

VOORBEREIDING OP DE  
TECHNISCHE GESCHIKTHEIDSPROEF  
VOOR TREINBESTUURDERS

versie februari 2014



Niets uit deze uitgave, mag, zelfs gedeeltelijk, verveelvoudigd en/of vertaald en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, elektronisch, op geluidsband of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Beste kandidaat treinbestuurder,

Als treinbestuurder vervul je een essentiële rol bij de NMBS. Op elk moment garandeer je de veiligheid van onze klanten. Je zorgt er eveneens voor dat onze reizigers tijdig op hun bestemming aankomen. Bij onverwachte gebeurtenissen grijp je snel in en soms herstel je zelfs kleine defecten. Kortom, je bent geboeid door het besturen van treinen en volgt de nieuwste technologie van nabij.

In de infosessie kom je alles te weten over de selectie, de opleiding en de job van treinbestuurder. Belangrijk: tijdens de ganse selectie peilen we naar je motivatie, je gedrag, je redeneer- en bevattingsvermogen en je technische kennis (mechanica, elektriciteit, pneumatica) volgens het programma van de proef.

Met deze brochure willen we je een handje helpen om je technische kennis op te frissen of aan te scherpen.

Wij wensen je veel succes en hopen je spoedig als onze nieuwe collega te mogen begroeten.

Hoogachtend



ir. H. Raddoux



# Inhoudstafel

<b>DEEL 1: MECHANICA .....</b>	<b>1</b>
1 Wat is mechanica? .....	1
2 Statica .....	1
2.1 Kracht .....	1
2.2 Moment van een kracht .....	1
2.3 Koppel van krachten .....	2
2.4 Evenwichtsvoorwaarden .....	3
3 Kinematica .....	3
3.1 Kenmerken van een beweging .....	3
3.2 Eenparige rechte lijnige beweging .....	4
3.3 Eenparige versnelde en vertraagde beweging .....	5
4 Dynamica .....	5
4.1 Verband tussen kracht, massa en beweging .....	5
4.2 Zwaartekracht .....	6
4.3 Massa en gewicht .....	7
4.4 Mechanische arbeid .....	7
4.5 Mechanisch vermogen .....	8
5 Tandwieloverbrenging .....	9
<b>DEEL 2: ELEKTRICITEIT .....</b>	<b>10</b>
1 Wat is elektriciteit? .....	10
2 Elektrische grootheden .....	10
2.1 Spanning .....	10
2.2 Stroom .....	11
2.3 Weerstand .....	11
3 Gelijkstroom en wisselstroom .....	12
4 De wet van Ohm .....	12
5 Elektrische arbeid .....	13
6 Elektrisch vermogen .....	13
7 Het Joule-effect .....	14
8 Kortsluiting .....	15
<b>DEEL 3: PNEUMATICA .....</b>	<b>16</b>
1 Wat is pneumatica? .....	16
2 Druk .....	16
3 Toepassingen op het spoorwegmaterieel .....	17



# DEEL 1: MECHANICA

## 1 Wat is mechanica?

Mechanica omvat de studie van het evenwicht en de beweging van voorwerpen.

## 1 Statica

### 1.1 Kracht

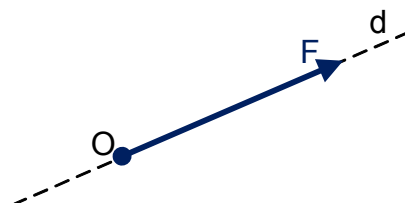
Een kracht kan verschillende oorzaken hebben: spierkracht, windkracht, waterkracht, elektriciteit, zwaartekracht,....

Een **kracht (F)** heeft 4 kenmerken:

- een **aangrijpingspunt**. Dit is het punt waarop de kracht aangrijpt;
- een **richting**. De richting is de lijn die het aangrijpingspunt zal volgen als het beweegt. Deze lijn wordt de werklijn genoemd;
- een **zin**. Volgens de richting, kan het voorwerp zich naar links of rechts verplaatsen, naar boven of onder;
- een **grootte**. De grootte van een kracht wordt uitgedrukt in **Newton (N)**.

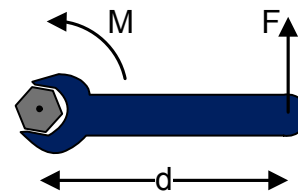
Een kracht **F** wordt voorgesteld door een vector:

- het punt **O** is het aangrijpingspunt van de kracht;
- de kracht werkt in de richting **d**;
- de zin is bepaald door de pijl;
- de lengte van de vector is een voorstelling van de grootte van de kracht (bijv. 1 cm = 1 N).



### 1.2 Moment van een kracht

Als een kracht wordt uitgeoefend op een lichaam, kan het beginnen draaien. Denk bijvoorbeeld aan het opendoen van een deur of het vastdraaien van een schroef. We oefenen eigenlijk een moment uit, waardoor deze gaan draaien.



Het snel of traag draaien, hangt af van:

- de **grootte** van de kracht (**F**);
- het **aangrijpingspunt** van de kracht. Hoe groter de afstand (**d**) tussen rotatiecentrum en aangrijpingspunt, hoe kleiner de benodigde kracht;
- de **richting** van de kracht.

