

# OPEN LESSEN

## KROKUSVAKANTIE 2025

Duurzame energietechnieken

03.03.2025

Prof. Jan Desmet

08:30 - 10:30



# ENERGIE

**Jan Desmet – Duurzame Energietechnieken 1Ba**



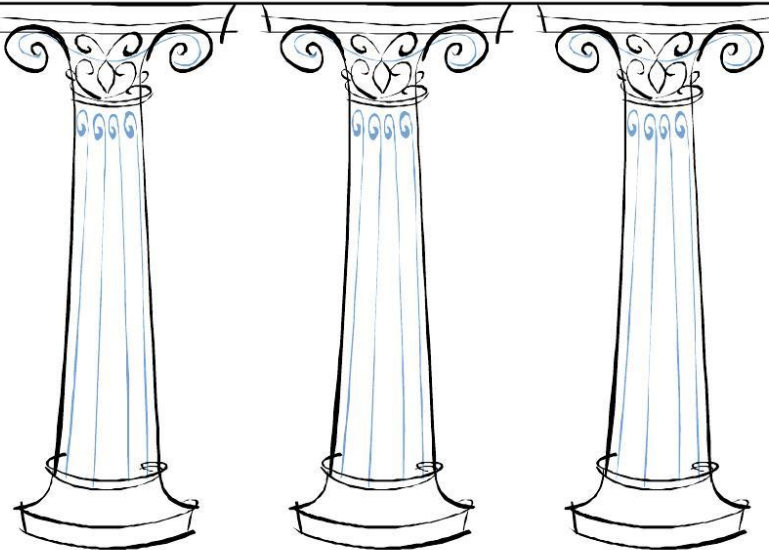
# INLEIDING

Wind en zon moeten driemaal sneller



© Hollandse Hoogte / Flip Franssen

## Duurzame ontwikkeling



Ecologie

Economie

Sociaal

Gebruik deelauto's in Vlaanderen is verdubbeld in vijf jaar tijd



Deelauto's zijn vaak in (grotere) steden te vinden. — © Victoriano Moreno



Bij een 'dunkelflaute' (de hemel donker en de wind flauw) is de opwekking van hernieuwbare energie pover. — © Reuters

Door een gebrek aan zon en wind bereikten de elektriciteitsprijzen deze week een niveau dat niet meer gezien was sinds de energiecrisis.



UNIVERSITEIT GENT  
CAMPUS KORTRIJK

FACULTEIT INGENIEURSWET  
EN ARCHITECTUUR

# INLEIDING

De SI eenheid van **energie** is de joule (J). Een joule is gelijk aan de arbeid die nodig is om een voorwerp 1 meter te verplaatsen met een kracht van 1 newton (N):

$$1\text{J} = 1\text{N} * 1\text{m}$$

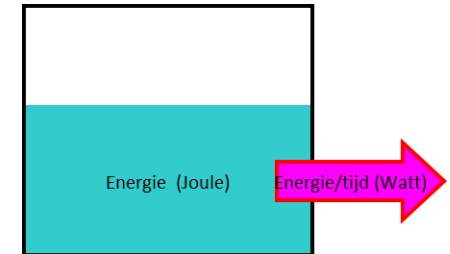
Een joule is ook gelijk aan de arbeid die nodig is om een lading van 1 coulomb te verplaatsen over een spanningsverschil van 1 volt:

$$1\text{J} = 1\text{C} * 1\text{V}$$

De SI-eenheid van **vermogen** is de watt (W). Een watt is het vermogen dat nodig is voor het leveren van 1 joule in 1 seconde:

$$1\text{W} = 1\text{J/s}$$

Dus:  $1\text{W} = 1\text{N} * 1\text{m/s}$   
 $1\text{W} = 1\text{A} * 1\text{V}$



De SI-eenheid voor energie is dus joule en het wordt aanbevolen steeds deze eenheid te gebruiken voor de grootte energie. Om historische redenen worden vaak ook andere energie-eenheden gebruikt.

Het is belangrijk dat niet-SI-eenheden moeten omgezet worden naar de joule.



# ENERGIE EN VERMOGEN

- Een elektronvolt (eV) =  $1,60218 \times 10^{-19} J$
- Eén vat olie =  $6,12 GJ$
- Eén ton olie equivalent (t.o.e.) =  $41,9 GJ$
- Een ton steenkool equivalent (t.c.e.) =  $29,3 GJ$
- Eén british thermal unit (BTU) =  $1055 J$
- Eén calorie (cal) =  $4,184 J$
- Eén erg =  $100 nJ$
- Eén TNT equivalent =  $4,18 MJ$



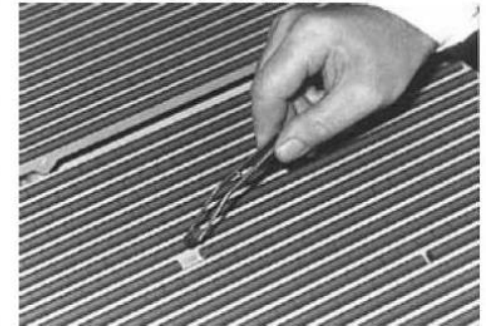
350 kg steenkool



250 l stookolie



300 m<sup>3</sup> aardgas



4 g verrijkt uranium

Primaire energie benodigd voor  
1MJ of 278kWh elektrische energie



Sommige historisch, andere beter bruikbaar bij een bepaalde toepassing.

# ENERGIE EN VERMOGEN



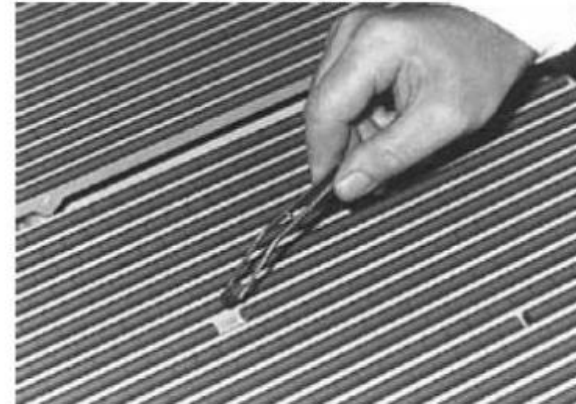
350 kg steenkool



250 l stookolie



300 m<sup>3</sup> aardgas



4 g verrijkt uranium

Primaire energie benodigd voor **1000kWh/1MWh** elektrische energie  
Hoge bevolkingsdichtheid en lage energie reserves: nucleair

Omgekeerd: Primaire energie benodigd voor  
**1MJ** of **278kWh** elektrische energie

# ENERGIE EN VERMOGEN

Elektrisch en tegenwoordig ook  
voor Gas (vroeger in MJ)

Elektrische energie wordt vaak uitgedrukt in **kilowattuur (kWh)**. De kWh is zelf geen SI-eenheid, maar is een vermenigvuldiging van 2 eenheden: de (kilo)watt en het uur (een eenheid buiten het SI-stelsel die weliswaar toch aanvaard wordt).

- $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3600000 \text{ W.s} = 3,6 \text{ MJ}$

Voor de grootte vermogen (energie per tijdseenheid) is vooral de **paardenkracht** nog in omloop:

- Eén paardenkracht (pk) = 735 W

Vroeger vooral op elektromotoren  
Op vandaag ook nog voor auto's  
Niet te verwarren met de fiscale pk!

# ENERGIE EN VERMOGEN

**1kWh  $\neq$  1kW**

1kWh kan gelijk zijn aan: 10kW gedurende 6 minuten

1kW gedurende 1 uur

100W gedurende 10 uur

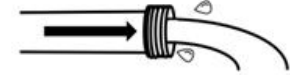
Alle combinaties W.h geaccumuleerd = 1.000

2kWh verbruik is 8kW<sub>piek</sub>

## Electric Power vs Energy

**Power**

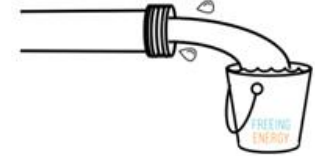
Watts or  
kilowatts



...is like the flow  
rate of the water

**Energy**

Watt-hours or  
kilowatt hours



...is like the the  
amount of water  
that ends up in  
the bucket

## Te interpreterten als bijvoorbeeld:

- Verbruiker kan gedurende langere tijd constant vermogen onttrekken (vb koken/auto laden of korte vermogenspieken onttrekken vb stijken)
- Hernieuwbare bron (zon/wind) kan maar nominaal vermogen leveren als er voldoende zon of wind is, dus vermogen heeft niks met energie te maken
- Batterijen kunnen geen willekeurige combinaties van vermogen/tijd leveren of opslaan voor een gegeven capaciteit (**Ah**) of energie-inhoud (**kWh**)



