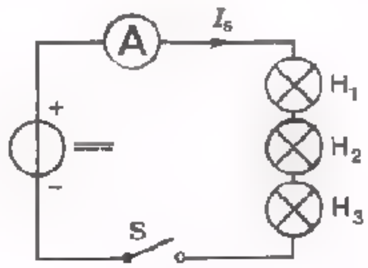
*) ⎓ is de aanduiding voor *gelijk*stroom.
Dit is een stroom die al maar in dezelfde richting gaat.

∿ is de aanduiding voor *wissel*stroom.
Dit is een stroom die al maar heen en weer gaat, dán weer de ene kant, dán weer de andere kant op.

SERIESCHAKELING

Men kan 3 lampjes op verschillende manieren aansluiten op een voedingsbron. U kunt ze *achter elkaar* schakelen, dan staan zij *in serie*. Dan loopt door elk lampje dezelfde stroom. Dit wordt wel gedaan bij een kerstboomverlichting.

OPDRACHT

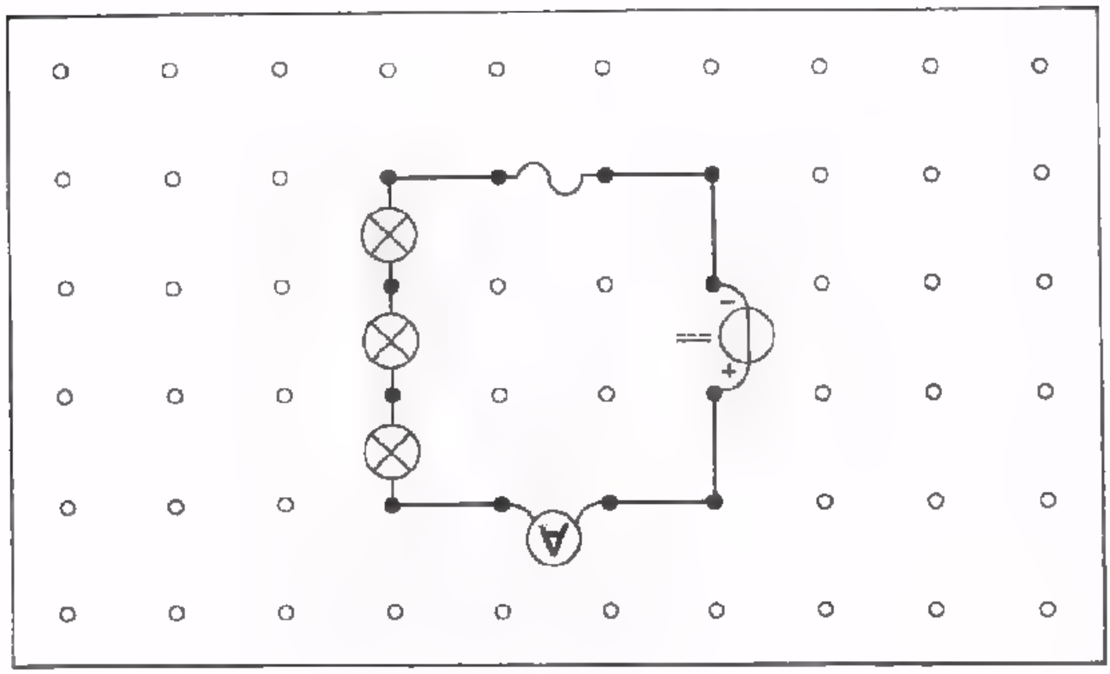


- Stel nevenstaande serieschakeling op het oefenpaneel samen.
  Zie voorbeeld volgende bladzijde.
- Laat de leraar de voedingsbron inschakelen.
- Meet de stroom I_s.

U vindt: schaalwaarde:

stroomwaarde I_s:

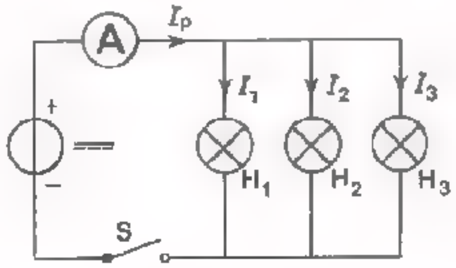
SERIESCHAKELING



PARALLELSCHAKELING

U kunt de lampjes ook *naast elkaar* schakelen, dan staan zij *parallel*. Dan loopt *niet* door elk lampje dezelfde stroom. De lampjes van het voor- en achterlicht van een fiets staan b.v. parallel.

OPDRACHT



- Stel nevenstaande parallel-schakeling op het oefenpaneel samen, zie blad A2.21.
- Laat de leraar de voedingsbron inschakelen.
- Meet de stroom I_p.

U vindt: schaalwaarde:

stroomwaarde I_p:

- Open de schakelaar S en verplaats de meter zó, dat u de stroom I_1 kunt meten.
- Sluit de schakelaar.

U vindt: schaalwaarde:

stroomwaarde I_1:

- Meet op dezelfde wijze ook I_2 en I_3:

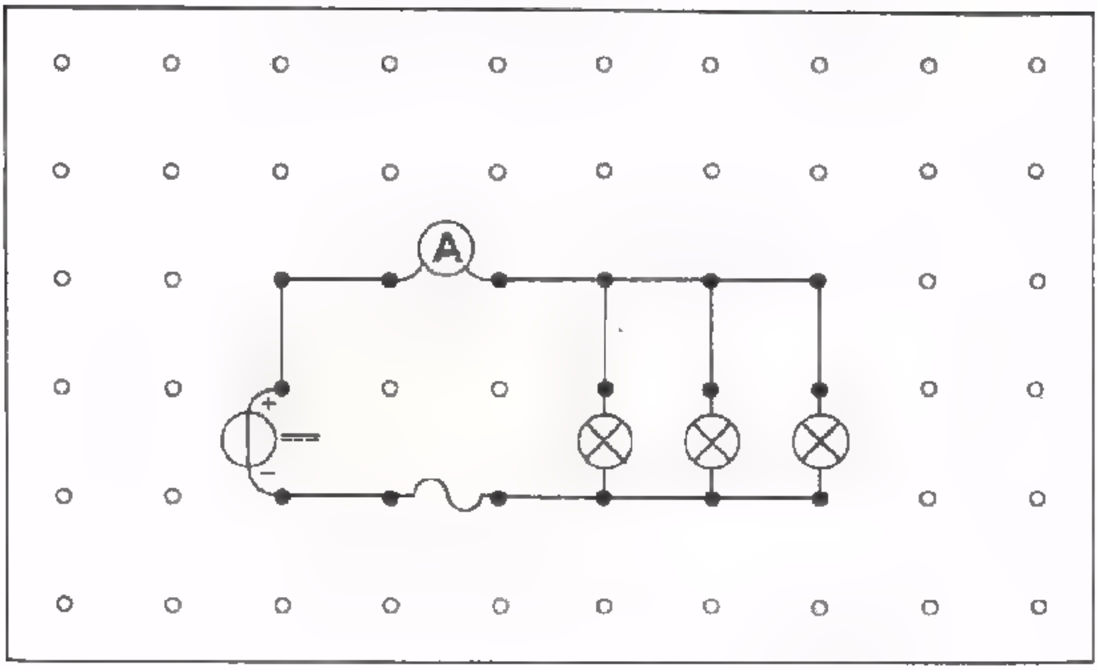
U vindt: schaalwaarde:

stroomwaarde I_2:

schaalwaarde:

stroomwaarde I_3:

PARALLELSCHAKELING



10.01.0

SAMENVATTING

Er zijn in deze les veel nieuwe dingen aan de orde gekomen. We vatten alles nog eens kort samen.

- *Materie* is samengesteld uit moleculen. Moleculen zijn op hun beurt samengesteld uit atomen. Een *atoom* heeft een *kern* waar *elektronen* omheen draaien.

- Een kern is *positief* en elektronen zijn *negatief geladen*. De positieve lading van een kern is bij een volledig atoom even groot als de negatieve lading van zijn elektronen tezamen. Als geheel gedraagt zo'n atoom zich ongeladen of *neutraal*.

- Ladingen met hetzelfde teken heten *gelijknamig*. Ladingen met tegengesteld teken heten *ongelijknamig*. Gelijknamige ladingen stoten elkaar af, ongelijknamige ladingen trekken elkaar aan.

- Een *geleider* is een stof waarin een aantal elektronen gemakkelijk losraken van de atomen en als zgn. *vrije elektronen* kris kras door de stof gaan zwerven.

- In een *isolator* zijn geen vrije elektronen.

- Een *positief* geladen geleider heeft een elektronen*tekort* en een *negatief* geladen geleider heeft een elektronen*teveel*.

- In formules geeft men de grootheid elektrische lading aan met een hoofdletter: Q.

- De *eenheid* van elektrische lading is de coulomb, afgekort met de hoofdletter C. 1 C is een lading, die even groot is als de lading van een zéér groot aantal elektronen.

- De *elektronenstroom* beweegt in een geleider van de "- kant" naar de "+ kant".

- Als *richting* van de *elektrische stroom* in een geleider is afgesproken die van + naar −.

  De elektrische stroomrichting is dus tegengesteld aan de richting van de elektronenstroom.

- In schema's geven we de stroomrichting aan met een pijlpunt in de geleider:

elektrische stroom

elektronenstroom

- In formules geeft men de elektrische stroom aan met de hoofdletter *I*.

- De *eenheid* van elektrische stroom is de ampere, afgekort met de hoofdletter A.

  Men heeft een stroom van 1 A als er in één seconde een lading van één coulomb door de geleider stroomt.

- Een *bron van elektrische stroom* (voedingsbron) is een "ding" dat ervoor zorgt, dat zijn + klem steeds een elektronentekort en zijn − klem steeds een elektronenteveel heeft.

  Zo'n bron is als het ware een "elektronenpomp", waarin elektronen van de + klem naar de − klem gepompt worden.

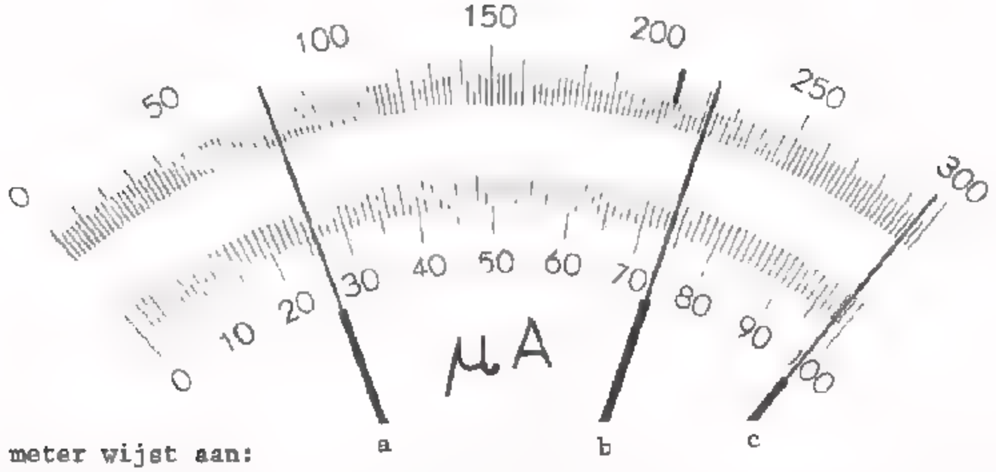
- Binnen een voedingsbron loopt de elektrische stroom van − naar +. Buiten de bron (in een op de bron aangesloten geleider) loopt hij van + naar −.

- Om een elektrische stroom te *meten* moet men deze door een stroommeter sturen. Men moet de meter *in de leiding* plaatsen, waarvan men de stroom wil meten.

NAAM: ____________________ KLAS: ________

Lees volgende meters af.

1.



de meter wijst aan:

stand a: μA of μA	stand b: μA of μA	stand c: μA of μA

2.

de meter wijst aan:

μA

= mA

3.

de meter wijst aan:

mA

= μA

4.

de meter wijst aan:

mA

= A

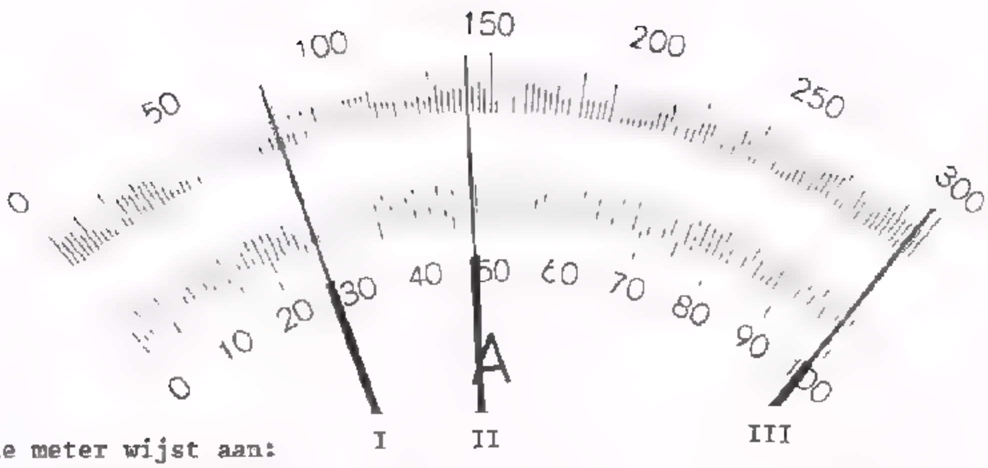
5.

de meter wijst aan:

μA

= A

6.



de meter wijst aan:

stand I: A of A	stand II: A of A	stand III: A of A

7.

de meter wijst aan:

	µA
=	A

8.

de meter wijst aan:

	mA
=	A

9.

de meter wijst aan:

	µA
=	mA

10.

de meter wijst aan:

	mA
=	µA

NAAM:

KLAS:

Bij elke vraag het cirkeltje zwart maken bij het goede antwoord.

11. Een atoom is opgebouwd uit:

kernen en elektronen	O
moleculen	O
een kern met daaromheen elektronen	O
vrije elektronen	O

12. Een positief geladen geleider heeft:

een teveel aan elektronen	O
een tekort aan elektronen	O
evenveel kernen als elektronen	O
geen kernen	O

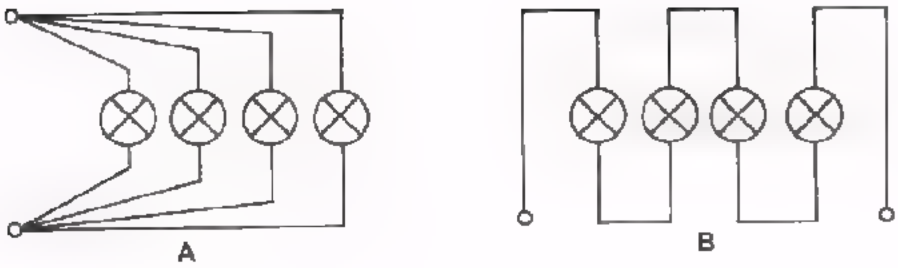
13. De eenheid van elektrische stroom is:

de coulomb	O
6 300 000 000 000 000 000 elektronen	O
de coulomb x seconde	O
de ampere	O

14. Een isolator is een:

stof zonder vrije elektronen	O
een bron van elektrische stroom	O
een stof met veel vrije elektronen	O
een geleider die zijn vrije elektronen kwijt is.	O

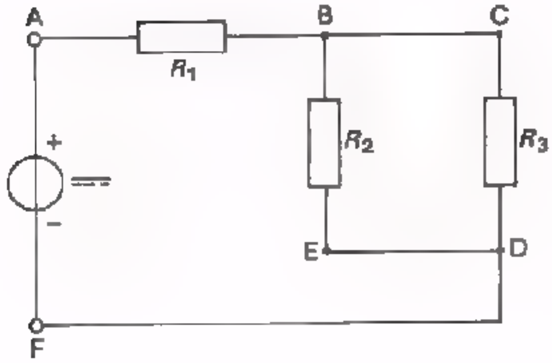
15.



De vier gloeilampen staan bij:

A in serie en bij B parallel	O
A en B in serie	O
A parallel en bij B in serie	O
A en B parallel	O

16.



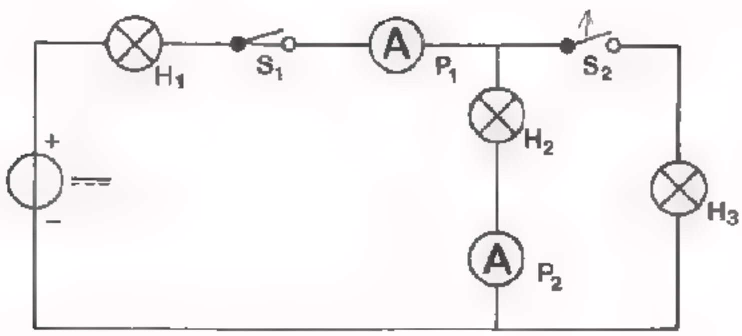
Men wil de stroom door weerstand R_2 meten. Daarvoor moet men een stroommeter aansluiten:

in de leiding tussen de punten B en C	O
in de leiding tussen de punten D en F	O
in de leiding tussen de punten D en E	O
tussen E en F	O

NAAM:

KLAS:

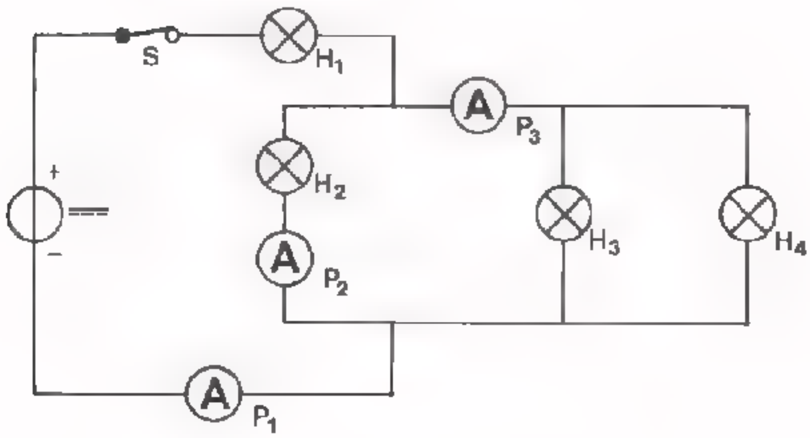
17.



Als men in deze schakeling de schakelaar S_1 sluit en S_2 opent, dan:

- zal P_1 minder stroom aanwijzen dan P_2 O
- zal P_2 minder stroom aanwijzen dan P_1 O
- zullen P_1 en P_2 geen stroom meer aanwijzen O
- zullen P_1 en P_2 evenveel stroom aanwijzen O

18.

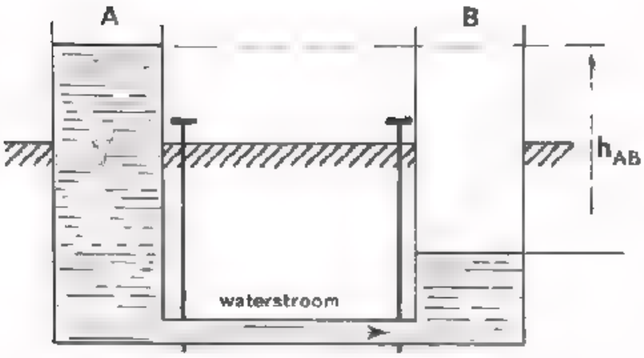


Welke bewering is in verband met deze schakeling *onjuist*?

- P_1 meet de stroom door H_1 O
- P_3 meet de stroom door H_3 plus die door H_4 O
- P_2 meet de stroom door H_2 O
- P_1 meet de stroom door H_1 plus H_2 plus H_3 plus H_4 O

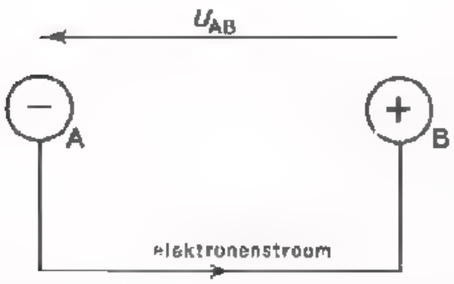
A 3

ELEKTRISCHE SPANNING



In de vorige les is elektronenstroom vergeleken met waterstroom. Het watervoorbeeld is hiernaast nog eens getekend. Een kortstondige waterstroom zal van A naar B gaan, totdat het "teveel" van A het "tekort" van B heeft aangevuld.

We hebben het nog niet gehad over de oorzaak van de waterstroom. De *oorzaak* van het stromen van water is het *drukverschil* tussen de uiteinden van de buis. De waterkolom in A geeft een grotere druk dan de lagere waterkolom in B. Het drukverschil is groter naarmate het hoogteverschil h_{AB} van de waterkolommen in A en B groter is. Daarom kan men h_{AB} als maat voor het drukverschil aanhouden.

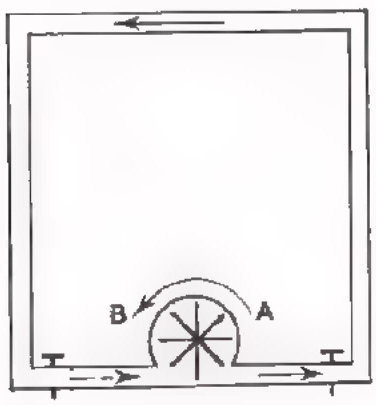


Hier nog eens het elektronenstroomvoorbeeld dat sterke overeenkomst vertoont met het watervoorbeeld.
De oorzaak van de elektronenstroom is, dat de "- lading" van A vrije elektronen afstoot en de "+ lading" van B vrije elektronen aantrekt.

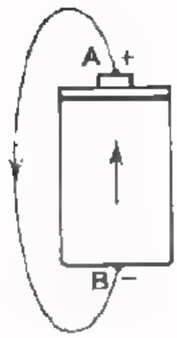
De *oorzaak* van de elektronenstroom is het *elektrisch drukverschil* tussen de uiteinden van de verbindingsdraad. Dit noemt men "het potentiaalverschil" of de "*elektrische spanning*". In de praktijk spreekt men kortweg van "*de spanning*". In bovenstaand geval zal er tijdelijk een elektronenstroom lopen totdat het elektronenteveel in A via de verbindingsdraad het elektronentekort in B heeft aangevuld. Dan is de spanning afgenomen tot nul en loopt er geen stroom meer.
In formules duidt men een elektrische spanning aan met hoofdletter U.
De spanning tussen A en B hebben we U_{AB} genoemd.

DE SPANNINGSBRON

In les A2 hadden we het over een "bron van elektrische stroom". Deze werd vergeleken met een waterpomp die water rondpompt, b.v. bij een centrale verwarming.



We kunnen ook zeggen, dat de pomp zorgt voor een drukverschil, dat de waterstroom veroorzaakt. De pomp is dan niet alleen een "bron van stromend water", maar ook een "bron van drukverschil".
Dit laatste is zelfs beter, want de werkende pomp zorgt altijd voor een drukverschil tussen A en B, ook als de waterleiding afgesloten is en er dus geen water stroomt.
Een werkende pomp zorgt *altijd* voor een drukverschil, maar niet altijd voor een waterstroom.



In deze figuur is een overeenkomstig elektrisch voorbeeld gegeven. De bron van elektrische stroom - de batterij - zorgt voor een spanning U_{AB} tussen de uiteinden van de aangesloten geleider. Hierdoor gaat er een elektrische stroom lopen in de geleider. De batterij is dus niet alleen een "bron van elektrische stroom", maar ook een "bron van elektrische spanning".
Dit laatste kan men beter zeggen. Immers, als men de geleider losmaakt, dan levert de batterij geen stroom meer, terwijl de elektrische spanning U_{AB} nog steeds tussen de polen van de batterij staat.
De batterij zorgt ervoor dat er bij A een elektronentekort en bij B een elektronenteveel blijft bestaan. Meestal spreekt men dan ook van *spanningsbron*.
- De bron levert altijd elektrische spanning.
- De bron levert alleen dán elektrische stroom als er een verbruiker op is aangesloten.

In het laatste geval zegt men "de spanningsbron wordt belast" en de verbruiker noemt men "de belasting".

DE EENHEID VAN SPANNING

Als eenheid van elektrische spanning gebruikt men:

volt, afgekort met V.

Een groter eenheid is:

kilovolt, afgekort met kV.
1 kV = 1000 V.

Kleinere eenheden zijn:

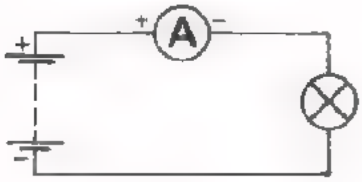
millivolt, afgekort met mV,
microvolt, afgekort met μV.

$$1\ \text{mV} = \frac{1}{1000}\ \text{V} = 0{,}001\ \text{V}.$$

$$1\ \mu\text{V} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{V} = 0{,}000\,001\ \text{V}.$$

BELANGRIJKE VERSCHILLEN TUSSEN STROOM- EN SPANNINGSMETING

De elektrische spanning meet men met een spanningsmeter, die men meestal *voltmeter* noemt.



We hebben gezien, dat men om de stroom *in* een geleider te meten, de meter *in* de geleider moet plaatsen.

Om de spanning *tussen* twee punten te meten, moet men de voltmeter *tussen* deze punten aanbrengen.

Wat anders gezegd: Om de stroom door een lamp te meten moet men de stroommeter *in serie* met de lamp schakelen. Om de spanning over een lamp te meten moet men de spanningsmeter *parallel* aan de lamp schakelen.

Bij stroom- zowel als bij spanningsmeting moet de + van de meter aan de "+ kant" van de voedingsbron en de − aan de "− kant" van de bron komen.

Symbool voor een spannings- of voltmeter.

REGELS VOOR HET METEN VAN SPANNING

Voor het meten van elektrische spanning dient men zich voorlopig aan de onderstaande regels te houden:

1. Zorg ervoor dat het apparaat waaraan u moet meten nog niet ingeschakeld is.

2. Stel de meter in op de te meten spanningssoort, gelijkspanning of wisselspanning.

   Evenals gelijk- en wisselstroom kan men ook onderscheiden gelijk- en wisselspanning. Bij een gelijkspanning tussen A en B is voortdurend A positief ten opzichte van B of omgekeerd. Bij een wisselspanning tussen A en B is afwisselend A positief ten opzichte van B en B positief ten opzichte van A.

3. Stel de meter in op het hoogste spanningsbereik en controleer de mechanische nulinstelling.

4. Sluit de voltmeter aan tussen de punten, waartussen u de spanning moet meten. Zorg ervoor dat de + van de meter aan de "+ zijde" van de voedingsbron en de - van de meter aan de "- zijde" van de bron komt te zitten.

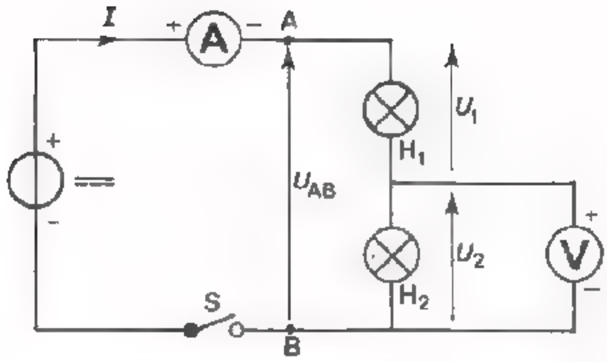
5. Schakel het apparaat waaraan u gaat meten in.

6. Schakel - zonodig - de voltmeter op een lager spanningsbereik totdat een flinke uitslag verkregen wordt.

7. Ga na op welke schaal u moet aflezen, en met hoeveel volt de volle schaaluitslag overeenkomt.

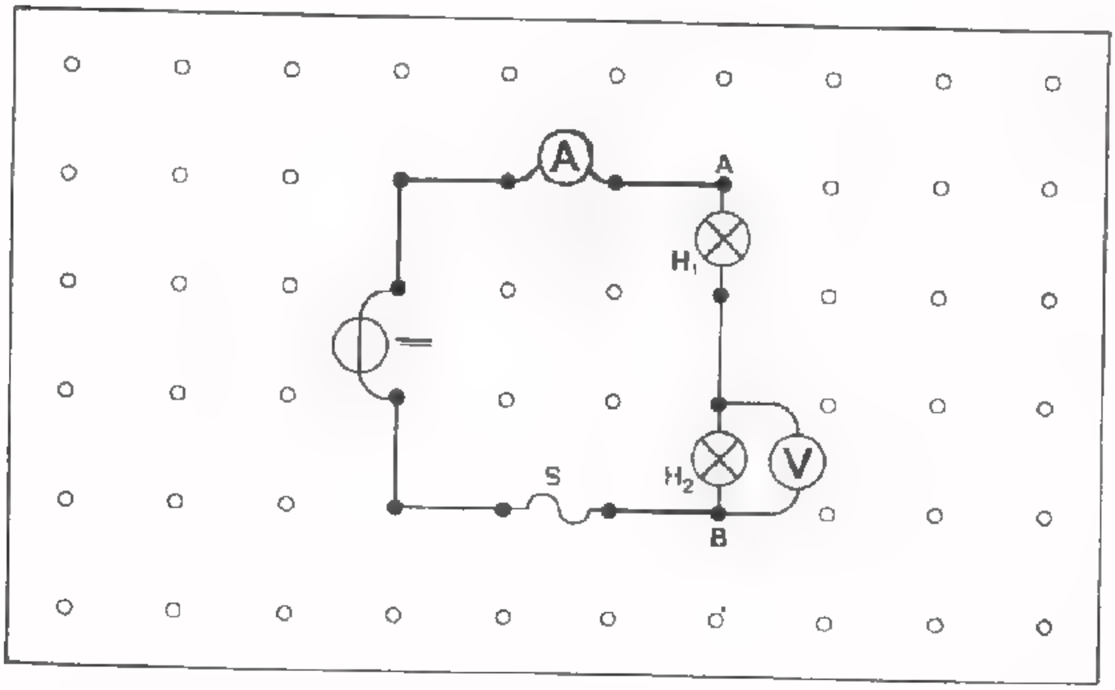
8. Lees de schaalwaarde af die de meter aanwijst, en ga na met hoeveel volt dit overeenkomt.

OPDRACHT



- Bouw deze schakeling op het oefenpaneel. Sluit de voedingsbron nog *niet* aan, d.w.z. laat S open.
- Op de voedingsbron bevindt zich een voltmetertje. Stel met behulp van dit metertje de spanning in op 10 V.
- Sluit S. Meet de stroom I en de spanning U_2. Houdt u aan de regels voor het meten van stromen en spanningen. Kijk blad A2.17 en A3.4 er desnoods nog even op na.
- Meet ook de spanning U_1. Daartoe moet u de spanningsmeter verplaatsen.
- Meet de spanning U_{AB} met dezelfde voltmeter waarmee u de spanningen U_1 en U_2 hebt gemeten.
- U hebt gevonden:

I = ☐ U_1 = ☐ U_2 = ☐ U_{AB} = ☐



HET AFLEZEN VAN METERSCHALEN

Een meetinstrument waarmee men stroom zowel als spanning kan meten noemt men een *universeelmeter*. Met zo'n meter hebben wij tot nu toe steeds gemeten. De universeelmeter kan men op verschillende meetbereiken instellen en vaak doet daarbij éénzelfde schaal voor twee of meer bereiken dienst. Het instrument heeft in ons voorbeeld meetbereiken van 0 tot:

3 mA	3 V
600 mA	12 V
60 mA	30 V
6 mA	120 V
0,6 mA	300 V
0,12 mA	1200 V, via aparte aansluitbussen.

Er zijn twee schalen voor stromen en spanningen met schaalwaarden van 0 tot 30 en van 0 tot 12.

Heeft men tijdens een meting het meetbereik ingesteld op 3 mA, dan kan men de meter het best aflezen op het schaalwaarde-bereik van 0 tot 30. Een schaalaanwijzing van 30 komt dan overeen met 3 mA. Dit is een getal dat 100 maal zo klein is.

Een schaalwaarde van 30 komt nu overeen met $\frac{1}{10} \times 30 = 3$ mA

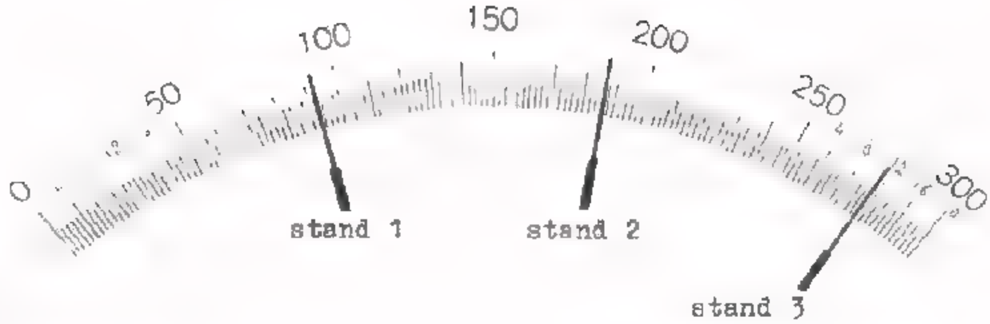
Een schaalwaarde van 10 betekent: $\frac{1}{10} \times 10 = 1$ mA, enz.