Het **moment (M) van een kracht t.o.v. een as** is het resultaat van de vermenigvuldiging van de grootte van de kracht met de loodrechte afstand van de werklijn van de kracht tot de as, op voorwaarde dat de kracht in een vlak loodrecht op de as ligt:

$$M = F \times d$$

M : moment (Nm)  
F : kracht (N)  
d : loodrechte afstand (m)

Het **moment (M) van een kracht t.o.v. een punt** is het resultaat van de vermenigvuldiging van de grootte van de kracht met de loodrechte afstand van dat punt tot de werklijn van die kracht.

De eenheid van moment is **Newtonmeter (Nm)**.

#### Voorbeeld:

Onderstaande figuur toont het moment in 3 verschillende situaties:

- in de linkse figuur grijpt een kracht van 150 N aan op een afstand van 100 mm van de rotatieas. Voor het moment geldt dus dat:

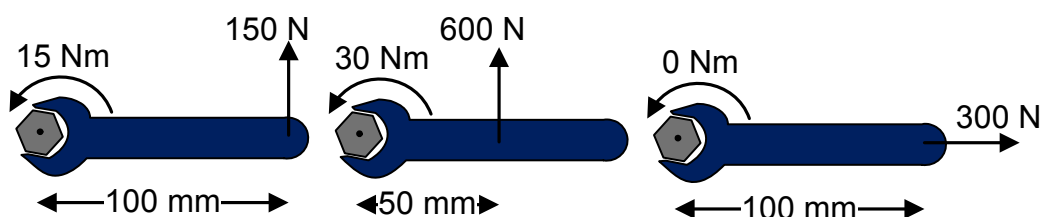
$$M = 150 \text{ N} \times 0,1 \text{ m} = 15 \text{ Nm}$$

- in de middelste figuur grijpt een kracht van 600 N aan op een afstand van 50 mm van de rotatieas. Voor het moment geldt dus dat:

$$M = 600 \text{ N} \times 0,05 \text{ m} = 30 \text{ Nm}$$

- in de rechtse figuur is de loodrechte afstand tussen de werklijn van de kracht en het rotatiecentrum gelijk aan nul, zodat ook het moment van deze kracht nul is. De schroef draait niet:

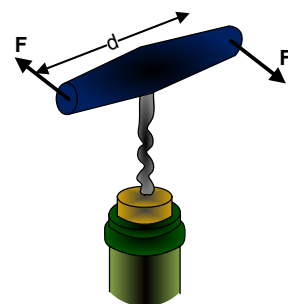
$$M = 300 \text{ N} \times 0 \text{ m} = 0 \text{ Nm}$$



### 1.3 Koppel van krachten

Twee evenwijdige krachten van dezelfde grootte met verschillende werklijnen en met tegengestelde zin, vormen een **koppel (T)**. Een koppel veroorzaakt een rotatie. Denk bijvoorbeeld aan een kurkentrekker.

Het moment van een koppel is gelijk aan het resultaat van de vermenigvuldiging  $F \times d$ , en onafhankelijk van het rotatiecentrum.





De eenheid van koppel is, net als van een moment, **Newtonmeter (Nm)**.

## 1.4 Evenwichtsvoorwaarden

Een lichaam is in evenwicht als:

- de som van alle krachten die op het lichaam inwerken, nul is;
- de som van alle momenten die op het lichaam inwerken, nul is.

## 2 Kinematica

### 2.1 Kenmerken van een beweging

#### A Baan

De **baan** is de lijn die wordt beschreven door een bewegend voorwerp. De afstand die daarbij wordt afgelegd, is de afgelegde weg. De **afgelegde weg (s)** wordt uitgedrukt in meter.

#### B Tijd

Een voorwerp beweegt of verplaatst zich gedurende een zekere **tijd (t)**. De eenheid van tijd is **seconde (s)**.

#### C Snelheid

De **snelheid (v)** van een beweging is de afgelegde weg per tijdseenheid:

$$v = \frac{s}{t}$$

v : snelheid (m/s)  
s : afgelegde weg (m)  
t : tijd (s)

De eenheid van snelheid is **m/s**.  $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$ . Er geldt immers dat:

$$3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 3,6 \times \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$$

Voorbeeld:

Een trein die  $160 \text{ km/h}$  rijdt, legt per seconde een weg van  $\frac{160 \text{ km/h}}{3,6} = 44,4 \text{ m}$  af.

#### D Versnelling

De **versnelling (a)** van een beweging is de snelheidstoename per tijdseenheid:

$$a = \frac{\Delta v}{t}$$

a : versnelling (m/s<sup>2</sup>)  
 $\Delta v$  : snelheidtoename (m/s)  
 t : tijd (s)

De snelheidstoename is het verschil van de eindsnelheid en de beginsnelheid:

$$\Delta v = v_{\text{eind}} - v_{\text{begin}}$$

$\Delta v$  : snelheidtoename (m/s)  
 $v_{\text{eind}}$  : eindsnelheid (m/s)  
 $v_{\text{begin}}$  : beginsnelheid (m/s)

De versnelling kan zowel positief als negatief zijn:

- als de snelheid toeneemt, is er een versnelling. De versnelling is positief;
- als de snelheid daalt, is er een vertraging. De versnelling is negatief.