# ENERGIE EN VERMOGEN

Vermogen versus Verbruik:  
29,2 GW vs **79,3 TWh**\*/jaar in 2023

Wind: 5,5 GW levert 18,6%

Water: 1,3 GW levert 2,6%

Zon: 7,2 GW levert 10,5%

Thermisch incl. biomassa: 8,8 GW levert 27,8%

Nucleair: 5,5 GW levert 41,3%

**Pakweg 55% van geïnstalleerd vermogen is  
hernieuwbaar en staat in voor 30% van  
energievraag**

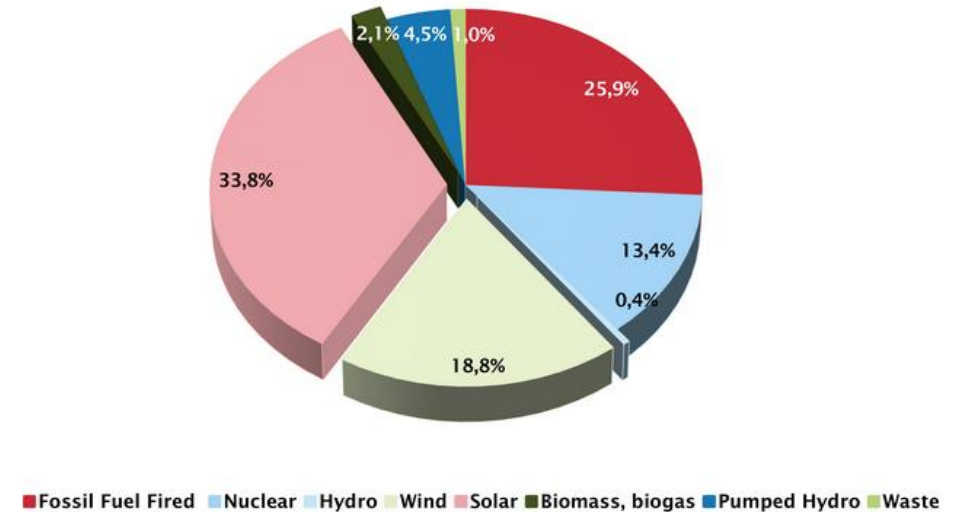


UNIVERSITEIT GENT  
CAMPUS KORTRIJK

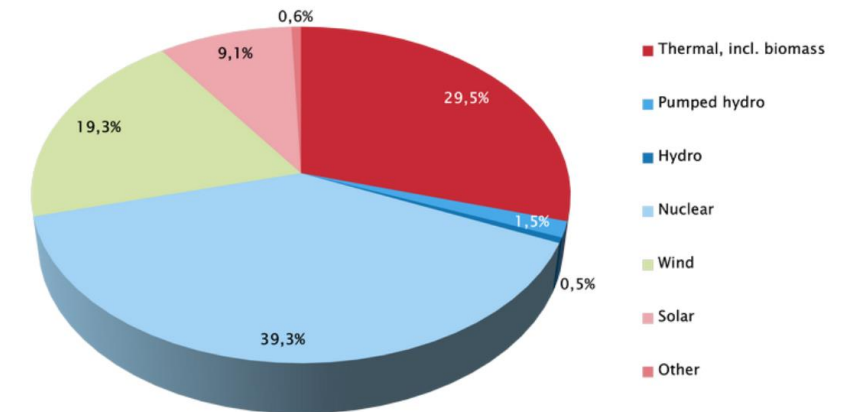
FACULTEIT INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
EN ARCHITECTUUR

\*1 TWh = 1.000 GWh = 1.000.000 MWh = 1.000.000.000 kWh

Installed capacity in Belgium  
by production technology at 31/12/2023\* (29,249 MW)

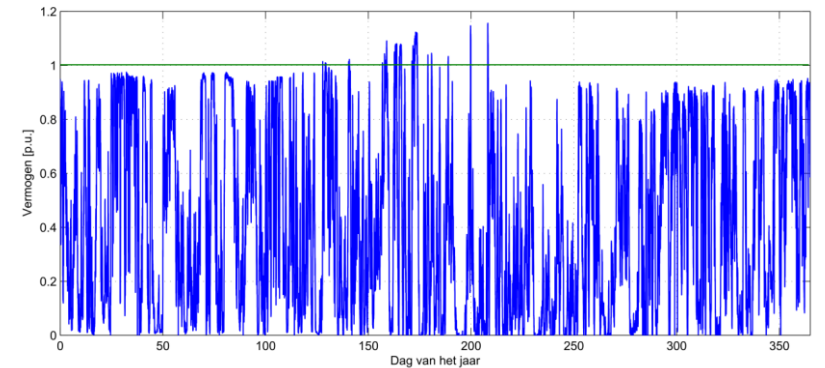
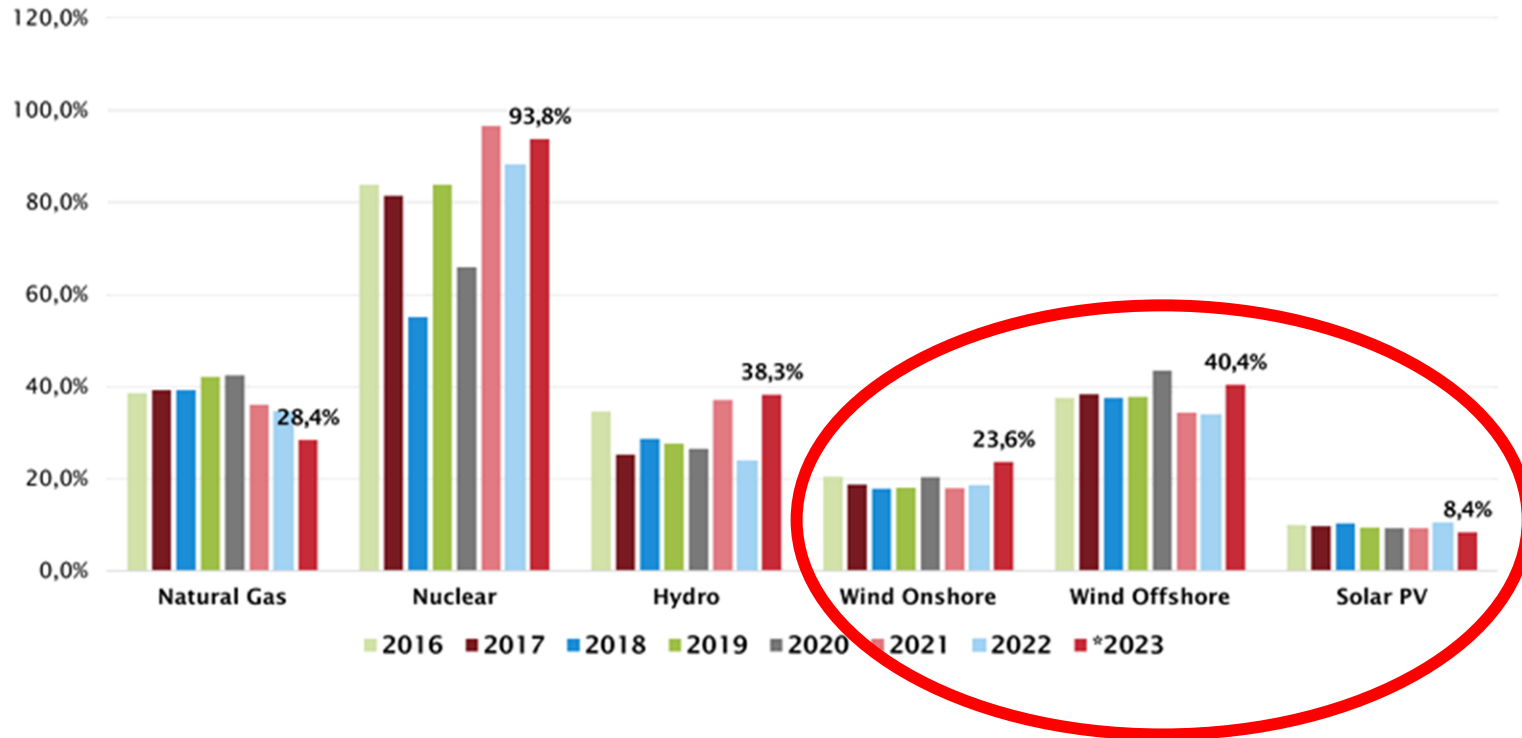


Total net electricity production in Belgium  
by production technology 2023\* (79,3 TWh)

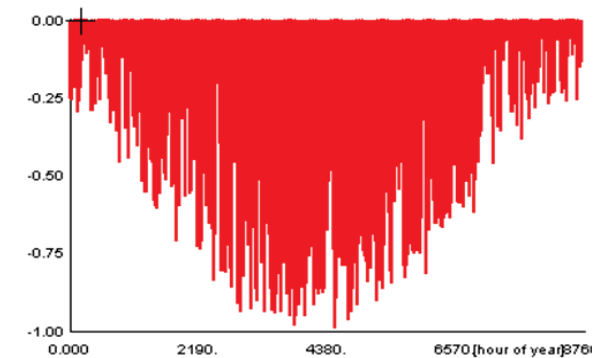


# ENERGIE EN VERMOGEN

**Load factor: percentage of total number of hours per year when production assets are in operation in Belgium (equivalent full load hours capacity)**



Genormaliseerde opbrengst Off Shore BE



Gestandaardiseerde opbrengst PV

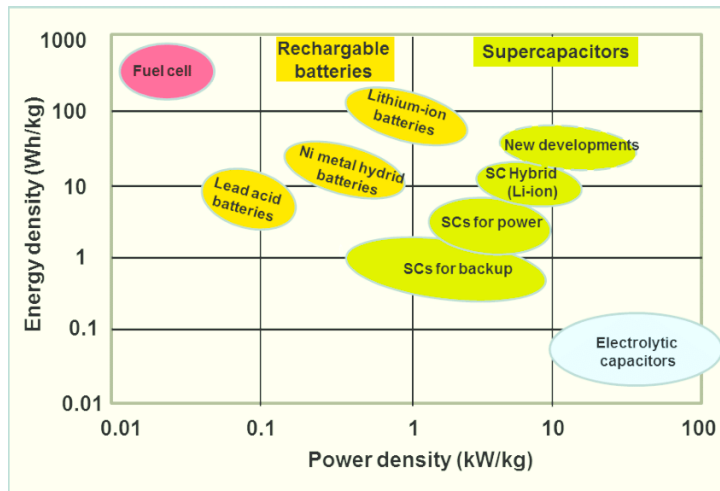


# ENERGIE EN VERMOGEN

De “hoeveelheid energie” en “**vermogen**” kan uitgedrukt worden in respectievelijk **Joule [J]** en **Watt [W]**

Voorbeelden van elektromagnetische vermogensdichtheid

| Vermogen                | Omschrijving                                              | Waarde (W/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| Zonneconstante          | Vermogen van de zonnestraling aan de top van de atmosfeer | 1367                       |
| Zonne-energieabsorptie  | Ter hoogte van het aardoppervlak                          | 166                        |
| Mobiele netwerkstraling | Op basis van de 3 V/m <b>stralingsnorm</b>                | 0,024                      |



Waar kunnen we dat vinden?