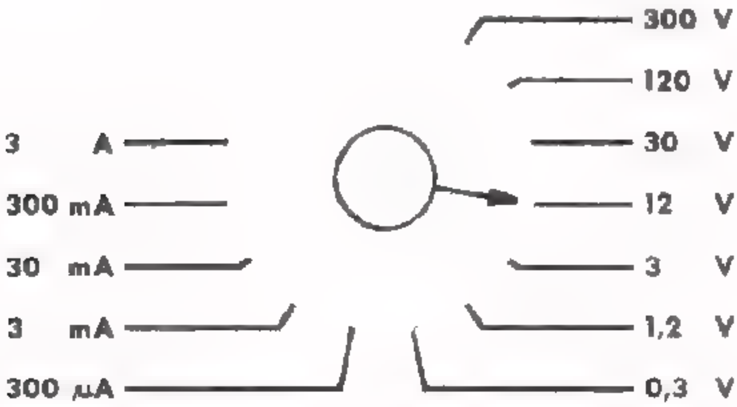
OEFENING

Vul de laatste kolom van onderstaande voorbeelden in.

meetbereik	schaalbereik	schaalwaarde	*I* of *U*
0,12 mA	12	8,7	
600 mA	60	51	
3 mA	30	28,75	
6 mA	60	10	
3 V	30	24,25	
1200 V	12	11,9	
300 V	30	10,7	
120 V	12	7,9	
0,6 mA	12	11,6	
1200 V	60	57	
6 mA	30	22,75	
300 V	100	64,5	

OEFENING

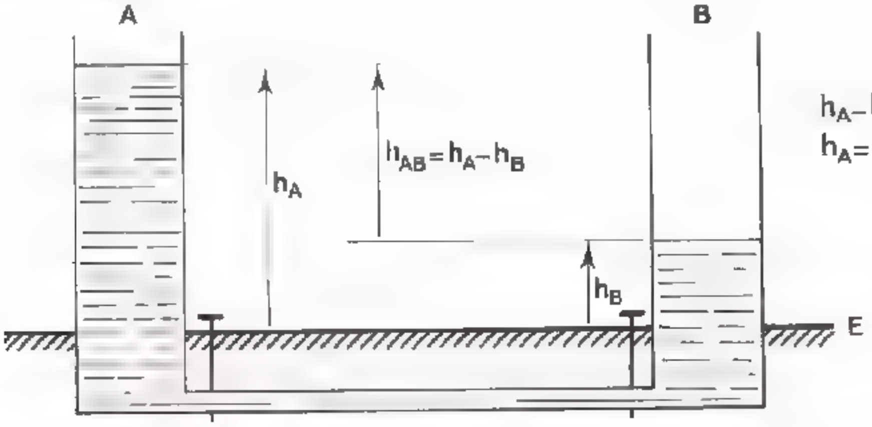




In deze figuur is de schaal van een universeelmeter getekend met drie standen van de wijzer. Daaronder staat de bijbehorende meetbereik-schakelaar. Vul in onderstaande tabel het aantal volts of ampere- in dat de meter aanwijst.

stand meetbereik-schakelaar	stand van de wijzer	aanwijzing van de meter
300 V	1	
0,3 V	2	
120 V	3	
30 mA	1	
3 A	2	
300 µA	3	

Bij onze watervoorbeelden hebben we gesproken over het druk-*verschil*, waar het hoogte*verschil* h_{AB} een maat voor is. Onder h_{AB} verstaan we *de hoogte van A boven B.*



We hebben hier een watervoorbeeld getekend, waarbij in vat A ēn in vat B een waterteveel aanwezig is. Het teveel in A is echter groter dan dat in B, zodat er ook nu een drukverschil bestaat. Als de kranen geopend worden zal er een waterstroom gaan lopen. Het is gebruikelijk om te spreken over *de druk* bij A en die bij B. Hiervoor is *de hoogte* in A en die in B een maat. Deze hoogten zijn dan gerekend ten opzichte van een bepaald vlak, in ons voorbeeld het aardoppervlak E. De "hoogten" kan men daarom aanduiden met h_{AE} en h_{BE}, d.w.z. de hoogte van A boven E en die van B boven E.

Omdat de hoogte altijd wordt gerekend ten opzichte van E, kan men in h_{AE} en h_{BE} de E best weglaten, zodat men krijgt h_A en h_B. Door dit als gewoonte in te voeren kunnen we aan de letteraanduiding voortaan zien of we met een "hoogteverschil" of met een "hoogte" hebben te doen.

In geval van een "hoogteverschil" staan er 2 letter bij de h;
h_{AB} betekent het hoogteverschil tussen A en B.

In geval van een "hoogte" staat er ēēn letter bij de h;
h_A betekent de hoogte van A boven E.

Tenslotte kan men aan de hand van de tekening stellen:

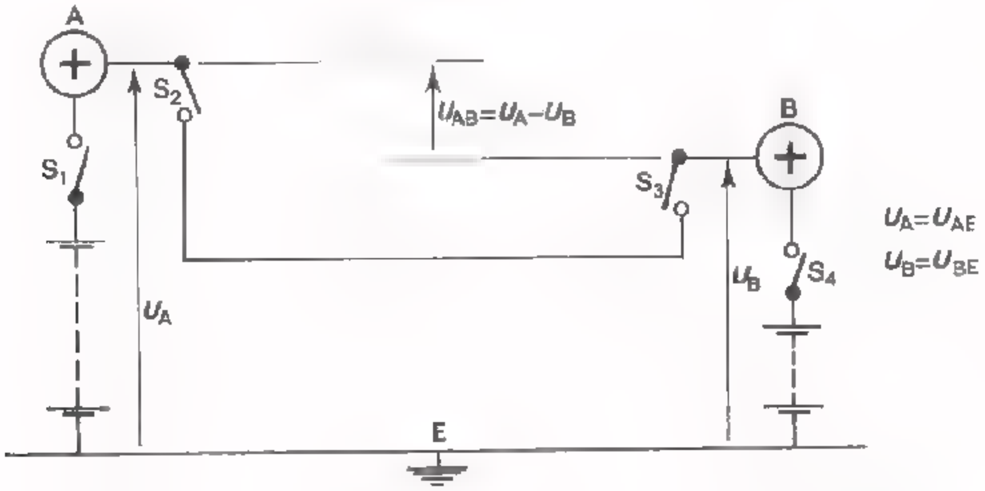
$$h_{AB} = h_A - h_B$$

In de figuur zijn de hoogten zowel als het hoogteverschil aangegeven met een pijl, die staat tussen de plaatsen waartussen het hoogteverschil optreedt.

Opmerking:
Men rekent "de hoogte" niet altijd ten opzichte van het aardoppervlak, maar b.v. ook wel ten opzichte van het zee-oppervlak.

ELEKTRISCH DRUKVERSCHIL EN ELEKTRISCHE DRUK

Na dit watervoorbeeld nu weer het overeenkomstige elektrische geval.



Geleider A, zowel als geleider B hebben een positieve lading. De lading op A is echter groter dan die op B, zodat er een elektrisch druk*verschil* is tussen A en B. Als de schakelaars S_2 en S_3 gesloten worden, dan zal er tijdelijk een elektrische stroom gaan lopen. De grote lading kan men op A aanbrengen door tussen A en aarde even een batterij aan te sluiten, met een grote spanning (S_1 even sluiten). De kleine lading kan men op B aanbrengen door even tussen B en aarde een batterij aan te sluiten, met een kleine spanning (S_4 even sluiten). Men stelt dat er op A een *elektrische druk* of "potentiaal" U_A aanwezig is. Onder deze "elektrische druk" verstaat men dan het "elektrische drukverschil van A ten opzichte van de aarde E", of $U_A = U_{AE}$.* Net zo stelt men dat er op B een *elektrische druk* U_B aanwezig is, hetgeen betekent: $U_B = U_{BE}$.

Evenals in het watervoorbeeld "de hoogte" betekent "het hoogteverschil ten opzichte van aarde", betekent in het elektrische voorbeeld "de elektrische druk" niet anders dan "het elektrische drukverschil ten opzichte van aarde".

Tenslotte is er tussen A en B een "elektrisch drukverschil" U_{AB} aanwezig, dat gelijk is aan het verschil van "de elektrische druk" U_A op A en "de elektrische druk" U_B op B:

$$U_{AB} = U_A - U_B.$$

Men is gewend het begrip "elektrisch drukverschil" zowel als het begrip "elektrische druk" met *spanning* aan te duiden.

---

* Schemasymbool voor aarde is ⏚.

NOG EENS IN HET KORT

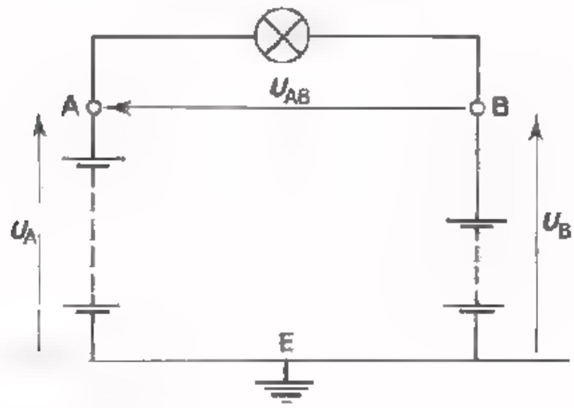
Op de vorige twee bladen hebben we een nogal theoretisch gedeelte behandeld. Het is waarschijnlijk goed dit nog eens kort samen te vatten.

Er is een verschil tussen "elektrisch drukverschil" en "elektrische druk".
"Elektrisch drukverschil" geven we aan met een U, die voorzien is van twee extra letters, b.v. U_{AB}.
"Elektrische druk" geven we aan met een U, voorzien van één extra letter, b.v. U_A of U_B.

In het voorafgaande voorbeeld is "de spanning op A" vastgelegd als "het spanningsverschil van A ten opzichte van *aarde*", precies zoals in het watervoorbeeld. Dit behoeft niet altijd zo te zijn. Vaak zal men "de spanning op A" b.v. vastleggen als "het spanningsverschil van A ten opzichte van het chassis"; het chassis behoeft niet persé geaard te zijn.

In de tekening van 't watervoorbeeld hebben wij de hoogten en het hoogteverschil aangegeven met pijlen. In schema's van elektrische schakelingen zullen wij op dezelfde wijze elektrische druk en elektrische drukverschillen - kortweg spanningen - aangeven met een pijl. Daarbij spreken wij af:

U_{AB} is de spanning van A ten opzichte van B.
De pijlpunt van U_{AB} moet bij A staan en het achtereinde van de pijl bij B.
In het onderstaande schema is dit voorgedaan.

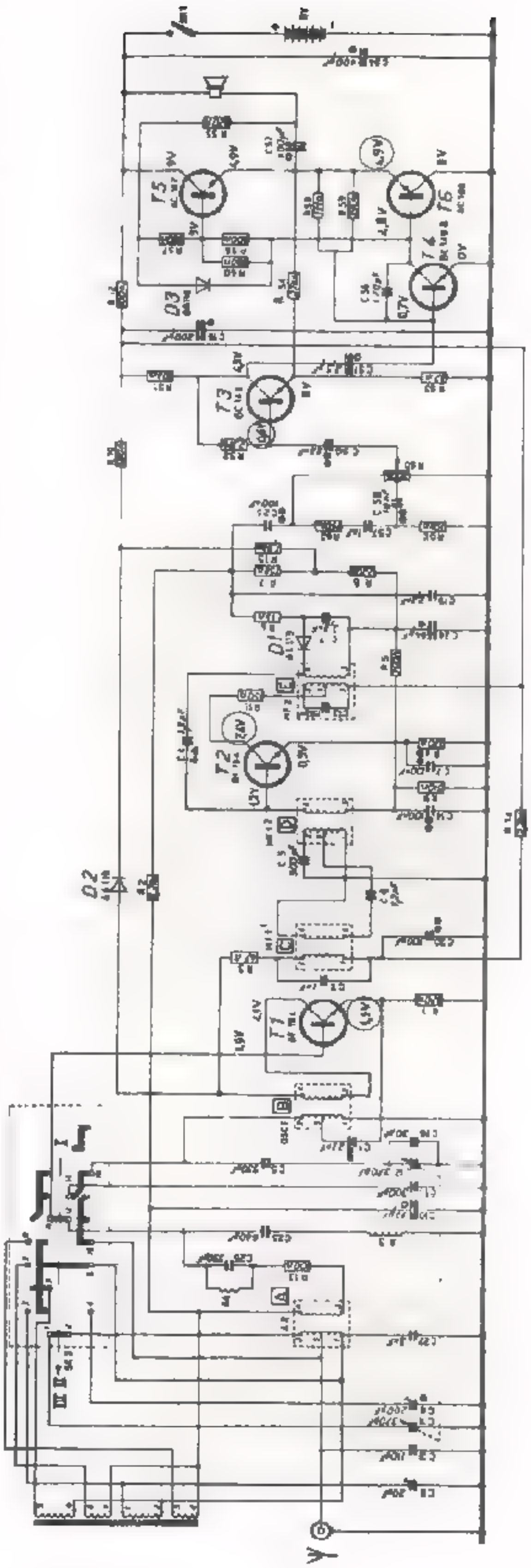


FOUTEN ZOEKEN

De "elektrische druk" - ook "elektrische potentiaal" genoemd - wordt vaak toegepast in schema's van elektronische apparaten. Men zet dan bij de diverse meetpunten de spanningen die op deze punten dienen te staan als het apparaat goed werkt. Meestal is de spanning op een punt dan gerekend ten opzichte van het chassis. Hiernaast is nog eens het schema van de zakradio gegeven, dat we al eerder hebben gebruikt.

In het schema hebben we enige punten omcirkeld. Op die punten ziet U spanningen staan, zoals: 1,5 V, 7,4 V, 8,6 V, 4,9 V enz.

De potentialen van de diverse punten kan men nu snel meten door de ene kant van de spanningsmeter met het chassis te verbinden en de andere kant van de meter achtereenvolgens op de verschillende meetpunten aan te sluiten. Werkt het apparaat niet, dan kan men een fout opzoeken door na te gaan welke van de in het schema vermelde waarden afwijken.



Opmerking:

Wat vroeger "het chassis" van een radio was, kunt U tegenwoordig nog terugvinden in "de metalen delen" van de radio; het chassis bestaat meestal alleen nog uit een "printplaat".

OPDRACHT

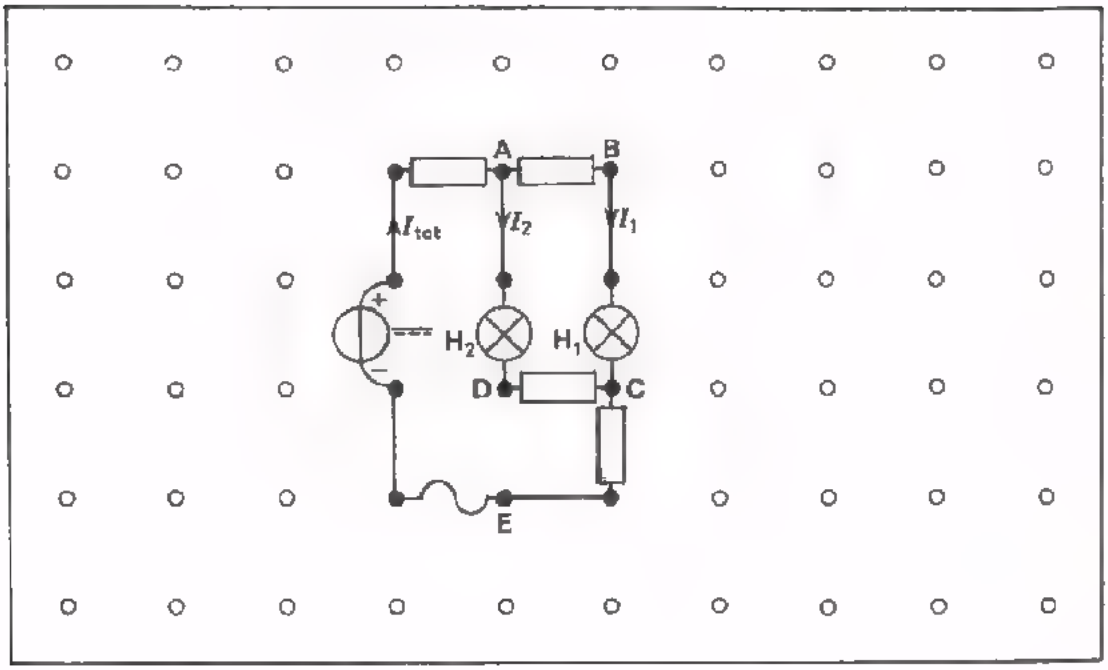
- Bouw met behulp van de gegeven componenten de schakeling van blad A3.13 op het oefenpaneel. Sluit de spanning nog *niet* aan!
- Teken onderaan op blad A3.13 het schema van de schakeling.
- Voer aan de schakeling een spanning toe van 30 V.
- Meet de spanningen U_A, U_B, U_C, U_D.

  Onder "de spanningen" verstaan we hier de spanningen t.o.v dat hier als het ware "chassis" is.

  Noteer deze spanningen in onderstaande tabel.
- Bereken nu aan de hand van de meetresultaten: U_{BD} en U_{AC}. Noteer de berekende waarden in de tabel.
- Meet I_{tot} en noteer het resultaat.
- Meet I_1 en I_2 en noteer het resultaat.

U_A	=	V	gemeten t.o.v. E
U_B	=	V	
U_C	=	V	
U_D	=	V	
U_{BD}	$= U \quad - U \quad = \quad - \quad =$	V	berekend
U_{AC}	$= U \quad - U \quad = \quad - \quad =$	V	
U_{BD}	=	V	gemeten
U_{AC}	=	V	
I_1	=	mA	gemeten
I_2	=	mA	
I_{tot}	=	mA, gemeten	
I_{tot}	$= I_1 + I_2 =$	mA, berekend	

Kloppen de gemeten en berekende waarden?



A
B
I_{tot}
I_2
I_1
H_2
H_1
D
C
E

SAMENVATTING

- De oorzaak van elektrische stroom is het "elektrische drukverschil", kortweg de *spanning* genoemd.
- De spanning van A t.o.v. B duidt men aan met U_{AB}.
- De eenheid van spanning is de volt, afgekort met de hoofdsletter V. Grotere of kleinere eenheden zijn:

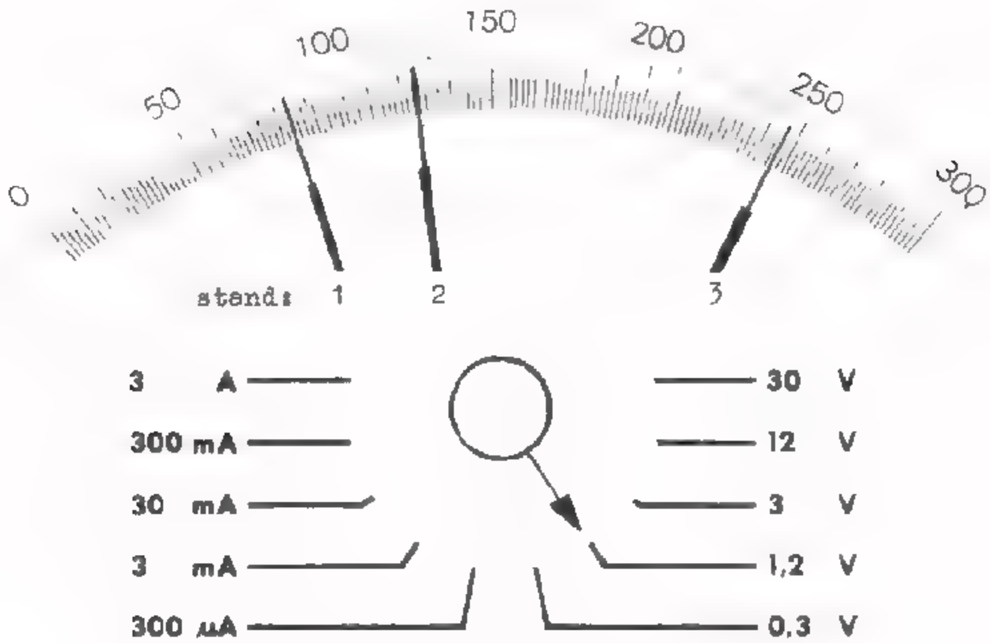
  1 kilovolt = 1000 volt, of 1 kV = 1000 V,
  1 millivolt = $\frac{1}{1000}$ volt, of 1 mV = 0,001 V,
  1 microvolt = $\frac{1}{1\,000\,000}$ volt, of 1 µV = 0,000 001 V.

- Men kan de spanning meten met een *voltmeter*.
- De *stroom* door een component meet men door de stroommeter *in serie* te schakelen met deze component. De *spanning* over een component meet men door de voltmeter *parallel* aan deze component te schakelen.
- Een bron van elektrische stroom levert alleen stroom als hij wordt belast. Spanning levert hij altijd, belast zowel als onbelast. Daarom spreekt men van een *spanningsbron*.
- Onder de "elektrische druk" of de "spanning van een punt" verstaat men de spanning tussen dat punt en het chassis (of de aarde). Ook de "elektrische druk" wordt kortweg *spanning* genoemd. De spanning van punt A t.o.v. bijvoorbeeld chassis, duidt men aan met U_A.
- Het begrip "de spanning van een punt" vindt in de praktijk toepassing door in schema's de spanningen van een aantal meetpunten op te geven. Of een apparaat goed werkt kan men dan controleren door de spanningen van de meetpunten te meten en na te gaan of dit klopt met de verstrekte gegevens.
- Voor het begrip is het soms nuttig een elektrisch voorbeeld te vergelijken met een watervoorbeeld.

  Zo is "elektrische druk" te vergelijken met "waterhoogte".
  "Elektrisch drukverschil" met "waterhoogteverschil".
  Elektrische stroom met waterstroom.
  Geleider van elektrische stroom met buis waar water doorheen stroomt.

NAAM: KLAS:

AFLEESOEFENING



Hierboven is een schaal van een universeelmeter weergegeven met de wijzer in drie standen. Tevens is de meetbereiken-schakelaar van deze meter gegeven. In volgende tabel is telkens een stand van de meetbereiken-schakelaar gegeven en de stand van de wijzer. Vul in de tabel de meter-aanwijzing in.

stand meetbereiken-schakelaar	stand van de wijzer	meter-aanwijzing
3 mA	1	
1,2 V	2	
0,3 V	3	
12 V	1	
3 A	2	
3 V	2	
300 µA	3	

OEFENING

Op volgend blad is een schema getekend, waarin zes *gelijke* weerstanden R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 en R_6 voorkomen.

In het schema zijn de spanningen van een aantal punten t.o.v. aarde vermeld.

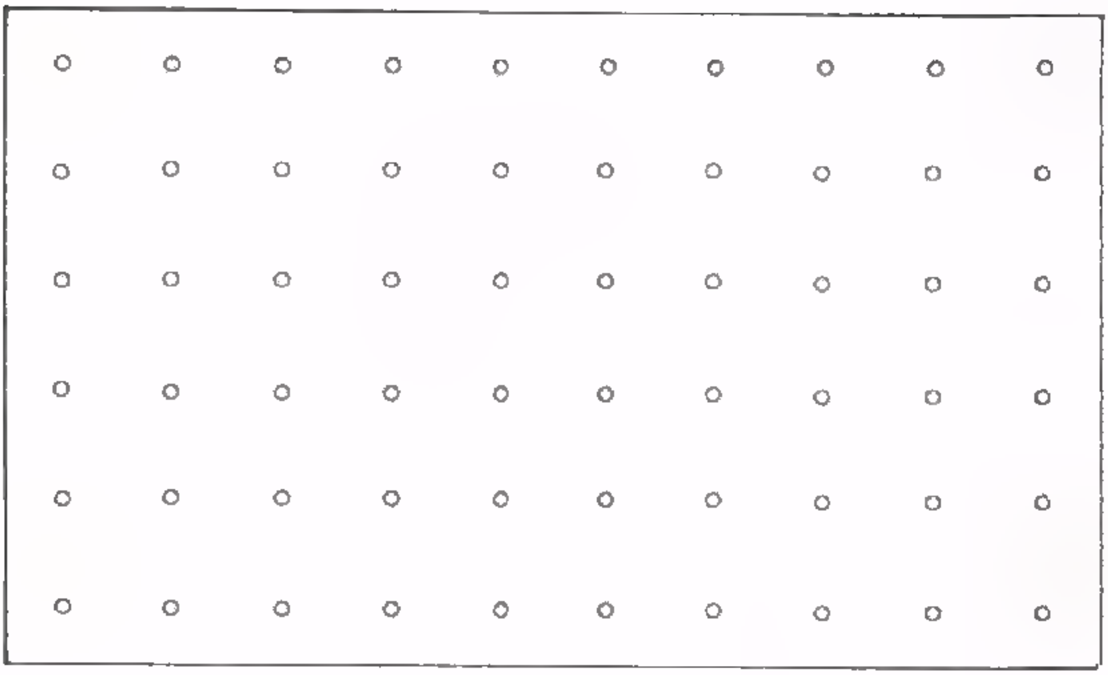
- Teken op blad A3.17 hoe u de schakeling op het oefenpaneel zou bouwen.
- Teken in dit schema bij elke meter de + en de −.
- Geef in dit schema de stroomrichting in elke geleider met pijlpunten aan.
- Teken in het schema in rood de aansluiting van een voltmeter om U_{MA} te meten.
  Geef de + en de − van deze voltmeter aan.
- Deze meter zal aanwijzen: [V]
- Teken in het schema in een andere kleur de aansluiting van een voltmeter om U_M te meten.
  Geef ook hier + en − aan.
- Deze meter zal aanwijzen: [V]
- Hoeveel volt zal de in het oorspronkelijke schema getekende voltmeter aanwijzen?

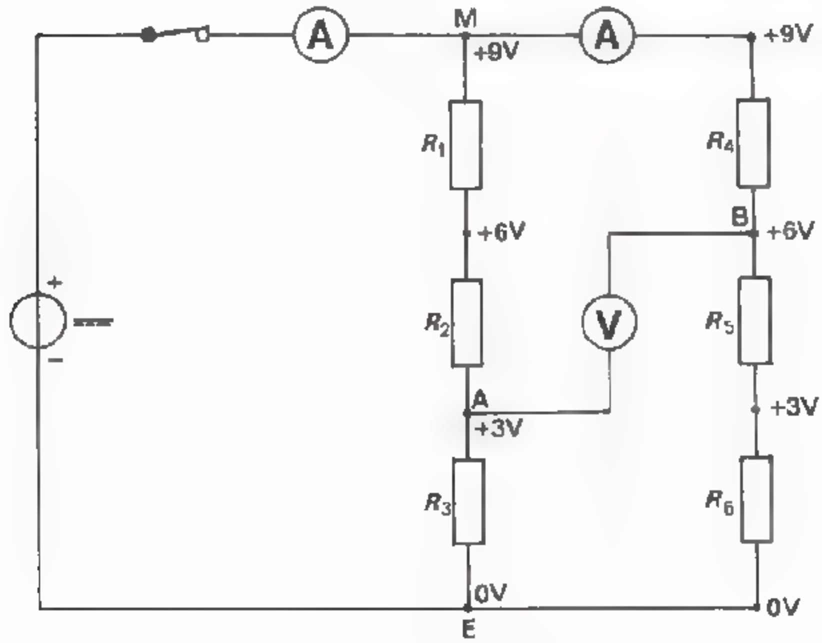
  [V]
- Hoe zal het lettersymbool van deze spanning luiden?

  [ ]

NAAM:

KLAS:





A 4

W E E R S T A N D

DE TEGENSTAND DIE AAN STROOM WORDT GEBODEN

Laten we ons eens voorstellen, dat we achtereenvolgens verschillende tuinslangen op een kraan aansluiten; dunne en dikke, lange en korte. De kraan draaien we telkens geheel open. Uit de ene slang zal per seconde minder water komen dan uit de andere. Dit komt omdat de ene slang meer tegenstand biedt aan het doorstromen van het water dan de andere. Men zegt: "De *weerstand* van de ene slang is groter dan die van de andere".

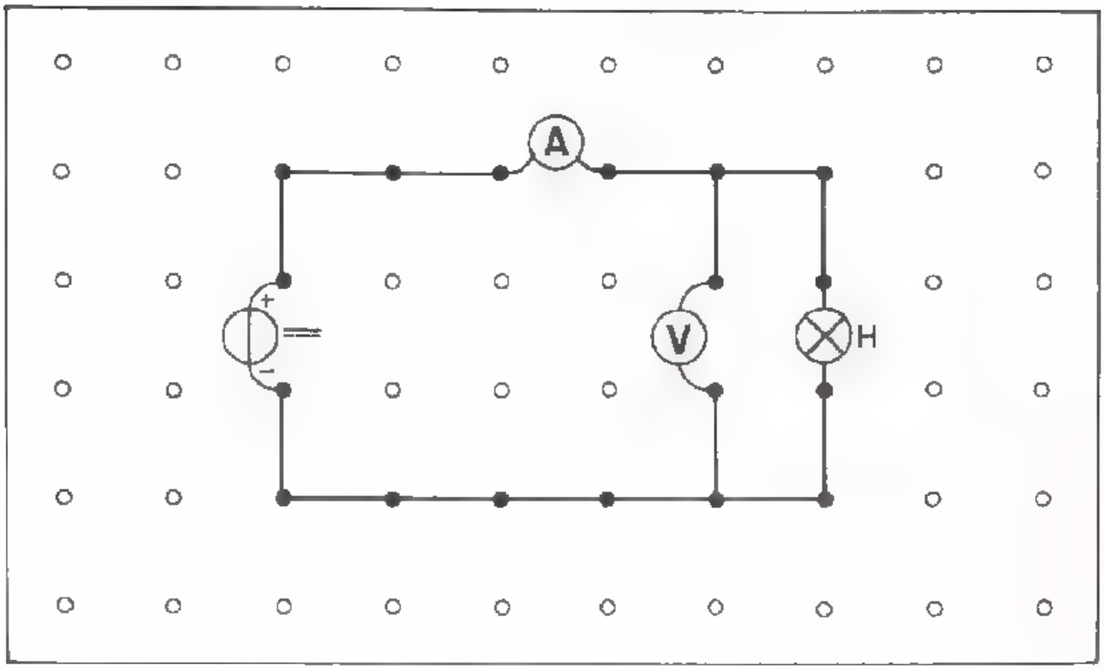
Sluit men achtereenvolgens verschillende componenten - denk b.v. aan lampen - aan op dezelfde spanningsbron, dan zal er door de ene component meer stroom lopen dan door de andere. Dit komt doordat de ene component meer tegenstand biedt aan het doorstromen van elektronen dan de andere. Men zegt: "Hoe kleiner de stroom is die een bepaalde spanning door een component doet lopen, des te groter is de *weerstand* van die component".

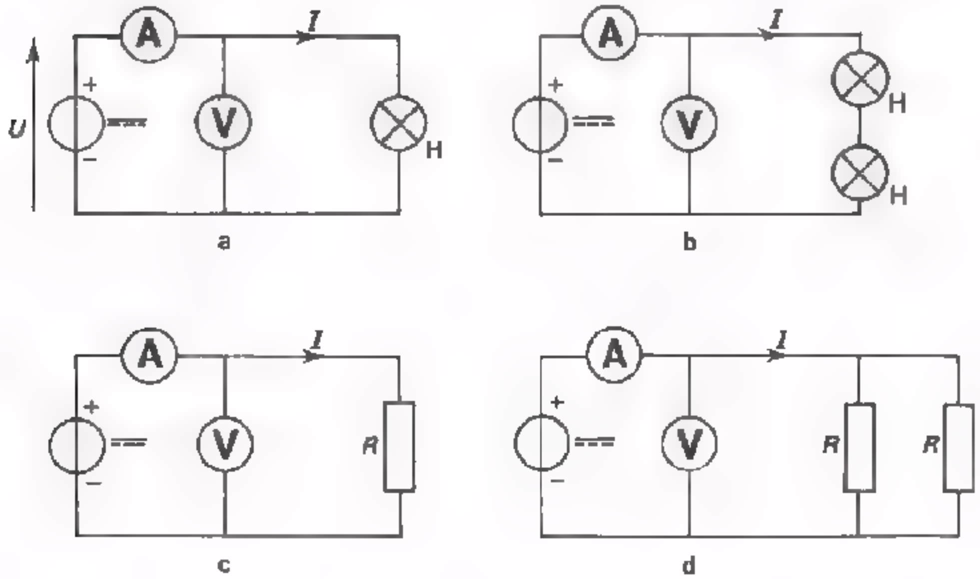
Dit is ook op een andere manier te bekijken. Men kan namelijk een spanningsbron met een regelbare spanning achtereenvolgens op verschillende componenten aansluiten. Men maakt de spanning telkens zo groot, dat de stroom steeds dezelfde waarde krijgt. Dan zal voor het verkrijgen van deze stroom de ene keer méér spanning nodig zijn dan de andere keer. Als er méér spanning nodig is om een even grote stroom door een component te sturen, biedt deze component meer tegenstand aan de stroom. Dan is de *weerstand* van deze component groter.

OPDRACHT: SCHAKELINGEN MET WEERSTANDEN

Op blad A4.3 zijn vier schakelingen getekend. Schakeling a is bovendien op het oefenpaneel weergegeven. Het is de bedoeling dat de voedingsbron aan elk van deze schakelingen een stroom I van 50 mA zal toevoeren.

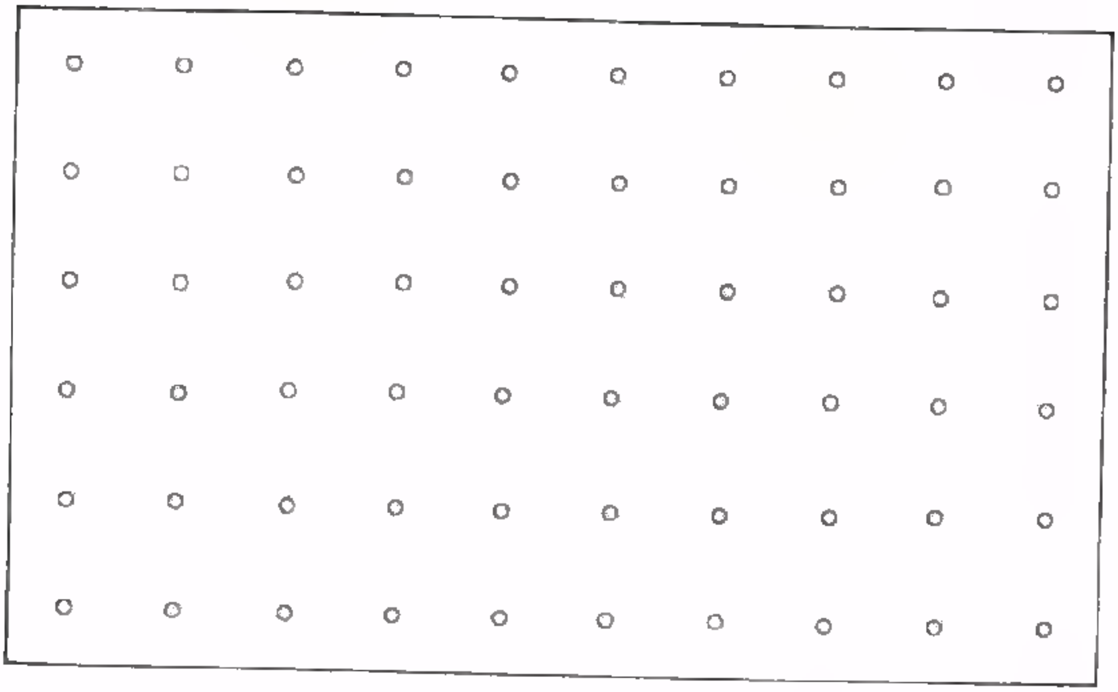
- Teken in de vier schakelingen de + en de - bij de meters.
- Bouw schakeling a op het oefenpaneel, maar sluit de spanning nog niet aan.
- Stel de voedingsbron in op de kleinste spanning en voer deze toe aan de schakeling. Voer de spanning langzaam op totdat I precies 50 mA is geworden.
- Lees de spanningswaarde af en noteer deze op blad A4.3 in de tabel.
- Schets bovenaan op blad A4.4 hoe u schakeling b op het oefenpaneel kunt bouwen.
- Bouw schakeling b op het oefenpaneel.
- Bepaal op dezelfde manier als voor a de spanning U die men aan schakeling b moet toevoeren om een stroom I van 50 mA te krijgen. Vul ook nu de waarde van U in de tabel in.
- Bouw schakeling c op het oefenpaneel. Bepaal de spanning U die men toe moet voeren om een stroom I van 50 mA te verkrijgen. Noteer het resultaat.
- Bouw tenslotte schakeling d op het oefenpaneel.
- Meet hoe groot U moet zijn om een stroom I van 50 mA te krijgen. Noteer ook dit antwoord op blad A4.3.
- Breek de opstelling nog niet af.