De eenheid van versnelling of vertraging is **m/s<sup>2</sup>**.

#### Voorbeeld:

Een trein rijdt 160 km/h en remt af tot stilstand met een constante vertraging  $a = -0,5 \text{ m/s}^2$ .

Na hoeveel tijd komt de trein tot stilstand?

Oplossing:

De snelheid van 160 km/h stemt overeen met  $v = \frac{160 \text{ km/h}}{3,6 \text{ m/s}} = 44,4 \text{ m/s}$ .

$$t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{0 \text{ m/s} - 44,4 \text{ m/s}}{-0,5 \text{ m/s}^2} = \frac{-44,4 \text{ m/s}}{-0,5 \text{ m/s}^2} = 89 \text{ s}.$$

## 2.2 Eenparige rechtlijnige beweging

Een **eenparige rechtlijnige beweging** is een rechtlijnige beweging met constante snelheid.

Bij deze beweging geldt:

$$a = 0$$

$$v = \text{constant}$$

$$s = v \times t$$

a : versnelling (m/s<sup>2</sup>)  
 v : snelheid (m/s)  
 s : afgelegde weg (m)  
 t : tijd (s)

#### Voorbeeld:

Een trein heeft een snelheid van 90 km/h:

- wat is de tijd nodig om 5750 m af te leggen;
- wat is de afgelegde weg na 12 min 30 s?

Oplossing:

De trein heeft een snelheid van 90 km/h of  $v = \frac{90}{3,6} = 25 \text{ m/s}$ .

De tijd nodig om 5750 m af te leggen:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{5750 \text{ m}}{25 \text{ m/s}} = 230 \text{ s}.$$

De afgelegde weg na 12 min 30 s:

$$s = v \times t = 25 \text{ m/s} \times 750 \text{ s} = 18750 \text{ m}.$$

## 2.3 Eenparige versnelde en vertraagde beweging

Een **eenparige versnelde (of vertraagde) beweging** is een beweging met constante versnelling (of vertraging).

Bij deze beweging geldt:

$$a = \text{constant}$$

$$v = a \times t + v_0$$

$$s = \frac{a \times t^2}{2} + v_0 \times t$$

$a$  : versnelling ( $\text{m/s}^2$ )

$v$  : snelheid ( $\text{m/s}$ )

$v_0$  : beginsnelheid ( $\text{m/s}$ )

$s$  : afgelegde weg ( $\text{m}$ )

$t$  : tijd ( $\text{s}$ )

Voorbeeld:

Een trein rijdt met een snelheid van 36 km/h en begint te versnellen. Na 30 s bereikt de trein een snelheid van 90 km/h:

- hoe groot is de versnelling van de trein?
- welke afstand heeft de trein afgelegd?

Oplossing:

De trein heeft een beginsnelheid van 36 km/h of  $v_0 = \frac{36}{3,6} = 10 \text{ m/s}$ .

Na 30 s heeft de trein een snelheid van 90 km/h of  $v = \frac{90}{3,6} = 25 \text{ m/s}$ .

De versnelling van de trein:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{25 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}}{30 \text{ s}} = \frac{15 \text{ m/s}}{30 \text{ s}} = 0,5 \text{ m/s}^2.$$

De afgelegde weg:

$$s = \frac{a \times t^2}{2} + v \times t = \frac{0,5 \text{ m/s}^2 \times (30 \text{ s})^2}{2} + 10 \text{ m/s} \times 30 \text{ s} = 525 \text{ m}.$$

## 3 Dynamica

### 3.1 Verband tussen kracht, massa en beweging

Een kracht is de oorzaak van versnelling. Deze versnelling is van dezelfde aard en evenredig met de kracht:

$$F = m \times a$$

$F$  : kracht (N)

$m$  : massa (kg)

$a$  : versnelling ( $\text{m/s}^2$ )

Voorbeeld:

Bereken de kracht die nodig is om een voorwerp met een massa van 15 kg een versnelling te geven van 4 m/s<sup>2</sup>?

Oplossing:

$$F = m \times a = 15 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2 = 60 \text{ N} .$$

Voorbeeld:

Een locomotief trekt een trein verder over een horizontale baan met een kracht van 50 kN en verhoogt de snelheid van 20 tot 30 m/s in 50 s:

- als er geen wrijving is, wat is de massa van de trein?
- welke kracht ondervindt een reiziger van 80 kg in de trein?

Oplossing:

De massa van de trein:

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{30 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s}}{50 \text{ s}} = \frac{10 \text{ m/s}}{50 \text{ s}} = 0,2 \text{ m/s}^2$$

$$m = \frac{F}{a} = \frac{50000 \text{ N}}{0,2 \text{ m/s}^2} = 250000 \text{ kg} = 250 \text{ ton}$$

De kracht die de reiziger ondervindt:

$$F = m \times a = 80 \text{ kg} \times 0,2 \text{ m/s}^2 = 16 \text{ N}$$

### 3.2 Zwaartekracht

De **zwaartekracht** is de kracht waarmee de voorwerpen aangetrokken worden naar de aarde.