En wat zijn we er dan mee?



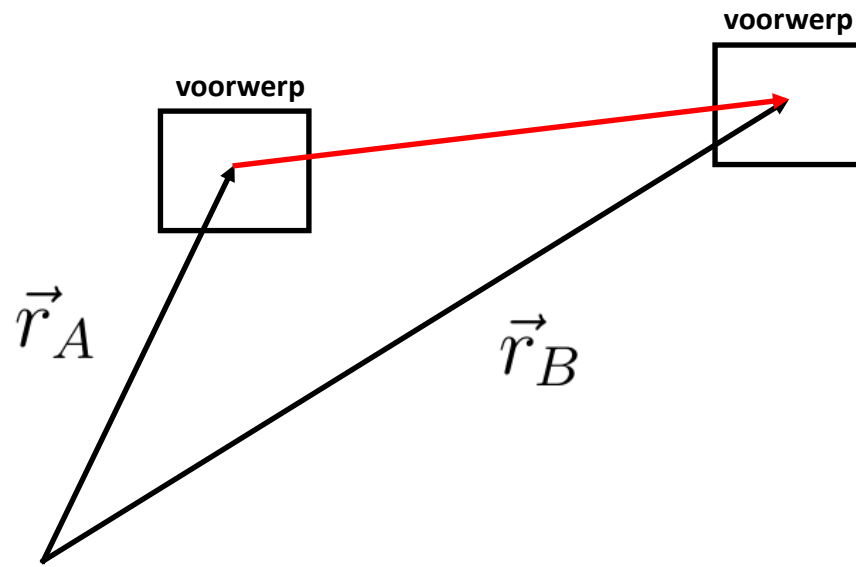
|                               |                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Vastestoffen</b>           | <b>10<sup>6</sup> · J · kg<sup>-1</sup></b> |
| steenkool                     | 30                                          |
| bruinkool                     | 20                                          |
| hout (droog)                  | 15                                          |
| turf                          | 15                                          |
| papier                        | 13                                          |
| <b>vloeistoffen bij 20 °C</b> | <b>10<sup>9</sup> · J · m<sup>-3</sup></b>  |
| stookolie                     | 40                                          |
| diesel                        | 36                                          |
| benzine                       | 33                                          |
| alcohol (ethanol)             | 22                                          |

Verbrandingswarmte

**Alle mogelijke toepassingen waar energie mee gepaard gaat**

# POTENTIELE ENERGIE

= de mogelijkheid om energie te leveren



Als we de arbeid  $W$  die op een deeltje of een massa inwerkt als het deeltje van positie  $\vec{r}_A$  naar positie  $\vec{r}_B$  beweegt kunnen uitdrukken als het verschil van een grootheid  $U(x; y; z)$  berekend in het begin- en eindpunt, dan is de kracht die voor deze arbeid zorgt conservatief. De grootheid  $U(x; y; z)$  wordt de potentiële energie genoemd en is een functie van de coördinaten van het deeltje of voorwerp. Voor conservatieve krachten geldt dus:

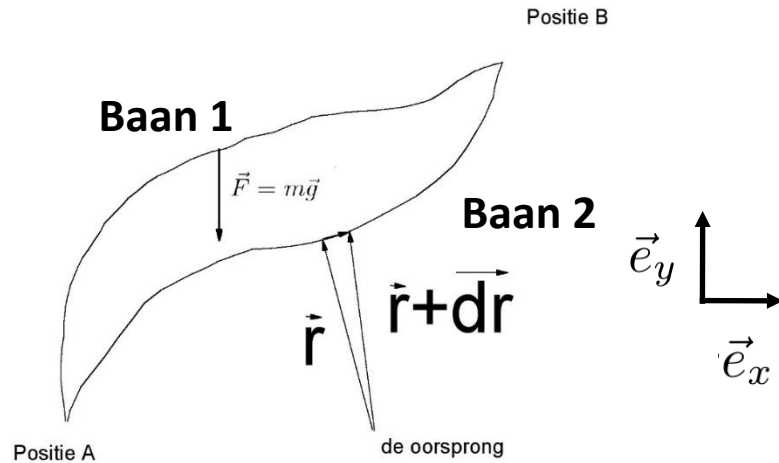
$$W = U_A - U_B = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Arbeid

Vershil in potentiële energie

Definitie van de arbeid die geleverd wordt door de kracht bij deze verplaatsing van A naar B.

# POTENTIELE ENERGIE



Definitie van de arbeid die geleverd wordt door de kracht bij deze verplaatsing van A naar B.

$$W = U_A - U_B = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

- We kunnen daar enkel een zinvolle waarde aan geven als de arbeid onafhankelijk is van de gekozen baan.
- Dus enkel bij conservatieve krachten

In een conservatief krachtveld is de kracht alleen afhankelijk van de plaats, en geldt:

\* Er bestaat een scalair veld:  $F(\vec{r}) = -\nabla V(\vec{r})$

$W = \int_S F(\vec{r}) d\vec{r}$  langs een willekeurig pad S is afhankelijk van het begin- en eindpunt,

→ De zwaartekracht is een voorbeeld van een conservatief veld

# POTENTIELE ENERGIE

Het voordeel van te werken met potentiële energie (kracht gekend op elke plaats)

$$\vec{F} = -\vec{\nabla}U(\vec{r}) = -\frac{\partial U}{\partial x}\vec{e}_x - \frac{\partial U}{\partial y}\vec{e}_y - \frac{\partial U}{\partial z}\vec{e}_z$$

In het geval van zwaartekracht:

$$U = mgh = mgy$$

$$\vec{F} = -\vec{\nabla}U = -mg\vec{\nabla}y = -mg\vec{e}_y$$

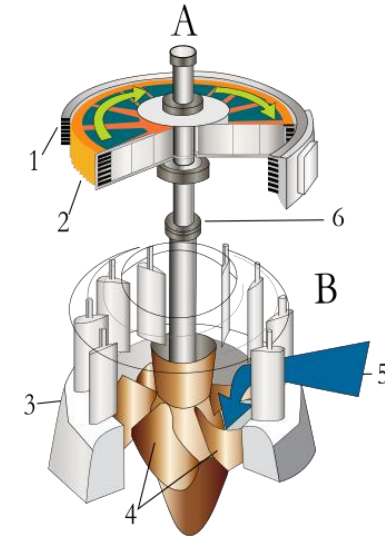
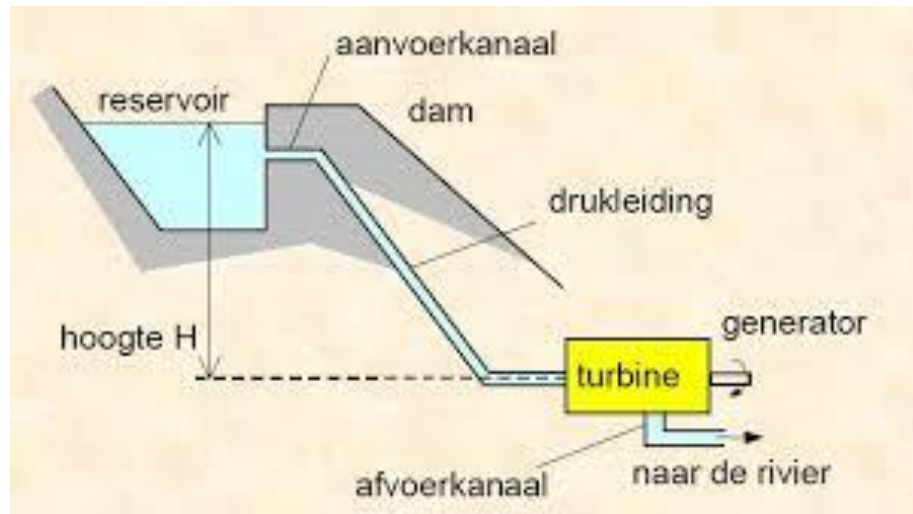
$$W = -mg \int_A^B dy = -mgh$$



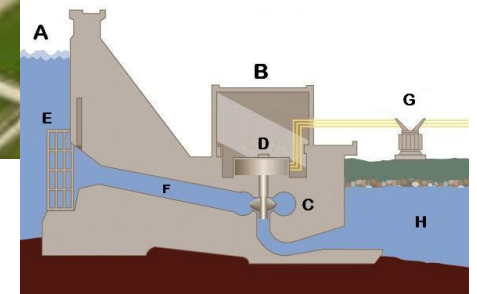
# POTENTIELE ENERGIE

## Hydrocentrale

- $E = m \cdot g \cdot h$  en uiteraard is  $P = E/t \rightarrow P = m/t \cdot g \cdot h$
- **massa** water = volume maal dichtheid water =  $\rho \cdot V$
- met  $\phi$  de **volumestroom** is dan wordt  $P = \rho \cdot \phi \cdot g \cdot h$



- A: as  
1: stator  
2: rotor  
3: behuizing  
4: turbine  
5: watertoevoer



# KINETISCHE ENERGIE

Algemeen is de kinetische energie van een object met massa  $m$  en snelheid  $v$  gelijk aan:

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

Dit zou moeten gelijk zijn aan de arbeid nodig om een massa  $m$  tot die snelheid te brengen vanuit rust. → Start vanuit potentiële energie

$$W = \int_{v=0}^v \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

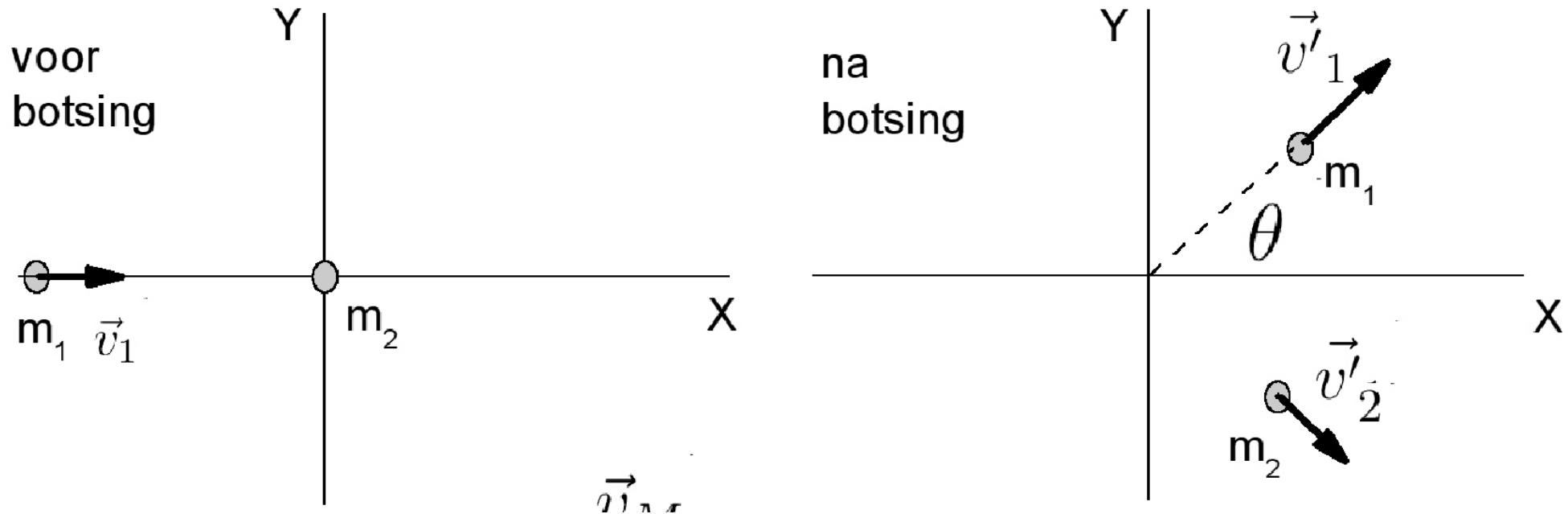
$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$        $d\vec{r} = \vec{v}dt$

$$\int_{v=0}^v m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v}dt = \int_{v=0}^v mv dv = \frac{1}{2}mv^2$$



# KINETISCHE ENERGIE

De overdracht van kinetische energie via botsingen



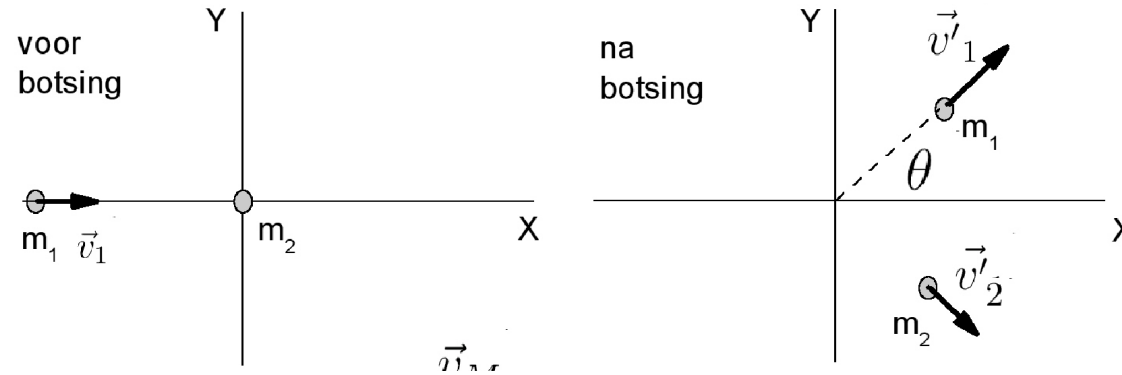
➔ Behoud van kinetische energie (elastische botsing)

$$E'_{K2} = E_{K1} - E'_{K1} = \frac{1}{2}m_2v'^2_2 = \frac{1}{2}m_1v^2_1 - \frac{1}{2}m_1v'^2_1$$



# KINETISCHE ENERGIE

$$\vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = \vec{p}_1 \quad \text{of} \quad \vec{p}'_2 = \vec{p}_1 - \vec{p}'_1 \quad p'^2_2 = (\vec{p}_1 - \vec{p}'_1)^2 = p_1^2 + p'^2_1 - 2p_1p'_1 \cos \theta \quad \rightarrow \text{Behoud van Impuls}$$



Maximale energieoverdracht:  $\cos \theta = -1$

$$m_2 v'^2_2 = m_1 v_1^2 - m_1 v'^2_1$$

$$m_2^2 v'^2_2 = m_1^2 (v_1^2 + v'^2_1 + 2v'_1 v_1) = m_1^2 (v_1 + v'_1)^2$$

$\rightarrow$  Behoud van Energie

# KINETISCHE ENERGIE

## Windkracht

- Kinetische energie

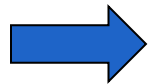
$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad [\text{J}]$$

- Massa wind die passeert per tijdseenheid

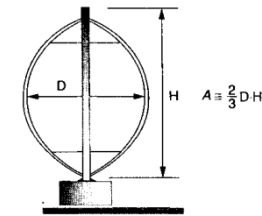
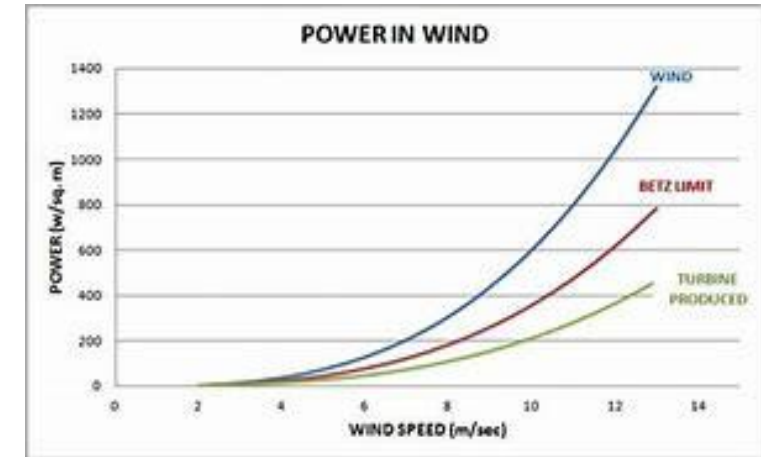
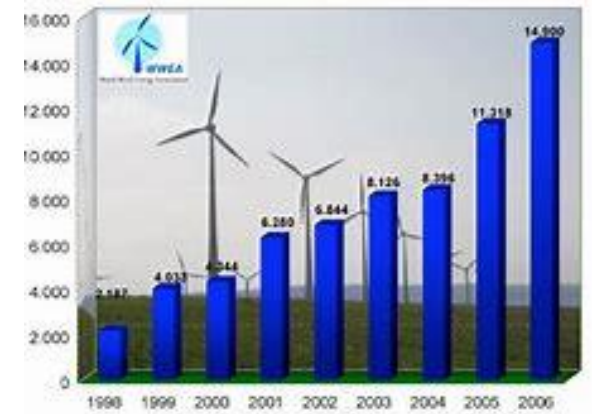
$$\frac{m}{t} = \rho \cdot A \cdot v \quad [\text{kg/s}]$$

- Energie per tijdseenheid = vermogen wind

$$P_{\text{wind}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad [\text{W}]$$



- Vermogen in de wind  $\sim v^3$
- Vermogen in de wind  $\sim \rho$
- $A = \pi r^2$  voor HA turbine,  $A \approx 2/3 D \cdot H$  voor Darrieus turbine



# KINETISCHE ENERGIE

## Windkracht

- Opgepast! Gebruik geen gemiddelde windsnelheden!
  - Bv. : Energie bij 100 uur bij 6 m/s in 1 m<sup>2</sup>
    - $0.5 \cdot 1.225 \cdot 1 \cdot (6)^3 \cdot 100 = 13,230 \text{ kWh}$
  - Bv. : Energie bij 50 uur bij 3 m/s en 50 uur bij 9 m/s
    - $0.5 \cdot 1.225 \cdot 1 \cdot (3)^3 \cdot 50 = 0,827 \text{ kWh}$
    - $0.5 \cdot 1.225 \cdot 1 \cdot (9)^3 \cdot 50 = 22,326 \text{ kWh}$
    - $0,827 + 22,326 = 23,152 \text{ kWh}$



**Lage windsnelheden dragen véél minder bij dan hoge windsnelheden**

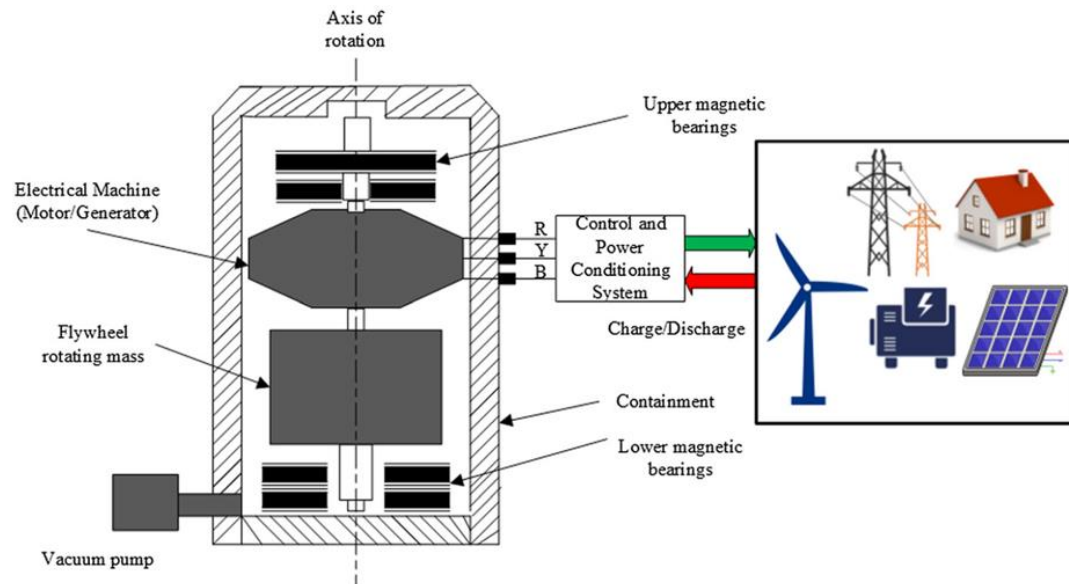
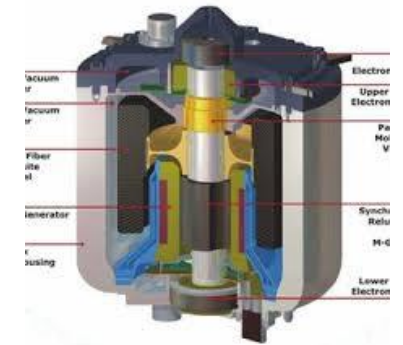