I = 50 mA

U in geval a is:	V
U in geval b is:	V
U in geval c is:	V
U in geval d is:	V



CONCLUSIES

Uit onze metingen kunnen we een aantal conclusies trekken. Hieronder vermelden wij die. Streep de onjuiste antwoorden met potlood door.

1. De spanning U is in geval b groter/kleiner dan in geval a. Dit betekent dat de weerstand van twee lampen die in serie/parallel staan groter/kleiner is dan die van één enkele lamp.
2. De spanning U is in geval c groter/kleiner dan in geval a. Dit betekent dat de weerstand van de gebruikte "weerstandcomponent" groter/kleiner is dan die van de in geval a gebruikte lamp.
3. De spanning U is in geval d groter/kleiner dan in geval c. Dit betekent dat de weerstand van twee gelijke componenten die in serie/parallel staan groter/kleiner is dan die van één enkele component.

In de eerste les is reeds aangekondigd dat wij, zodra het nodig is, rekenregels zullen herhalen die we vroeger op school hebben geleerd.

In het volgende stuk over weerstand zal enige kennis van rekenkunde nodig zijn.

VERHOUDINGEN EN QUOTIËNTEN

De heren Aarts en Bosch hebben elk een aantal sigaren. Het aantal sigaren van Aarts noemen we A en het aantal van Bosch B. Als Aarts nu 10 sigaren heeft en Bosch 15, dan zeggen we:

"Het aantal sigaren van Aarts verhoudt zich tot het aantal sigaren van Bosch als 10 staat tot 15".

In het kort:

$$A : B = 10 : 15.$$

De *verhouding* A : B kan men nog vereenvoudigen door de getallen 10 en 15 door eenzelfde getal te delen.

$$A : B = 10 : 15 = 2 : 3.$$

Bij "technisch rekenen" is het handiger zo'n verhouding te schrijven als een *breuk* of *quotiënt*. Als volgt:

$$\frac{A}{B} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}.$$

We hebben blijkbaar de regel toegepast die zegt, dat men bij een breuk *teller* en *noemer* door eenzelfde getal mag delen; in dit voorbeeld door het getal 5.

In formules wordt een verhouding voorgesteld door een breuk. Omgekeerd stelt het quotiënt van twee grootheden de verhouding van deze twee grootheden voor.

$\frac{I_1}{I_2} = \frac{3}{4}$ wil dus zeggen, dat de stroom I_1 zich verhoudt tot de stroom I_2 als 3 staat tot 4.

VOORBEELD

A en B hebben ieder een aantal appels. De aantallen van A en B verhouden zich als 4 : 5. B heeft 25 appels. Hoeveel heeft A er dan?

Oplossing:

Blijkbaar is gegeven: $\frac{A}{B} = \frac{4}{5}$ en B = 25.

Vullen we voor B de waarde 25 in, dan is:

$$\frac{A}{25} = \frac{4}{5}$$

$$25 \times \frac{A}{25} = 25 \times \frac{4}{5}$$

Beide kanten zijn met 25 vermenigvuldigd !

$$A = \overset{5}{\cancel{25}} \times \frac{4}{\cancel{5}} = 5 \times 4 = 20 \text{ appels}$$

OEFENINGEN

1. Vereenvoudig de volgende quotiënten en schrijf de verhoudingen anders op:

$\frac{a}{b} = \frac{56}{88} =$ of a : b =

$\frac{m}{n} = \frac{48}{144} =$ of m : n =

$\frac{p}{q} = \frac{160}{75} =$ of p : q =

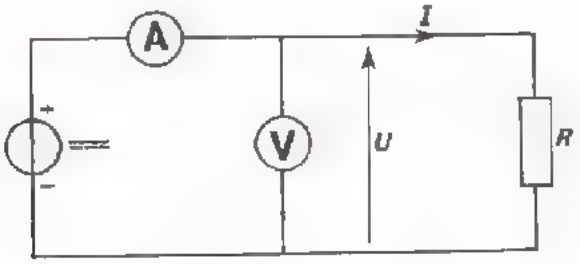
2. Het aantal vakantiedagen van M verhoudt zich tot dat van N als 5 : 6. M heeft 35 vakantiedagen. Hoeveel vakantiedagen heeft N?

Antwoord:

We gaan dit nu toepassen op spanningen en stromen.

OPDRACHT: METEN VAN STROOM EN SPANNING

- Zet in het schema de + en de - bij de meter.



- Bouw de schakeling.

- Voer achtereenvolgens de in de tabel vermelde spanningen toe. Meet telkens de grootte van de stroom I. Noteer de uitkomsten van uw metingen in de tabel.

U	5 V	10 V	15 V	20 V	25 V	30 V
I	mA	mA	mA	mA	mA	mA

- Geef antwoord op volgende vraag. Wat valt u op aan de spanningen en stromen van de ingevulde tabel? Schrijf hieronder uw antwoord met een paar woorden op.

Inderdaad, het valt op dat de stroom door de "weerstand-component" groter is naarmate de toegevoerde spanning groter is. Maar is het u ook opgevallen dat de verhouding van de spanning tot de stroom steeds dezelfde is? Neen? Deel dan eens de spanningen uit de tabel op blad A4.8 door de stromen!

Als u zo'n meting bij een andere "weerstand-component" zou doen, dan zou u vinden, dat de verhouding van de spanning tot de stroom steeds dezelfde is.
U bent zo proefondervindelijke gekomen tot de *wet van Ohm:*

> Zetten we spanning over een geleider, dan ontstaat een stroom door die geleider. De *verhouding* van deze *spanning* en *stroom* is steeds dezelfde. We zeggen: "De verhouding van spanning en stroom is een *constante*".
> Of in formulevorm:

$$\frac{U}{I} = \text{"constante"}.$$

In het begin van deze les hebben we het gehad over de tegenstand die een geleider biedt aan stroom, de grootheid "weerstand". Men duidt "weerstand" in formules aan met de hoofdletter R. We kunnen nu heel precies zeggen, wat wij onder de *weerstand* verstaan.

> De *weerstand* R van een geleider is de *verhouding* van de *spanning* over de geleider tot de *stroom* door de geleider; dit is de genoemde "constante":

$$\boxed{R = \frac{U}{I}}$$

De wet van Ohm zegt dus eigenlijk niets anders dan:
"Bij een geleider bestaat er een constante verhouding tussen spanning en stroom, die men "de weerstand" R noemt".
In het begin van deze les is gesteld:

> Hoe groter de U die nodig is om een bepaalde I te laten lopen, des te meer weerstand aan de stroom wordt geboden, of des te groter de weerstand is.

Bekijk ook nog eens de opdracht van blad A4.3. Dit klopt geheel met de formule van de wet van Ohm. Immers,

> als in: $R = \frac{U}{I}$ de U om een bepaalde I te veroorzaken groter is, dan is de breuk $\frac{U}{I}$ groter en dus ook de weerstand R.

DE EENHEID VAN WEERSTAND

De eenheid van weerstand is de ohm. Men kort "ohm" af met de griekse hoofdletter Ω, uitgesproken als "omega".

1 ohm is de weerstand van een geleider waardoor een stroom van 1 ampere gaat, als er een spanning van 1 volt op aangesloten is. Dit volgt uit de wet van Ohm.
Als in $R = \frac{U}{I}$ de U en de I beide gelijk zijn aan 1, dan is ook R gelijk aan 1:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1}{1} = 1.$$

We kunnen nu stellen, dat de wet van Ohm in formule luidt:

$R = \frac{U}{I}$, waarin:	U in volt, V
	I in ampere, A
	R in ohm, Ω.

Vaak gebruikt men grotere eenheden van weerstand:

1 MΩ = 1 megohm = 1 000 000 Ω

1 kΩ = 1 kilo-ohm = 1 000 Ω.

Soms komt ook een kleinere eenheid voor:

1 mΩ = 1 milli-ohm = $\frac{1}{1\ 000}$ Ω.

Opmerking:
De hoofdletter M betekent: "1 000 000 maal".
De kleine letter m betekent: "$\frac{1}{1000}$ maal".

Schrijf daarom de letters M en m altijd zeer *duidelijk*, want staat er M en is m bedoeld, dan leest men een 1 000 000 000 maal zo grote uitkomst! Ga dit eens na!

TOEPASSING VAN DE WET VAN OHM

De wet van Ohm $R = \frac{U}{I}$ geeft het verband tussen de grootheden weerstand R, spanning U en stroom I. Als *twee* van deze *drie* grootheden bekend zijn, kan men met de formule de derde grootheid berekenen.

Voorbeelden:

1. Gegeven: $U = 12$ V en $I = 2$ A

   Gevraagd: R

   Oplossing: $R = \frac{U}{I} = \frac{12}{2} = 6\ \Omega$.

2. Gegeven: $U = 24$ V en $R = 3\ \Omega$

   Gevraagd: I

   Oplossing: $R = \frac{U}{I}$ of $3 = \frac{24}{I}$

   $I \times 3 = I \times \frac{24}{I}$

   $I \times 3 = 24$, dus $I = 8$ A.

3. Gegeven: $I = 5$ A en $R = 13\ \Omega$

   Gevraagd: U

   Oplossing: $R = \frac{U}{I}$ of $13 = \frac{U}{5}$

   $5 \times 13 = 5 \times \frac{U}{5}$

   $5 \times 13 = U$ of $U = 65$ V.

OEFENING

Men sluit een netspanning van 110 V aan op een verwarmingselement. Het element heeft een weerstand van 880 Ω. Hoe groot is de stroom door het element?

Oplossing: $U = 110$ V en $R = 880\ \Omega$

$R = \frac{U}{I}$ of , zodat:

$I =$ $\boxed{}$

DE WET VAN OHM IN ANDERE VORM

We hebben gezien dat we met de formule $R = \frac{U}{I}$ altijd één grootheid kunnen berekenen als de twee andere gegeven zijn. Dit is voor de berekening van R erg gemakkelijk; de formule staat als het ware kant en klaar.

Om de spanning U gemakkelijker te kunnen berekenen, als I en R bekend zijn, kan men gebruik maken van een handiger vorm van de wet van Ohm.

Deze leiden we af.

$$R = \frac{U}{I}, \text{ of } I \times R = I \times \frac{U}{I}, \text{ of } I \times R = U, \text{ zodat:}$$

$$\boxed{U = R \times I}$$

Om de stroom I gemakkelijker te kunnen berekenen kunnen we ook een handiger vorm van de wet van Ohm afleiden.

$$R = \frac{U}{I}, \text{ of } I \times R = I \times \frac{U}{I}, \text{ of } I \times R = U, \text{ of } \frac{I \times R}{R} = \frac{U}{R}, \text{ zodat:}$$

$$\boxed{I = \frac{U}{R}}$$

We hebben nu drie vormen van de wet van Ohm, nl.:

$\boxed{R = \frac{U}{I}}$	$\boxed{U = R \times I}$	$\boxed{I = \frac{U}{R}}$
R "voorop"	U "voorop"	I "voorop"

Welke vorm van de wet van Ohm we kiezen hangt af van de onbekende grootheid. Is R onbekend dan nemen we de eerste vorm; is U onbekend, dan de tweede; en is I onbekend, dan de derde.

Tenslotte nog een opmerking.
We zijn uitgegaan van de wet van Ohm in de vorm: $R = \frac{U}{I}$. De andere vormen volgen hier snel uit op soortgelijke manier als:

$$\text{uit } 3 = \frac{12}{4} \text{ volt } 12 = 3 \times 4 \text{ en ook } 4 = \frac{12}{3}$$

LET OP DE EENHEDEN!

Tot nu toe hebben we bij de toepassingen van de wet van Ohm steeds voorbeelden en oefeningen gehad, waarin uitsluitend sprake was van volt, ampere en ohm. Wat te doen als we met andere eenheden te maken krijgen, zoals b.v. kV, µA en MΩ? *Van groot belang* is om u dan altijd aan de volgende regels te houden:

- Begin de gegeven grootheden eerst om te rekenen in volt, ampere of ohm.

  B.v. 1 kV = 1000 V
  en 200 mA = 0,2 A.

- Vul de gegeven waarden (in V, A of Ω) in de formule van de wet van Ohm in en bereken de uitkomst.

  B.v. $R = \frac{U}{I} = \frac{1000}{0,2} = 5000\ \Omega$.

- Zet, indien nodig, de uitkomst weer om in een andere eenheid dan V, A of Ω.

  B.V. 5000 Ω = 5 kΩ.

Oefening

Gegeven: $U = 24$ V
$R = 12$ kΩ

Gevraagd: I

Oplossing: $R = 12$ kΩ = Ω

$I = \frac{U}{R} =$ = A

= $\boxed{\quad\text{mA}}$

"WEERSTAND" EN "WEERSTAND"

In het voorgaande hebben we het gehad over twee verschillende betekenissen van het woord *weerstand*. Het is goed om dit nog eens te overdenken.

Onder "*de* weerstand" van een geleider verstaat men de verhouding tussen spanning en stroom van deze geleider, in het kort de grootheid R.

Onder "*een* weerstand", zoals dit reeds in les A1 ter sprake is gekomen, verstaat men een "component". Vaak heeft men behoefte aan een geleider die een bepaalde weerstand heeft, in ohm uitgedrukt. Men zou hiervoor een metaaldraad kunnen nemen, die dan nogal eens onhandig lang zou moeten zijn. Men heeft daarom componenten vervaardigd met handige kleine afmetingen die een bepaalde weerstandswaarde bezitten. Dit zijn de componenten die men *weerstanden* noemt.

HET METEN VAN DE WEERSTAND

De weerstand van een component kan men meten door er een spanning op aan te sluiten. Men meet deze spanning en tegelijkertijd de stroom.
Met behulp van $R = \frac{U}{I}$ kan men dan de weerstandswaarde berekenen.

OPDRACHT: BEPALING VAN R UIT U EN I

Meet met de opstelling volgens blad A4.7 de waarde van drie onbekende weerstanden.

Denk hierbij vooral aan volgende punten.

- U dient de regels voor het meten van de stroom goed op te volgen! U hebt er nl. nog geen idee van hoe groot de stroom ongeveer zal zijn, want de waarde R is nog geheel onbekend.
- Ga bij de berekeningen te werk volgens de regels van blad A4.12.

R_1 =	=	of	R_1 =	
R_2 =	=	of	R_2 =	
R_3 =	=	of	R_3 =	

SAMENVATTING

- De *weerstand* van een geleider is de tegenstand die hij biedt aan het lopen van elektrische stroom.

- Precieser gezegd is de *weerstand* van een geleider de verhouding van de spanning die men er op aansluit en de stroom die er dan door gaat lopen:

$$R = \frac{U}{I}$$

- De component *weerstand* is een geleider met een bepaalde gewenste weerstandwaarde, die handige kleine afmetingen heeft.

- Volgens de *wet van Ohm* is de verhouding tussen de spanning over een geleider en de stroom door die geleider constant:

$$\frac{U}{I} = \text{constante} = \text{weerstand.}$$

- De *eenheid van weerstand* is de ohm (Ω). Dit is de weerstand van een geleider waardoor een stroom van 1 A loopt als de spanning tussen de uiteinden 1 V bedraagt.

- Veel gebruikte grote eenheden van weerstand zijn:

  1 kilo-ohm = 1 kΩ = 1 000 Ω

  1 megohm = 1 MΩ = 1 000 000 Ω.

- De wet van Ohm kan men op drie manieren schrijven:

$$\boxed{R = \frac{U}{I}} \qquad \boxed{U = R \times I} \qquad \boxed{I = \frac{U}{R}}$$

- Bij berekeningen met de wet van Ohm moet men de grootheden altijd uitdrukken in volt, ampere en ohm!

- De wet van Ohm kan men gebruiken om, als bij een geleider twee van de drie grootheden, U, I en R bekend zijn, de derde grootheid te berekenen.

NAAM:

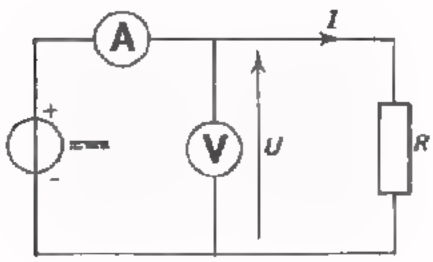
KLAS:

OEFENINGEN

1. In volgende tabel zijn telkens twee van de drie grootheden U, I en R gegeven. Bereken telkens de ontbrekende grootheid. Voer deze berekening uit op een apart stuk papier en vul de gevonden waarde met potlood in de tabel in. Vergeet niet de eenheid te vermelden.

	U-waarde	I-waarde	R-waarde
R_1	U_1 = 220 V	I_1 = 250 mA	R_1 =
R_2	U_2 =	I_2 = 3 A	R_2 = 15 kΩ
R_3	U_3 = 36 V	I_3 =	R_3 = 1 MΩ
R_4	U_4 =	I_4 = 10 µA	R_4 = 100 kΩ
R_5	U_5 = 15 kV	I_5 = 2,5 mA	R_5 =
R_6	U_6 = 720 mV	I_6 =	R_6 = 120 Ω

2.



In deze schakeling is de weerstandswaarde van R gelijk aan 120 kΩ. De voltmeter wijst 30 V aan. De stroommeter wijst aan:

I =

3. Op een elektrische kachel staat vermeld: 220 V/4 A. Dit betekent, dat men deze kachel op 220 V moet aansluiten en dat de stroom door de kachel dan 4 A bedraagt. Bereken nu eens de weerstand van het verwarmingselement van de aangesloten kachel.

R =

4. Een gloeilamp mag een stroom van maximaal 2,5 A opnemen tijdens het gloeien. Als de lamp brandt is de weerstand van de gloeispiraal 9,6 Ω. Bereken de spanning die maximaal op de lamp aangesloten mag worden.

U = [ ]

5. Een soldeerbout wordt aangesloten op 6 V en neemt een stroom op van 10 A. Bereken de weerstand van het verwarmingselement tijdens het gebruik.

R = [ ]

A 5

R E K E N E N

WAAROM WE SOMS REKENEN

In de vorige lessen hebt u al gemerkt dat we soms moeten rekenen. We zullen het rekenen in deze cursus niet overdrijven, maar zonder enige vaardigheid in eenvoudige rekenkunde komt u niet ver in de elektronica.

In het dagelijks leven maken we soms berekeningen.
Voorbeeld:

U wilt een kamer met vloerbedekking beleggen.
De kamer is: 7,2 bij 3,6 m.
U wilt tegels van 30 bij 30 cm gebruiken, die f 2,10 per stuk kosten.
Een belangrijke vraag is dan hoeveel geld u daaraan kwijt bent.

Om deze vraag te beantwoorden slaat u aan het rekenen, b.v. als volgt:

Oppervlak: $7{,}2 \times 3{,}6 = 25{,}92\ m^2$

Opp. één tegel: $0{,}3 \times 0{,}3 = 0{,}09\ m^2$

Nodig $\frac{25{,}92}{0{,}09} = 288$ *tegels*

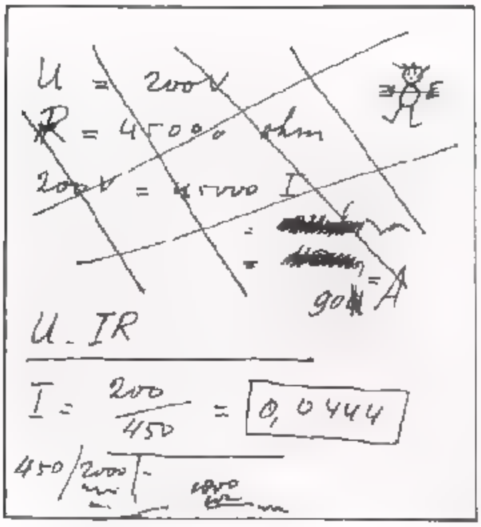
Kosten: $288 \times f\ 2{,}10 = f\ 604{,}80$.

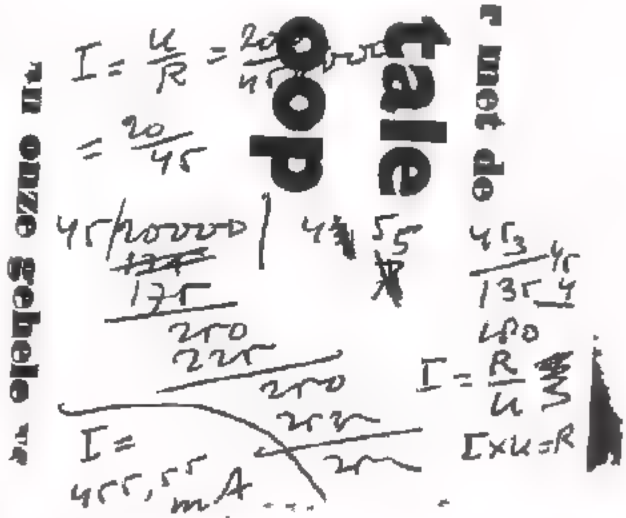
Het antwoord op deze vraag kunt u alleen maar krijgen door te rekenen. Sommige mensen kunnen zo'n antwoord uit het hoofd vinden, maar ook zij moeten *rekenen*.

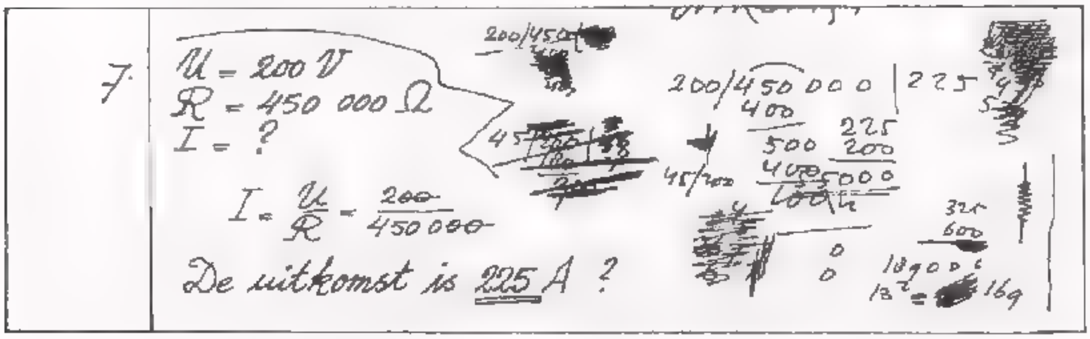
In de techniek worden we herhaaldelijk voor problemen gesteld die we alleen kunnen oplossen door een berekening uit te voeren. Deze les hebben we geheel gereserveerd om enkele grondbeginselen uit de rekenkunde, die we in de elektronica telkens nodig hebben, netjes op een rijtje te zetten.

REKENEN EIST DISCIPLINE

Hieronder staan enige voorbeelden van berekeningen, zoals we die dikwijls zouden kunnen zien als we over de schouder van een "rekenwonder" meekijken.







Hier hebben drie mensen geprobeerd dezelfde berekening te maken, maar geen van drieën is daarin geslaagd. Het waren alle drie paniekerige knoeiers.

Een eerste vereiste bij het rekenen is, dat u slordigheid vermijdt. Ga er rustig voor zitten; denk niet, ik zal het wel "effe fiksen", maar concentreer u er geheel op. Goed schrijfmateriaal b.v. kan al een prachtig hulpmiddel zijn om fouten te voorkomen!

Een tweede eis is, dat u een handjevol regels foutloos kunt toepassen. Die regels leerde u bijna alle reeds op de lagere school. Laten we beginnen met er een paar snel te herhalen.

HERHALING VAN DE VIER VOORNAAMSTE REKENREGELS

Hieronder een snelle herhaling van de voornaamste *bewerkingen* met *decimale* getallen. Tevens zijn de verschillende benamingen nog eens genoemd.

- *optellen*

$$1{,}083 + 198{,}7 + 0{,}092 =$$

```
    1,083
  198,7      ←——  de termen
    0,092 +
  -------
  199,875    ←——  de som
```

- *aftrekken* $97{,}301 - 68{,}584 =$

```
  97,301
  68,584 -   ←——  de termen
  ------
  28,717     ←——  het verschil
```

Een aftrekking moet u altijd controleren door "van onder naar boven" op te tellen. Doe dit eens bij deze aftrekking. Wat merkt u?

- *vermenigvuldigen*

$$34{,}2 \times 0{,}501 =$$

```
     34,2
     0,501 x   ←——  de factoren
  --------
       342
   171000 +
  --------
   17,1342    ←——  het produkt
```

- *delen*

$$274{,}9 : 7{,}61 \quad \text{of} \quad \frac{274{,}9}{7{,}61} = \frac{27490}{761} =$$

de teller

de noemer

```
  761 / 27490 \ 36,1
        2283
        ----
         4660
         4566
         ----
          940
          761
          ---
          179
```

de deler

het deeltal

het quotiënt

MACHTSVERHEFFEN

Als een getal een aantal malen met zichzelf vermenigvuldigd wordt, dan spreken we van *machtsverheffing*.

Voorbeelden:

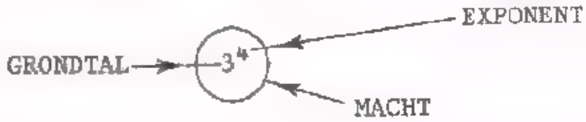
$3 \times 3 \times 3 = 3^3$ – "drie tot de derde (macht)" = 27

$3 \times 3 \times 3 \times 3 = 3^4$ – "drie tot de vierde (macht)" = 81.

3^4 is een voorbeeld van een *macht*

3 noemt men het *grondtal*

4 noemt men de *exponent*.



Is de exponent 2, dan spreekt men van een *kwadraat*.

"vijf kwadraat" $= 5^2 = 5 \times 5 = 25$.

● $2^2 \times 2^3 = (2 \times 2) \times (2 \times 2 \times 2) = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^5$.

Dus: $2^2 \times 2^3 = 2^{2+3} = 2^5$.

Men *vermenigvuldigt* machten van hetzelfde grondtal door hun *exponenten op te tellen*.

● $\frac{4^5}{4^3} = \frac{4 \times 4 \times \cancel{4} \times \cancel{4} \times \cancel{4}}{\cancel{4} \times \cancel{4} \times \cancel{4}} = 4 \times 4 = 4^2$.

Dus: $\frac{4^5}{4^3} = 4^{5-3} = 4^2$.

Men *deelt* machten van hetzelfde grondtal door de *exponent* van de *noemer af te trekken* van de *exponent* van de *teller*.

Nog een voorbeeld:

$$\frac{5^2 \times 5^6}{5^5} = 5^{2+6-5} = 5^3 = 125.$$

Pas op! Er staat in deze spelregels "machten van *hetzelfde* grondtal"!
Als het grondtal verschilt, dan zit er niet anders op dan de machten uit te rekenen.

B.v.
$$\frac{3^3}{2^4} = \frac{3 \times 3 \times 3}{2 \times 2 \times 2 \times 2} = \frac{27}{16},$$

We kunnen een macht ook tot een macht verheffen.

Voorbeeld: $(2^4)^3$ - "twee tot de vierde tot de derde" -
Dit betekent: $2^4 \times 2^4 \times 2^4 = 2^{12} = 2^{4 \cdot 3}$.

OEFENINGEN

Reken volledig uit:

1. $(3 \times 2)^3$ =
2. $2^2 \times 3^2$ =
3. $(3^3)^2$ =
4. $3^3 : 3^2$ =
5. $3^3 - 3^2$ =
6. $2^3 : 3^2$ =
7. $3^3 \times 3^2$ =
8. $(2^2 - 2)^3$ =
9. $\dfrac{2^3 \times 2^2 \times 2}{2^4}$ =
10. $(2^3)^2 - (2^2)^3$ =

BENADERINGEN

Op de lagere school al leerde u heel precies cijferen. Vaak was de meester pas tevreden als 6 plaatsen achter de komma nog van cijfers waren voorzien. U kreeg sommetjes zoals:

$$30{,}891 \times 6{,}035 =$$

De twee factoren zette u onder elkaar en na moeizaam gereken verkreeg u het product in vele decimalen.

Dit is een soort rekenen, zoals de boekhouder dit moet doen; alles moet tot op honderdste centen kloppen.
De technicus behoeft niet zo nauwkeurig te rekenen. De getallen waarmee hij werkt zijn uit metingen verkregen en die zijn stuk voor stuk ook niet zo nauwkeurig. Hij is meestal tevreden als hij een goede indruk heeft van de grootte van een uitkomst. Dit bespaart hem dan veel moeite en tijd; het werkt veel sneller.
In het voorbeeld van het sommetje hierboven zal hij wat afronden:

$$30{,}891 \times 6{,}035 \approx 31 \times 6 \approx 186$$

≈ betekent: "is ongeveer gelijk aan".

Nog een paar voorbeelden. Bekijk deze eens goed.

- $\frac{26{,}21 \times 56{,}96}{5{,}176} \approx \frac{26 \times 57}{5{,}2} \approx 285$ (288,43)

- $\left(\frac{104 \times 0{,}98}{24{,}81}\right)^2 \approx \left(\frac{100 \times 1}{25}\right)^2 \approx 16$ (17,151)

- $\sqrt{98} \approx \sqrt{100} \approx 10$ (9,8995)

U zult misschien protesteren en zeggen: "Maar dat is geen rekenen meer; dat is gokken"! Noem het desnoods zo, maar bedenk wel dat we in de techniek bijna altijd zo te werk gaan. De man van de techniek zal meestal *benaderend rekenen*.

Het valt voor de meeste mensen niet mee om vroeger ingehamerde gewoonten af te leren. Dat lukt ook niet van de ene dag op de andere. Neem u echter voor om in deze cursus een uitkomst nooit nauwkeuriger dan tot op twee decimalen uit te rekenen! Ga meer en meer schattend rekenen; 't spaart zoveel tijd!

REKENEN MET LETTERS

We hebben al kennis gemaakt met *formules*. In een formule leggen we een "technische bewering" met behulp van letters vast.
Voorbeeld:

Wet van Ohm: "Weerstand is het quotiënt van spanning en stroom".

In formule-vorm: $R = \frac{U}{I}$, waarin: U spanning,
I stroom,
R weerstand.

Bij een bepaald vraagstuk moeten de letters van de formule vervangen worden door gegeven waarden. Daarna is de waarde van de overblijvende letter te berekenen. We hebben dit bij de wet van Ohm reeds een paar keer gedaan. Hier nog een voorbeeld uit de meetkunde.

Voor een driehoek geldt:

"Het oppervlak is het halve produkt van basis en hoogte".

In formule:

$$A = \tfrac{1}{2} \cdot b \cdot h$$

A oppervlak,
b basis,
h hoogte.

Als $b = 8$ m en $h = 3$ m, dan vinden we na invullen van deze getallen in de formule:

$$A = \tfrac{1}{2} \times 8 \times 3 = 12 \text{ m}^2.$$

OEFENING

Een bewering uit de mechanica luidt:

"Afgelegde weg is het product van snelheid en tijd".

Schrijf dit in formule-vorm. Gebruik voor de afgelegde weg de letter s, voor snelheid de letter v en voor tijd de letter t.

Formule:

Als $s = 12$ km en $t = 2{,}5$ uur, dan is de snelheid:

$v =$ km/uur

Zeer vaak laat men letters aanvankelijk staan. Men rekent dan met letters. Dit rekenen met letters - en cijfers - heet *algebra*.

In de algebra gelden dezelfde regels als in de rekenkunde. We behandelen hier enige van die regels, vooral aan de hand van voorbeelden.

Optellen en Aftrekken

4 weerstanden + 5 weerstanden = 9 weerstanden
4 lessen + 5 lessen = 9 lessen

Altijd geldt:

4 "iets" + 5 "iets" = 9 "iets".

Dit "iets" kunnen we afkorten met een letter, b.v. de "a". Dan krijgen we:

$$4\ a + 5\ a = 9\ a.$$

In de volgende voorbeelden is dit "iets" een lettercombinatie:

$$4\ IR + 5\ IR = 9\ IR$$

$$5\ (p + q) + 2\ (p + q) = 7\ (p + q).$$

Het "iets" moet wel van dezelfde soort zijn; we kunnen niet zonder meer b.v. "konijnen" en "fabrieken" bij elkaar tellen. Met aftrekken gaat het precies zo.
Voorbeelden.

$$17\ a - 9\ a = 8\ a$$

$$12\ I^2R - 7\ I^2R = 5\ I^2R$$

$$5\ (a + b) - 4\ (a + b) = \quad (a + b) = a + b$$

↑ de 1 schrijven we niet!

$$2\ p + 5\ p - 4\ p = 7\ p - 4\ p = 3\ p.$$

De "dingen" die we optellen of aftrekken heten *termen*. In dit voorbeeld zijn 2 p, 5 p en 4 p dus de termen.

Hier bestaan de termen elk uit een cijfer en een letter. De cijfers heten *coëfficiënten*.

Nog een voorbeeld.

$$4\,U - 2\,U + 7\,U =$$

Hier staan drie termen: $4\,U$, $2\,U$ en $7\,U$.
De coëfficiënten zijn achtereenvolgens: 4, 2 en 7.

Bij optellingen en aftrekkingen kan men in de algebra - evenals bij de rekenkunde - de termen onder elkaar zetten.

Voorbeelden:

$$\begin{array}{r} 6\,(a-b) \\ 5\,(a-b) \\ \underline{3\,(a-b)}\,+ \\ 14\,(a-b) \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 8\,\frac{U}{I} \\ \underline{7\,\frac{U}{I}}\,- \\ \frac{U}{I} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 8\,I_1 + 5\,I_2 + 4\,I_3 \\ \underline{7\,I_1 + I_2 + 4\,I_3}\,- \\ I_1 + 4\,I_2 \end{array}$$

↑ de 0 schrijven we niet op!

OEFENINGEN

Maak hulpberekeningen op een afzonderlijk vel papier. Schrijf de uitkomsten in de daarvoor bestemde hokjes.

1. $a = 2$, $b = 3$ en $c = 1$.
   Vul deze waarden in $4\,a^2b + 6\,bc^2 - 11\,abc$ in en bereken de uitkomst.