Als een voorwerp wordt losgelaten van een bepaalde hoogte, zal het eenparig versnellen onder invloed van de zwaartekracht. Deze versnelling wordt de **aardversnelling (g)** genoemd. De aardversnelling verschilt per regio. In onze streken bedraagt g 9,81 m/s<sup>2</sup>. De zwaartekracht is dus:

$$F = m \times 9,81$$

F : zwaartekracht (N)

m : massa (kg)

Voorbeeld:

Met welke kracht wordt een voorwerp met een massa van 5 kg aangetrokken door de aarde?

Oplossing:

$$F = m \times 9,81 = 5 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 49,05 \text{ N} .$$

Voor de eenvoud wordt g dikwijls afgerond naar 10 m/s<sup>2</sup>.

### 3.3 Massa en gewicht

De **massa** van een voorwerp is het verband tussen de versnelling ervan en de op het voorwerp uitgeoefende kracht. De massa is een maat voor de hoeveelheid materie. De eenheid van massa is kilogram (kg).

$$m = \frac{F}{a}$$

m : massa (kg)  
F : kracht (N)  
a : versnelling (m/s<sup>2</sup>)

Deze uitdrukking toont dat als wanneer de kracht constant is, de versnelling klein is als de massa van het voorwerp groot is.

Het **gewicht** is de zwaartekracht die een voorwerp ondervindt. De eenheid van gewicht is Newton.

Voorbeeld:

- Een locomotief heeft een massa van circa 85 ton, of een gewicht van 850000 N.
- Een persoon heeft een massa van 80 kg, of een gewicht van 800 N.

### 3.4 Mechanische arbeid

De mechanische **arbeid** is het product van de aangelegde kracht en de verplaatsing, veroorzaakt door deze kracht.

$$W = F \times s$$

W : arbeid (J)  
F : kracht (N)  
s : verplaatsing (m)

De eenheid van arbeid is **Joule (J)**. 1 J=1 N x m.

Om arbeid te leveren is er energie nodig. **Energie** is de mogelijkheid om arbeid te leveren.

Voorbeeld:

Een locomotief trekt een reeks voertuigen vooruit met een kracht van 150 kN over een afstand van 20 km. Wat is de arbeid die de locomotief levert?

Oplossing:

$$W = F \times s = 150000 \text{ N} \times 20000 \text{ m} = 3000000000 \text{ J} = 3000 \text{ MJ}.$$

Voorbeeld:

Hoeveel arbeid moet je leveren om een boekentas van 10 kg op een tafel te plaatsen van 1 m hoogte?

Oplossing:

$$W = F \times s = 100 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 100 \text{ J}.$$

### 3.5 Mechanisch vermogen

Het **vermogen** is de arbeid per tijdseenheid:

$$P = \frac{W}{t}$$

P : vermogen (W)  
W : arbeid (J)  
t : tijd (s)

De eenheid van vermogen is **Watt (W)**. 1 W=1 J/s.

Omdat  $W = F \times s$ , is  $P = F \times \frac{s}{t}$  en dus geldt er ook dat:

$$P = F \times v$$

P : vermogen (W)  
F : kracht (N)  
v : snelheid (m/s)

Voor cirkelvormige bewegingen geldt meer specifiek:

$$P = \frac{T \times n}{9,55}$$

P : vermogen (W)  
T : koppel (Nm)  
n : toerental (tr/min)

#### Voorbeeld:

Twee arbeiders tillen elk een pak stenen op met een massa van 30 kg tot op een hoogte van 5 m. De eerste arbeider doet dit in één minuut, de andere arbeider in 2 minuten:

- wat is de arbeid die elke arbeider heeft verricht?
- wat is het vermogen dat elke arbeider heeft verricht?

Oplossing:

Beide arbeiders hebben evenveel arbeid verricht:

$$W = F \times s = 300 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 1500 \text{ J}.$$

De arbeider die de stenen optilt in één minuut, levert het grootste vermogen:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1500 \text{ J}}{60 \text{ s}} = 25 \text{ J/s} = 25 \text{ W}.$$

De arbeider die de stenen optilt in twee minuten, levert het kleinste vermogen:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1500 \text{ J}}{120 \text{ s}} = 12,5 \text{ J/s} = 12,5 \text{ W}.$$

#### Voorbeeld:

Wat is het vermogen van een locomotief die een trein voorttrekt met een kracht van 150 kN bij een snelheid van 72 km/h?

Oplissing:

De snelheid van 72 km/h stemt overeen met  $v = \frac{72 \text{ km/h}}{3,6} = 20 \text{ m/s}$ .

$P = F \times v = 150000 \text{ N} \times 20 \text{ m/s} = 3000000 \text{ W} = 3 \text{ MW}$ .