# KINETISCHE ENERGIE

## Mechanische opslag – Flywheel Energy Storage

$$E = \frac{1}{2} I * \omega^2 \quad [J]$$

- 'Hoeveelheid opgeslagen energie is beperkt door de treksterkte van het materiaal
- Materiaal met hoge treksterkte is vereist voor hoge energiedensiteit
  - Stalen vliegwiel – Hoog densiteit materiaal - Lagere snelheden (interne spanningen)
  - Carbon vliegwiel - Lage densiteit materiaal – Hogere snelheden – veiliger bij breuk



| Fabrikant            | Vermogen/Capaciteit                   |
|----------------------|---------------------------------------|
| WattsUp Power (EU)   | 2 kW - 15 kWh                         |
| Amber Kinetics (VS)  | 8 kW - 32 kWh                         |
| Energiestro (EU)     | 20 kW - 20 kWh                        |
| Beacon Power (VS)    | 50 kW - 25 kWh<br>160 kW - 10.6 kWh   |
| Socomec (VS/EU)      | 160 kVA - 1 kWh<br>300 kVA - 0,83 kWh |
| Active Power (VS/EU) | 250 kW - 1,7 kWh                      |

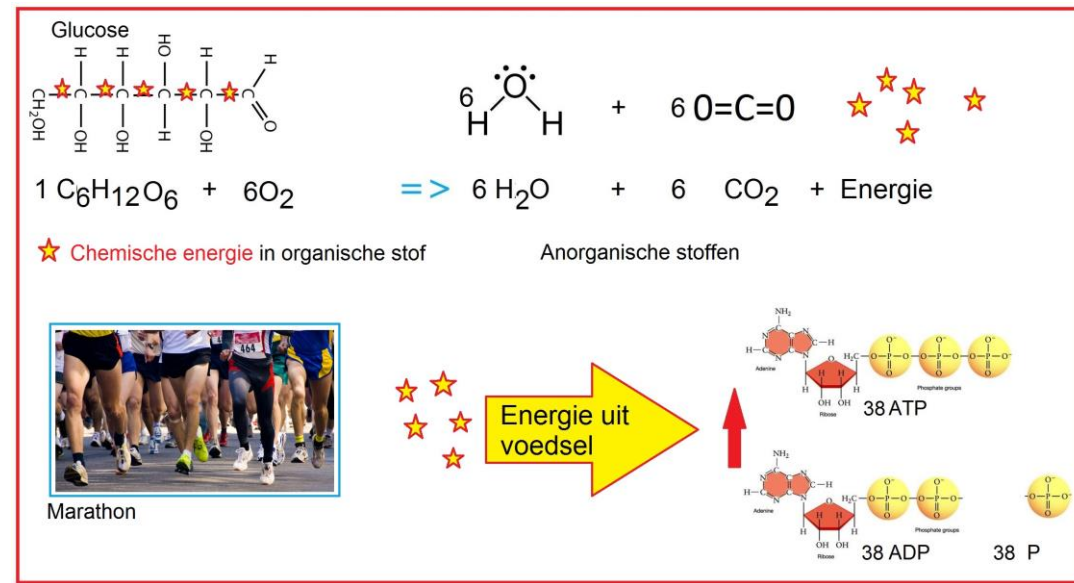
# CHEMISCHE ENERGIE

## Energie die opgeslagen is in de chemische bindingen

De chemische energie is de potentiële energie van de atomen als gevolg van de chemische bindingen ook wel vaak de interne energie genoemd in chemie. Maar omdat deze chemische reacties vaak doorgaan in gasvorm in een omgeving bij constante druk  $P$  is het beter om de toestandsfunctie Enthalpie  $H$  te gebruiken, de enthalpie wordt gedefinieerd als:

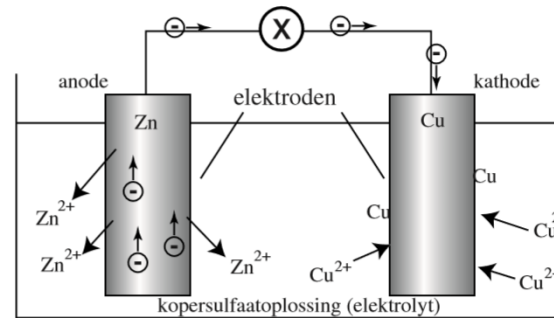
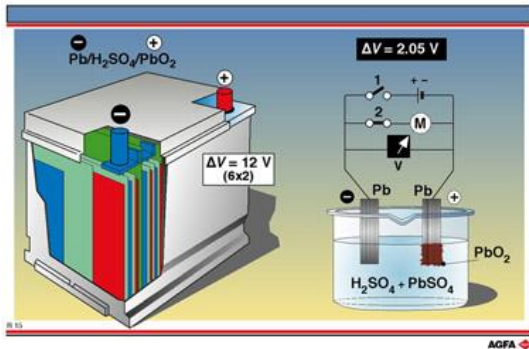
$$H = U + PV$$

Enthalpie                      Interne energie

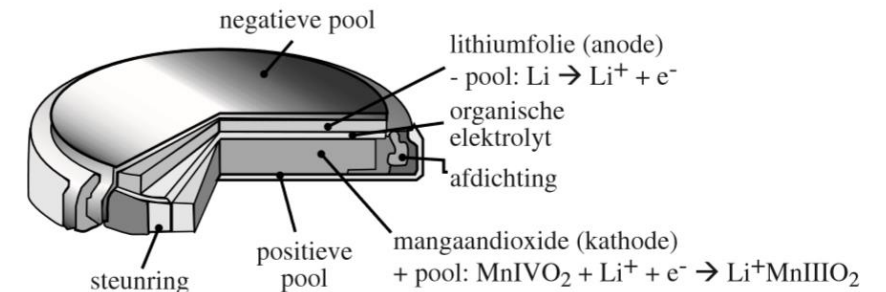
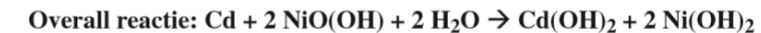
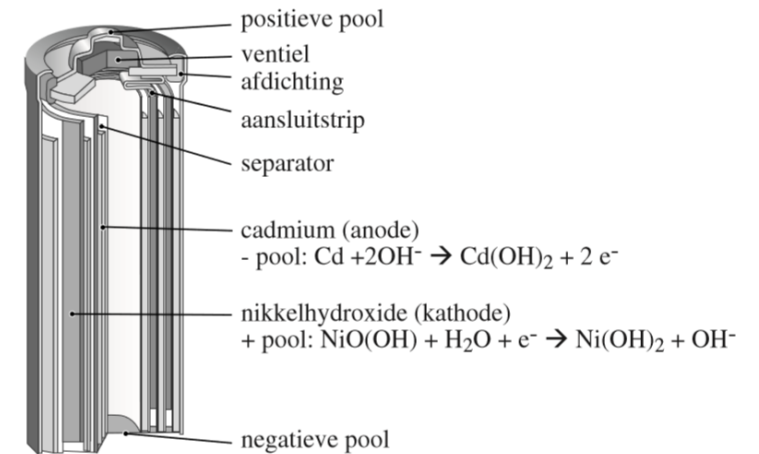


# CHEMISCHE ENERGIE

## Energie die ontstaat door chemische reacties



. Schematische weergave van de werking van een zinkkoperbatterij.