2. Tel op: $4\,p^2q + 6\,p^2q + 10\,p^2q =$

3. Bereken:
$$\begin{array}{r} 7\,a + 4\,b + 2\,c + 5\,d \\ \underline{5\,a + 4\,b + \,c + 3\,d} \; + \end{array}$$

4. Trek de tweede term van de vorige opgave af van de eerste:

5. Tel op: $5\,p^2q$, $11\,p^2q$, $3\,p^2q$ en $7\,qp^2$.

6. $b - b + b - b + 3\,b - 2\,b - b =$

7. $6\,xyz - 5\,xyz - xyz -$

8. $pqr + 1 + 5\,(pqr + 1) - 3\,(1 + pqr) =$

9. $7\,(2\,n^2 + n - 1) - 8\,(2\,n^2 + n - 1) + 3\,(2\,n^2 + n - 1) =$

10. $4\,x^2 + 5\,x^2 - 8\,x^2 =$

    In deze laatste opgave staan termen.

    De coëfficiënten zijn:
    De exponenten zijn:

VERMENIGVULDIGEN

$3\ b + 3\ b + 3\ b + 3\ b = 12\ b,$

dus: $4 \times 3\ b = 12\ b.$

Evenzo:

$7 \times 4\ mn = 28\ mn$

$3\ p \times 6\ q = 3 \times p \times 6 \times q$

$= 3 \times 6 \times p \times q = 18\ pq$

De maaltekens laten we vaak weg of we zetten een punt: $a \times b = a\ .\ b = ab$

De "dingen" die we met elkaar vermenigvuldigen heten *factoren*. Evenals bij het vermenigvuldigen van getallen, kunnen we de factoren onder elkaar zetten.

$$3\ (2\ a + b) = \begin{array}{r} 2\ a + b \\ \underline{3} \times \\ 6\ a + 3\ b \end{array}$$

$$a\ (c + d) = \begin{array}{r} c + d \\ \underline{a} \times \\ ac + ad \end{array}$$

$$(p + 6)\ (p + 2) = \begin{array}{r} p + 6 \\ \underline{p + 2} \times \\ p^2 + 6\ p \\ \underline{+ 2\ p + 12} \\ p^2 + 8\ p + 12 \end{array}$$

of $(p + 6)\ (p + 2) =$

$p^2 + 2\ p + 6\ p + 12 =$

$p^2 + 8\ p + 12$

DELEN

$12\ b : 15$ of $\frac{12\ b}{15} = \frac{4\ b}{5}$

Teller en noemer van een breuk kan men door hetzelfde getal delen, hierdoor is vereenvoudiging mogelijk.
Een verhouding kan men op dezelfde manier vereenvoudigen.

Voorbeelden:

$\frac{21\ a}{a} = \frac{21}{1} = 21$ *of* $21\ a : a = 21 : 1$

$\frac{6\ (p + q)}{12\ (p + q)} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}$ *of* $6\ (p + q) : 12\ (p + q) = 1 : 2$

$\frac{18\ x^2 \cancel{y} z}{9\ x \cancel{y}} = 2\ xz$ *of* $18\ x^2yz : 9\ xy = 2\ xz : 1$

MACHTSVERHEFFEN

$c \times c = c^2$, cc schrijven we niet.

$3\,q \times 5\,q \times 4\,q = 3 \,.\, 5 \,.\, 4 \,.\, q \,.\, q \,.\, q = 60\,q^3$

$a^2 \times a^3 = a \,.\, a \times a \,.\, a \,.\, a = a^5$

a^5 is een *macht*

a heet *grondtal*

5 heet *exponent*

Nog steeds geldt:

Bij *vermenigvuldigen* van machten van hetzelfde grondtal moet men *exponenten optellen*.

NOGMAALS DELEN

$$\frac{a^5}{a^3} = \frac{a \,.\, a \,.\, \cancel{a} \,.\, \cancel{a} \,.\, \cancel{a}}{\cancel{a} \,.\, \cancel{a} \,.\, \cancel{a}} = a^2, \text{ dus:}$$

$$\frac{a^5}{a^3} = a^{5-3} = a^2$$

Ook hier geldt:
Bij *delen* van machten van hetzelfde grondtal moet men de *exponent* van de *noemer aftrekken* van die van de *teller*.

OEFENINGEN

1. $b^2 \times 4\ b^1 \times 3\ b^3$ =

2. $5\ a \times (a + b)$ =

3. $3\ pq \times 2\ pq$ =

4. $\frac{15\ a^2b^2}{3\ ab}$ =

5. $\frac{t\ (a + b - c)}{2\ (a + b - c)}$ =

6. $(p + 3)\ (p + 4)$ =

7. $\frac{m^3}{m^3} - 1$ =

8. $\frac{a^2 \times a \times b^2}{a^3b}$ =

9. $(6\ x^2y + 12) : 3$ =

10. $(5\ p + 1)^2$ =

NEGATIEVE GETALLEN

In het dagelijks leven rekenen we soms met negatieve getallen. We spreken b.v. over een temperatuur van -5^0C en over -8 m A.P. (8 m beneden Amsterdams Peil). Een schuld van f 50,-. zou u kunnen aangeven als "een bezit van -50 gulden".

Hoe rekenen we nu met negatieve getallen? Er is eigenlijk maar één belangrijke regel en wel de volgende:

> Het product van twee negatieve getallen is positief en
> het product van een positief en een negatief getal is negatief.

Voorbeelden:

$$(+a) \times (+b) = +ab$$
$$(+a) \times (-b) = -ab$$
$$(-a) \times (+b) = -ab$$
$$(-a) \times (-b) = +ab$$

Schematisch:

+	x	+	=	+
+	x	−	=	−
−	x	+	=	−
−	x	−	=	+

Komt men nu tegen: $-(-Q)$ dan moet men dit zien als:

$$(-1) \times (-Q) = +1\ Q = +Q$$

In plaats van: $-(a-b)$ denkt men: $(-1) \times (a-b) = -a+b$

OPTELLEN

Enkele voorbeelden:

$$(+5) + (-2) = +5 -2 = +3 = 3$$
$$(+5) + (-8) = +5 -8 = -3$$
$$(-3) + (-3) = -3 -3 = -6$$
$$(+Q) + (-Q) = +Q -Q = 0$$

$$\begin{array}{r} -3\ ab \\ \underline{+5\ ab} \; + \\ +2\ ab \end{array} \qquad \begin{array}{r} -8\ mn^2 \\ \underline{+5\ mn^2} \; + \\ -3\ mn^2 \end{array} \qquad \begin{array}{r} -7\ (n^2 + 1) \\ \underline{-8\ (n^2 + 1)} \; + \\ -15\ (n^2 + 1) \end{array}$$

AFTREKKEN

Voorbeelden:

$$(+7) - (+2) = +7 -2 = +5 = 5$$
$$(+3) - (-2) = +3 +2 = +5 = 5$$
$$(-5) - (-1) = -5 +1 = -4$$

Dit laatste voorbeeld nog eens "onder elkaar".

$$\begin{array}{r} -5 \\ \underline{-1} \; - \\ ? \end{array} \quad \text{We maken er een optelling van:} \quad \begin{array}{r} -5 \\ \underline{+1} \; + \\ -4 \end{array}$$

De "truc" bij het onder elkaar zetten is dus, dat men i.p.v. aftrekken, gaat "optellen met verandering van teken".

Nog enkele voorbeelden:

$$(+3\ a) - (-4\ a) = +3\ a +4\ a = 7\ a \quad \text{of} \quad \begin{array}{r} +3\ a \\ \underline{-4\ a} \; - \\ ? \end{array} \quad \begin{array}{r} +3\ a \\ \underline{+4\ a} \; + \\ 7\ a \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 8\ a^2 - 5\ b^2 \\ \underline{-9\ a^2 + 4\ b^2} \; - \\ ? \end{array} \longrightarrow \begin{array}{r} 8\ a^2 - 5\ b^2 \\ \underline{+9\ a^2 - 4\ b^2} \; + \\ 17\ a^2 - 9\ b^2 \end{array}$$

OEFENINGEN

1. $(+5) + (-2) + (-3) - (+1) =$

2. $(+4\ p^2) + (-3\ p^2) - (-5\ p^2) =$

3. $\begin{array}{r} -6\ (a + b) \\ \underline{-2\ (a + b)} \; - \end{array}$

4. $\begin{array}{r} +8\ (1 + n^2) \\ \underline{-\ (1 + n^2)} \; - \end{array}$

HAAKJES

We hebben reeds herhaaldelijk met haakjes gewerkt. Uit het verband was wel duidelijk wat bedoeld werd. We zullen het nog wat secuurder bekijken.

HAAKJES WEGWERKEN

Voorbeelden:

$+ (5a - b) = 5a - b$

Als er een + teken voor de haakjes staat, dan kunnen we de haakjes zonder meer weglaten.

$- (5a - b) = -5a + b$

Ook als er een - teken voor de haakjes staat, dan kunnen we de haakjes weglaten. We moeten dan echter alle tekens tussen de haakjes veranderen! In bovenstaand voorbeeld ook de + van de eerste term, die men niet schrijft. Staat er een - teken voor de haakjes, dan betekent dit "het tegengestelde nemen van alles tussen de haakjes".

BUITEN HAAKJES BRENGEN

Voorbeelden:

$5p + 10q = 5(p) + 5(2q) = 5(p + 2q)$

5 is gemeenschappelijk; we kunnen deze vóór de haakjes zetten. Controle

$$5(p + 2q) = \begin{array}{r} p + 2q \\ \underline{5} \;\times \\ 5p + 10q \end{array}$$

$RI_1 + RI_2 = R(I_1 + I_2)$

$12\,U_A - 4\,U_B = 4\,(3\,U_A - U_B)$

$x^2y + xy^2 = xy\,(x + y)$

$6\,I^2R_1 - 2\,I^2R_2 = 2\,I^2\,(3\,R_1 - R_2)$

SAMENVATTING

- Rekenen met machten:

$3^4 = 3 \times 3 \times 3 \times 3$ $\qquad$ $a^5 = a \times a \times a \times a \times a$

$3^4 \times 3^2 = 3^{4+2} = 3^6$ $\qquad$ $a^5 \times a^2 = a^{5+2} = a^7$

$\dfrac{3^8}{3^2} = 3^{8-2} = 3^6$ $\qquad$ $\dfrac{a^5}{a^3} = a^{5-3} = a^2$

$(3^4)^2 = 3^{4 \times 2} = 3^8$ $\qquad$ $(a^3)^6 = a^{3 \times 6} = a^{18}$

- Vereenvoudigen:

$\dfrac{12\ a^2}{15\ ab} = \dfrac{4\ a}{5\ b}$ $\qquad$ $12\ a^2 : 15\ ab = 4\ a : 5\ b$

- Vermenigvuldigen:

+	x	+	=	+
+	x	−	=	−
−	x	+	=	−
−	x	−	=	+

zodat →

(+a) (+b) = +ab
(+a) (−b) = −ab
(−a) (+b) = −ab
(−a) (−b) = +ab

$$\begin{array}{r} 2\ a - 5\ b \\ \underline{4\ a - 3\ b}\ \times \\ 8\ a^2 - 20\ ab \qquad \\ \underline{-\ 6\ ab + 15\ b^2} \\ 8\ a^2 - 26\ ab + 15\ b^2 \end{array}$$

of

$(2\ a - 5\ b)\ (4\ a - 3\ b) =$

$8\ a^2 - 6\ ab - 20\ ab + 15\ b^2 =$

$8\ a^2 - 26\ ab + 15\ b^2.$

- Haakjes weghalen:

$+\ (a - b + c) = a - b + c$

$-\ (a - b + c) = -a + b - c$

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

Om verdere routine op te doen geven we hier nog een reeks rekenkundige en algebraïsche opgaven. Voer de berekeningen op een afzonderlijk vel papier uit en zet de uitkomsten in de daarvoor bestemde hokjes.

1. $(2^2)^2$ =

2. $\frac{b^2}{2\,b} - 1$ =

3. $4^2 : 4$ =

4. $a^2 \times a^3$ =

5. $50{,}2 - 7{,}1 + 18{,}9$ =

6. $(m + 2)\ (m + 3)$ =

7. $(3I) - (-4I)$ =

8. $\frac{2^4 \times 2^2}{2^3}$ =

9. $2^2 \times 2^3 - 2$ =

10. $\frac{15I^2R_1}{3I^2R_2}$ =

11. $5(I_1 - 2I_2)$ =

12. $\frac{2^3}{2} + \frac{3^3}{3}$ =

13. $5-7-3-(3-4)$ =

14. $0{,}37 \times 0{,}51$ =

15. $3Q - (-5Q)$ =

16. $6(2^2)^3-4(2^3)^2$ =

17. $\frac{4(x^2 + y)}{8(x^2 + y)}$ =

18. $4{,}37 : 0{,}68$ =

19. $7(3xy-1)-3xy+1$ =

20. $\frac{(3^2 - 3)^2}{2 \times 3}$ =

21. $a = 3$, $b = -2$ en $c = 1$

Vul deze waarden in volgende formule in en bereken de uitkomst.

$a^2 + 2\,bc - 1 =$

22. Bereken en schrijf zonder haakjes:

$5(U_1 + U_2) - 6(U_1 + U_2)$ =

A 6

W E E R S T A N D E N

VOOR- EN NADELEN VAN "WEERSTAND"

In de voorgaande lessen hebben we gezien dat er in een stroomkring altijd sprake is van drie belangrijke grootheden:

- Een verplaatsing van vrije elektronen dóór een geleider: de *stroom*.
- De oorzaak van deze elektronenverplaatsing, een elektrisch drukverschil tussen de uiteinden van die geleider: de *spanning*.
- Een remmende invloed op de elektronen in de geleider: de *weerstand*.

Deze "remmende invloed" op de elektronen gaan we eens wat nader bekijken. Op het eerste gezicht lijkt weerstand in een geleider ongewenst. In sommige gevallen is dat ook zo. Denkt u maar aan bliksemafleiders, elektriciteitskabels en aardleidingen, waarin we elektrische stromen liefst geheel ongehinderd laten passeren. Dit is helaas niet helemáál te verwezenlijken. Voor deze doeleinden kiest men materialen waarin veel vrije elektronen voorkomen, die zich gemakkelijk kunnen verplaatsen. Men noemt ze ook wel: "materialen met een groot geleidingsvermogen" of "materialen met weinig weerstand". Koper is bijvoorbeeld een veel gebruikt geleidermateriaal. Ook zilver is een zeer goede geleider; het is véél duurder en maar weinig beter dan koper.

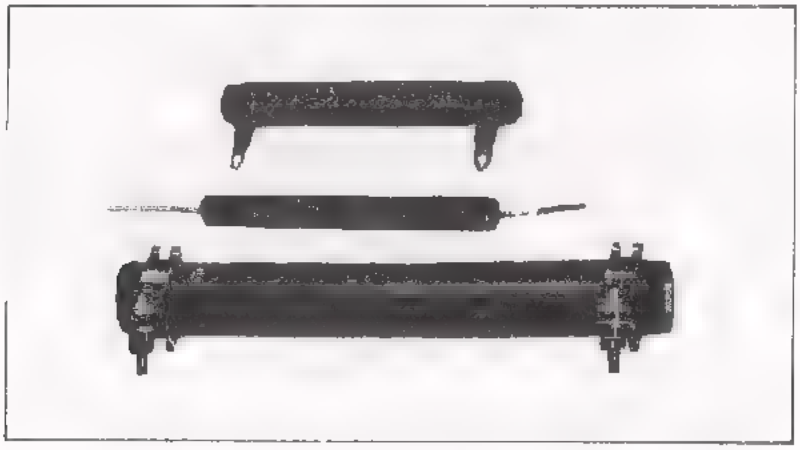
In andere gevallen komt de weerstand van geleiders ons juist goed van pas. Bij gloeilampen, elektrische kachels en kookplaten is dankbaar gebruik gemaakt van de eigenschap dat sommige materialen de stroom minder goed geleiden. Zo is bijvoorbeeld de gloeidraad van een lamp vervaardigd uit wolfram, de spiraal van een elektrische kachel uit nickeline. Deze materialen hebben veel minder vrije elektronen en de elektronenverplaatsing vindt daarin slechts moeizaam plaats. Er treedt wrijving op die warmte tot gevolg heeft. Men noemt ze ook wel "materialen met een klein geleidingsvermogen" of "materialen met veel weerstand".

Er zijn, vooral in de elektronica, nog veel meer toepassingen waarbij het verschijnsel "weerstand" onmisbaar is. Men is zelfs bewust componenten gaan maken die een bepaalde weerstandswaarde hebben: de *weerstanden*.

WAT IS EEN WEERSTAND?

Er zijn weerstanden in allerlei soorten, waarden en afmetingen. Maar in één opzicht zijn ze allemaal gelijk. Tussen de twee uiteinden van de component bevindt zich een geleider die een bepaalde weerstand in ohm vertegenwoordigt.

De meest eenvoudige vorm bestaat uit een staafje of buisje van isolatiemateriaal waarop een draad is gewikkeld van materiaal met veel weerstand. De uiteinden van deze draad zijn verbonden met twee aansluitpunten in de vorm van soldeerlippen of koperdraadjes. Het geheel is tenslotte van een beschermende emaille-laag voorzien. Zo'n weerstand noemt men: *draad(gewonden) weerstand.*



WAARVAN IS DE WEERSTANDSWAARDE AFHANKELIJK?

Hoeveel ohm zo'n weerstand vertegenwoordigt hangt van drie dingen af:

- De *lengte* van de draad. Hoe langer de draad is, des te hoger is de weerstandswaarde.
- De *doorsnede* van de draad. Hoe dunner de draad is, des te hoger is de weerstand.
- Het *materiaal* waarvan de draad gemaakt is. Hoe slechter het geleidingsvermogen, des te hoger is de weerstandswaarde.

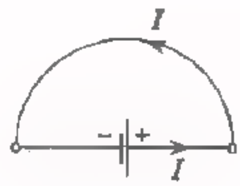
We zullen elk van deze drie dingen wat nauwkeuriger bekijken.

- De lengte.

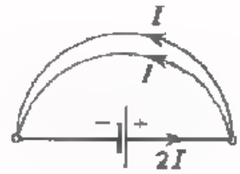
In een lange geleider zijn de elektronen op hun weg dóór die geleider langer onderhevig aan de "remmende invloed" dan in een korte geleider. Knippen we van een rol weerstandsdraad twee stukken af, één van 1 m en één van 2 m dan blijkt het volgende:
Op de draad van 2 m moeten we een tweemaal zo hoge spanning aansluiten als op die van 1 m om dezelfde stroom te laten lopen. Hieruit blijkt, dat de weerstand van een geleider evenredig is met zijn lengte.

- De doorsnede.

Sluiten we een geleider aan op een spanning dan vloeit er door die geleider een bepaalde stroom I.



Sluiten we parallel aan deze geleider precies zo'n zelfde geleider aan, dan vloeit daardoor een stroom, die even groot is als die in het eerste geval. Dit betekent dan dezelfde spanning aan de twee geleiders samen een tweemaal zo grote stroom levert.



Of volgens de wet van Ohm:

- in het eerste geval: $\frac{U}{I} = R$
- in het tweede geval: $\frac{U}{2\,I} = \frac{1}{2}\,\frac{U}{I} = \frac{1}{2}\,R$

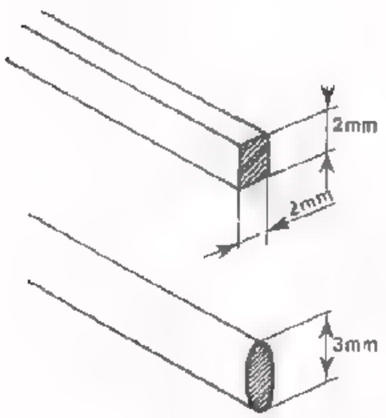
De totale weerstand van de twee geleiders samen is de helft van die van één geleider alleen. Hieruit kunnen we de conclusie trekken dat de weerstand van een "dunne" geleider groter is dan van een "dikke".

Immers: 

Wat preciezer gezegd:

De weerstand van een geleider is groter naarmate het *oppervlak van de doorsnede* kleiner is.

Voorbeelden:



Vierkante draad van 2 mm dikte heeft een doorsnede van:

$2 \times 2 = 4\ mm^2$.

Ronde draad met een *diameter* van 3 mm heeft een *doorsnede* die overeenkomt met het oppervlak van een cirkel met een middellijn van 3 mm.

De oppervlakte van een cirkel is altijd:

$$A = \frac{1}{4}\pi d^2, \text{ waarin } A = \text{oppervlakte}$$
$$\pi = 3,14$$
$$d = \text{diameter}$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 3^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 9 \approx 7\ mm^2.$$

Let op! 

diameter:

$d = 3$ mm

doorsnede:

$A = \frac{1}{4}\pi d^2 \approx 7\ mm^2$

HET MATERIAAL

We hebben al gesproken over materialen "met veel weerstand" en "met weinig weerstand". Twee geleiders met gelijke lengte en doorsnede, maar van verschillend materiaal (b.v. koper en ijzer) hebben niet dezelfde weerstand. Men zegt dat elk materiaal een *soortelijke weerstand* heeft. In onderstaande tabel is de soortelijke weerstand gegeven van een aantal veel gebruikte materialen. De getallen geven de weerstand in ohm als de geleider een lengte heeft van 1 m en een doorsnede van 1 mm^2. In formules gebruikt men voor soortelijke weerstand de griekse letter ρ, (spreek uit: roo).

materiaal	soortelijke weerstand ρ (Ω/m/mm^2)
zilver	0,0147
koper	0,0172
aluminium	0,0262
nikkel	0,0693
messing	0,07
ijzer	0,12
tin	0,115
nickeline	0,40
constantaan	0,50
chroomnikkel	1,1
kool	30

Samenvattend kunnen we zeggen:

De weerstand van een geleider is,
- evenredig met de lengte l van de geleider
- omgekeerd evenredig met de doorsnede A
  "Evenredig met $\frac{1}{A}$" noemt men
  "omgekeerd evenredig met A".
- evenredig met de soortelijke weerstand ρ van het materiaal.

In formulevorm: $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ waarin R in Ω
l in m
A in mm^2.

Een voorbeeld.

Een elektrische bel in een keuken is met een drukknop aan de voordeur verbonden door middel van schelledraad. De schelledraad is van koper en heeft een diameter van 0,5 mm. De afstand voordeur-keuken is 12 meter. Hoeveel weerstand heeft deze leiding?

$l = 2 \times 12 = 24$ m (heen en terug!).

$A = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5^2 = \frac{1}{4} \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}25 = \frac{3{,}14}{16} \approx 0{,}2\ mm^2$.

$\rho = 0{,}0172$ (zie tabel)

$R = \rho \frac{l}{A} = 0{,}0172 \cdot \frac{24}{0{,}2} \approx 2{,}06\ \Omega$.

Als we nu eens ijzerdraad van dezelfde dikte zouden gebruiken i.p.v. koperdraad, hoeveel zou de weerstand dan zijn? Rekent u dat zelf eens uit.

De weerstand is dan: $\boxed{\qquad\qquad\qquad \Omega}$

Nog een voorbeeld:

We willen zelf een weerstand van 20 Ω gaan maken. We beschikken over constantaandraad van 1 mm diameter. Hoeveel draad hebben we nodig?

$R = 20\ \Omega$

$\rho = 0{,}5$ (zie tabel)

$A = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4} \cdot 3{,}14 \cdot 1 = \frac{3{,}14}{4} = 0{,}785\ \text{mm}^2.$

l = gevraagd

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

$$20 = 0{,}5\,\frac{l}{0{,}785}$$

$$15{,}7 = 0{,}5\ (l)$$

$$l = \frac{15{,}7}{0{,}5} = 31{,}4\ \text{m}$$

De constantaandraad moet dus 31,4 m lang zijn.

OEFENING

Hoe groot is de weerstand van een ronde koperdraad met een diameter van 10 mm en een lengte van 10 km?

Antwoord:

WARMTEONTWIKKELING IN EEN WEERSTAND

Als een elektrische stroom door een leiding vloeit wordt de leiding warm als gevolg van de "wrijving" die de elektronen ondervinden. Deze "wrijving" en dus ook de warmteontwikkeling wordt groter naarmate:

- De stroom door de leiding groter is.
- De doorsnede van de leiding kleiner is.

Wordt de warmteontwikkeling té groot, dan kan de leiding zelfs doorbranden. Een toepassing hiervan is de smeltveiligheid of zekering.

Een weerstand is als het ware een "stuk leiding" met een bepaalde doorsnede. Evenals een leiding slechts een beperkte stroom kan doorlaten is dat dus met een weerstand het geval.

Veronderstel nu eens dat de stroom die door de op blad A6.7 berekende weerstand van 20 Ω moet lopen zó groot is, dat de weerstand door zou branden. De constantaandraad is dan blijkbaar te dun. Daarom nemen we nu constantaandraad van 2 mm diameter i.p.v. 1 mm dik. De lengte van de draad moet nú zijn?

kleiner/gelijk/groter

Reken de lengte van de constantaandraad uit:

De lengte moet zijn: | m |

Wikkelt men de constantaandraad in beide gevallen om een buis van isolatiemateriaal dan heeft men weliswaar twee weerstanden van gelijke waarde (20 Ω), doch met geheel verschillende afmetingen. Hoe hoger de maximale stroom mag zijn, des te groter zijn de afmetingen van de weerstand.

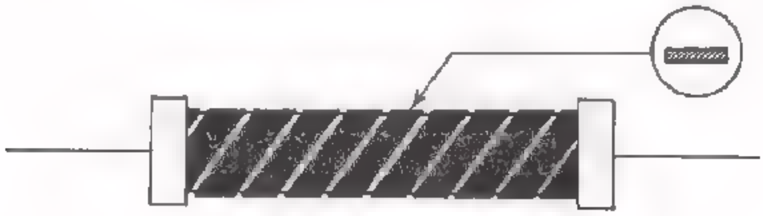
Voor elke weerstand geldt een bepaalde maximale stroom die niet overschreden mag worden. Later zullen we zien dat voor een weerstand niet de maximale stroom wordt opgegeven, maar het maximale *vermogen* in watt.

KOOL ALS WEERSTANDSMATERIAAL

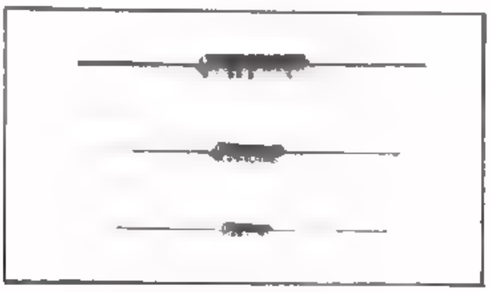
Naast de draadgewonden weerstand komt een ander type veel vaker voor: de *koolweerstand*. Als weerstandsmateriaal wordt *kool* gebruikt met een soortelijke weerstand: ρ = 30. Er zijn uitvoeringen waarbij de koolstof tot een massief staafje is geperst, dat aan weerszijden van een aansluitdraadje is voorzien.

Een andere uitvoeringsvorm bestaat uit een keramisch staafje waarop een dun laagje koolstof is aangebracht. In de koollaag is een spiraalvormige groef geslepen tot op het keramische staafje. De dikte van de koollaag en de lengte en breedte van het aldus ontstane "koollint" bepalen de weerstandwaarde.

Immers: $R = \rho \, \frac{l}{A}$ $l \longleftarrow$ lengte) van het; $A \longleftarrow$ dikte x breedte) "koollint"



Door de "spoed" en de breedte van het slijpspoor te veranderen is het mogelijk koolweerstanden te fabriceren van gelijke afmetingen en tóch sterk uiteenlopende weerstandswaarden. Maar ook hier geldt dat de afmetingen groter worden naarmate de maximale stroom groter mag zijn.



HET AANGEVEN VAN DE WAARDE

De waarde van elke weerstand wordt door de fabrikant op de weerstand zèlf vermeld. Dit kan op twee manieren:

- Door de waarde in cijfers op de weerstand te stempelen.
- Door een kleurcode-systeem.

● De cijfercodering.

Het vermelden van de waarde in cijfers vindt bijvoorbeeld veel toepassing op draadgewonden weerstanden, grote koolweerstanden en weerstanden voor speciale doeleinden. Men past daarbij de volgende schrijfwijze toe:

10 E = 10 Ω
8 E 2 = 8,2 Ω
1 k = 1 kΩ = 1000 Ω
5 k 6 = 5,6 kΩ = 5600 Ω
10 M = 10 MΩ = 10 000 000 Ω
2 M 2 = 2,2 MΩ = 2 200 000 Ω

Weerstanden die op deze manier gecodeerd zijn, dient men steeds zó te monteren dat de opgestempelde waarde leesbaar blijft. Bovenstaande schrijfwijze hanteert men ook dikwijls in schema's, stuklijsten en zelfs in het spraakgebruik.

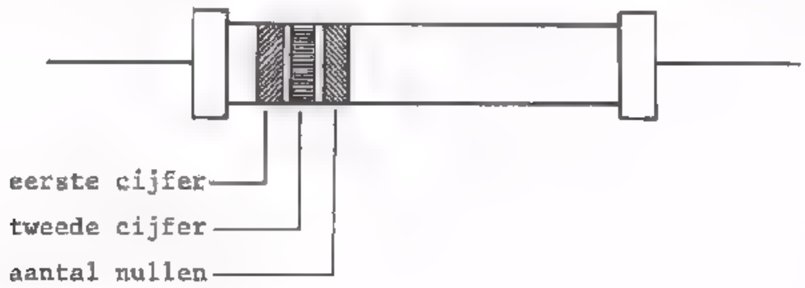
- De kleurcodering.

Bij het kleurcode-systeem geeft men de waarde aan door gekleurde ringen op de weerstand. Elke kleur heeft een bepaalde getal-waarde.

zwart	0
bruin	1
rood	2
oranje	3
geel	4
groen	5
blauw	6
violet (paars)	7
grijs	8
wit	9

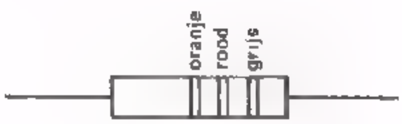
Deze tabel moet u beslist van buiten leren!

De ringen worden "gelezen" van het uiteinde naar het midden van de weerstand.



Enkele voorbeelden:

2 2 00 = 2200 Ω 2 k 2



8 2 000 = 82 000 Ω
= 82 k

1 0 0 = 100 Ω = 100 E

1 2 00 000 = 1 200 000 Ω
= 1 M 2.

DE NAUWKEURIGHEID

In sommige gevallen moeten weerstanden nauwkeurig de vermelde waarde bezitten én onder alle omstandigheden - zoals bij vocht, verschillende temperatuur - houden. Dit geldt bijvoorbeeld in sterke mate voor weerstanden in meetapparatuur.
In andere gevallen komt het dikwijls niet zó precies. De kosten voor het fabriceren van weerstanden met een grote nauwkeurigheid zijn uiteraard hoger dan voor weerstanden die minder nauwkeurig zijn. Op elke weerstand staat vermeld welke nauwkeurigheid men mag verwachten. De toelaatbare afwijking - de *tolerantie* - wordt opgegeven in procenten van de aangegeven waarde. De aangegeven waarde noemt men de *nominale waarde*.

Voorbeelden:

- We hebben een weerstand: 1 kΩ - 10%

  De nominale waarde is: 1000 Ω

  De tolerantie is: 10% van 1000 Ω

  10% van 1000 Ω is: $\frac{10}{100} \times 1000 = 100\ \Omega$

  De waarde van deze weerstand ligt tussen:

  1000 + 100 = *1100* Ω

  en 1000 - 100 = *900* Ω

- Een andere weerstand: 8K2 - 5%

  De nominale waarde is: 8200 Ω

  De tolerantie is: 5% van 8200 Ω

  5% van 8200 Ω is: $\frac{5}{100} \times 8200 = 410\ \Omega$

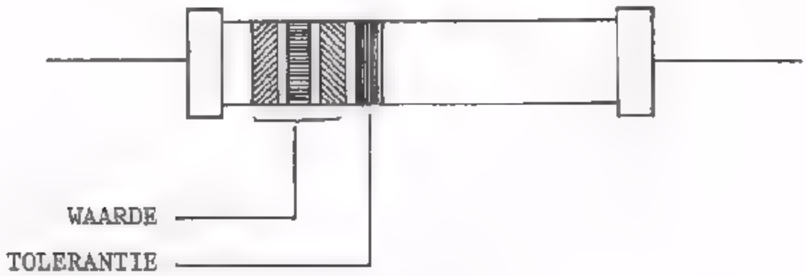
  De waarde van de weerstand ligt tussen:

  8200 + 410 = *8610* Ω

  en 8200 - 410 = *7790* Ω

De tolerantie is op de weerstand vermeld:

- bij de cijfercode door een toevoeging "...%",
- bij de kleurcode door een vierde ring.



Hierbij gelden de volgende kleurafspraken:

bruin:	1%
rood:	2%
goud:	5%
zilver:	10%
géén vierde ring:	20%

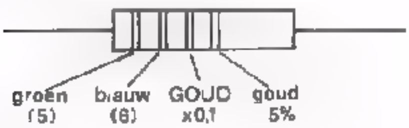
Van buiten leren!

OPMERKING

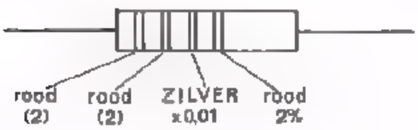
De laatste tijd komen in schakelingen steeds kleinere weerstanden voor. Hierbij gebruikt men als derde ring:

een gouden; dit betekent dan: x 0,1
en een zilveren; dit betekent dan: x 0,01.