Voorbeeld:

- Een moderne elektrische locomotief levert een maximumvermogen van circa 5 MW.
- De kerncentrale in Doel levert een maximumvermogen van 2,8 GW.

## 4 Tandwieloverbrenging

Een tandwieloverbrenging brengt vermogen over.

De **overbrengingsverhouding**  $i$  is de toerentalverhouding van het drijvend tandwiel en het aangedreven tandwiel. Hierbij geldt dat:

- de toerentalen zijn omgekeerd evenredig met de diameters of het aantal tanden;
- de koppels zijn evenredig met de diameters of het aantal tanden;

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

$n$  : toerental (tr/min)

$T$  : koppel (Nm)

$z$  : aantal tanden

$d$  : diameter (m)

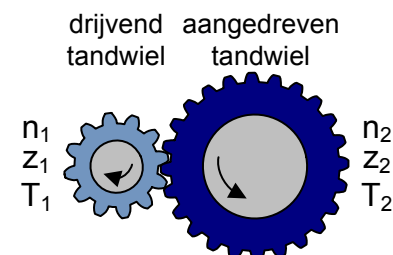
Het grootste tandwiel:

- draait het traagst;
- levert het grootste koppel.

Voorbeeld:

Een motor drijft een tandwiel aan met een toerental van 100 tr/min en een koppel van 50 Nm. Dit tandwiel heeft 12 tanden. Het aangedreven tandwiel heeft 24 tanden:

- wat is de overbrengingsverhouding?
- wat is het toerental van het aangedreven tandwiel?
- hoe groot is het koppel op het aangedreven tandwiel?



Oplissing:

De overbrengingsverhouding:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{24}{12} = 2.$$

Het toerental van het aangedreven tandwiel:

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{100 \text{ tr/min}}{2} = 50 \text{ tr/min}.$$

Het koppel:

$$T_2 = i \times T_1 = 2 \times 50 \text{ Nm} = 100 \text{ Nm}.$$

## DEEL 2: ELEKTRICITEIT

### 1 Wat is elektriciteit?

Alle voorwerpen om ons heen zijn opgebouwd uit kleine deeltjes: atomen. Elk atoom bestaat uit nog kleinere deeltjes. Sommige van deze deeltjes hebben een elektrische lading.

Elektriciteit is de studie van de beweging van de elektrische ladingen.

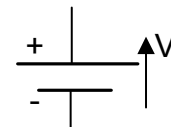
De eenheid van elektrische lading is **Coulomb (C)**.

### 2 Elektrische grootheden

#### 2.1 Spanning

De elektrische toestand van een lichaam wordt gekarakteriseerd door een elektrische potentiaal. Deze potentiaal is een maat voor de energie die een elektrische lading heeft.

Tussen 2 polen bestaat er een potentiaalverschil. Men omschrijft de 2 polen als een positieve (+) en een negatieve pool (-). In elektrische schema's wordt een gelijkspanningsbron aangeduid zoals in de figuur hiernaast.



De **spanning (U)** is het potentiaalverschil tussen 2 punten.

De eenheid van spanning is **Volt (V)**.

#### Voorbeeld:

De potentiaal van het aardoppervlak is bij overeenkomst gelijk aan 0 V. Een voorwerp "aarden" betekent dat het voorwerp elektrisch verbonden wordt met het aardoppervlak. Daardoor heeft het voorwerp een potentiaal gelijk aan 0 V.

#### Voorbeeld:

- De batterij in een zaklamp levert een gelijkspanning van 1,5 V.
- Een batterij in een personenwagen levert meestal een gelijkspanning van 12 V.
- De verlichting in een spoorwegvoertuig wordt gevoed door een batterij op een spanning van 24 V, 72 V of 110 V gelijkspanning.
- Aan het stopcontact bij je thuis is er 230 V wisselspanning ter beschikking.
- De meeste bovenleidingen van de NMBS worden gevoed op 3000 V gelijkspanning.



## 2.2 Stroom

De **stroom** is de hoeveelheid elektrische lading die per tijdseenheid vloeit door een punt.

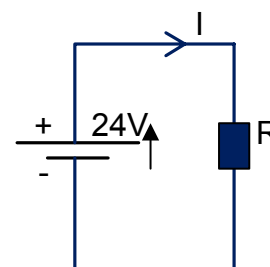
$$I = \frac{Q}{t}$$

I : stroom(A)  
Q : elektrische lading(C)  
t : tijd(s)

De eenheid van stroom is **Ampère (A)**. 1 A=1 C/s. Een stroom van 1 A in een geleider, betekent dat er per seconde 1 C lading voorbij stroomt.

Er vloeit een stroom van zodra 2 punten, waartussen een spanningsverschil bestaat, verbonden worden door een geleider.

De stroom vloeit bij overeenkomst van de positieve naar de negatieve pool.



### Voorbeeld:

- De stroom door een gloeilamp van 75 W bij een netspanning van 230 V, bedraagt circa 0,3 A.
- De stroom door een tractiemotor van een elektrisch spoorwegvoertuig bedraagt maximum 400 à 800 A.
- Een stroom van 0,025 A kan reeds dodelijk zijn voor de mens.