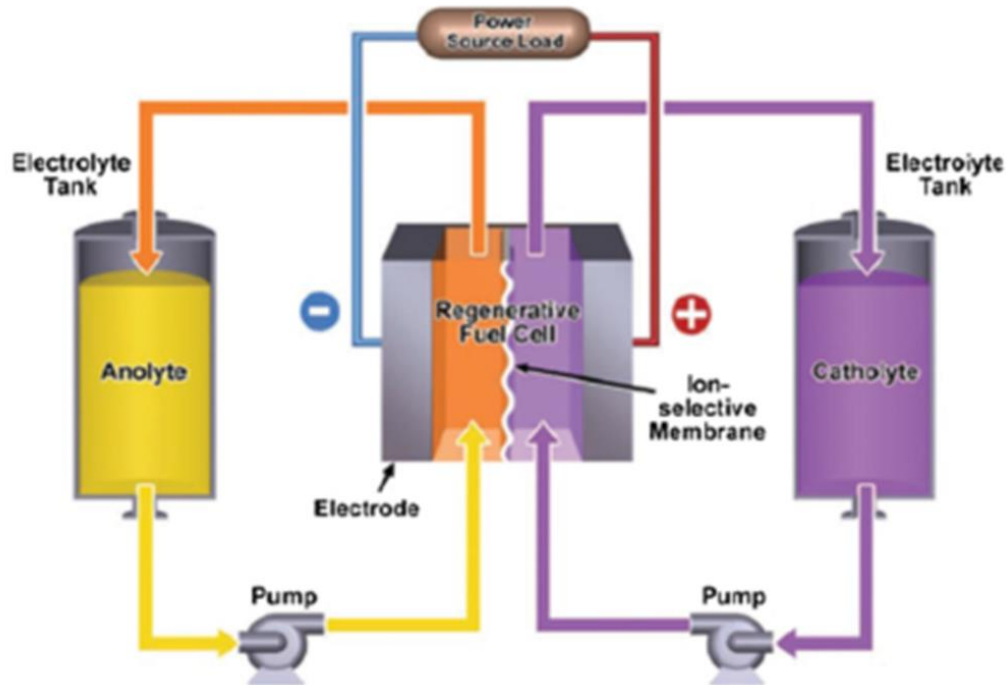


Een elektrochemische cel wekt energie op door een spontane redoxreactie. Deze cellen hebben twee geleidende elektroden (de anode (oxidatie) en de kathode (reductie)). Elektroden dienen voldoende geleidend zijn. Tussen deze elektroden bevindt zich een elektrolyt, die ionen bevat die vrij kunnen bewegen. De galvanische cel maakt dus gebruik van twee verschillende materiaal als elektroden. De twee elektroden zijn elektrisch met elkaar verbonden, waardoor een stroom elektronen kan vloeien, dus een elektrische stroom.

# CHEMISCHE ENERGIE

## Energie die ontstaat door chemische reacties

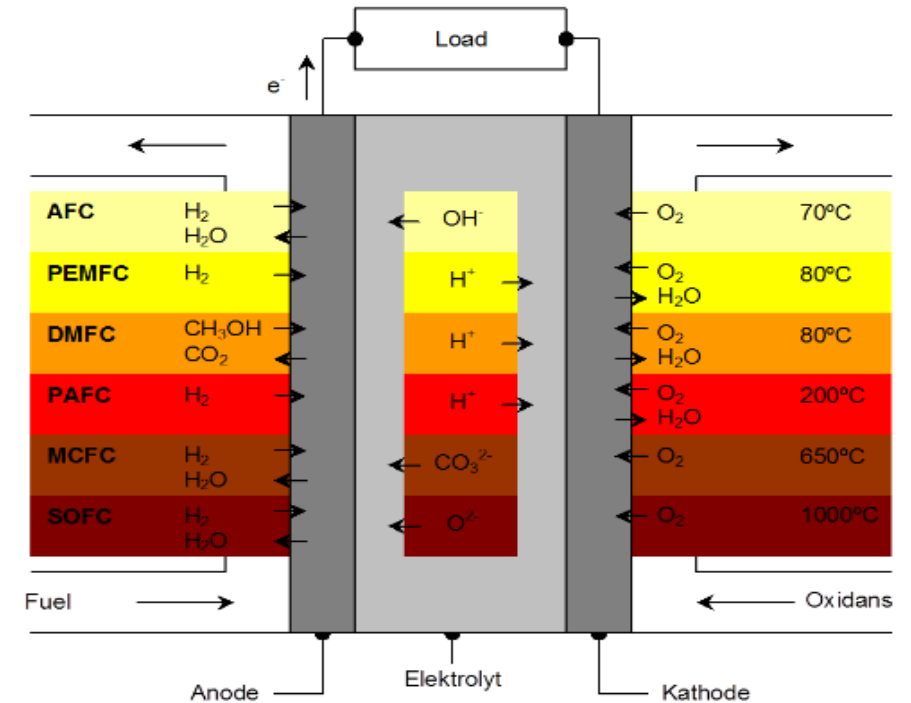
### Redox Flow Batterij



Is type elektrochemische cel, maar waarbij de energie opgewekt wordt uit het pompen van metaalionen opgelost in vloeistoffen langs een membraan zonder direct contact (vanwege het membraan) tussen de twee vloeistoffen, waardoor de oplossingen volledig gescheiden blijven.



### Fuel Cell → Zet H om in elektriciteit



Waterstof en zuurstof worden gescheiden door membraan aangevoerd. Via katalysator wordt waterstof (anode) gesplitst in H-ionen (protonen) en elektronen. Deze vloeien via een extern elektrisch circuit naar de kathode. De protonen stromen door de elektrolyt naar de kathode. De protonen en elektronen komen bij de kathode weer samen en reageren daar met de zuurstof die bij de kathode wordt ingevoerd en wordt water gevormd.

# ELEKTRISCHE ENERGIE

Coulomb stelt dat grootte van de elektrische kracht afhangt van de ladingen van de voorwerpen en de onderlinge afstand volgens:

$$F_{\text{el}} = f \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$$

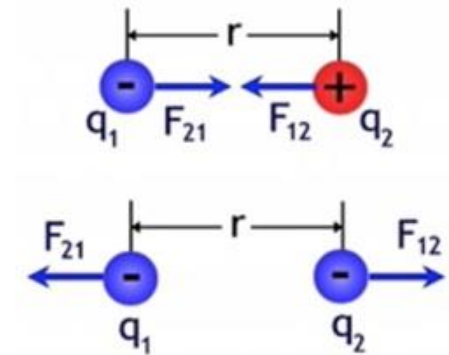
Waarbij:  $F_{\text{el}}$  is de elektrische kracht in newton (N)

$f$  is  $8,98755 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$

$q$  is de lading voorwerp 1 in coulomb (C)

$Q$  is de lading voorwerp 2 in coulomb (C)

$r$  is de afstand in meter (m)



→ Conservatieve kracht!

Geladen deeltjes in een elektrisch veld ondervinden een kracht die arbeid verricht. Combineren van de formules van arbeid met die van elektrische kracht geeft:

$$\Delta E_{\text{el}} = q \cdot \vec{E} \cdot \Delta x$$

Waarbij:  $\Delta E_{\text{el}}$  is de verandering van de elektrische energie in joule (J)

$q$  is de lading in coulomb (C)

$E$  is de elektrische veldsterkte in newton per coulomb (N/C)

$\Delta x$  is de afstand in meter (m)



# ELEKTRISCHE ENERGIE

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

$$W = U_A - U_B = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

$$U_A - U_B = - \int_B^A q\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$U = qV$$

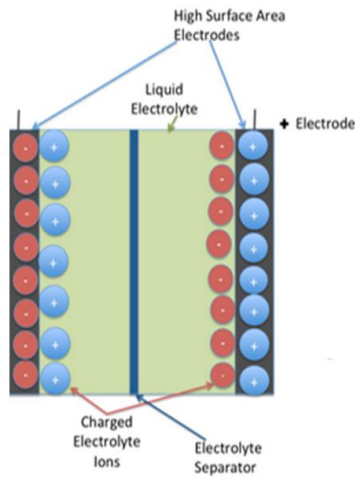
Delen door de lading q

$$V_A - V_B = - \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

Potentiaalverschil = Spanning



Super capacitors

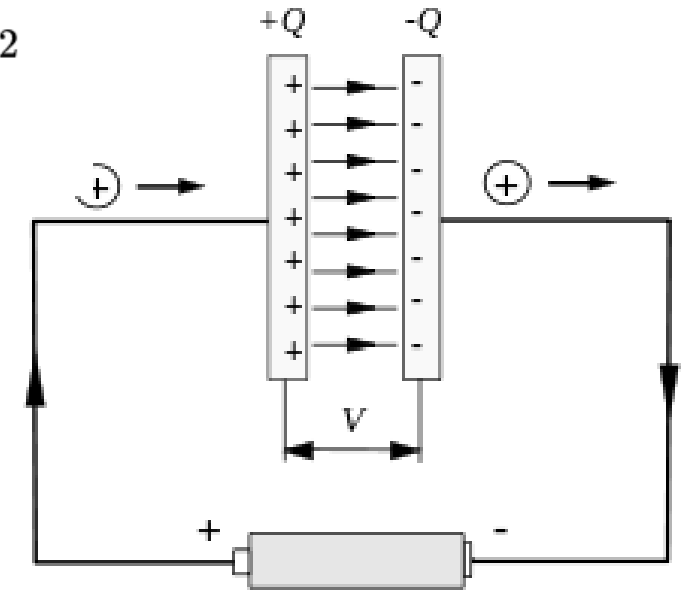
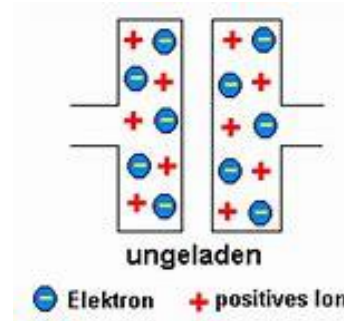
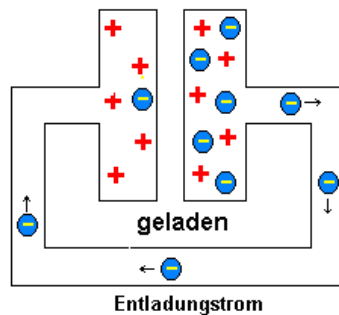


# ELEKTRISCHE ENERGIE

De energie opgeslagen in een condensator met lading  $Q$  is die energie die nodig is om de condensator vanaf ontladen toestand (dus lading  $Q=0$ ) op te laden.