Voorbeelden:



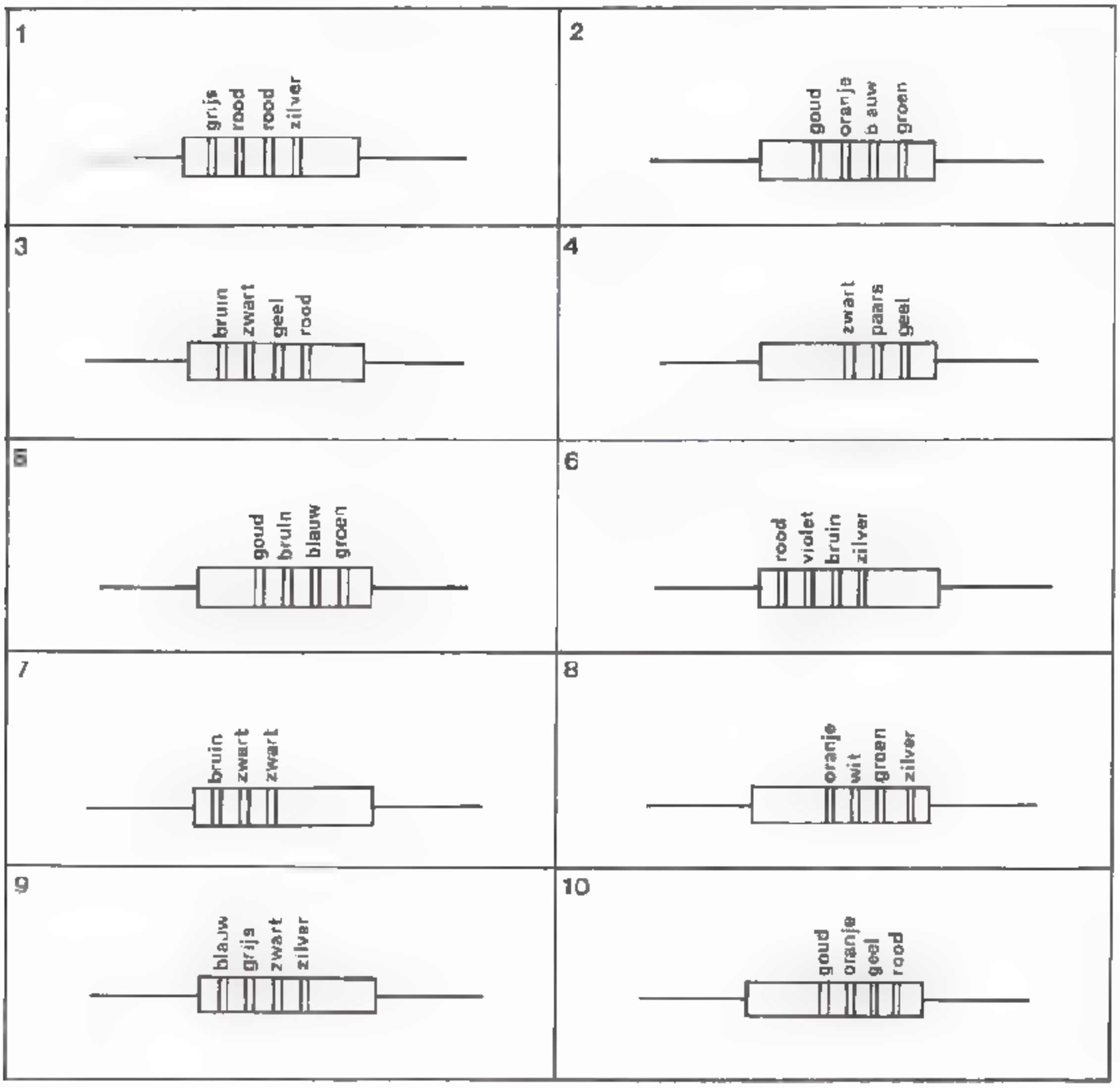
waarde: 5,6 Ω, 5%



waarde: 0,22 Ω, 2%

OEFENING

Hieronder zijn 10 weerstanden afgebeeld. Geef in de tabel onderaan dit blad de nominale waarde en de tolerantie van deze weerstanden.



weerstand nummer	nominale waarde	tolerantie in %
1	______	______
2	______	______
3	______	______
4	______	______
5	______	______
6	______	______
7	______	______
8	______	______
9	______	______
10	______	______

OPDRACHT

We gaan dit nog eens doen met echte weerstanden.

- Vul de waarde van 13 gegeven weerstanden in onderstaande tabel in.

	Waarde (in cijfer-code)	Tolerantie (in procenten)
1.	______	______
2.	______	______
3.	______	______
4.	______	______
5.	______	______
6.	______	______
7.	______	______
8.	______	______
9.	______	______
10.	______	______
11.	______	______
12.	______	______
13.	______	______

WELKE WEERSTANDSWAARDEN ZIJN VERKRIJGBAAR?

Hoewel weerstanden in elke gewenste waarde gemaakt kunnen worden, kan men niet elke willekeurige waarde zonder meer "in het magazijn" krijgen. De fabrikant maakt grote voorraden van een aantal waarden, de zogenaamde voorkeurwaarden. Afwijkende waarden voor speciale doeleinden, worden alleen op bestelling gemaakt.

Men kan een keuze maken uit een *reeks* opeenvolgende waarden, die zorgvuldig zijn uitgezocht. In feite zijn er drie *reeksen*:

- de E24-reeks voor weerstanden met een tolerantie van 5%,
- de E12-reeks voor weerstanden met een tolerantie van 10%,
- de E6-reeks voor weerstanden met een tolerantie van 20%.

De E12-reeks heeft de volgende waarden (in Ohm):

<u>10</u> - 12 - <u>15</u> - 18 - <u>22</u> - 27 - <u>33</u> - 39
<u>47</u> - 56 - <u>68</u> - 82 - <u>100</u> - 120 - <u>150</u> - enz.

In de E6-reeks vinden we alléén de onderstreepte waarden.
In de E24-reeks vinden we tussen de waarden van de E12-reeks nog een waarde. Het "geheim" van deze reeksen is, dat de "+tolerantie" van de ene waarde de "-tolerantie" van de volgende overlapt.

Voorbeeld:

In de E12-reeks is:

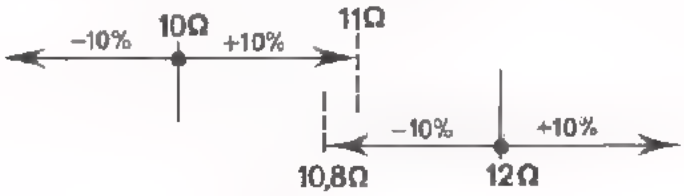
- de eerste waarde 10 Ω,
- de tweede waarde 12 Ω.

De hoogste waarde van de weerstand van 10 Ω mag zijn:

$10\ \Omega + 10\% = 10 + 1 = 11\ \Omega.$

De laagste waarde van de weerstand van 12 Ω mag zijn:

$12\ \Omega - 10\% = 12 - 1{,}2 = 10{,}8\ \Omega.$



Het heeft dus geen nut, in deze reeks voor 10%-weerstanden, een nog fijnere onderverdeling te maken.

OEFENING

Doe hetzelfde eens met 220 Ω en 330 Ω uit de E6-reeks.

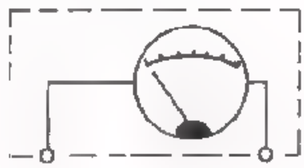
220 Ω + ____ % = 220 + ________ = ___________

330 Ω − ____ % = 330 − ________ = ___________

HET METEN VAN WEERSTAND

Zoals spanning en stroom, kan ook weerstand worden gemeten. Er zijn verschillende manieren om de waarde van een onbekende weerstand te meten of die van een bekende weerstand te controleren. In les A4 hebt u al weerstand gemeten door middel van stroom- en spanningsmeting: $R = \frac{U}{I}$.
De meest eenvoudige en snelle methode is het gebruik van een ohmmeter. Erg nauwkeurig is deze methode meestal niet. Later zullen we nog andere manieren bespreken, die dikwijls veel nauwkeuriger zijn.

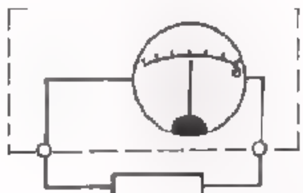
Een ohmmeter is in feite niets anders dan een meter die in serie geschakeld is met een spanningsbron, meestal een batterij.



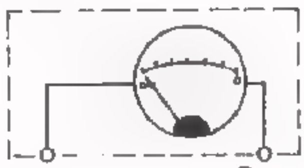
Worden de aansluitbussen verbonden door een goed geleidende draad (0 Ω) dan loopt er door de meter een stroom. Deze stroom kan zo geregeld worden dat de meter precies "volle uitslag" geeft.
Dit noemt men de *elektrische nulinstelling*.

Op de schaal van de ohmmeter staat bij volle uitslag "0". Dit wil zeggen dat er tussen de aansluitbussen een weerstand van 0 Ω aanwezig is.

Bevindt zich tussen de aansluitbussen een weerstand, dan wijst de meter minder aan.
Hoever de meter uitslaat hangt af van de waarde van de weerstand.



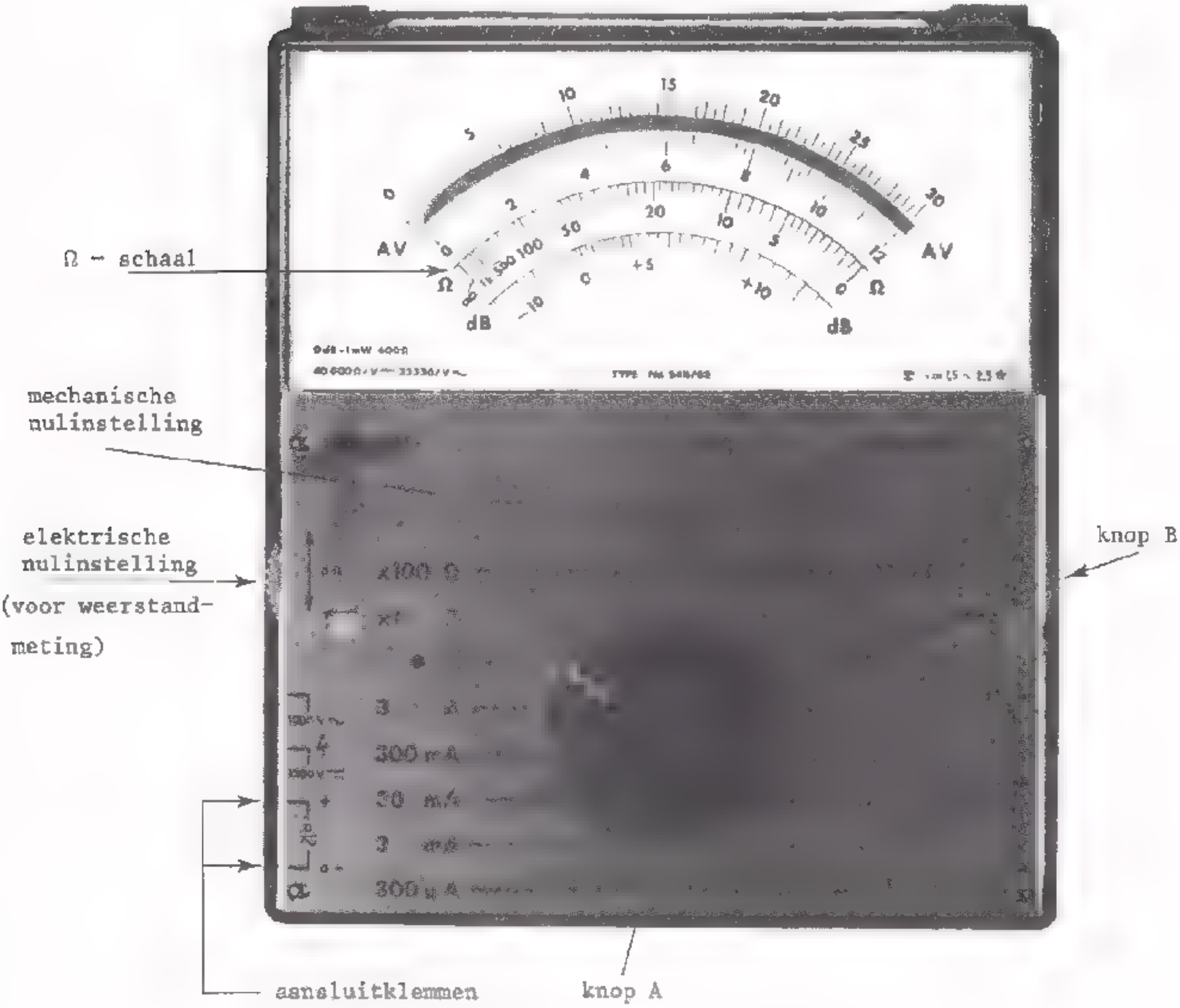
Is er helemaal niets tussen de aansluitbussen, dan is er geen meteruitslag. Op de schaal is vermeld: "∞". De weerstand is oneindig groot (∞ = oneindig).



De schaal is geijkt in ohm oplopend van "0 Ω" geheel rechts naar "∞" geheel links.

Er zijn ohmmeters die uitsluitend voor dit doel bestemd zijn. Maar ook met de universeelmeter kan, behalve stroom en spanning, weerstand gemeten worden.

Hieronder kunt u zien welke schaal en welke knoppen van belang zijn voor het meten van weerstand. Hiervoor is een gangbare universeelmeter gebruikt.



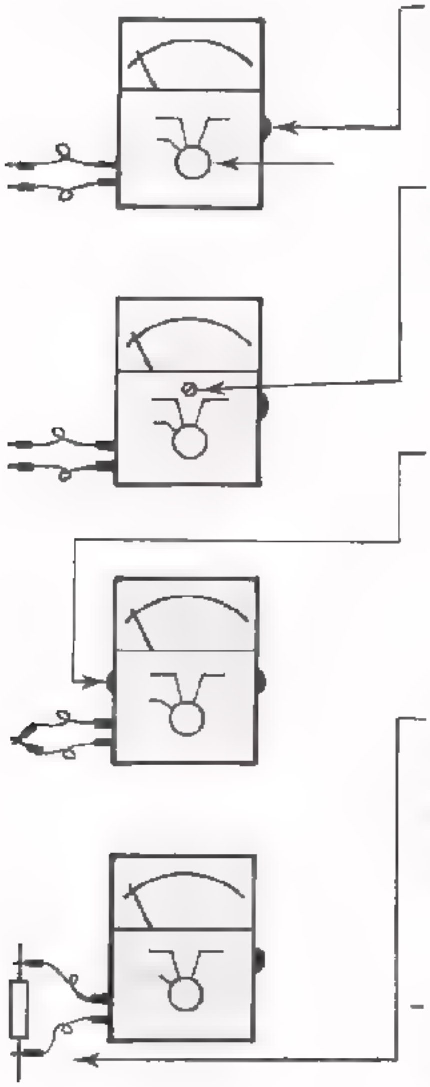
Universeelmeter

Kortsluiten = korte dikke draad op instrument aansluiten: weerstand van *nul ohm* aansluiten.

Open houden = niets op instrument aansluiten: weerstand van *oneindig veel* Ω aansluiten.

OPDRACHT

Meet met de universeelmeter de waarde van een gegeven koolweerstand. Volg onderstaande procedure:



- Zet knop B in stand "Ω" en zet knop A daarbij in stand " x 1 Ω".

- Regel met *open* meetpennen de meter op "∞", door aan de mechanische nulinstelling te draaien.

- Regel met *kortgesloten* meetpennen de meter op "0", door aan de elektrische nulinstelling te draaien.

- Breng de te meten weerstand tussen de meetpennen en lees de wijzeruitslag af. De schaalwaarde is tevens de waarde in ohm. Immers: meetbereik "x 1 Ω".

- Is de meteruitslag te klein, zet dan knop A in de stand "x 100 Ω". LET OP: Regel eerst weer de elektrische nulinstelling met kortgesloten meetpennen.
- Meet de weerstand en vermenigvuldig de schaalwaarde met 100.
- Kies eventueel nog het bereik "x 10 kΩ". Ook dan weer de elektrische nulinstelling regelen. De schaalwaarde vermenigvuldigen met 10 000.

De weerstandswaarde is: [ ]

Doe hetzelfde voor twee andere weerstanden.

[ ] [ ]

SAMENVATTING

- De weerstand van een draad is afhankelijk van:

  - de lengte l.

    Hoe langer de draad, hoe groter de weerstand.

  - de doorsnede A.

    Hoe dikker de draad, hoe kleiner de weerstand.

  - de soortelijke weerstand ρ van het materiaal van de draad.

    Deze vindt men in tabellen.

  In formule: $\boxed{R = \rho \frac{l}{A}}$

  ρ in Ω per m per mm^2.
  R in Ω
  l in m
  A in mm^2.

- Weerstanden worden vervaardigd in vele soorten. De voornaamste zijn de draadgewonden - en de koolweerstanden. Daarnaast zijn de afmetingen van belang. Een grotere weerstand kan als regel gebruikt worden voor grotere stromen.

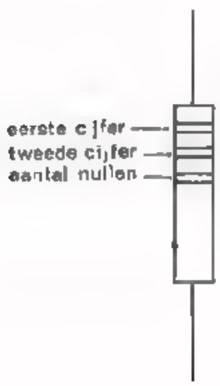
- De waarde van een weerstand geeft men aan door:

  - een cijfercodering, b.v. 8E2 = 8,2 Ω
    5k6 = 5,6 kΩ
    2M2 = 2,2 MΩ

  of

  - een kleurcodering.

    De kleuren hebben volgende betekenis:



zwart	0
bruin	1
rood	2
oranje	3
geel	4
groen	5
blauw	6
violet	7
grijs	8
wit	9

- De tolerantie wordt opgegeven in procenten van de nominale (= aangegeven) waarde. De vierde ring op een weerstand duidt deze tolerantie aan.

bruin	1%
rood	2%
goud	5%
zilver	10%
geen ring	20%

- Een snelle, maar weinig nauwkeurige manier om weerstanden te meten is die met een ohmmeter.

NAAM:

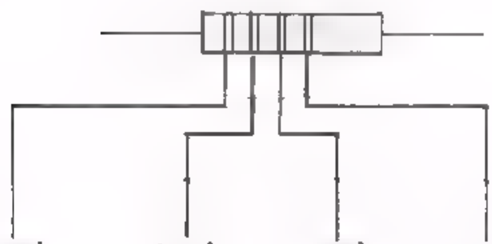
KLAS:

OEFENINGEN

1. Vul in:

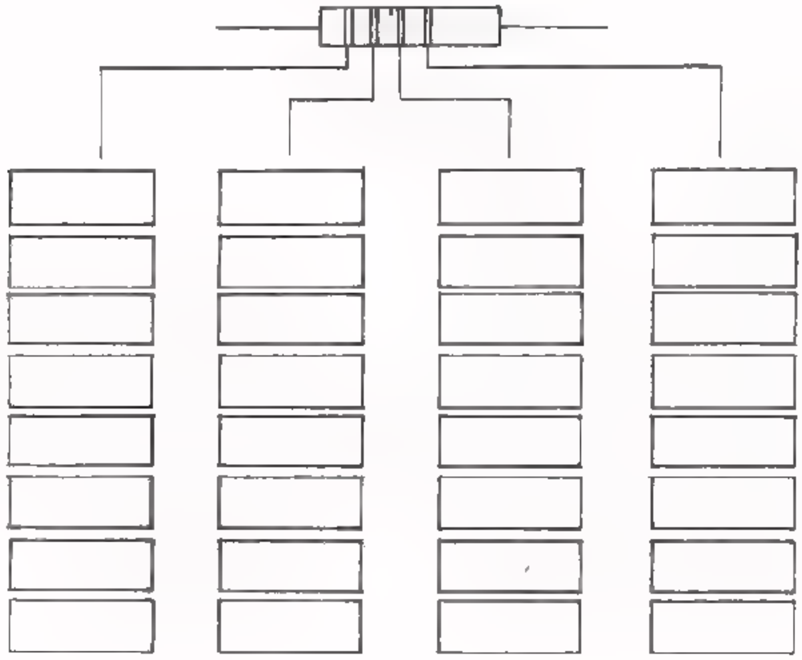
2E7 =	Ω =	mΩ	
10k =	kΩ =	Ω	
1M8 =	MΩ =	kΩ =	Ω
3k3 =	kΩ =	Ω	
5E6 =	Ω =	mΩ	
E8 =	Ω =	mΩ	
M1 =	MΩ =	kΩ =	Ω

2. Welke waarde heeft een weerstand met onderstaande kleurcode? (Antwoorden in cijfercode).



rood	bruin	rood	goud	%
geel	violet	groen	zilver	%
oranje	wit	zwart	rood	%
bruin	zwart	zwart	—	%
groen	blauw	oranje	zilver	%
blauw	grijs	geel	bruin	%
bruin	zwart	geel	—	%

3. Uit een bak met weerstanden moet u enkele waarden uitzoeken. Welke kleurcombinaties tracht u te vinden?



8K2 - 10%

4M7 - 20%

330E - 5%

560K - 20%

39K - 1%

1M - 2%

10K - 10%

12E - 5%

4. Voor een serie van ca. 100 000 apparaten is een weerstand van 6K8 nodig. De waarde van deze weerstand moet liggen tussen 6K4 en 7K2. Uit kostenoverwegingen neemt u een weerstand met de hoogste tolerantie die nog voldoet. Hoeveel procent moet de tolerantie minstens zijn?

Tolerantie: [%]

5. Het element van uw soldeerbout is defect. U wilt zelf het element opnieuw wikkelen met chroomnikkeldraad met een diameter van 0,5 mm. Als de bout aangesloten wordt op 8 V moet er een stroom lopen van 5 A. Hoeveel chroomnikkeldraad hebt u nodig?

Lengte: [m = cm]

A 7

G R A F I E K E N

VOORBEELD VAN EEN GRAFIEK

Een speelgoedfabriek produceerde over de jaren 1952 tot en met 1968 een hoeveelheid legpuzzels. In volgende tabel is het aantal stuks per jaar gegeven.

jaar	aantal stuks
1952	4000
1953	5000
1954	6000
1955	6000
1956	6000
1957	6000
1958	5000
1959	5000
1960	5000
1961	7000
1962	8000
1963	8000
1964	1000
1965	4000
1966	8000
1967	9000
1968	8000

Zo'n overzicht van de produktie is voor iedere fabrikant belangrijk, want hij kan er veel uit leren.
Deze tabel b.v. kan antwoord geven op volgende vraag:

"In welk jaar was de produktie het laagst?"

Antwoord: ☐

Of "In welk jaar was de produktie het grootst?"

Antwoord: ☐

Nog een vraag:

"Hoe groot was de gemiddelde produktie over de jaren 1952 tot en met 1956?"

$$\text{Gemiddelde produktie} = \frac{\text{totale produktie (52 t/m 56)}}{\text{aantal jaren}}$$

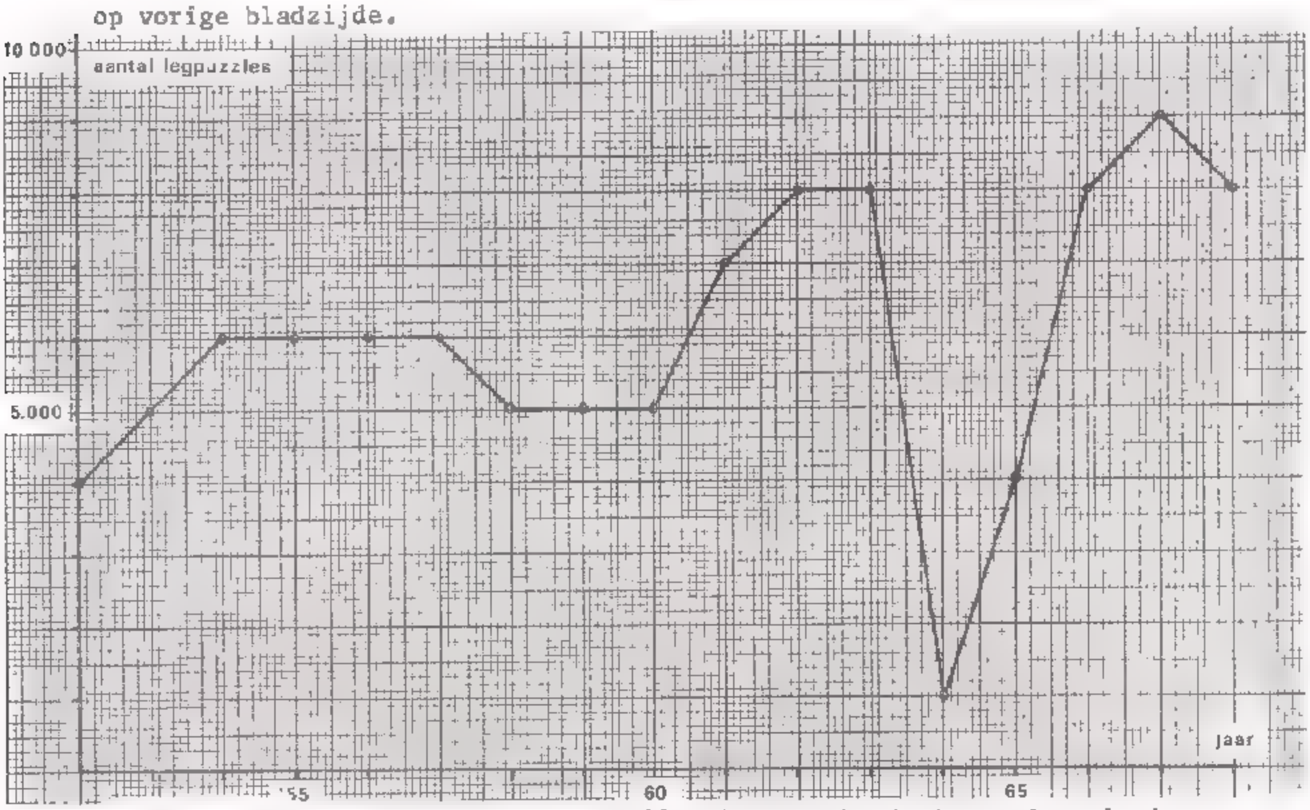
Antwoord: ☐

Of een wat moeilijker vraag:

"Was de gemiddelde produktie over de jaren 1960 tot en met 1964 groter of kleiner dan over de jaren 1965 tot en met 1968?"

Antwoord:

Om in één oogopslag een inzicht te verkrijgen over het verloop van zijn produktie zal de fabrikant de cijfers uit de tabel in een tekening gaan weergeven. Hij zal een z.g. *grafiek* (laten) tekenen. In volgende figuur ziet u een grafiek die gemaakt is aan de hand van de cijfers uit de tabel op vorige bladzijde.



Een dergelijke grafiek wordt natuurlijk niet getekend als wandversiering. De voornaamste reden is, dat we nu snel een aantal conclusies kunnen trekken; in de tabel moeten we veel langer zoeken.

In bovenstaande grafiek zien we meteen, dat de produktie van legpuzzels in de vijftiger jaren tussen de 5000 en 6000 stuks schommelde. Bovendien, dat er na 1960 een duidelijke stijging naar 8000 stuks is. In 1964 is er iets bijzonders gebeurd, want de produktie zakt plotseling naar slechts 1000 stuks. We kunnen b.v. veronderstellen, dat er brand is geweest. Ook in 1965 was er nog stagnatie in de produktie.

We kunnen getallen dus weergeven in een grafiek en krijgen dan snel een duidelijk overzicht, dat onmiddellijk meer vertelt dan een rijtje getallen.

OPDRACHT

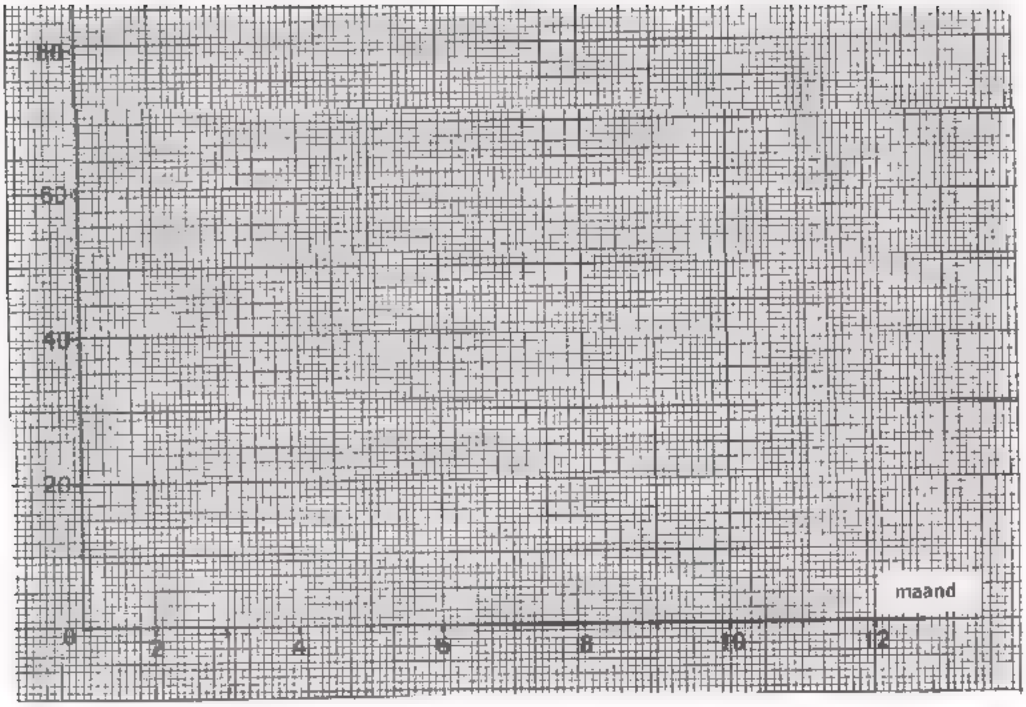
We gaan zelf een grafiek tekenen.

Een verzekeringsmaatschappij geeft volgende cijfers over het aantal personenauto's dat in verschillende maanden van een bepaald jaar "total loss" gereden werd.

1968

maand	aantal "total loss"
januari	56
februari	45
maart	48
april	42
mei	35
juni	56
juli	74
augustus	62
september	28
oktober	43
november	51
december	60

- Teken in figuur op volgend blad met potlood het aantal "total loss"-gevallen voor iedere maand aan.
- Verbind de gevonden punten onderling door rechte lijnen.



Geef aan de hand van de grafiek die u getekend hebt antwoord op volgende vragen.

- In welke maand is het aantal gevallen het grootst?

  Antwoord:

- In welke maand is het aantal gevallen het kleinst?

  Antwoord:

- In welke twee maanden is het aantal gevallen even groot?

  Antwoord:

- Hoe groot is ongeveer het aantal gevallen van "total loss" in het eerste half jaar van 1968 gemiddeld per maand?

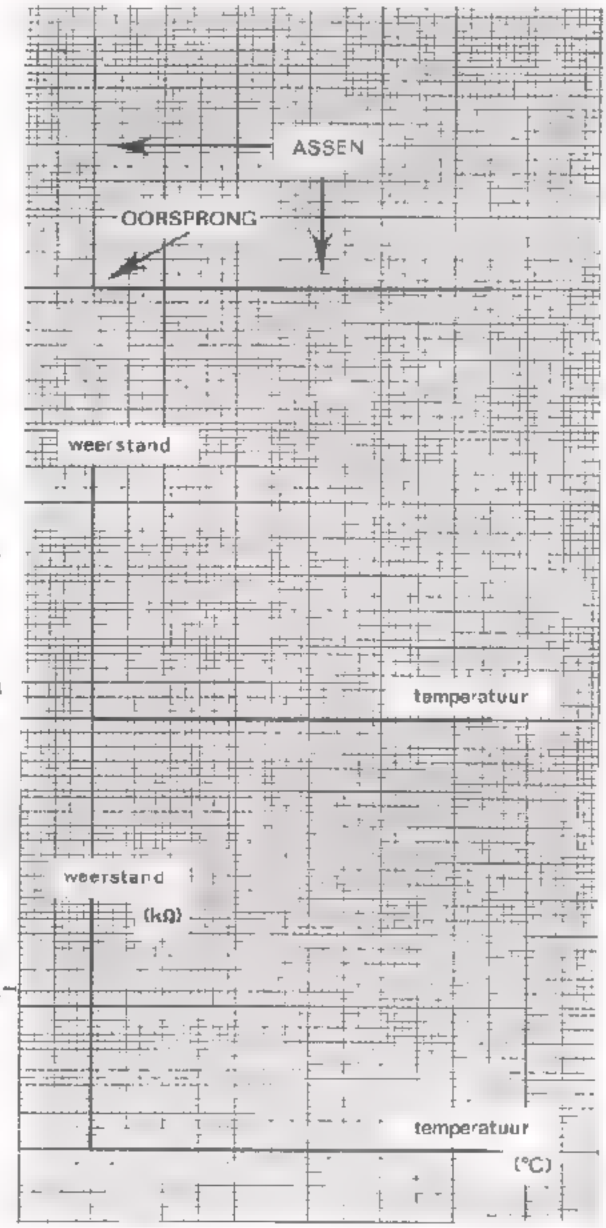
  Antwoord:

U merkt, dat u de antwoorden aan de hand van een goed getekende grafiek vrij vlot kunt geven. Zo'n grafiek geeft snel een overzicht van een verschijnsel en om die reden worden grafieken in de techniek zeer vaak gebruikt.

HOE TEKENEN WE EEN GRAFIEK ?

Bij het tekenen van grafieken bestaan een aantal gewoonten, waaraan iedereen zich houdt. Hieronder zullen we een grafiek volgens de "regels van de kunst" laten ontstaan.

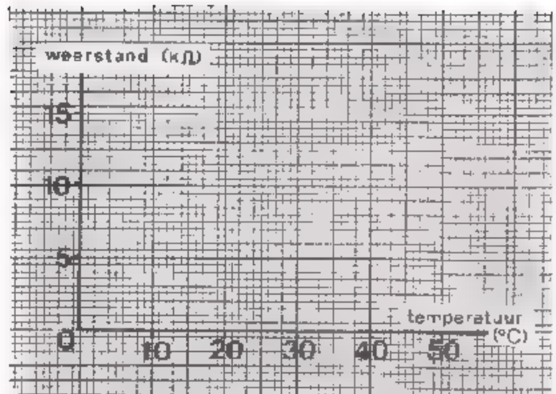
Als we het *verband* tussen twee grootheden in een grafiek moeten weergeven, dan tekenen we eerst een verticale en een horizontale lijn, de *assen*.
De beide assen samen noemt men het *assenstelsel*.
Het punt waar de assen elkaar snijden heet de *oorsprong*.



Langs elke as *zet* men een grootheid *uit*. De grootheden moet men altijd bij de assen vermelden, anders wordt de grafiek onbegrijpelijk.
In dit voorbeeld is de grootheid "weerstand" verticaal uitgezet tegen de grootheid "temperatuur" horizontaal.

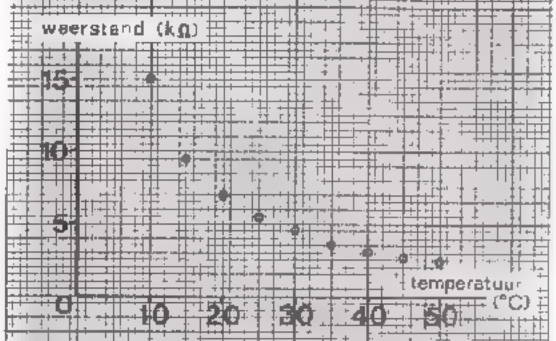
Bij elke as moet men bovendien tussen haakjes de eenheid vermelden waarin de grootheid wordt gemeten.
In dit voorbeeld is bij de weerstand-as de eenheid (kΩ) en bij de temperatuur-as de eenheid (^{0}C) gevoegd.