## 2.3 Weerstand

De **weerstand (R)** is een maat voor de moeilijkheid waarmee de stroomdoorgang plaatsvindt.

In elektrische schema's wordt een weerstand aangeduid zoals in de figuur hiernaast.



De eenheid van weerstand is **Ohm (Ω)**.

Elk materiaal heeft een eigen specifieke weerstand. Een **geleider** van elektrische stroom heeft een lage weerstand, een **isolator** heeft een hoge weerstand. De meeste metalen zijn goede geleiders. Kunststoffen zijn zeer slechte geleiders en worden daarom gebruikt als isolatiestof rond geleiders.

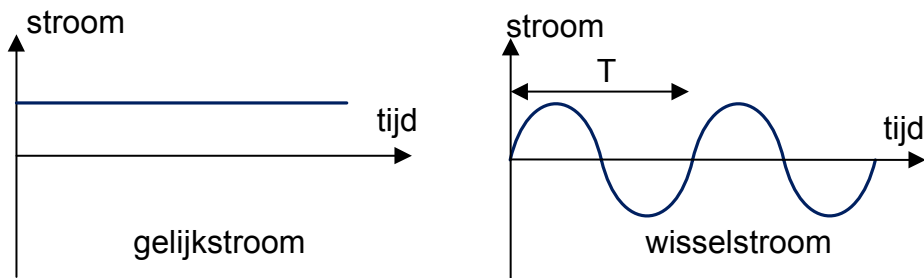
### Voorbeeld:

De weerstand van een koperdraad met 1 mm<sup>2</sup> doorsnede en 1 m lengte, bedraagt 0,017 Ω. De weerstand van ijzer is circa zesmaal hoger.

### 3 Gelijkstroom en wisselstroom

Bij **gelijkstroom** vloeit de stroom steeds in dezelfde zin.

Bij **wisselstroom** verandert de stroom periodiek van zin. Bij industriële toepassingen, heeft de wisselstroom meestal een verloop zoals weergegeven in onderstaande figuur.



De **periode (T)** is de tijdsduur, in seconden, tussen 2 ogenblikken waarop de stroom dezelfde waarde in dezelfde zin herneemt.

De **frequentie (f)** is het aantal perioden per seconde, of:

$$f = \frac{1}{T}$$

$f$  : frequentie (Hz)

$T$  : periode (s)

De eenheid van frequentie is **Hertz (Hz)**.

Voorbeeld:

De standaardfrequentie van het elektriciteitsnet in Europa bedraagt 50 Hz. De periode is 0,02 s.

### 4 De wet van Ohm

De stroom door een geleider is recht evenredig met de spanning tussen de uiteinden van deze geleider. Deze constante verhouding wordt de weerstand genoemd.

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

$U$  : spanning (V)

$I$  : stroom (A)

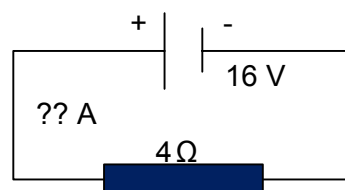
$R$  : weerstand ( $\Omega$ )

Voorbeeld:

Wat is de stroom die in deze elektrische kring vloeit?

Oplossing:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{16V}{4\Omega} = 4 A$$



Voorbeeld:

Door een weerstand van  $1 \text{ m}\Omega$  vloeit er een stroom van  $0,1 \text{ kA}$ . Welke spanning staat over deze weerstand?

Oplossing:

$$U = R \times I = 0,001 \Omega \times 100 \text{ A} = 0,1 \text{ V} .$$

## 5 Elektrische arbeid

De elektrische **arbeid (W)** geleverd door een elektrische gelijkstroom, is gelijk aan het product van de spanning en de stroom die gedurende een zekere tijd vloeit:

$$W = U \times I \times t$$

W : arbeid (J)  
U : spanning (V)  
I : stroom (A)  
t : tijd (s)

De eenheid van arbeid is **Joule (J)**.  $1 \text{ J} = 1 \text{ V} \times \text{A} \times \text{s} (= 1 \text{ N} \times \text{m})$

Om arbeid te leveren is er energie nodig. **Energie** is de mogelijkheid om arbeid te leveren.

## 6 Elektrisch vermogen

Het **vermogen** is de arbeid per tijdseenheid:

$$P = \frac{W}{t}$$

P : vermogen (W)  
W : arbeid (J)  
s : tijd (s)

De eenheid van vermogen is **Watt (W)**.  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ .

Omdat  $W = U \times I \times t$ , is  $P = \frac{U \times I \times t}{t}$  en dus geldt er:

$$P = U \times I$$

P : vermogen (W)  
U : spanning (V)  
I : stroom (A)

Het elektriciteitsverbruik wordt gemeten in **kiloWattuur (kWh)**.  $1 \text{ kWh}$  stemt overeen met een verbruik van  $1000 \text{ W}$  energie, gedurende  $1 \text{ uur}$ . Vermits er  $3600 \text{ s}$  zijn in  $1 \text{ uur}$ , is  $1 \text{ kiloWattuur}$  gelijk aan  $3600000 \text{ J}$  of  $3,6 \text{ MJ}$ .