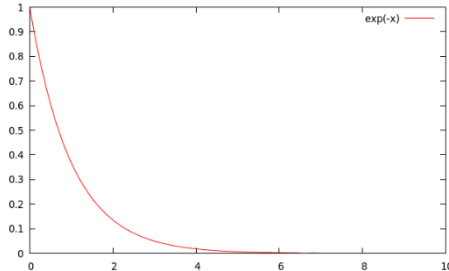
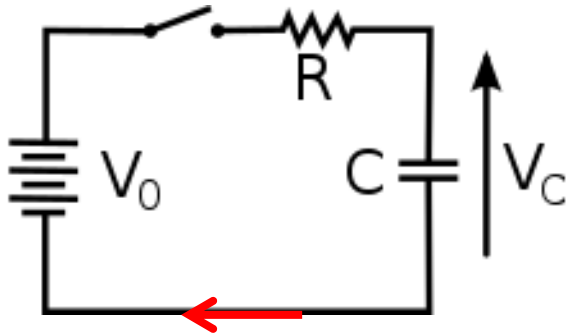
Het toevoeren van een kleine lading  $dq$  kost een energie  $Udq$  met  $U$  de spanning (of potentiaalverschil) tussen 2 geladen platen met tegengestelde lading

$$\Rightarrow E = \int_{q=0}^Q U dq = \int_{q=0}^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2$$



# ELEKTRISCHE ENERGIE

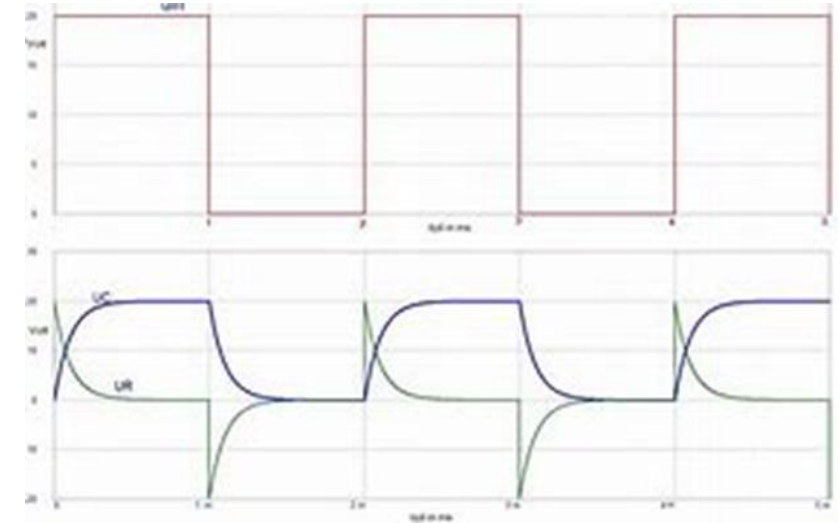
## Laden van een condensator



$$V_0 = IR + \frac{Q}{C}$$

$$I(t) = \frac{V_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$V_C = V_0(e^{-\frac{t}{RC}} - 1)$$



Convergeert naar  $V_0 = \frac{Q_0}{C}$

In een tijd  $dt$  levert de spanningsbron een energie:

$$dW = V_0 dQ = V_0 I dt = I^2 R dt + \frac{Q}{C} dQ$$

# ELEKTRISCHE ENERGIE

## De totaal opgeslagen energie in een condensator

$$W = V_0 Q_0 = \int_0^{+\infty} I^2 R dt + \frac{1}{C} \int_0^{Q_0} Q dQ = W_R + \frac{1}{2C} Q_0^2 = W_R + \frac{1}{2} Q_0 V_0$$

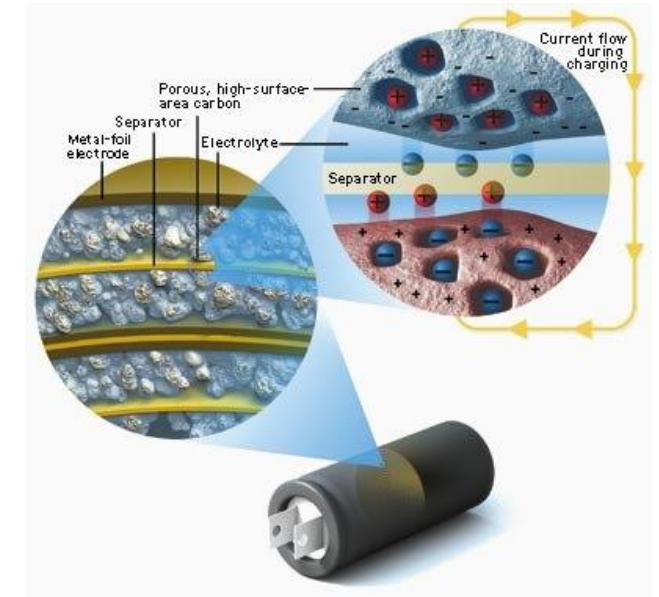
$$W_R = \frac{1}{2} Q_0 V_0$$

We kunnen hieruit zien dat de helft van de toegevoegde energie omgezet is in warmte in  $R$  ( $W_R = \frac{1}{2} Q_0 V_0$ ). De andere helft,  $W_E = \frac{1}{2} Q_0 V_0$ , is als elektrostatische energie in de condensator opgeslagen.

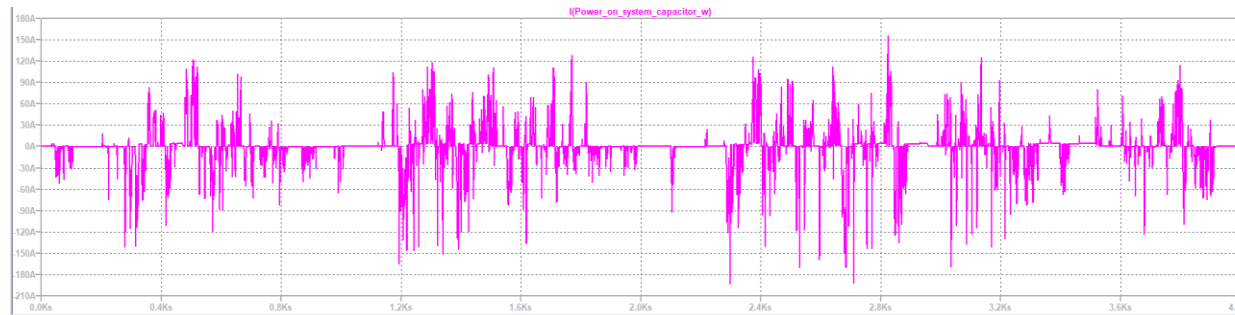


# ELEKTRISCHE ENERGIE

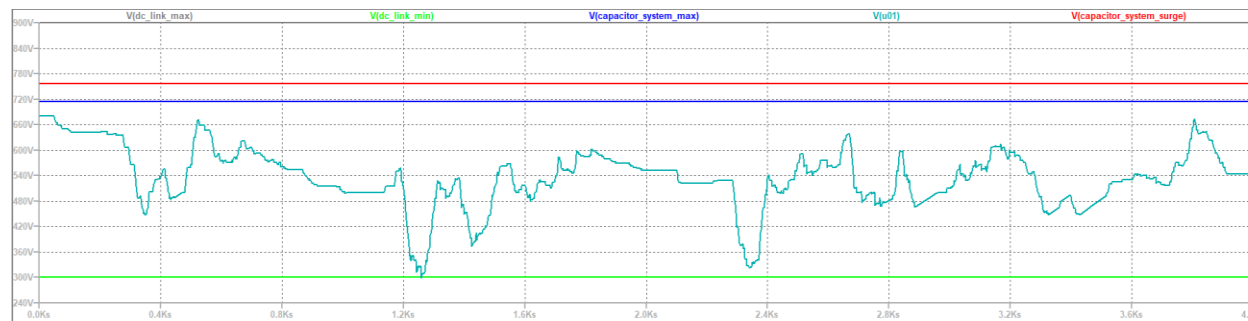
- **Elektrisch - Supercapacitors Energy Storage**
- Slaat energie op als elektrische lading
- Opslagcapaciteit is afhankelijk van **contactoppervlak van het elektrolyt en omgekeerd evenredig met de afstand tussen de elektrodes**
- **Opgeslagen energie** is recht evenredig met de **capaciteit** en het **kwadraat van de aangelegde spanning**



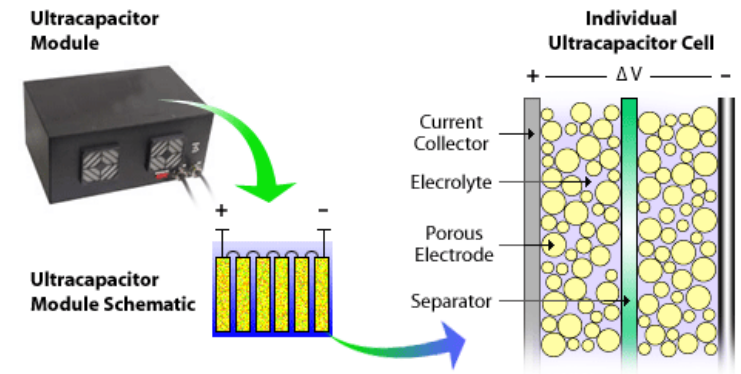
Stroom



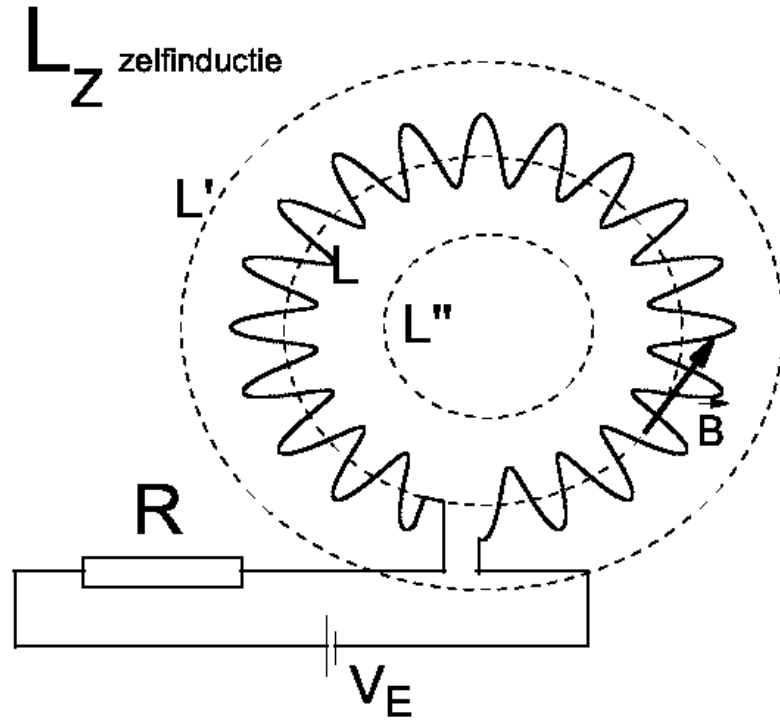
Spanning



UNIVERSITEIT GENT  
CAMPUS KORTRIJK



# MAGNETISCHE ENERGIE



spoel met  $N$  windingen met  
onderling gelijke afstand  
en een stroom  $I$

de wet van Ampère:

$$\Lambda_B = \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \mu_r I_{tot} = \mu_0 \mu_r N I$$