Verder dient men langs de assen een verdeling aan te brengen. Daarbij begint men op beide assen in de oorsprong meestal bij nul te tellen.

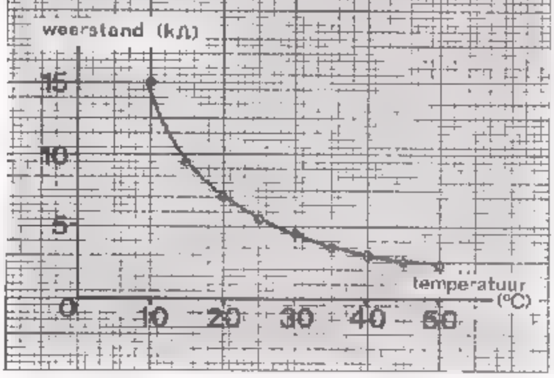


De gemeten waarden geeft men vervolgens met duidelijke punten in de grafiek aan.

Bij 10°C is de weerstand: 15 kΩ,
Bij 20°C is de weerstand: 6,5 kΩ,
enz.



Tenslotte trekt men tussen de punten door een *vloeiende* lijn.

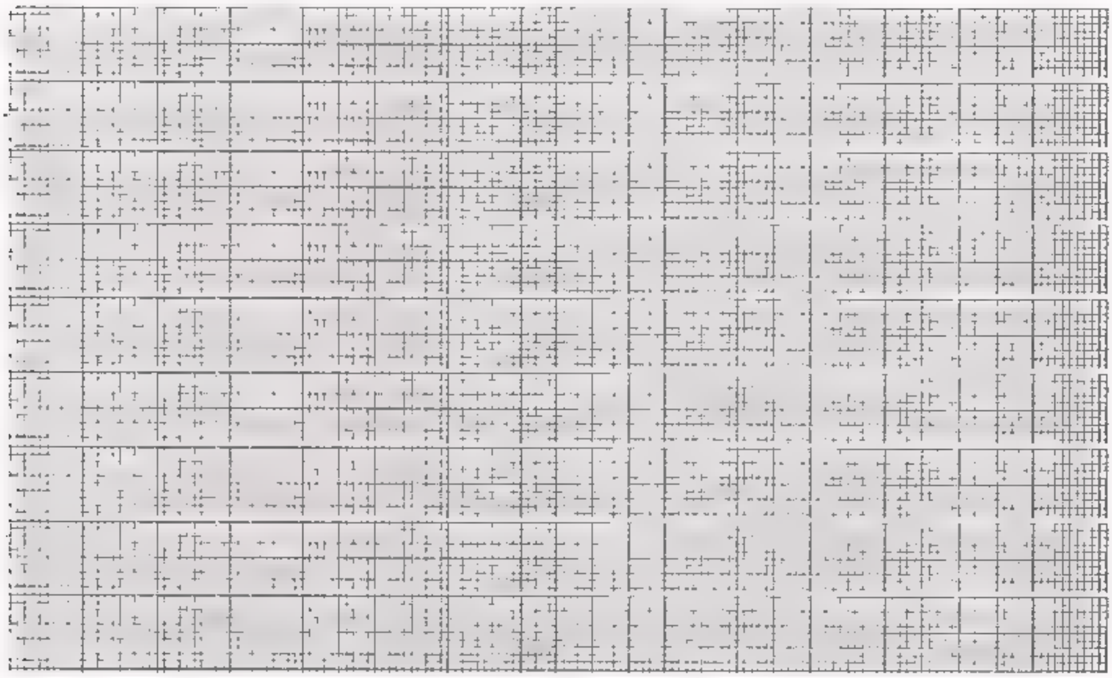


OPDRACHT

Een gloeilamp heeft men achtereenvolgens op een reeks spanningen aangesloten en telkens de bijbehorende stroom gemeten. Het resultaat van de meting is verzameld in de volgende tabel.

spanning U (V)	stroom I (mA)
0	0
2	70
4	121
6	158
8	185
10	210
12	232
14	244
16	262
18	275
20	283
22	296
24	300

- Teken op een vel millimeterpapier twee onderling loodrechte assen; een horizontale van 12 cm en een verticale van 7,5 cm.
- Verdeel de horizontale as in 12 stukjes van elk één cm. Zet rechts onder deze as: spanning U (V). Maak op deze as volgende verdeling:



- Verdeel de verticale as in 15 stukjes van elk één ½ cm. Zet bovenaan bij deze as: stroom I (mA). Zet op deze as op 2,5 cm van de oorsprong: 100; op 5 cm : 200 en op 7,5 cm : 300.
- Zet de waarden van de tabel als duidelijke punten op het millimeterpapier.
- Verbind de 13 gevonden punten door een vloeiende lijn.
- Lees uit de grafiek af bij welke spanning er 200 mA door de lamp gaat.

Antwoord:

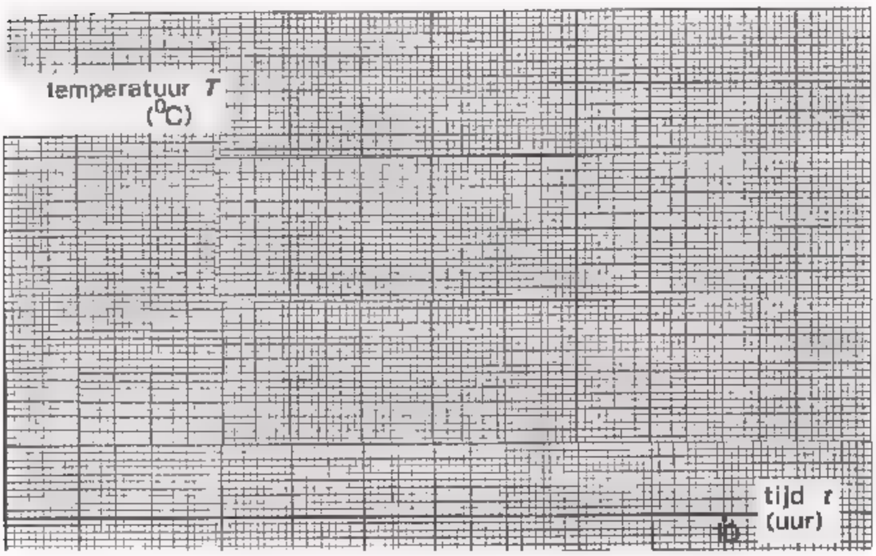
OPDRACHT

Een elektrische boiler is gevuld met water van 20°C. Op een bepaald tijdstip wordt de verwarmingsspiraal ingeschakeld. Met tussenpozen van een uur wordt de temperatuur van het water gemeten. In volgende tabel staan de resultaten van de metingen.

tijd t (uur)	temperatuur T (°C)
0	20
1	28
2	34
3	47
4	58
5	69
6	72
7	80
8	83
9	85
10	86

- Breng deze gegevens hieronder in de vorm van een grafiek. Sla er blad A7.5 en 6 zonodig op na.
- Lees uit de grafiek de temperatuur af na 2,5 uur en na 8,5 uur.

Antwoorden:



STROOM-SPANNINGSGRAFIEK

Op een weerstand van 500 Ω staat een spanning van 5 V. Met de wet van Ohm is dan de stroom als volgt te berekenen:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5}{500} = \frac{1}{100} = 0{,}01 \text{ A} = 10 \text{ mA.}$$

Op dezelfde weerstand zetten we nu een tweemaal zo grote spanning, dus 10 V. We berekenen weer de stroom:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10}{500} = \frac{1}{50} = 0{,}02 \text{ A} = 20 \text{ mA.}$$

Zetten we vervolgens een driemaal zo grote spanning, dus 15 V, op de weerstand, dan vinden we:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{15}{500} = \frac{3}{100} = 0{,}03 \text{ A} = 30 \text{ mA.}$$

Bij 20 V wordt de stroom $I = \frac{20}{500} = 0{,}04 \text{ A} = 40 \text{ mA.}$

Bij 30 V, $I = \frac{30}{500} = 60 \text{ mA.}$

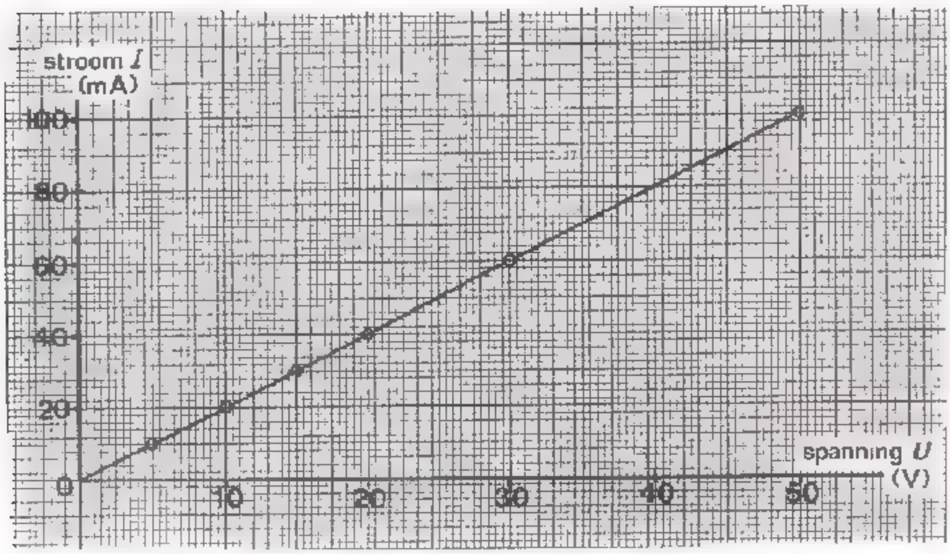
Bij 50 V, $I = \frac{50}{500} = 100 \text{ mA.}$

We verzamelen deze waarden in een tabel.

weerstand R (Ω)	spanning U (V)	stroom I (mA)
500	5	10
500	10	20
500	15	30
500	20	40
500	30	60
500	50	100

Als we deze tabel bekijken, dan zien we bij 2x zo grote spanning een 2x zo grote stroom; bij 3x zo grote spanning een 3x zo grote stroom; bij een 10x zo grote spanning een 10x zo grote stroom, enz. We zeggen, dat de stroom *evenredig* is met de spanning.

We tekenen de bijbehorende grafiek. Op de verticale as zetten we de stroom en op de horizontale as de spanning. We spreken over een *stroom-spanningsgrafiek.*



De 6 punten blijken op een rechte lijn te liggen. Deze lijn is doorgetrokken naar de oorsprong. Dit is toegestaan, want als er geen spanning over de weerstand staat (U = 0 V), dan loopt er ook geen stroom (I = 0 mA).

Deze grafiek geeft het verband tussen stroom en spanning bij een weerstand van 500 Ω. De grafiek is een rechte lijn. Men zegt in zo'n geval, dat er een rechtlijnig of *lineair* verband bestaat.

Het rechtlijnig verband hangt samen met de *evenredigheid* van stroom en spanning. Bij een gegeven weerstand geldt:

tweemaal zo grote spanning, dan ook tweemaal zo grote stroom,
driemaal zo grote spanning, dan ook driemaal zo grote stroom.
enz.

Dit is ook te zien aan de wet van Ohm:

$$R = \frac{U}{I}.$$

R is constant; de verhouding $\frac{U}{I}$ is dus steeds dezelfde.

Als we de spanning U een aantal malen zo groot maken, dan wordt de stroom I een even groot aantal malen zo groot en het quotiënt blijft hetzelfde.

OPDRACHT

- Op een weerstand van 100 Ω zet men achtereenvolgens de spanningen die in onderstaande tabel zijn vermeld. Bereken bij elke spanning de grootte in mA en maak de tabel af.

weerstand R (Ω)	spanning U (V)	stroom I (mA)
100	0	
100	20	
100	40	
100	60	
100	80	
100	100	

- Op een weerstand van 200 Ω zet men achtereenvolgens dezelfde spanningen. Maak volgende tabel af.

weerstand R (Ω)	spanning U (V)	stroom I (mA)
200		
200		
200		
200		
200		
200		

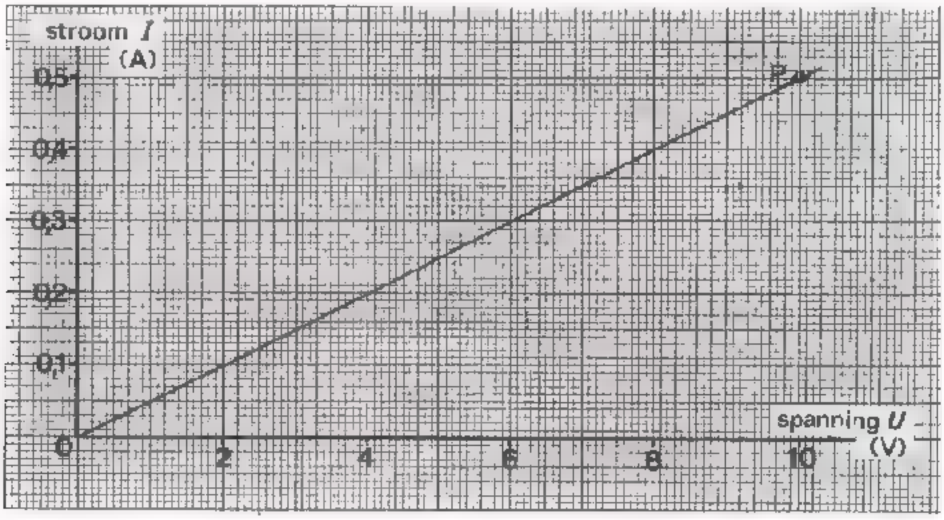
- Op een weerstand van 50 Ω zet men onderstaande spanningen. Maak de tabel af.

weerstand R (Ω)	spanning U (V)	stroom I (mA)
50	0	
50	10	
50	20	
50	30	
50	40	
50	50	

- Op volgend blad is een assenstelsel gegeven. Teken in dit éne assenstelsel de grafieken van het verband tussen stroom en spanning uit bovenstaande tabellen. Er ontstaan drie lijnen. Zet bij de lijnen de bijbehorende waarden van de weerstanden R = 100 Ω, 200 Ω en 50 Ω.

In het vorige voorbeeld stonden drie lineaire stroom-spanningsgrafieken; voor elke weerstand één. Bekijk de grafieken nog eens. U ziet dat de rechte lijn steiler loopt naarmate de weerstand kleiner is. De *helling* van de lijn heeft dus iets te maken met waarde van de weerstand. Uit deze helling kan men de grootte van de weerstand bepalen.

Voorbeeld.

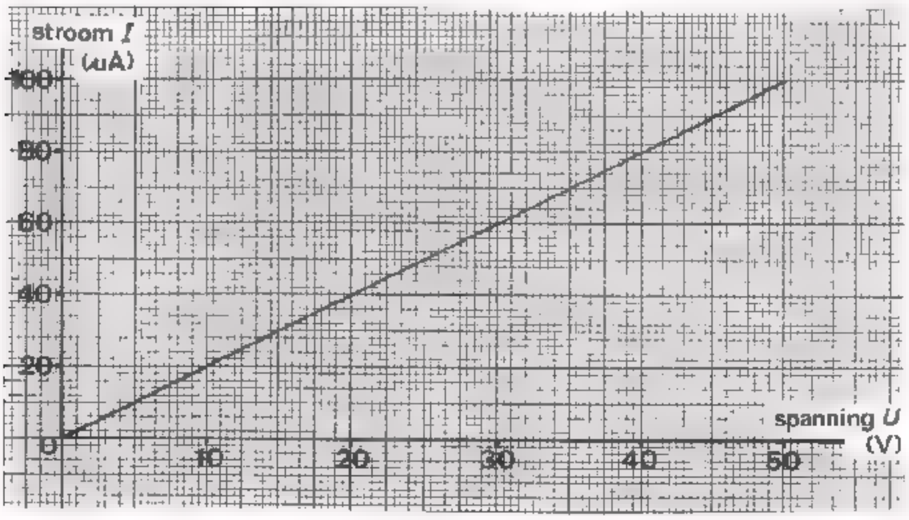


In deze grafiek behoort bij het aangegeven punt P een spanning U = 10 V en een stroom I = 0,5 A. Met de wet van Ohm volgt dan:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{10}{0,5} = 20\ \Omega.$$

Het getekende stroom-spanning-verband is dus van een weerstand van 20 Ω.

OEFENING



Deze grafiek behoort bij een weerstand:

$R = \frac{\quad}{\quad} =$

=

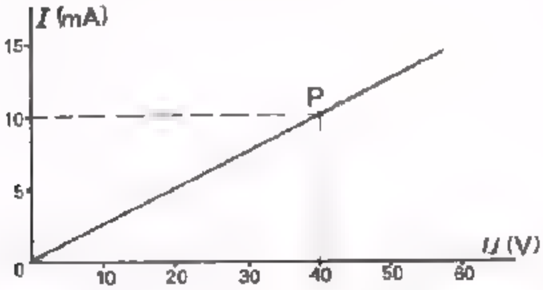
SAMENVATTING

- Het *verband* tussen *twee grootheden* kan men geven:

  a. in formule:

  b.v. voor een gegeven weerstand R is het verband tussen stroom en spanning gegeven met: $I = \frac{1}{R} U$.

  b. in een grafiek:



b.v. de nevenstaande grafiek, die voor een R van 4 kΩ het verband tussen I en U weergeeft.

- Meestal tekent men een grafiek bij twee assen, een *verticale as* en een *horizontale as*. Het snijpunt van de assen noemt men de *oorsprong*.

- Langs elk van de assen zet men een grootheid uit, die aan het einde van de as wordt vermeld, met de *eenheid* tussen haakjes.

- Elk stel "bij elkaar horende" waarden van de uitgezette grootheden – I en U in de grafiek op dit blad – wordt vertegenwoordigd door een punt in de grafiek.

  B.v. de U = 40 V en de bijbehorende I = 10 mA zijn vertegenwoordigd door punt P in de boven gegeven grafiek.

NAAM:

KLAS:

OEFENING

tijd t (min)	temperatuur T (^0C)
0	6
10	7
20	8
30	10
40	18
50	27
60	34
70	36
80	38
90	39
100	40

In deze tabel is het verband tussen tijd en temperatuur gegeven.

- Teken dit verband op millimeterpapier. Zet horizontaal de tijd en verticaal de temperatuur uit.
- Geef aan de hand van de getekende grafiek antwoord op volgende vragen.

Hoe hoog is de temperatuur na 27 minuten?

Antwoord:

Hoe hoog is de temperatuur na 51 minuten?

Antwoord:

Na hoeveel minuten is de temperatuur 32^0C?

Antwoord:

Na hoeveel minuten is de temperatuur 37^0C?

Antwoord:

OPDRACHT

Teken op onderstaand millimeterpapier het stroom-spanning-verband voor een weerstand van 5 kΩ. Zet op de horizontale as spanningswaarden uit tot 500 V. Zet de stroom uit in mA.

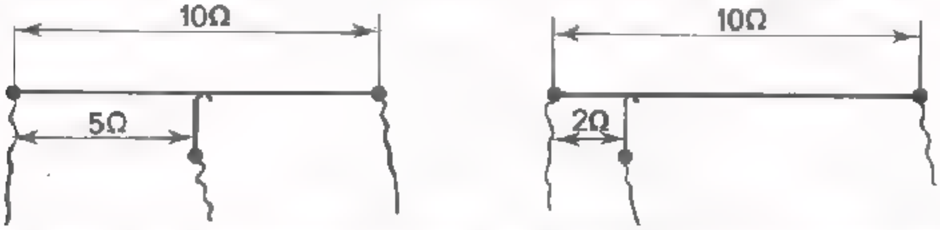
NOG MEER OVER WEERSTANDEN

VARIABELE WEERSTANDEN

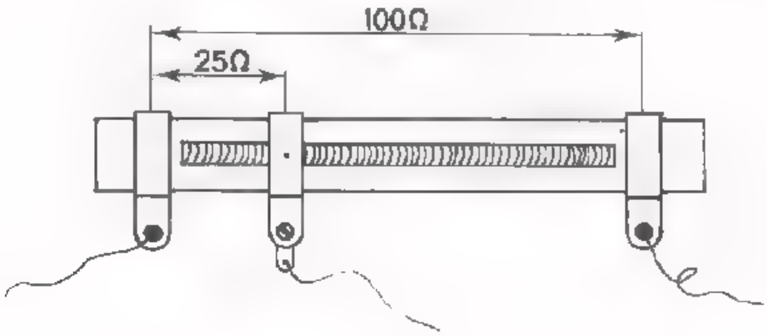
In A6 hebben we gesproken over weerstanden met een *vaste* weerstandswaarde.

Symbool: 

Er bestaan ook weerstanden waarvan men de waarde kan veranderen: de *variabele* weerstanden. Een variabele weerstand is een weerstand met een vaste waarde, die voorzien is van een verschuifbare *aftakking*. De weerstand die zich bevindt tussen de aftakking en één van de uiteinden verandert, zodra de aftakking langs de weerstand wordt verplaatst.
In de meest simpele vorm kan men de variabele weerstand zien als een weerstandsdraad waarlangs een sleepcontact heen en weer kan bewegen.

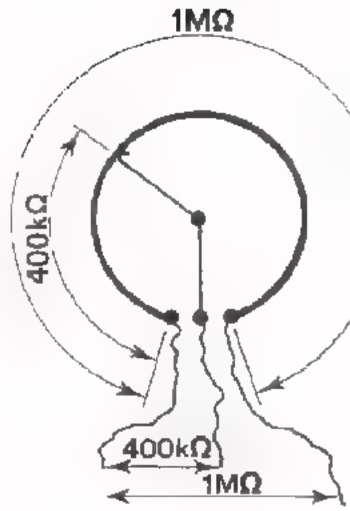


In het dagelijks spraakgebruik noemt men dergelijke weerstanden met verplaatsbare aftakking *potentiometers* of kortweg *potmeters*. Een potmeter heeft dus drie aansluitingen; twee aan de uiteinden en één aan het sleepcontact of *loper*. In de praktijk komt de draadgewonden schuifweerstand nogal eens voor. De aftakking bestaat meestal uit een klemring die door een schroef met moer op de gewenste plaats strak om de weerstand wordt geklemd.



In sommige gevallen is de aftakking bij deze weerstanden een sleepcontact dat door een geïsoleerde handgreep heen en weer kan worden geschoven.

Een andere potmeter die veel meer wordt toegepast dan de schuif- is de draai-potentiometer.
Het weerstandsmateriaal daarvan is dan cirkelvormig gebogen en de aftakking kan door middel van draaiing over de weerstand bewegen.
Als weerstandsmateriaal past men zowel draad als kool toe.



Het symbool voor de potmeter is:

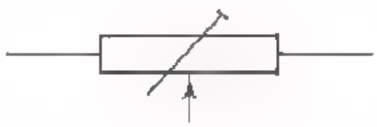
UITVOERINGSVORMEN

Er bestaan vele uitvoeringsvormen voor de meest uiteenlopende toepassingen. We maken onderscheid in twee hoofdgroepen:

- de *instelbare* weerstanden
- de *regelbare* weerstanden.

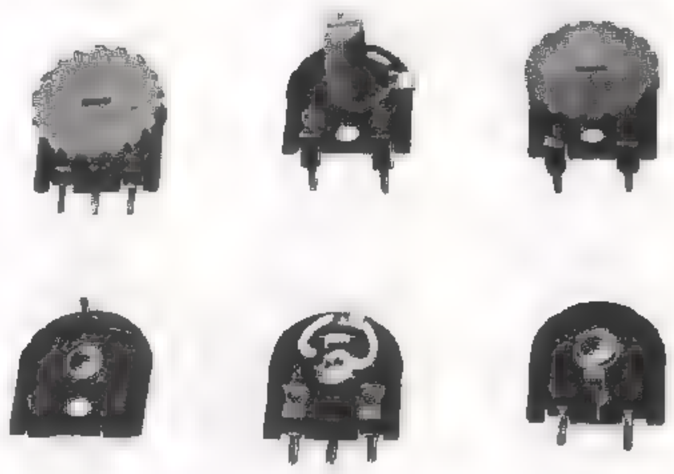
• De instelbare weerstanden.

Deze zijn meestal zó geconstrueerd, dat de waarde alleen met behulp van een schroevedraaier kan worden veranderd. Ze zijn bedoeld om éénmalig op een bepaalde waarde *ingesteld* te worden, bijvoorbeeld tijdens het afregelen van nieuwe apparaten. Bij eventuele reparaties van het apparaat kan de reparateur de waarde van de weerstand - indien nodig- opnieuw instellen. In schema's krijgen de instelweerstanden dikwijls een extra aanduiding:



Enkele voorbeelden:

DRAADGEWONDEN
INSTELWEERSTANDEN

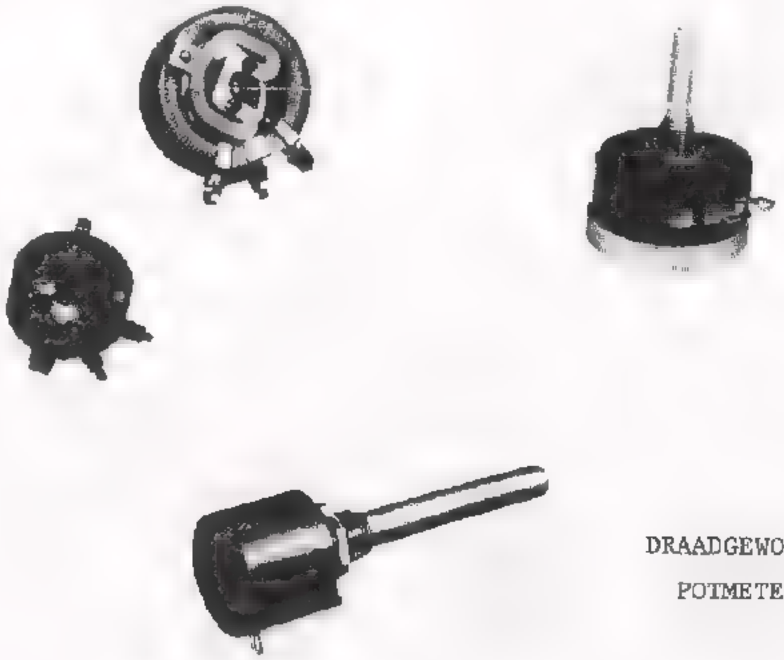


KOOLINSTELWEERSTANDEN .

- De regelbare weerstanden.

  Deze zijn zó geconstrueerd dat de waarde *regelbaar* is door middel van een knop. Ze zijn bedoeld om de gebruiker van een apparaat in staat te stellen de waarde van de weerstand naar wens te veranderen. Denk bijvoorbeeld eens aan de volumeregelaar van uw radio en de helderheidsregelaar van de televisieontvanger.

Enkele voorbeelden:



DRAADGEWONDEN
POTMETERS

twee op één as

KOOLPOTMETERS

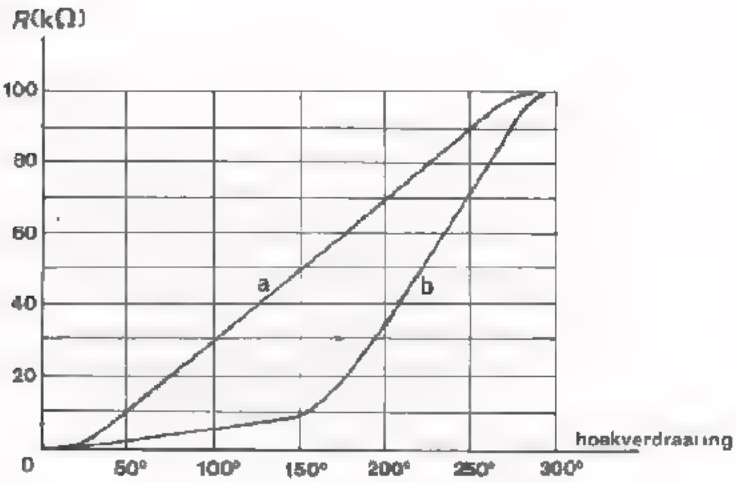
In deze figuren ontbreken de knoppen.

- Bij de waardeaanduiding op variabele weerstanden gaat men uit van de *maximale* weerstandswaarde, dus de weerstandswaarde tussen de beide uiteinden. Deze waarde wordt altijd in cijfercode op de weerstand gestempeld.
- Meestal is ook in cijfers het maximale vermogen (in watt) opgegeven. Evenals bij weerstanden met een vaste waarde geldt ook hier dat, naarmate het maximaal toelaatbare vermogen (lees: "maximaal toelaatbare stroom") groter is, de afmetingen van de variabele weerstand groter zijn.

  Voor de vaste zowel als voor de variabele weerstand geldt in het algemeen dat de draadgewonden types grotere stromen kunnen verdragen dan de kool-uitvoeringen.
- Op veel kool-potmeters vindt men naast de waarde-aanduiding bovendien: "lin" of "log". Het zijn de afkortingen van "*lin*eair" en "*log*aritmisch".

  Bij lineaire potmeters neemt de weerstandswaarde - tussen één uiteinde en de loper - steeds met dezelfde waarde toe, als de loper telkens eenzelfde aantal hoekgraden wordt verdraaid.
  Lijn a in de grafiek geeft dit weer.

  Bij logaritmische potmeters is de weerstandstoename, bij gelijke hoekverdraaiingen, niet steeds hetzelfde. De weerstand neemt aanvankelijk slechts weinig en vervolgens al maar sterker toe.
  Lijn b in de grafiek geeft het verloop weer.



OPDRACHT: METING AAN POTMETERS

- Plaats een gegeven potmeter op het oefenpaneel zoals aangegeven op blad A8.7. Let op de juiste aansluitpunten!

- Meet met een ohmmeter de weerstand tussen een aantal punten (zie tabel A8.7) met de as van de potmeter:

  - geheel rechtsom
  - geheel linksom
  - zo goed mogelijk in de middenstand.

  LET OP: Vergeet niet na overschakelen op een ander meetbereik, opnieuw de nulinstelling van de ohmmeter te controleren.

- Kunt u zeggen of deze potmeter linear of logarithmisch is?

  lineair / logaritmisch

  Hoe weet u dat?

  ____

  ____

  ____

- Kunt u ook zeggen of dit een draadgewonden - of een kool-potentiometer is?

  draadgewonden/kool

  Waarom?

  ____

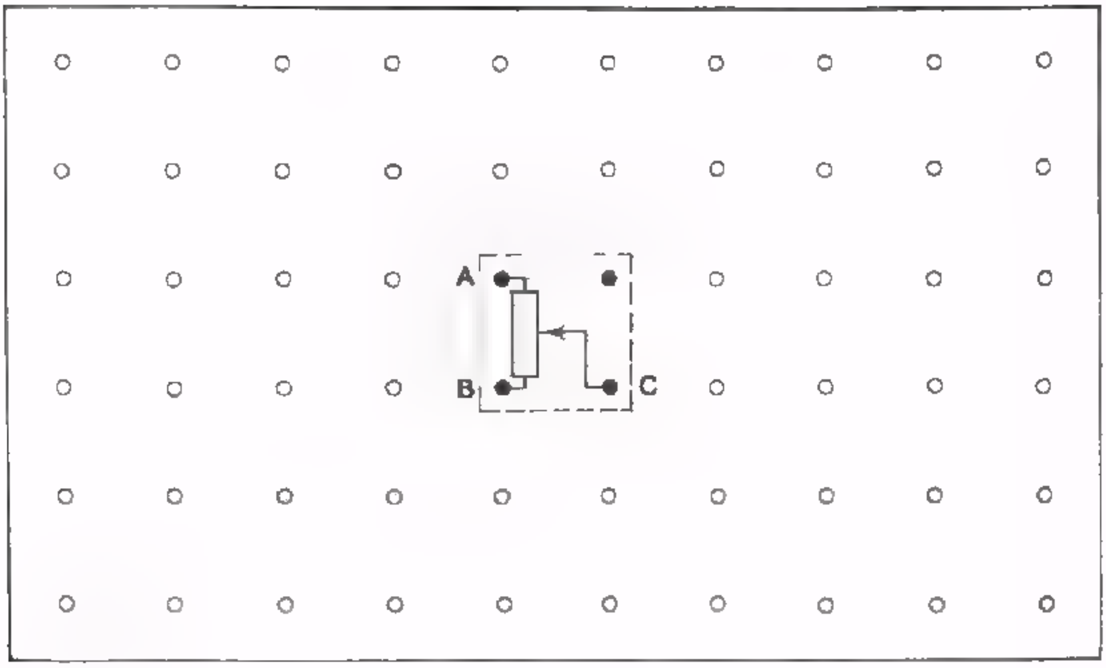
  ____

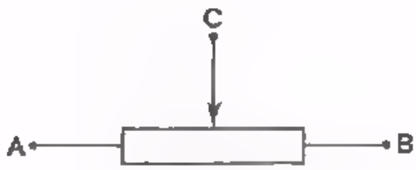
  ____

  ____

- Vervang de potmeter door een andere. Meet opnieuw de gevraagde weerstanden, zoals aangegeven in de tabel.

- Laat de potmeter op het paneel zitten voor een volgende opdracht, waarin we de potmeter zullen gebruiken in een schakeling.