Voorbeeld:

Wat is het vermogen van een locomotief die  $200 \text{ A}$  stroom verbruikt? Stel dat deze een trekkracht levert van  $300 \text{ kN}$ , wat is dan de snelheid van de locomotief? De bovenleidingspanning is  $3000 \text{ V}$ .

Oplossing:

$$P = U \times I = 3000 \text{ V} \times 200 \text{ A} = 600000 \text{ W} = 600 \text{ kW} .$$

$$P = F \times v \text{ of } v = \frac{P}{F} = \frac{600000 \text{ W}}{300000 \text{ N}} = 2 \text{ m/s} = 7,2 \text{ km/h} .$$

Voorbeeld:

Een goederentrein van 1300 ton die van Antwerpen naar Athus rijdt, verbruikt circa 8300 kWh. Dit is meer dan het gemiddeld elektrisch verbruik van een gezin in twee jaar.

Voorbeeld:

Hoeveel arbeid is er nodig om een gloeilamp van 60 W gedurende 1 uur te laten branden? Welke stroom vloeit er door de gloeilamp bij een voeding op 230 V?

Oplossing:

$$W = U \times I \times t = P \times t = 60 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 216000 \text{ J} = 216 \text{ kJ} .$$

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 0,26 \text{ A} .$$

## 7 Het Joule-effect

De voortbrengst van warmte is een algemeen effect in elektrische toestellen.

Een geleider waardoor een stroom vloeit, wordt warm. Dit verschijnsel wordt het **Joule-effect** genoemd.

Het vermogen dat in warmte wordt omgezet, kan niet meer gebruikt worden om mechanische arbeid te leveren. Dit vermogen is gelijk aan:

$$P = R \times I^2$$

P : vermogen (W)  
R : weerstand ( $\Omega$ )  
I : stroom (A)

De warmtevoortbrengst kan ook nuttig en gewenst zijn. Toepassingen hiervan zijn verwarmingstoestellen, kooktoestellen en droogtoestellen.

Voorbeeld:

Hoeveel vermogen wordt er in een tractiemotor in warmte omgezet als de verbruikte stroom bij het aanzetten 150 A bedraagt? De totale weerstand bedraagt 20  $\Omega$ .

Oplossing:

$$P = R \times I^2 = 20 \Omega \times (150 \text{ A})^2 = 450000 \text{ W} = 450 \text{ kW} .$$

Voorbeeld:

Wat is het voordeel van de NMBS bovenleiding op 3000 V te voeden, in plaats van bijvoorbeeld 1500 V? Wat is het nadeel hiervan?

Oplossing:

Het elektrische vermogen dat een locomotief verbruikt, is gelijk aan  $U \times I$ . Om een zeker vermogen ( $P$ ) over te brengen:

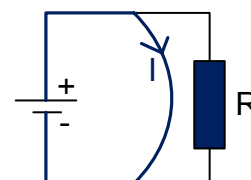
- vloeit er een stroom  $I = \frac{P}{3000 \text{ V}}$  in geval van een bovenleiding op 3000 V;
- vloeit er een stroom  $I = \frac{P}{1500 \text{ V}}$  in geval van een bovenleiding op 1500 V. Door het

Joule-effect ( $P=R \times I^2$ ) zal er 4 keer meer warmte worden ontwikkeld. Dit vermogen kan niet meer omgezet worden in mechanische arbeid.

Het voordeel van 3000 V is dus de hogere efficiëntie waarmee de energie wordt getransporteerd (minder warmteverlies). De veel strengere eisen die aan de isolatie worden gesteld, vormen een nadeel.

## 8 Kortsluiting

Een kortsluiting is een verbinding met zéér lage weerstand, tussen 2 punten waartussen een elektrische spanning bestaat. Alle stroom kiest de weg met de laagste weerstand en zal door deze verbinding vloeien. Er vloeit een zeer hoge stroom, en er is bijgevolg een grote warmtevoortbrengst door het Joule-effect. De geleiders en het isolatiemateriaal zullen smelten.



Voorbeeld:

De weerstand van een diepvriestoestel bedraagt 415  $\Omega$ , de weerstand van de geleiders slechts 0,25  $\Omega$ :

- welke stroom vloeit er in normaal werkingsregime?
- welke stroom zal vloeien bij kortsluiting?

Oplossing:

De stroom in normaal regime:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{415 \Omega} = 0,55 \text{ A} .$$

De stroom bij kortsluiting:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{0,25 \Omega} = 920 \text{ A} !$$

Elke elektrische kring wordt daarom uitgerust met een veiligheidstoestel om beschadiging en brand te voorkomen. Een **smeltzekering** is een vaak gebruikt veiligheidstoestel. Het bestaat uit een dunne gekalibreerde draad met een zekere weerstand. Als de stroom te hoog oploopt, bijvoorbeeld door kortsluiting, zal de dunne draad verhitten en smelten. Hierdoor wordt de elektrische kring onderbroken.

## DEEL 3: PNEUMATICA

### 1 Wat is pneumatica?

Pneumatica is de studie van de samengedrukte gassen (meestal lucht) en de technische toepassingen ervan.

### 2 Druk

De **druk** ( $p$ ) is gelijk aan de kracht per oppervlakte-eenheid:

$$p = \frac{F}{A}$$

$p$  : druk (Pa)  
 $F$  : kracht (F)  
 $A$  : oppervlakte ( $m^2$ )

De eenheid van druk is **Pascal (Pa)**.  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ .

De gemiddelde luchtdruk op zeeniveau is gelijk aan  $101325 \text{ Pa}$  (=  $1013,25 \text{ hPa}$ ). Met andere woorden, de massa van de lucht in onze atmosfeer oefent een kracht uit van  $101325 \text{ N}$  op een oppervlakte van  $1 \text{ m}^2$ .

In technische toepassingen wordt de druk vaak uitgedrukt in **bar**.  $1 \text{ bar}$  is  $100000 \text{ Pa}$ .  $1 \text{ bar}$  is bijgevolg ongeveer gelijk aan de gemiddelde luchtdruk op zeeniveau.

#### Voorbeeld:

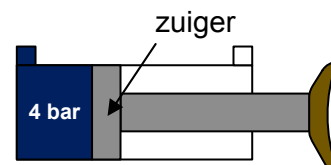
Een massa van  $10 \text{ kg}$  ligt op een tafel. Wat is de druk van de massa op de tafel als het contactoppervlak  $10 \text{ cm}^2$  is?

Oplossing:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{100 \text{ N}}{0,001 \text{ m}^2} = 100000 \text{ Pa} .$$

#### Voorbeeld:

De luchtdruk in een remcilinder van een locomotief bedraagt  $4 \text{ bar}$ . Het zuigeroppervlak is  $0,1256 \text{ m}^2$ . Wat is de maximumkracht op de zuiger?



Oplossing:

$4 \text{ bar}$  stemt overeen met  $4 \times 100000 \text{ Pa} = 400000 \text{ Pa}$ .

Deze druk levert een kracht:

$$F = p \times A = 400000 \text{ Pa} \times 0,1256 \text{ m}^2 = 50240 \text{ N} .$$

### 3 Toepassingen op het spoorwegmaterieel

Op een spoorwegvoertuig worden veel toestellen bediend door perslucht:

- remmen;
- stroomafnemers;
- deuren;
- schakelaars;
- ...





## Bijlage I: Ordes van grootte en eenheden

### Ordes van grootte

Nano	n	x 0,000 000 001
Micro	μ	x 0,000 001
Milli	m	x 0,001
Centi	c	x 0,01
Deci	d	x 0,1
Deca	da	x 10
Hecto	h	x 100
Kilo	k	x 1000
Mega	M	x 1000 000
Giga	G	x 1000 000 000

### Eenheden

meter	m	afstand
gram	g	massa
seconde	s	tijd
Newton	N	kracht
Newtonmeter	Nm	moment, koppel
Joule	J	arbeid, energie
Watt	W	vermogen
Pascal	Pa	druk

### Voorbeeld:

De eenheid van kracht is Newton. 1000 Newton is gelijk aan:

- 1 kiloNewton of 1 kN;
- 0,001 MegaNewton of 0,001 MN;
- 100 decaNewton of 100 daN.

## Bijlage II: Voorbeeldvragen technische geschiktheidsproef

Opmerking: Meerdere antwoorden kunnen juist zijn. De antwoorden zijn onderaan vermeld.

### Vraag 1:

Een locomotief rijdt met een snelheid van 36 km/h en trekt een trein vooruit met een kracht van 200 kN. Welk vermogen levert de locomotief?

- a) 2 MW
- b) 20 kW
- c) 2 000 000 W
- d) 2 W

### Vraag 2:

Een wisselstroom van 50 Hertz:

- a) Heeft een periode van 0,02 seconden.
- b) Heeft een periode van 0,50 seconden.
- c) Heeft een frequentie van 50 Hertz.
- d) Heeft een frequentie van 0,02 Hertz.

### Vraag 3:

Een voorwerp oefent een druk uit van 2000 Pa op de grond. Het contactoppervlak bedraagt 0,2 m<sup>2</sup>. Wat is de massa van dit voorwerp?

- a) 10 kg
- b) 40 kg
- c) 400 kg
- d) 1000 kg

### Oplossingen:

*Vraag 1: a, c*

De locomotief heeft een snelheid van 36 km/h of  $v = \frac{36}{3,6} = 10 \text{ m/s}$

$$P = F \times v = 200000 \text{ N} \times 10 \text{ m/s} = 2000000 \text{ W} = 2 \text{ MW}$$

*Vraag 2: a, c*

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 0,02 \text{ s}$$

*Vraag 3: b*

$$F = p \times A = 2000 \text{ Pa} \times 0,2 \text{ m}^2 = 400 \text{ N}$$

Dit is het gewicht van het voorwerp. De massa volgt uit:  $m = \frac{F}{g} = \frac{400 \text{ N}}{10 \text{ m/s}^2} = 40 \text{ kg}$



Bestemming beter