Tabel

	As van de potmeter:	Rechtsom	In middenstand	Linksom
I	Weerstand tussen A en B			
	Weerstand tussen A en C			
	Weerstand tussen B en C			
II	Weerstand tussen A en B			
	Weerstand tussen A en C			
	Weerstand tussen B en C			

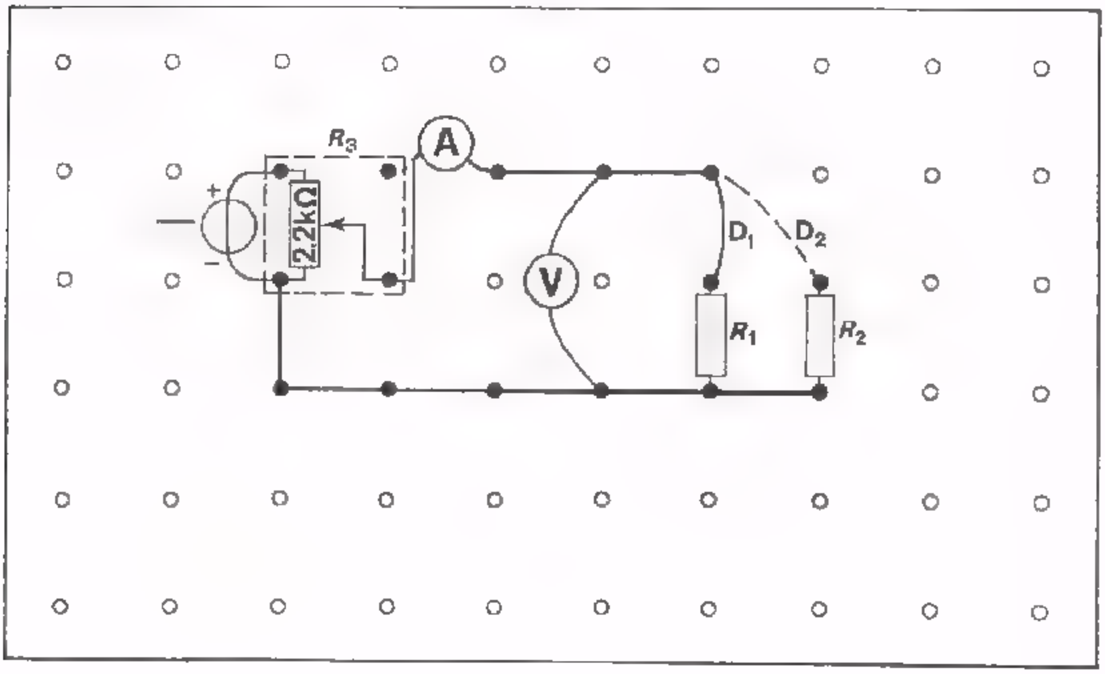
STROOM-SPANNINGSGRAFIEKEN

In de vorige les hebt u gezien dat het verband tussen twee grootheden weergegeven kan worden in een grafiek.

In de nu volgende opdracht gaan we een aantal metingen en berekeningen aan weerstanden uitvoeren. De resultaten van enkele van deze metingen zullen we weergeven in grafieken.

OPDRACHT: METINGEN AAN WEERSTANDEN

- Bouw onderstaande schakeling op het oefenpaneel met de 2k2 potmeter.
  - Breng de weerstanden R_1 en R_2 nog niet aan.
  - Breng doorverbinding D_1 ook nog niet aan.
  - Draai potmeter R_3 helemaal linksom.
  - Schakel de spanningsbron nog niet in.



- Bepaal de waarde van de twee weerstanden met behulp van de kleurcode en monteer deze zó op het oefenpaneel dat R_1 de laagste waarde heeft en R_2 de hoogste, zie paneeltekening.

	R_1	R_2
Weerstandswaarde:		
Tolerantie in %:		
De werkelijke waarde moet liggen tussen:	en	en

- Meet de waarde van de weerstanden zo nauwkeurig mogelijk met de ohmmeter en bereken hoeveel deze werkelijk afwijkt van de nominale waarde.

	R_1	R_2
Gemeten waarde:		
Afwijking in Ω: (+ of − vermelden)		
Afwijking in %: (+ of − vermelden)	%	%

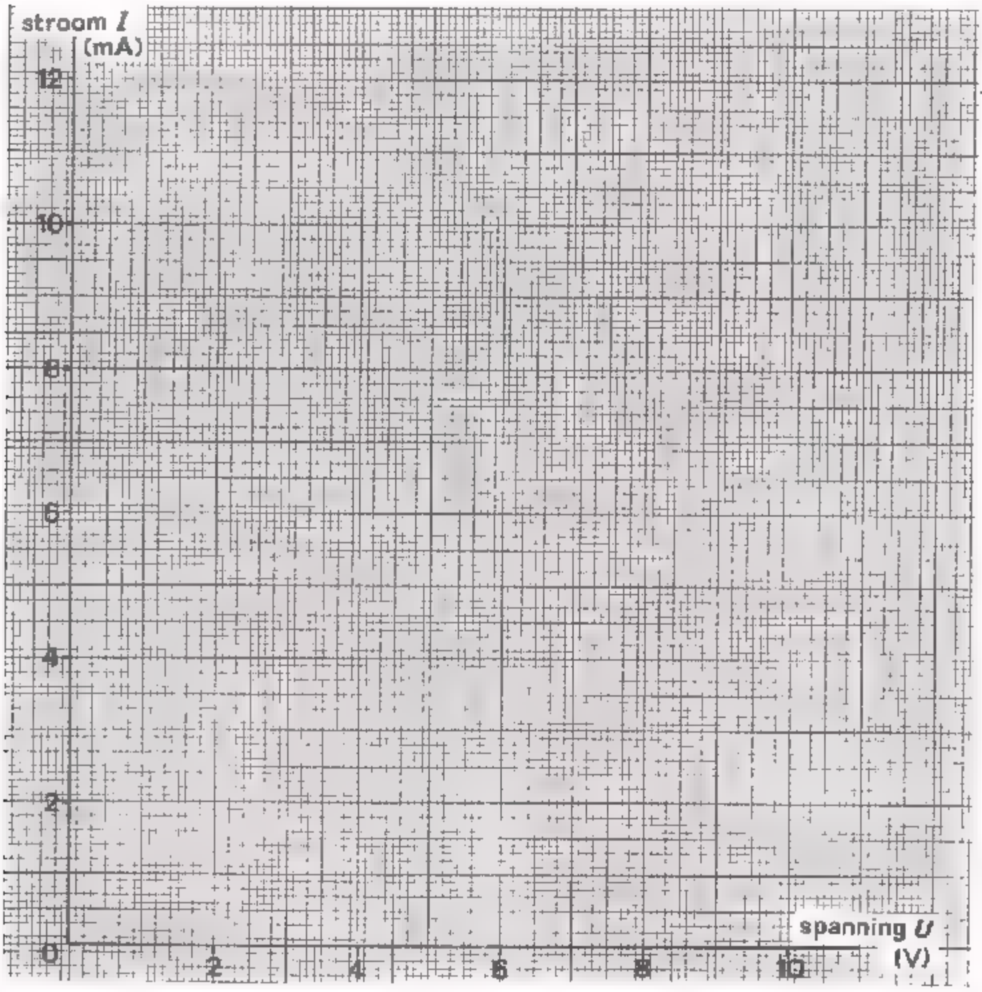
- Bepaal de waarde van de weerstanden door middel van stroom- en spanningsmeting op de volgende manier:
  - Schakel de spanningsbron in en regel de spanning op ongeveer 35 V.
  - Breng achtereenvolgens de verbinding D_1 en D_2 aan.
  - Regel telkens met de potmeter R_3 de stroom door de te meten weerstand op 10 mA.
  - Noteer de gemeten spanningswaarde in het vakje dat bij de desbetreffende weerstand hoort en *bereken* de weerstand.

Spanning over de weerstand:	U =	U =
Stroom door de weerstand:	I = 10 mA	I = 10 mA
Berekende weerstandswaarde:	R_1 =	R_2 =

- Herhaal deze meting, doch nu met over de weerstand de spanningen die in de tabel zijn aangegeven.

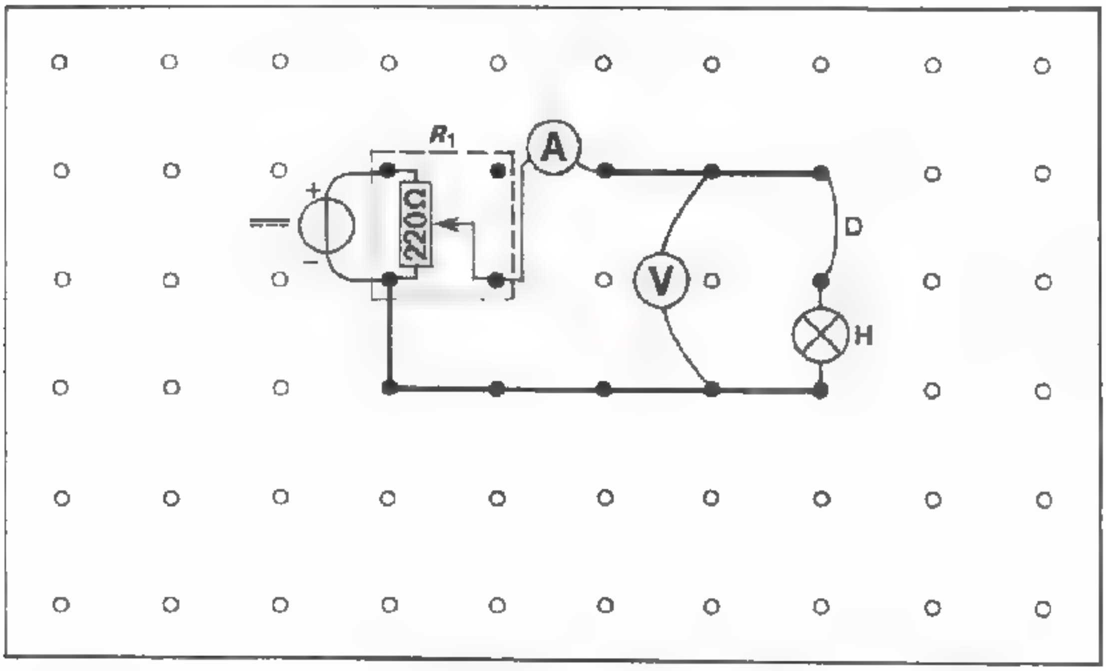
Spanning over de weerstand (V)	Stroom door de weerstand (mA)	
	R_1	R_2
0		
2		
4		
6		
8		
10		

- Zet voor elk van de twee weerstanden de gemeten stroomwaarden *zorgvuldig* uit op onderstaand millimeterpapier.
- Verbind de punten die bij één weerstand behoren door een lijn en vermeld bij elke lijn de waarde van de weerstand.



NOG EEN OPDRACHT

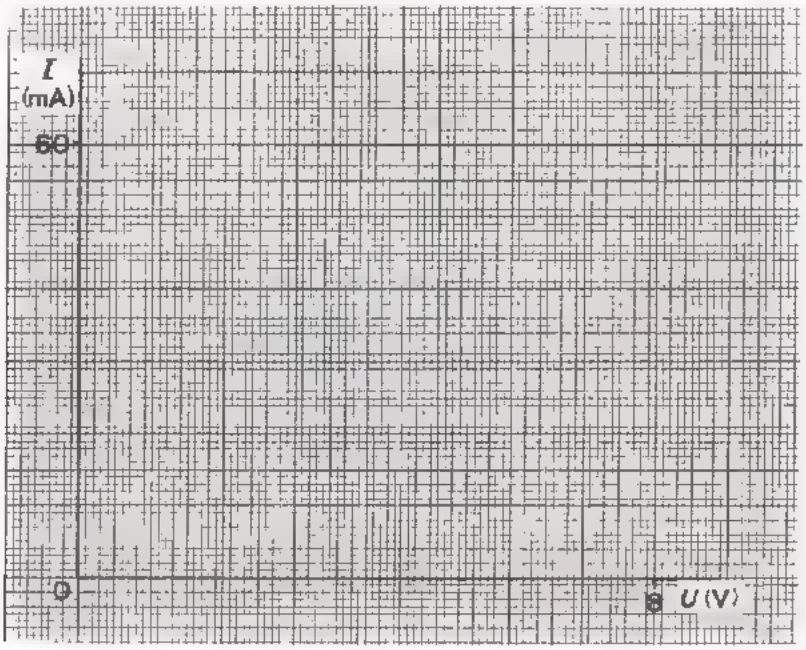
- Bouw onderstaande schakeling op het oefenpaneel met de 220 Ω potmeter.
  - Draai potmeter R_1 geheel linksom.
  - Schakel de spanningsbron in en regel zijn spanning op ongeveer 10 V.



- Regel met potmeter R_1 de spanning over het lampje op de waarden die vermeld zijn in de volgende tabel.
- Noteer bij elke spanning de gemeten waarde van de stroom.
- Bereken de weerstand van het lampje bij elke van deze spanningen.

spanning (V)	stroom (mA)	weerstand (Ω)
0		
0,25		
0,5		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		

- Zet de gevonden stroomwaarden zorgvuldig uit op het millimeterpapier en verbind deze punten door een vloeiende lijn.



- Verwijder de verbinding D en meet de weerstand van het lampje met de ohmmeter.

Weerstand: Ω

CONCLUSIE

In deze laatste opdracht hebt u gezien dat de weerstand van het lampje niet steeds gelijk is. Bij lage spanningen is de weerstand veel kleiner dan bij hoge spanningen. Hoe komt dit?

Een eigenschap van bijna alle materialen is dat de weerstand toeneemt als deze materialen verwarmd worden. Anders gezegd: Deze weerstand van een geleider is afhankelijk van de temperatuur.

Nu zult u zeggen: "Maar hoe zit het dan met de tabel voor de soortelijke weerstand ρ in les A6?"
De soortelijke weerstand wordt altijd gegeven bij een temperatuur van 20^{0}C. Wijkt de temperatuur van de geleider af van 20^{0}C, dan is de weerstand ook anders. Hoevéél de weerstand verandert hangt af van het materiaal. Er zijn materialen die zich weinig aantrekken van de temperatuurveranderingen, andere daarentegen véél.

In de tabellen voor soortelijke weerstand ρ vindt men meestal ook een kolom met getallen die de *temperatuurcoëfficiënt* α (spreek uit: alfa) voor elk materiaal aangeven.
Deze getallen geven aan hoeveel een weerstand van één ohm verandert, als de temperatuur één ^{0}C stijgt of daalt.

materiaal	soortelijke weerstand ρ	temperatuur-coëfficiënt α
zilver	0,0147	0,0038
koper	0,0172	0,00393
aluminium	0,0262	0,0039
nikkel	0,0693	0,0043
messing	0,07	0,002
ijzer	0,12	0,005
tin	0,115	0,0043
nickeline	0,40	0,011
constantaan	0,50	0,00004
chroomnikkel	1,1	0,00011
kool	30	−0,0002 tot −0,0008

Een voorbeeld:

Een ijzerdraad met een weerstand van 100 Ω bij 20°C heeft bij 50°C een weerstand van:

$$\underset{\substack{\uparrow\\ \text{weerstand}\\ \text{bij } 20^{\circ}\text{C}}}{100} + \underset{\substack{\uparrow\\ \text{per}\\ \text{ohm}}}{100} \times \underset{\substack{\uparrow\\ \text{per}\\ ^{\circ}\text{C}}}{30} \times \underset{\substack{\uparrow\\ \alpha}}{0{,}005} =$$

$$100 + 15 = \mathit{115}\ \Omega$$

Probeer uit de tabel een antwoord te vinden op de volgende vragen:

- Voor welk materiaal is de weerstand het sterkst afhankelijk van de temperatuur en hoe groot is α dan?

  ; α =

- Voor welk materiaal is de weerstand het minst afhankelijk van de temperatuur en hoe groot is α dan?

  ; α =

- Als de temperatuur van een koolweerstand hoger wordt, wat gebeurt er dan met de weerstandswaarde?

  wordt hoger / wordt lager

De proef met het lampje laat de temperatuurafhankelijkheid van de weerstand van een metaal duidelijk zien. Dit lampje heeft namelijk een metalen gloeidraad.

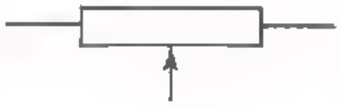
Door het opvoeren van de spanning loopt er een steeds grotere stroom. De gloeidraad wordt daardoor steeds warmer en zijn weerstand steeds groter. Daarom is de stroomtoename niet evenredig met de spanningstoename.

SAMENVATTING

- Reeds eerder zijn *vaste* weerstanden behandeld.

  Symbool: 

- In deze les kwamen de *variabele* weerstanden aan bod. Deze weerstanden hebben tussen de uiteinden een vaste waarde, maar door middel van een verschuifbare *aftakking* kan men een deel van de weerstand benutten.
- Dergelijke weerstanden noemt men *pot(entio)meters*.

  Symbool: 

- De draai-potmeter komt het meest voor.
  Deze is of draadgewonden of heeft kool als weerstandsmateriaal.
- Men maakt onderscheid in *instelbare* of *regelbare* weerstanden. De eerste worden eenmalig ingesteld, b.v. bij afregeling van een apparaat.

  Symbool: 

  De regelbare bezitten een as met knop waarmee de weerstandswaarde naar wens is te regelen, b.v. volumeregelaar van radio.
- De waarde van variabele weerstanden wordt aangeduid met de cijfercode.

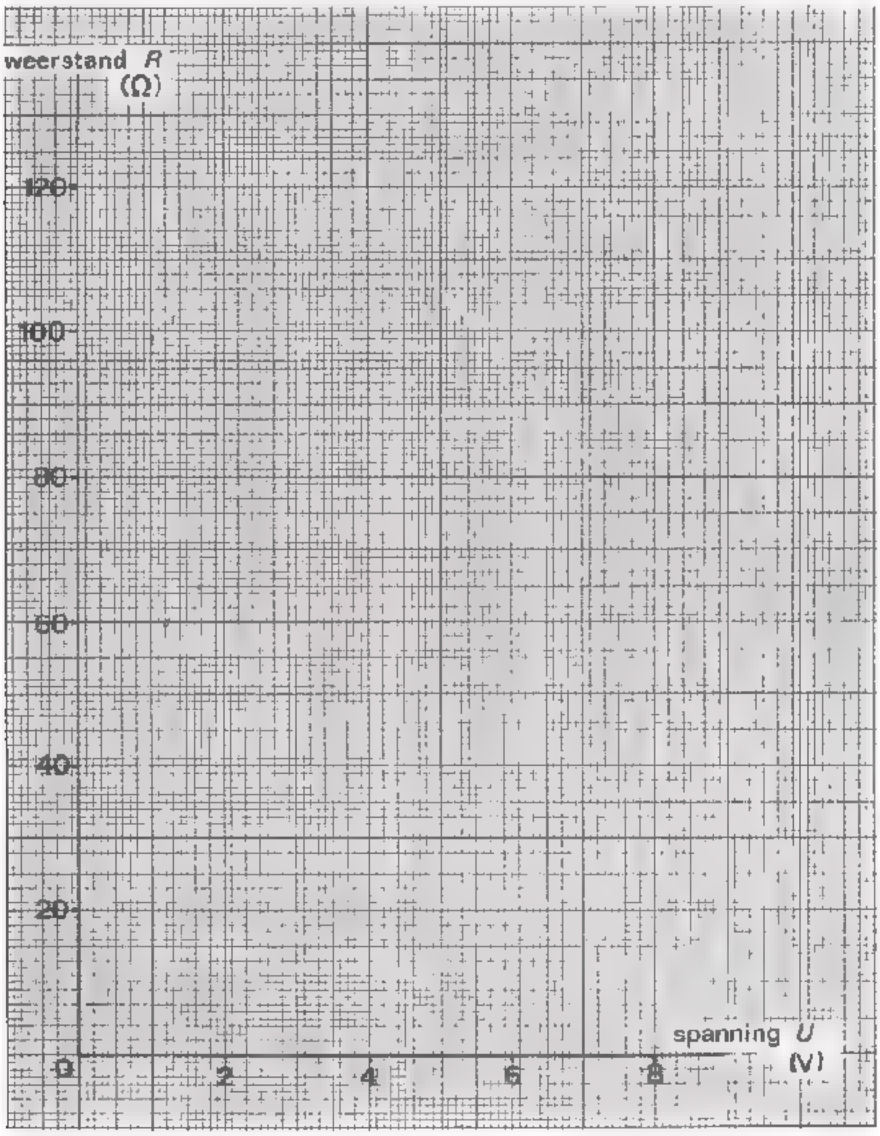
  LIN. betekent hier "lineair"
  De weerstandswaarde neemt evenredig toe met de draaiing van de as.
  LOG. betekent "logaritmisch".
  De weerstandswaarde neemt bij draaiing van de as eerst weinig en daarna al maar sterker toe.
- Bij de meeste materialen neemt de soortelijke weerstand bij verwarming toe. Men drukt dit uit door middel van de *temperatuurcoëfficiënt* α van het materiaal.
- De temperatuurcoëfficiënt geeft aan hoeveel de weerstand per ohm en per ^{0}C varandert.
- De temperatuurcoëfficiënt van kool is negatief, d.w.z. dat de soortelijke weerstand van kool afneemt bij toenemende temperatuur.

NAAM:

KLAS:

OEFENING

- Maak een grafiek die het verband aangeeft tussen de weerstand van het gemeten gloeilampje en de spanning over het lampje.



- U hebt de weerstand van het lampje ook met een ohmmeter bepaald. Geef op de gevonden lijn in de grafiek met een rode stip de plaats aan, die overeenkomt met deze gemeten weerstandswaarde.

  Deze rode stip geeft de weerstand van het lampje aan bij:

  V

  Kunt u dit verklaren?

  Antwoord:

REKENEN MET MACHTEN VAN 10

Bij het rekenen in de techniek ontstaan vaak zeer grote en zeer kleine getallen. In elektronische apparatuur treft u bijvoorbeeld weerstanden aan van 10 000 000 Ω en condensatoren van slechts 0,000 000 000 020 F.
Het is vrijwel ondoenlijk deze getallen in één oogopslag te lezen en het is bij berekeningen zeer tijdrovend zoveel nullen op te moeten schrijven.
In de techniek rekenen we op een handiger manier met behulp van machten van 10.

Laten we eens gaan kijken hoe we dat doen.

U weet, dat: $2^2 = 2 \times 2 = 4$

Zo is 2^3 - spreek uit: "twee tot de derde macht"
of "twee tot de derde" - :

$2 \times 2 \times 2 = 8$

$3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3$, dus 3 zevenmaal zichzelf vermenigvuldigd, kort men af tot 3^7 - "drie tot de zevende".

I.p.v.: $100 = 10 \times 10$ schrijft men: 10^2,
voor $1\,000 = 10 \times 10 \times 10$ evenzo: 10^3,
en voor $100\,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$: 10^5.

Een uitdrukking zoals 10^5 noemt men een *macht*;
10 heet het *grondtal*;
het cijfer 5 rechts boven heet de *exponent*.

Nog een voorbeeld:

$100\,000\,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10^8$.
10^8 - "tien tot de achtste" - is een macht van het grondtal 10; het is de achtste macht, want de exponent is in dit geval 8.

Nog eens schematisch:

10 000 =

$10 \times 10 \times 10 \times 10 =$ 10^4

exponent

macht

grondtal

Merk op, dat het aantal factoren 10 dat door de exponent wordt aangegeven hetzelfde is als het aantal nullen.

$$10^5 = \underline{100\ 000}$$

exponent = aantal nullen

De getallen 100, 1000, 10 000, enz. kunnen we nu met behulp van machten van 10 gemakkelijker opschrijven. Ook andere grote getallen kunnen we met machten van 10 schrijven. Voorbeelden:

$$7000 = 7 \times 1000 = 7 \times 10 \times 10 \times 10 = 7.10^3$$
$$300\ 000 = 3 \times 100\ 000 = 3 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 3.10^5$$
$$600 = 6.10^2$$
$$4000\ 000 = 4.10^6$$
$$45\ 000 = 45.10^3$$
$$385\ 000\ 000 = 385.10^6.$$

Hetzelfde getal kunnen we met verschillende machten van 10 schrijven.
Voorbeelden:

$$1200 = 1{,}2.10^3 = 12.10^2 = 120.10$$
$$330\ 000 = 3{,}3.10^5 = 33.10^4 = 330.10^3 = 3300.10^2, \text{ enz.}$$
$$470\ 000\ 000 = 4{,}7.10^8 = 47.10^7 = 470.10^6 = 4700.10^5, \text{ enz.}$$

We weten, dat: $10^4 = 10 \times 10 \times 10 \times 10$,
$10^3 = 10 \times 10 \times 10$,
$10^2 = 10 \times 10$

Nu is $\boxed{10^1 = 10}$; meestal laten we de exponent 1 echter weg, zoals we bij 1a de 1 ook weglaten en gewoon a schrijven.

OEFENINGEN

Schrijf volgende getallen als een produkt van een getal tussen 1 en 10 en een macht van 10.

Voorbeeld:

$$27\ 000 = 2{,}7 . 10^4$$

1. 3300 =

2. 10 000 =

3. 86 =

4. 220 000 =

5. 1200 000 =

6. 5600 =

7. 453 =

8. 17 000 000 =

9. 170 000 =

10. 98 000 000 =

NOG EEN OEFENING

Vul de juiste macht van 10 in: Voorbeeld $1600 = 16 . \boxed{10^2}$

1. $680 = 6{,}8 .$
2. $18\,000 = 1800 .$
3. $420.10^1 = 4{,}2 .$
4. $470.10^6 = 4{,}7 .$
5. $2{,}5.10^5 = 250 .$
6. $930.10^1 = 93 .$
7. $107\,000 = 1{,}07 .$
8. $88.10^2 = 8{,}8 .$
9. $5600.10^6 = 56\,000 .$
10. $71{,}0.10^3 = 7100 .$
11. $3{,}30.10^2 = 33 .$
12. $84.10^4 = 8400 .$
13. $230.10^7 = 23\,000 .$
14. $1{,}1.10^2 = 11 .$
15. $180 = 18 .$

VERMENIGVULDIGEN

Hoeveel is: $3^2 \times 3^3$?

Men vindt de uitkomst met de bekende regel:

Bij vermenigvuldigen van machten van hetzelfde grondtal moet men de exponenten optellen.

Dus: $3^2 \times 3^3 = 3^{2+3} = 3^5$

We kunnen de juistheid gemakkelijk controleren, immers:

$3^2 = 3 \times 3$

$3^3 = 3 \times 3 \times 3$

$3^2 \times 3^3$ is dus $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 3^5$.

Voorbeelden met het grondtal 10:

$10^2 \times 10^2 = 10^{2+2} = 10^4$

$10^3 \times 10^5 = 10^{3+5} = 10^8$

$10^1 \times 10^4 = 10^{1+4} = 10^5$

$10^8 \times 10^6 = 10^{8+6} = 10^{14}$

Op de lagere school berekende u 600 000 x 80 000 als volgt:

```
       600 000
        80 000
       ------- x
48 000 000 000
```

Laten we eens kijken hoe we dit nu met machten van 10 kunnen doen:

600 000 x 80 000 =

- Eerst schrijven met machten van 10, dus:

  $6.10^5 \times 8.10^4 = 6 \times 8 \times 10^5 \times 10^4$

- 6 x 8 vermenigvuldigen en exponenten 5 en 4 optellen:

  48×10^9.

- Desnoods nog schrijven als: $4{,}8 \times 10^{10}$.

  Nog enige uitgewerkte voorbeelden:

  $17\,000 \times 300 = 1{,}7.10^4 \times 3.10^2 = 5{,}1.10^6$

  $122 \times 200\,000 = 1{,}22.10^2 \times 2.10^5 = 2{,}44.10^7$

  $5600 \times 3.10 = 5{,}6.10^3 \times 3.10^4 = 16{,}8.10^7 = 1{,}68.10^8$

  $600 \times 300 \times 2000 = 6.10^2 \times 3.10^2 \times 2.10^3 = 36.10^7 = 3{,}6.10^8$.

pagina's A9.6 tot en met A9.10 ontbreken

OEFENINGEN

Schrijf de uitkomsten als het produkt van een getal tussen 1 en 10 en een macht van 10.

1. $\frac{1}{10\,000}$ =

2. 0,0001 =

3. 0,07 =

4. 0,820 =

5. $\frac{6}{1000\,000}$ =

6. 0,000 056 =

7. 152.10^{-6} =

8. $0{,}168 \times 10^{0}$ =

9. $2{,}3.10^{-1}$ =

10. $\frac{470}{100\,000}$ =

11. $\frac{0{,}531}{1000}$ =

12. $\frac{27}{10^{4}}$ =

13. $0{,}0088 \times 10^{0}$ =

14. $10{,}2 \times \frac{1}{100}$ =

15. 0,000 000 0473 =

OVERZICHT VAN MACHTEN VAN 10 MET POSITIEVE EN NEGATIEVE EXPONENTEN

10^4	= 10 000	positieve exponent geeft aantal nullen rechts van de 1
10^3	= 1000	
10^2	= 100	
10^1	= 10	
10^0	= 1	
10^{-1}	= 0,1	negatieve exponent geeft aantal nullen links van de 1, de nul voor de komma meegerekend
10^{-2}	= 0,01	
10^{-3}	= 0,001	
10^{-4}	= 0,0001	

Evenzo is ieder getal te schrijven met een macht van 10.

Voorbeeld:

$6{,}8 . 10^4$	= 68 000	positieve exponent geeft aantal plaatsen dat de komma naar rechts opschuift
$6{,}8 . 10^3$	= 6800	
$6{,}8 . 10^2$	= 680	
$6{,}8 . 10^1$	= 68	
$6{,}8 . 10^0$	= 6,8	
$6{,}8 . 10^{-1}$	= 0,68	negatieve exponent geeft aantal plaatsen dat de komma naar links opschuift
$6{,}8 . 10^{-2}$	= 0,068	
$6{,}8 . 10^{-3}$	= 0,0068	
$6{,}8 . 10^{-4}$	= 0,000 68	

VERMENIGVULDIGEN VAN MACHTEN VAN 10 MET NEGATIEVE EXPONENTEN

Voorbeeld:

$$10^{-3} \times 10^{-2} = 10^{(-3)+(-2)} = 10^{-5}.$$

Dat dit juist is blijkt als we bovenstaand sommetje anders opschrijven, namelijk:

$$\frac{1}{1000} \times \frac{1}{100} = \frac{1}{100\ 000} = 10^{-5}$$

Ook bij vermenigvuldigen van machten van hetzelfde grondtal met negatieve exponenten moet men de exponenten optellen.

Voorbeelden:

$$10^{-6} \times 10^{-8} = 10^{(-6)+(-8)} = 10^{-14}$$

$$6.10^{-2} \times 8.10^{-4} = 48.10^{-6} = 4{,}8.10^{-5}$$

$$2.10^{-3} \times 4.10^{-2} \times 3.10^{-1} = 24.10^{-6} = 2{,}4.10^{-5}.$$

Ook als men machten met positieve en negatieve exponenten vermenigvuldigt gaat deze regel op.

Voorbeelden:

$$10^{-3} \times 10^{6} = 10^{-3+6} = 10^{3}$$

$$16.10^{-3} \times 2.10^{8} \times 3.10^{-7} = 96.10^{-2} = 9{,}6.10^{-1}$$

DELEN DOOR MACHTEN VAN 10 MET NEGATIEVE EXPONENTEN

Hoeveel is $\frac{10^{-3}}{10^{-4}}$?

Wij passen ook bij deze negatieve exponenten de regel toe: Bij deling van machten van hetzelfde grondtal moet men exponenten aftrekken.

In dit geval krijgen we dan:

$$\frac{10^{-3}}{10^{-4}} = 10^{-3-(-4)} = 10^{-3+4} = 10^{1} = 10$$

Dat dit juist is blijkt als volgt:

$$\frac{10^{-3}}{10^{-4}} = \frac{\frac{1}{1000}}{\frac{1}{10\ 000}} = \frac{1}{1000} \times \frac{10\ 000}{1} = \frac{10\ 000}{1000} = 10$$

NOG ENIGE VOORBEELDEN

Bij deling van machten met negatieve exponenten ontstaan gemakkelijk fouten. Deze kan men zoveel mogelijk voorkomen door negatieve exponenten om te zetten in positieve. Dit doet men door de negatieve macht aan de andere kant van de breukstreep te brengen.

$$\frac{10^{-3}}{1} = \frac{1}{10^{3}} \quad \text{en} \quad \frac{1}{10^{-4}} = \frac{10^{4}}{1}$$

Reken volgende voorbeelden zorgvuldig na.

$$\frac{6.10^{-3}}{3.10^{-1}} = \frac{6}{3} \cdot \frac{10^{1}}{10^{3}} = 2 \cdot \frac{1}{10^{2}} = 2.10^{-2}$$

$$\frac{24.10^{-5}}{8.10^{-8}} = \frac{24}{8} \cdot \frac{10^{8}}{10^{5}} = 3 \cdot 10^{3}$$

$$\frac{75.10^{-4}}{5.10^{0}} = \frac{75}{5} \cdot \frac{10^{-4}}{1} = 15 \cdot 10^{-4} = 1{,}5.10^{-3}.$$

Als men machten met positieve en negatieve exponenten deelt gaat men op dezelfde manier te werk.

$$\frac{10^{8}}{10^{-5}} = 10^{8} \cdot 10^{5} = 10^{13}$$

$$\frac{144.10^{-1}}{12.10^{3}} = \frac{144}{12} \cdot \frac{1}{10^{1}.10^{3}} = 12 \cdot \frac{1}{10^{4}} = 12.10^{-4} = 1{,}2.10^{-3}.$$

Hier enige voorbeelden van gecombineerde vermenigvuldigingen en delingen.

$$\frac{5.10^{-5} \times 15.10^{-3}}{3.10^{-6}} = \frac{5.15}{3} \cdot \frac{1}{10^{5}} \cdot \frac{10^{6}}{1} \cdot \frac{1}{10^{3}} = 25 \cdot \frac{10^{6}}{10^{8}} =$$

$$25 \cdot \frac{1}{10^{2}} = 25.10^{-2} = 2{,}5.10^{-1}$$

$$\frac{3.10^{5} \times 8.10^{-8}}{6.10^{3}} = \frac{3.8}{6} \cdot \frac{10^{5}}{10^{3}.10^{8}} = 4 \cdot \frac{1}{10^{6}} = 4.10^{-6}$$

$$\frac{144 \cdot 10^{1}}{24.10^{-3} \times 3.10^{-2}} = 2 \cdot 10^{1} \cdot 10^{3} \cdot 10^{2} = 2.10^{6}.$$

VOORVOEGSELS

In de techniek vindt men het dikwijls ook nog te veel moeite om machten van 10 op te schrijven. Men gebruikt vaak voorvoegsels. We hebben in de voorafgaande lessen reeds kennis gemaakt met een aantal van deze voorvoegsels. We geven hieronder een overzicht.

voorvoegsel	symbool	factor
mega	M	10^{6}
kilo	k	10^{3}
milli	m	10^{-3}
micro	µ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

Voorbeelden:

10^{3} V = 1 kV

13.10^{-3} A = 13 mA

$2,5.10^{-6}$ V = 2,5 µV

2.10^{-10} s = 200 ps

30.10^{-3} mA = 30 µA

OEFENING

Vul de juiste waarden en eenheden in:

1.	10 000 Ω =	kΩ =	MΩ
2.	320 µA =	0,32 =	32.10^{4}
3.	1300 ns =	1,3 . µs =	1,3 ms
4.	250.10^{-9} F =	250 =	0,25
5.	3,3 MΩ =	kΩ =	Ω

SAMENVATTING

In deze les hebben we leren rekenen met machten van 10. We vatten alles nog eens samen.

- 10^7 is een *macht* van het *grondtal 10*.
  7 heet de *exponent*.
- 10^{-7} is ook een macht van 10; het is een macht met negatieve exponent.
  Met 10^{-7} bedoelen we $\frac{1}{10^7}$.
- $10^5 = 100\ 000$
  exponent: aantal nullen naar rechts
  $10^{-5} = 0{,}000\ 01$
  exponent: aantal nullen naar links
- $10^1 = 10$
  $10^0 = 1$.
- Bij *vermenigvuldigen* van machten van 10 *tellen* we *exponenten op*.
- Bij *delen* van machten van 10 *trekken* we *exponent* van de *noemer af* van die van de *teller*.

  Voorbeeld:

$$\frac{4000 \times 0{,}003}{0{,}01 \times 60\ 000} = \frac{4.10^3 \times 3.10^{-3}}{10^{-2} \times 6.10^4} =$$

$$\frac{4.10^3 \times 3}{6.10^4} \cdot \frac{10^2}{10^3} = \frac{4.3}{6} \cdot \frac{10^5}{10^7} = 2\ \frac{1}{10^2} = 2.10^{-2}$$

- Machten van 10 kort men bij eenheden af met volgende voorvoegsels:

mega	M	10^6
kilo	k	10^3
milli	m	10^{-3}
micro	µ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

NAAM: ______ KLAS: ______

OEFENINGEN

Maak volgende berekeningen met behulp van machten van 10. Geef de uitkomsten op als een produkt van een getal tussen 1 en 10 en een macht van 10.

1. $\dfrac{32.10^{-4}}{8.10^{4}} =$

2. $13.10^{-3} \times 3.10^{-1} \times 2.10^{2} =$

3. $12.10^{-6} \times 12.10^{8} \times 2.10^{0} =$

4. $3.10^{-1} \times 3.10^{0} \times 3.10^{+1} =$

5. $\dfrac{180\ 000}{3.10^{-1} \times 1{,}2.10^{3}} =$

6. $\dfrac{1{,}6.10^{3}}{8.10^{-3} \times 4.10^{-8}} =$

7. $\dfrac{13.10^{-3} \times 14.10^{2}}{7.10^{1} \times 26.10^{-6}} =$

8. $\dfrac{64.10^{-6} \times 32.10^{5}}{1{,}6.10^{8} \times 16.10^{-4}} =$

9. $\dfrac{1{,}83.10^{5} \times 1{,}56.10^{-6}}{52\ 000 \times 61{,}0.10^{-5}} =$

10. $\dfrac{5.10^{6} \times 5.10^{-1} \times 5.10^{-2}}{625.10^{3}} =$

OEFENINGEN

Vul het juiste voorvoegsel in:

1. 18.10^{-3} mA = 18 ________ A
2. 3.10^{5} Ω = 300 ________ Ω
3. 7.10^{-7} s = 700 ________ s
4. 1,8 MΩ = 18.10^{2} ________ Ω
5. 2,13 kV = 2130 ________ V

Vul de juiste macht van 10 in:

6. 12 μV = 1,2 __________ mV
7. 330 MΩ = 3,3 __________ Ω
8. 0,091 A = 91 __________ μA
9. 0,63 ms = 630 __________ ns
10. 1200 pF = 1,2 __________ F

A 10

H E R H A L I N G 1

Het is van het grootste belang dat u de tot nu toe behandelde grondbeginselen degelijk onder de knie hebt. Als u de stof van de eerste lessen van deze cursus maar half verwerkt hebt, dan loopt u grote kans binnenkort de boot te missen. Het is voor uw leraar, maar vooral voor uzelf, nuttig te weten hoe de zaken ervoor staan. Daarom zal de volgende les geheel besteed worden aan een uitvoerige test. In deze cursus zullen we telkens na ongeveer 10 lessen zo'n test inlassen.
Ter voorbereiding van die test gaan we in deze les het voorafgaande nog eens snel herhalen. In deze les komt dus geen nieuwe stof aan de orde, maar wordt het reeds eerder geleerde netjes op een rijtje gezet.

HOE BEREIDT U ZICH VOOR OP DE TEST?

- Op de eerste plaats moet u er zich van bewust zijn dat u dankzij het aandachtig doorwerken van de voorafgaande lessen, het uitvoeren van de opdrachten en het maken van de vraagstukjes, reeds zeer veel kent en kunt.

- Werk deze herhalingsles serieus door. Ga na of u echt begrijpt wat er staat. Als u op vragen verkeerde antwoorden geeft, tracht dan te achterhalen hoe dat komt.

- Bestudeer thuis de *samenvattingen* van de behandelde lessen. Komt u daarin dingen tegen die u niet begrijpt, lees dan de uitvoerige bespreking in de desbetreffende les nog eens door.

- Ga na waar u fouten maakte in opgaven en waarom.

Tenslotte vertellen we, dat de testles A11 bestaat uit 40 keuzeantwoordvragen over de behandelde grondbeginselen van de elektriciteitsleer.
Bij deze vragen komt u geen rekenvraagstukken of algebrasommen tegen.
Uiteraard hebt u bij het oplossen van elektrische problemen wel enige vaardigheid in rekenen en algebra nodig.

ELEKTRISCHE LADING EN ELEKTRISCHE STROOM

- Alle *materie* is opgebouwd uit *moleculen.* Moleculen bestaan uit *atomen.* Een atoom heeft een *kern* waar *elektronen* omheen bewegen.
- Een atoomkern heeft een positieve *lading*. Een elektron heeft een negatieve lading. Bij een volledig atoom is de negatieve lading van de gezamenlijke elektronen even groot als de positieve lading van de kern. Het atoom als geheel gedraagt zich ongeladen of *neutraal.*
- Ladingen met hetzelfde teken heten *gelijknamig*. Gelijknamige ladingen stoten elkaar af en ongelijknamige trekken elkaar aan.
- Sommige elektronen zitten nogal los aan de atomen. Deze z.g. *vrije elektronen* gaan gemakkelijk door de materie zwerven. Stoffen waarbij dit het geval is noemt men *geleiders.* Stoffen met alleen maar vast aan de atomen zittende elektronen noemt men *isolatoren.*
- Een geleider kan vrije elektronen kwijt raken. Hij krijgt een elektronen*tekort* en is dan positief. Vangt een geleider elektronen op, dan krijgt hij een elektronen*teveel*; hij is negatief geladen.
- De *grootheid* elektrische lading duidt men aan met de hoofdletter Q. Als *eenheid* van elektrische lading wordt de *coulomb* gebruikt, afgekort C.
- Als men een positief en een negatief geladen lichaam door middel van een geleidende draad verbindt, loopt er tijdelijk een elektronenstroom van het negatief naar het positief geladen lichaam.

  De *elektrische stroom* waarmee we in de elektriciteitsleer werken loopt in een geleider in tegengestelde richting, dus van + naar −.
- Elektrische stroom duidt men aan met de hoofdletter I en meet men in *coulomb* per *seconde.*
  1 coulomb/seconde noemt men *1 ampere*, afgekort A.

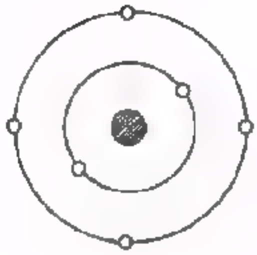
  $$1A = 1\ C/s$$

  Voor kleine stromen gebruikt men:

  $$1\ mA = 10^{-3}\ A$$
  en $$1\ \mu A = 10^{-6}\ A.$$

TEST UZELF

1.



Hiernaast is schematisch een volledig atoom weergegeven.
De lading van de kern bedraagt:

+2	O
+4	O
+6	O
−6	O

2. Men voegt drie ladingen $Q_1 = -7$ C, $Q_2 = +4$ C en $Q_3 = -3$ C bij elkaar.
De totale lading wordt dan:

+14 C	O
+6 C	O
0 C	O
−6 C	O

3. Elektrische lading geeft men in formules aan met:

Q	O
C	O
A	O
C/s	O

4.

12 A = 12.10^{-3} mA	O
12.10^{3} mA	O
12.10^{-3} µA	O
12.10^{3} µA	O

5. Een elektrische stroom:

loopt in een geleider van − naar +	O
loopt in dezelfde richting als de elektronen stroom	O
loopt in een geleider van + naar −	O
is het aantal elektronen	O

6. $0{,}10\ mA =$

100 μA	O
10^{-2} μA	O
10^{3} μA	O
10^{-3} μA	O

7. De eenheid van elektrische lading is de:

farad	O
coulomb	O
ampere	O
ampere/seconde	O

8. Als er gedurende 10 seconden een stroom van 3 mA naar een aanvankelijke ongeladen geleider stroomt, dan heeft deze geleider een lading verkregen van:

30 C	O
3 C	O
0,3 C	O
0,03 C	O

9. Een neutraal zuurstofatoom heeft 8 elektronen. Als zo'n atoom één elektron kwijt raakt, dan is de lading van het atoom:

+7	O
-7	O
+1	O
-1	O

10. Een positief geladen geleider heeft:

te weinig kernen	O
even veel kernen als elektronen	O
een teveel aan elektronen	O
een tekort aan elektronen	O

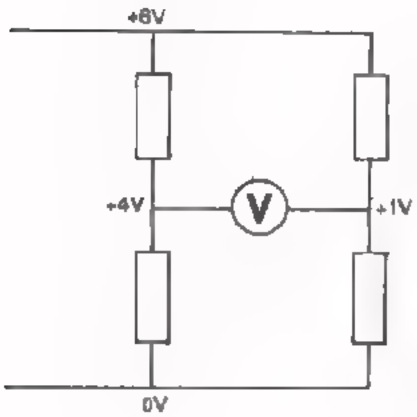
ELEKTRISCHE SPANNING

- De oorzaak van elektrische stroom is een elektrisch spanningsverschil, kortweg een *spanning*.
- Elektrische spanning duidt men in formules aan met de hoofdletter U. De spanning van punt A t.o.v. B geeft men aan met U_{AB}. De spanning van een punt P ten opzichte van aarde of chassis geeft men aan als U_P.
- De *eenheid* van spanning is de *volt*, afgekort V.

  Grotere of kleinere eenheden zijn: $1\ kV = 10^3\ V$
  $1\ mV = 10^{-3}\ V$
  $1\ \mu V = 10^{-6}\ V$

TEST UZELF

1.



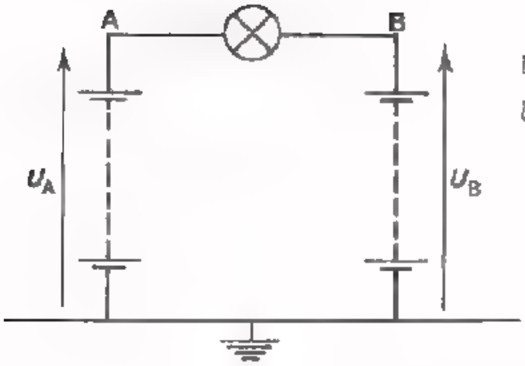
De voltmeter wijst aan:

5 V	O
1 V	O
3 V	O
andere waarde	O

2.

$0{,}01\ kV = 10^7\ \mu V$	O
$10^6\ \mu V$	O
$10^4\ \mu V$	O
$10^{-4}\ \mu V$	O

3.



$U_A = +14\ V$
$U_B = +6\ V$

U_{AB} =	+8 V	O
	−8 V	O
	+14 V	O
	−6 V	O

WEERSTAND

- Een geleider biedt *weerstand* aan de elektrische stroom. Deze weerstand is afhankelijk van:

  - de lengte l van de geleider
  - de doorsnede A van de geleider
  - de soortelijke weerstand ρ van het materiaal van de geleider.

  Dit wordt uitgedrukt in de formule:

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

R	Ω
l	m
A	mm^2

- De component *weerstand* is een geleider met een bepaalde weerstandswaarde.

- De *eenheid* van *weerstand* is de *ohm* (Ω).

  Een geleider waarbij een spanning van 1 V tussen de uiteinden een stroom van 1 A veroorzaakt, heeft een weerstand van 1 Ω.

  Een kleinere eenheid van weerstand is:

  1 mΩ = 10^{-3} Ω.

  Grotere eenheden zijn:

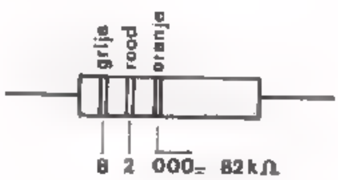
  1 kΩ = 10^3 Ω
  1 MΩ = 10^6 Ω.

- Men geeft de waarde van een weerstand aan door middel van een:

  - *cijfercodering*, b.v.

8E2	=	8,2 Ω
12E	=	12 Ω
2k2	=	2,2 kΩ
5M6	=	5,6 MΩ

  - *kleurcodering*, b.v.



- Men geeft bij weerstanden meestal de *tolerantie* op; dit is de maximale afwijking van de *nominale* waarde in procenten.
  B.v.: 8k2, 5%

  De weerstandswaarde ligt tussen 7790 en 8610 Ω.

  Bij een weerstand met kleurcode duidt de vierde ring de tolerantie aan. Is deze b.v. rood, dan heeft de weerstand een tolerantie van 2%.

- Weerstanden komen in drie *reeksen* voor:
  De E-6 reeks bevat 20%-weerstanden.
  De E-12 reeks bevat 10%-weerstanden.
  De E-24 reeks bevat 5%-weerstanden.

TEST UZELF

1. Een draad van metaal (ρ = 0,02) heeft een lengte van 50 m en een doorsnede van 2 mm^2. De weerstand van deze draad bedraagt:

   250 mΩ O
   0,5 Ω O
   1 Ω O
   meer dan 1 Ω O

2. De nominale waarde van deze weerstand is:

   490 kΩ O
   4,9 MΩ O
   390 000 Ω O
   3k9 O

3. Een ronde koperdraad heeft een weerstand van 4 mΩ. Een driemaal zo lange koperdraad met een tweemaal zo grote diameter heeft een weerstand van:

   6 mΩ O
   $5\frac{1}{3}$ mΩ O
   3 mΩ O
   $2\frac{2}{3}$ mΩ O

4. 

Deze weerstand heeft een tolerantie van: 2% O
5% O
10% O
20% O

5. Een weerstand van 10 MΩ bezit een kleurcode:

zwart - bruin - violet O
bruin - zwart - groen O
bruin - wit - grijs O
geen van deze O

6. 33 kΩ = 0,33 MΩ O
33.10^{3} MΩ O
33.10^{-3} MΩ O
33.10^{-6} MΩ O

7. Twee metalen draden hebben dezelfde doorsnede. De ene draad heeft een weerstand van 8 Ω. De lengte van de andere draad is 5x zo lang en zijn soortelijke weerstand is 3x zo groot. De weerstand van deze tweede draad bedraagt:

120 Ω O
$13\frac{1}{3}$ Ω O
360 Ω O
andere waarde O

8. De tolerantiegrenzen van een weerstand van 1000 Ω met een gouden ring bedragen:

van 900 Ω tot 1100 Ω O
van 800 Ω tot 1200 Ω O
van 990 Ω tot 1010 Ω O
van 950 Ω tot 1050 Ω O

DE WET VAN OHM

- Zetten wij een spanning over een geleider, dan ontstaat een stroom door die geleider. De *verhouding* van deze *spanning* en *stroom* is steeds constant. Deze constante verhouding noemen we de weerstand van de geleider. In formule:

- *Wet van Ohm* $\boxed{R = \frac{U}{I}}$

  R weerstand (Ω)
  U spanning (V)
  I stroom (A)

  Als er op een weerstand een spanning U wordt aangesloten, dan gaat er een stroom I lopen.
  De weerstand is groter naarmate:
  - een grotere spanning U nodig is om een bepaalde stroom I te laten lopen,
  - een bepaalde spanning U een kleinere stroom I doet lopen.

- Bovenstaande formule kunnen we ook schrijven als:

  $$\boxed{U = R \times I}$$

  Als er door een weerstand een stroom I loopt, dan zal er over die weerstand een spanning U aanwezig zijn.
  Deze spanning U is groter naarmate:
  - een bepaalde stroom I door een grotere weerstand R loopt,
  - door een bepaalde weerstand R een grotere stroom loopt.

- Een derde vorm van de wet van Ohm luidt:

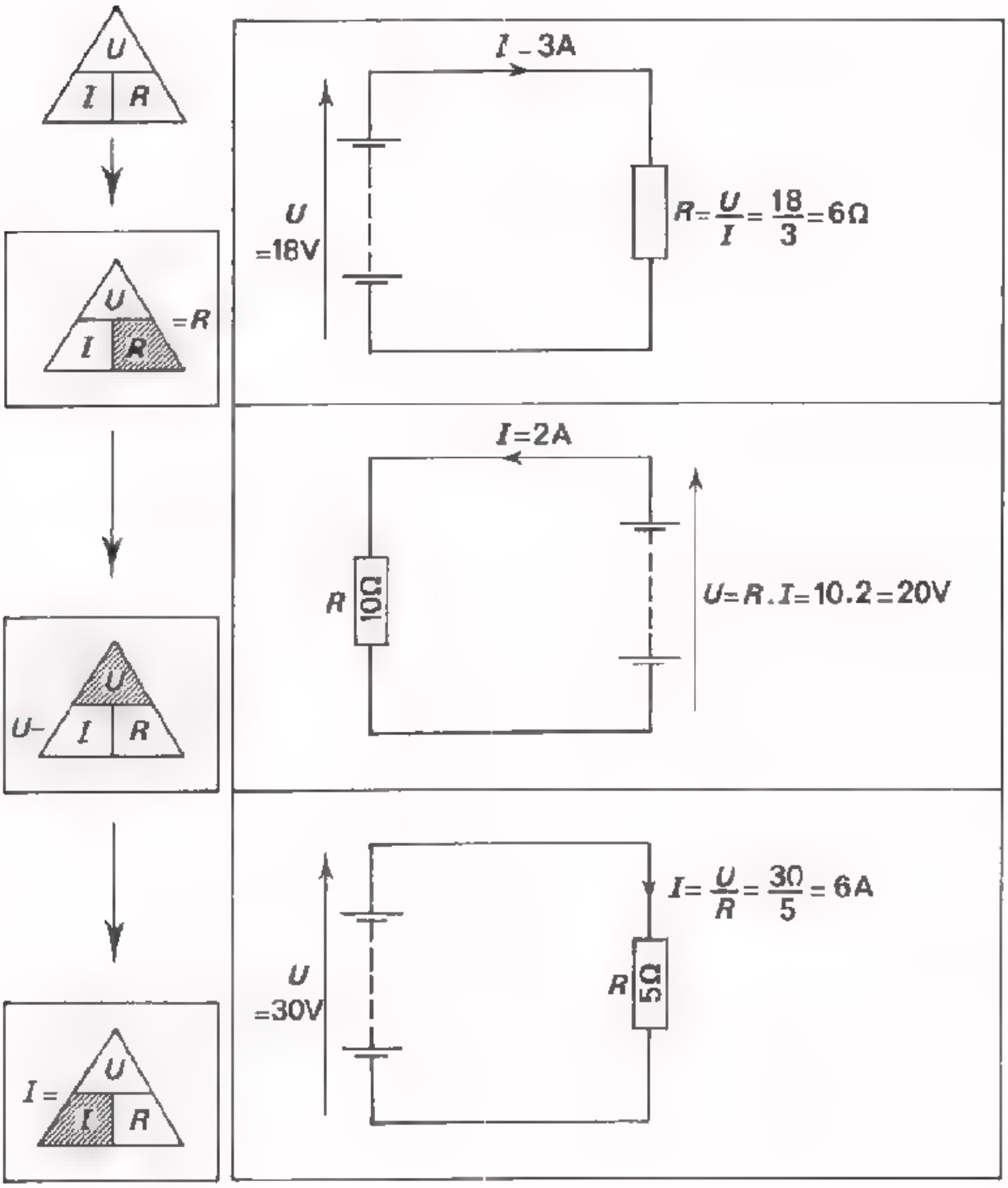
  $$\boxed{I = \frac{U}{R}}$$

  Als er op een weerstand een spanning U wordt aangesloten, dan gaat er een stroom I lopen.
  Deze stroom I is groter naarmate:
  - men een grotere spanning U op een bepaalde R aansluit,
  - men een bepaalde spanning U op een kleinere weerstand aansluit.

SCHEMATISCHE SAMENVATTING

Welke vorm van de wet van Ohm we kiezen hangt van de gevraagde grootheid af. Is R onbekend dan zullen we de eerste vorm nemen; bij onbekende U de tweede en bij onbekende I de derde vorm.

Hieronder is de wet van Ohm nog eens schematisch samengevat. Bestudeer deze samenvatting grondig!



TEST UZELF

1.

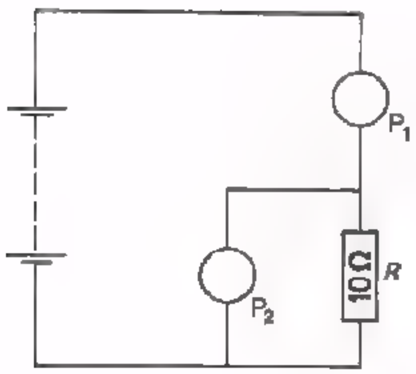
De spanning over deze weerstand is:

minder dan 1 V	O
precies 2,5 V	O
precies 4 V	O
meer dan 5 V	O

2. Een verwarmingselement is aangesloten op een spanning van 220 V. Door het element loopt een stroom van 1,1 A. De weerstand van dit element is:

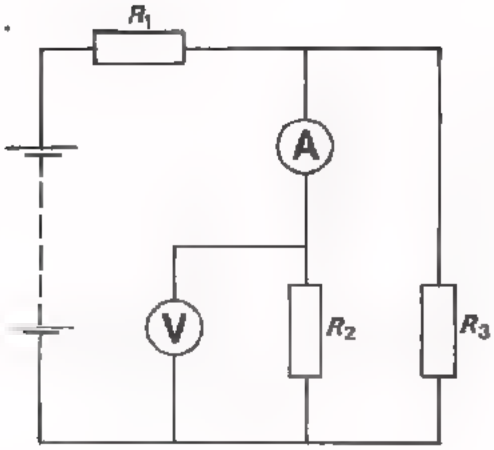
2000 Ω	O
242 Ω	O
50 Ω	O
een andere waarde	O

3.



In deze schakeling meet men de stroom door en de spanning over een weerstand *R* van 10 Ω. Welke van de onderstaande beweringen kan juist zijn?

P_1 wijst 100 mV aan en P_2 10 mA.	O
P_1 wijst 10 μA aan en P_2 100 mV.	O
P_1 wijst 10 V aan en P_2 1 A.	O
P_1 wijst 2,5 mA aan en P_2 25 mV.	O

4. 

In deze schakeling is:

R_1 = 100 Ω

R_2 = 200 Ω

R_3 = 100 Ω

De voltmeter wijst 1 V aan. De aanwijzing van de stroommeter is:

10 mA	O
5 mA	O
2 mA	O
niet te zeggen	O

5. Op een weerstand R staat een spanning U. Door de weerstand loopt een stroom I. Welke van de onderstaande uitspraken is *onjuist?*

Als men de spanning over deze weerstand R vergroot, dan wordt ook de stroom I groter.	O
Als men de spanning niet verandert en de weerstand kleiner maakt, dan wordt de stroom groter.	O
Als men de stroom hetzelfde wil houden en men de weerstand kleiner maakt, dan moet men de spanning ook kleiner maken.	O
Als men de weerstand 10x zo groot maakt en men wil dat de stroom niet verandert, dan moet men de spanning 10x zo klein maken.	O

6. Twee gelijke koperdraden staan in serie. Over de draden samen staat een spanning. Door de draden loopt een stroom van 10 mA. De draden zet men daarna parallel en men zet er dezelfde spanning over. De totale stroom door deze draden samen is nu:

40 mA	O
10 mA	O
5 mA	O
minder dan 5 mA	O

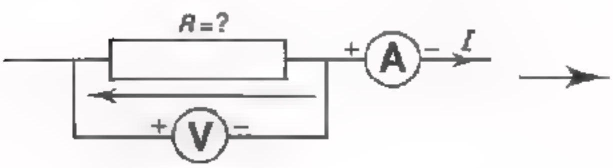
HET METEN VAN STROOM, SPANNING EN WEERSTAND

- Een stroom door een component meet men door een *stroommeter* - amperemeter - *in* de leiding te plaatsen waar*in* zich de component bevindt.

- Een spanning meet men door een *spanningsmeter* - voltmeter - *over* de component of het apparaat te plaatsen waar*over* men de spanning wil weten.

- Een weerstand kan men meten met behulp van een *ohmmeter*. Een ohmmeter bevat de serieschakeling van een voedingsbron en een stroommeter. In feite meet men de stroom door de onbekende weerstand, maar deze stroom is een maat voor de weerstand. Hoe groter de uitslag, des te kleiner de weerstand.

- Een andere methode om een onbekende weerstand te meten is met behulp van een spanningsmeter en een stroommeter. Men meet tegelijkertijd de stroom door de onbekende weerstand en de spanning over die weerstand. Met behulp van de wet van Ohm berekent men vervolgens de weerstand.



$$R = \frac{U}{I}$$

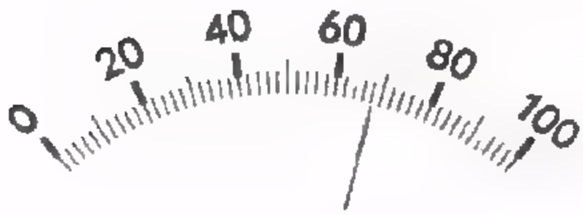
- Met behulp van een universeelmeter kan men stromen zowel als spanningen en weerstanden meten.

TEST UZELF IN HET AFLEZEN VAN METERS

1.

Deze meter wijst aan:	bijna 200 mA	O
	145 mA	O
	ongeveer 0,015 A	O
	andere waarde	O

2.



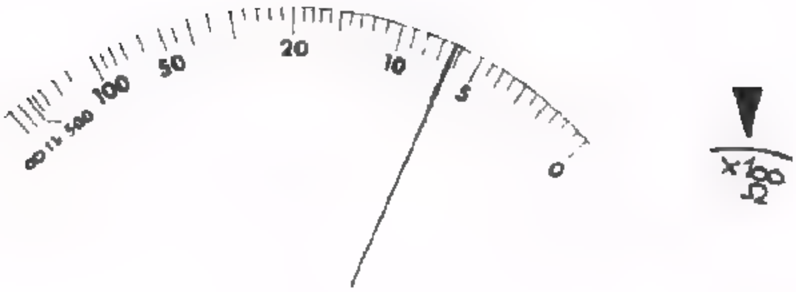
Deze meter staat op een bereik van 10 µA. De meter wijst aan:

68 µA	O
64 µA	O
6,8 µA	O
6,4 µA	O

3.

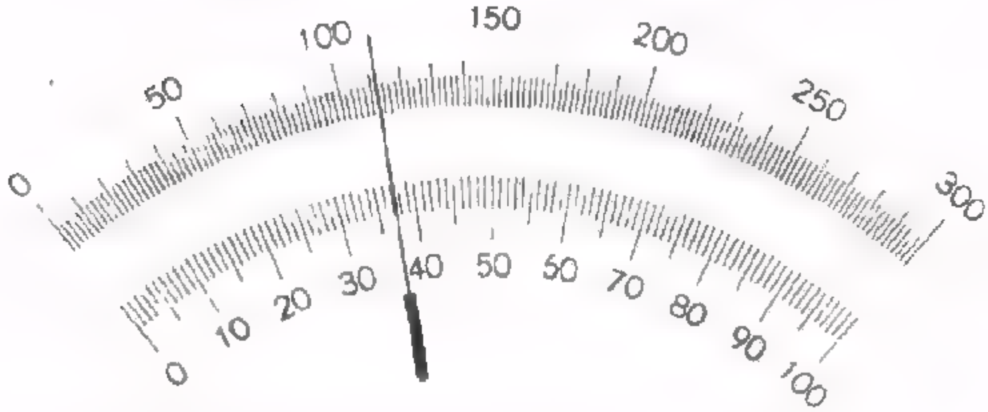
Deze meter wijst aan:	1,1 mA	O
	11 mA	O
	12 mA	O
	110 µA	O

4.



Deze meter wijst aan ongeveer:	6,3 Ω	O
	63 Ω	O
	630 Ω	O
	6,3 kΩ	O

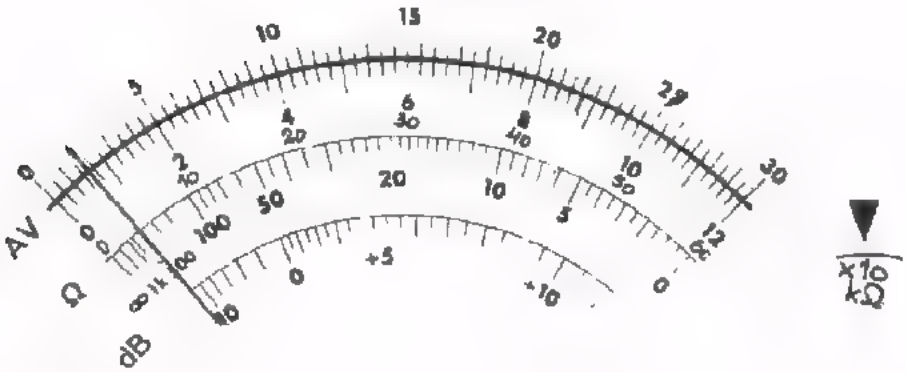
5.



Deze meter is ingesteld op het bereik van 100 V. U leest af:

11,2 V	O
12,2 V	O
37,2 V	O
112 V	O

6.

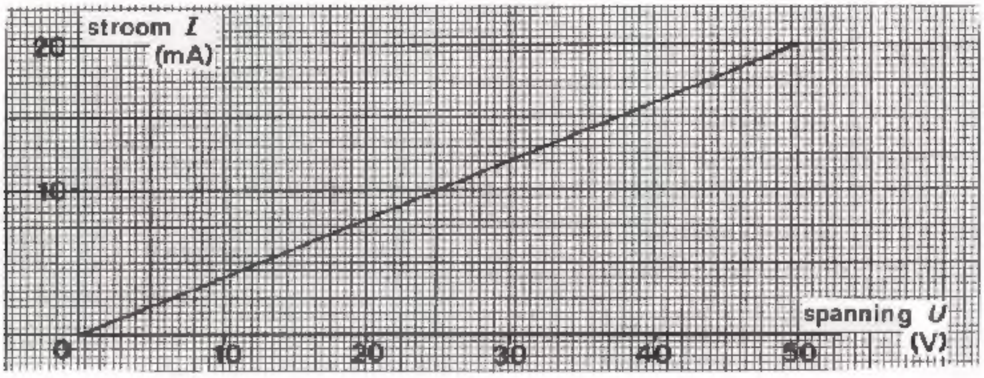


Deze meter wijst aan:	300 kΩ	O
	70 kΩ	O
	30 MΩ	O
	andere waarde	O

STROOM-SPANNINGSGRAFIEK

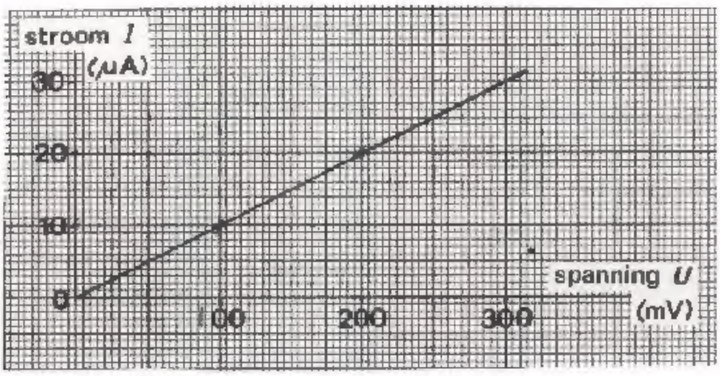
- Uit de wet van Ohm $R = \frac{U}{I}$ volgt dat de spanning over een weerstand en de stroom door die weerstand *evenredig* zijn. Wordt de spanning tweemaal zo groot, dan wordt ook de stroom tweemaal zo groot. Bij een driemaal zo grote spanning ook een driemaal zo grote stroom, enz. Het quotiënt van spanning en stroom blijft echter steeds gelijk aan de weerstand R.
- Als men voor een weerstand een stroom-spannings-grafiek gaat tekenen, dan ontstaat een *rechte lijn* door de oorsprong van het assenstelsel.

B.v.:



Deze grafiek behoort bij een weerstand van 2500 Ω.

TEST UZELF



Deze stroom-spannings-grafiek behoort bij een weerstand van:

10^7 Ω	O
10^4 Ω	●
10^2 Ω	O
10 Ω	O

DE POTENTIOMETER

- Behalve weerstanden met een *vaste* waarde kennen we ook *variabele* weerstanden. Een variabele weerstand heeft een verschuifbare *aftakking*. Zo'n weerstand met drie aansluitingen heet een *pot(entio)meter*.

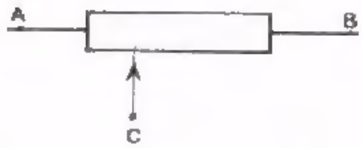
Symbool: 

- Er zijn ook variabele weerstanden die men éénmalig op een bepaalde waarde instelt; de *instel*weerstanden.

Symbool: 

- Kool-potentiometers zijn *lineair* of *logaritmisch*. In het laatste geval is de weerstandstoename bij gelijke hoekverdraaiing niet steeds dezelfde, maar neemt toe als men van begin naar eind draait.

TEST UZELF



Op een potmeter is vermeld:

1M5 lin - 1 W

Als de loper zich bevindt op ¼ van de totale afstand tussen A en B, gerekend vanaf zijde A, dan is de weerstand tussen B en C:

4500 kΩ	O
1125 kΩ	O
1500 kΩ	O
andere waarde	O

TEMPERATUURSCOËFFICIËNT

De soortelijke weerstand ρ van de meeste materialen neemt toe met de temperatuur. De mate waarin de soortelijke weerstand toeneemt hangt af van het materiaal. Bij ieder materiaal geeft men in tabellen de z.g. *temperatuurcoëfficiënt* α op.

Deze geeft weer hoeveel een weerstand van één ohm verandert als de temperatuur één ^{0}C verandert.

TEST UZELF

1. Een koperdraad heeft bij 20^0C een weerstand van 3,0 Ω. De weerstand bij 200^0C bedraagt ongeveer:

	3,05 Ω	O
	3,7 Ω	O
Voor koper:	5,2 Ω	O
α = 0,004	5,5 Ω	O

2. De temperatuurcoëfficiënt van kool is -0,0003. Een koolweerstand met een waarde van 1 kΩ krijgt bij een temperatuurverhoging van 50^0C een weerstand van:

985 Ω	O
1015 Ω	O
1150 Ω	O
bijna 2,5 kΩ	O