# MAGNETISCHE ENERGIE

$$V_E = RI + L_Z \frac{dI}{dt}$$

Elektrisch vermogen =  $U \cdot I$

$$V_E I = RI^2 + L_Z I \frac{dI}{dt}$$
$$\frac{dW_E}{dt} = \frac{dW_R}{dt} + \frac{dW_B}{dt}$$

Het vermogen dat je toevoegt aan de schakeling is gelijk aan de som van het vermogen dat nodig is om die stroom te voeren door de weerstand + het vermogen dat je moet toevoegen aan de spoel

$$\Rightarrow \frac{dW_B}{dt} = L_Z I \frac{dI}{dt} \quad \Rightarrow \quad W_B = \int_0^{W_B} dW_B = \int_0^I L_Z I dI = \frac{1}{2} L_Z I^2$$



# MAGNETISCHE ENERGIE

## SMES-Systemen

Voor een SMES-systeem (Super Magnetic Energy System) wordt de opgeslagen inductieve energy ( $E$  in [J]) en het opgegeven vermogen ( $P$  [W]) bepaald uit de basis magnetische energie opslag formules:

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

$$P = \frac{dE}{dt} = L I \frac{dI}{dt} = V I$$

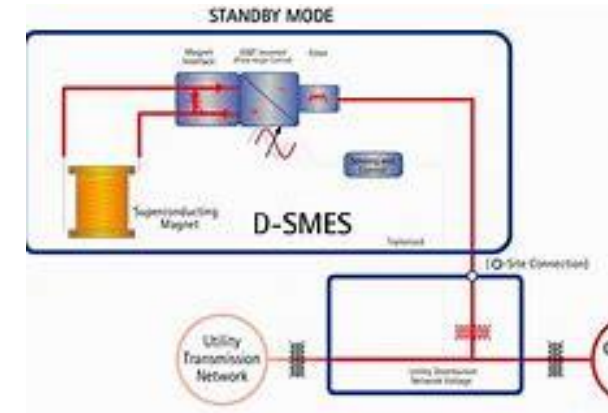
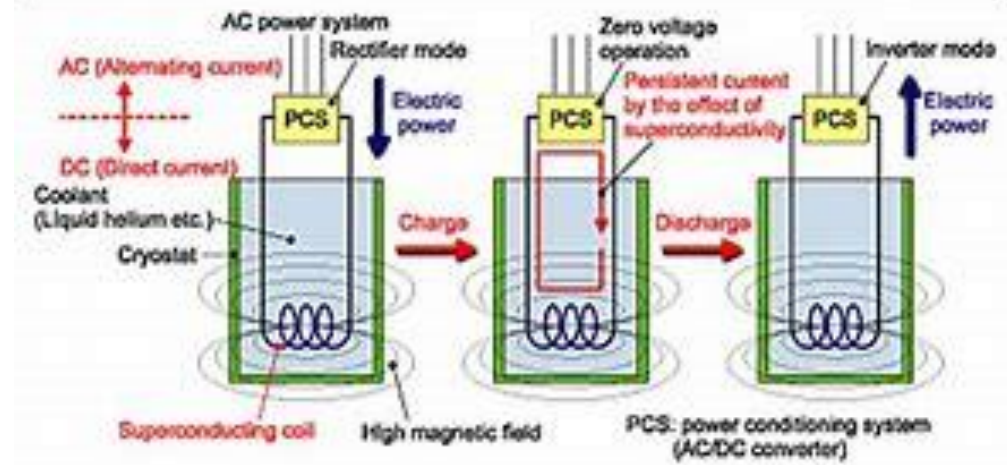


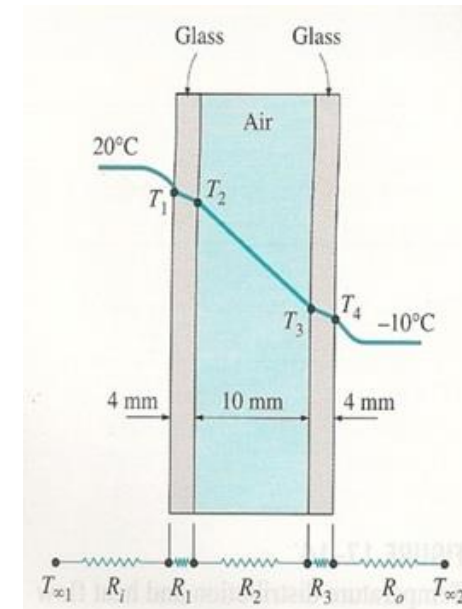
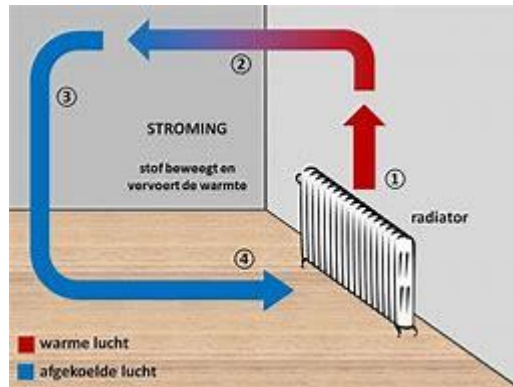
Figure 1

Energy Storage Method Using Superconducting Phenomenon  
(Mechanism of SMES)



# THERMISCHE ENERGIE

Warmte wordt gedefinieerd als de energievorm die wordt overgedragen tussen twee systemen op een verschillende temperatuur. Het overdrachtstempo van de warmte is de warmte die overgedragen wordt per tijdseenheid of is het vermogen dat overgedragen wordt. De totale hoeveelheid warmte die in een systeem opgeslagen wordt is de thermische energie. Een proces waarbij geen overdracht van warmte gebeurt met zijn omgeving wordt adiabatisch genoemd.



# THERMISCHE ENERGIE

## Warmte overdracht

Warmteoverdracht, warmtetransport of warmtestroming is de stroom van thermische energie - dus warmte - van locaties met een hogere temperatuur, naar locaties met een lagere temperatuur. Warmtestroom van lage naar hoge temperatuur is fysisch niet mogelijk. Warmte zal zich daarom altijd zo gelijk mogelijk over de ruimte verdelen. Anders gezegd streeft een thermodynamisch systeem naar zo groot mogelijke entropie (=maat van wanorde of hoeveel warmte er in arbeid kan omgezet worden)



$$P_{straling} = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_{opp}^4 - T_{omg}^4) \cdot S$$

- $\epsilon$  emissiviteitscoëfficiënt
- $\sigma$  constante van Boltzmann
- $S$  stralingsoppervlak per meter kabel



$$J = hA\Delta T$$

- $J$ : warmtestroom [W]
- $h$ : warmteoverdrachtscoëfficiënt in [W/m²K]
- $A$ : convectie-oppervlak [m²]
- $T$ : temperatuurverschil [K]

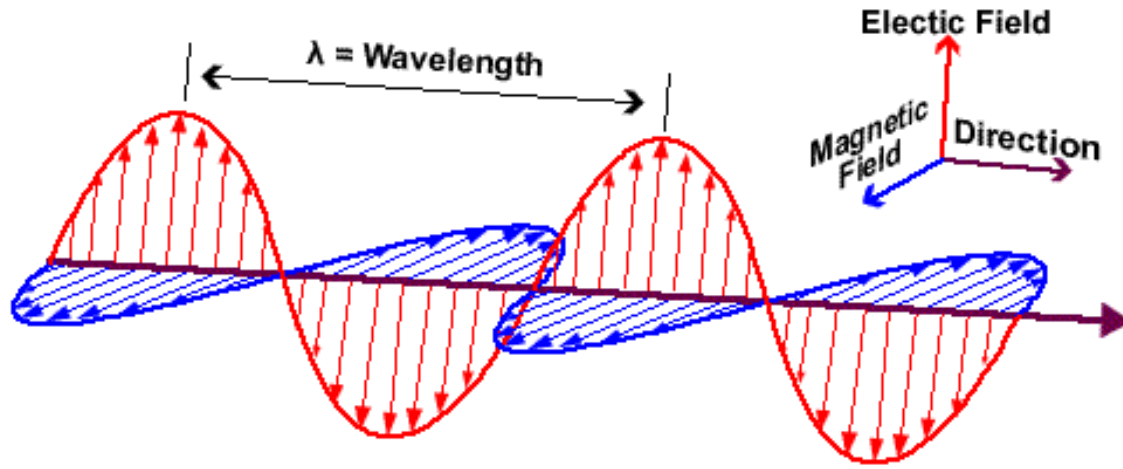


- $(W \cdot d)/(A \cdot \Delta T)$
- $D$ : dikte materiaal [m]
- $A$ : oppervlakte materiaal [m²]
- $T$ : Temperatuur [K]



# STRALINGSENERGIE

## Energie van elektromagnetische straling (Algemeen)



$$w = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

Snelheid van het licht

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Voor een vlakke magnetische golf geldt onderstaand verband tussen het elektrisch en het magnetisch veld:

$$E = cB$$

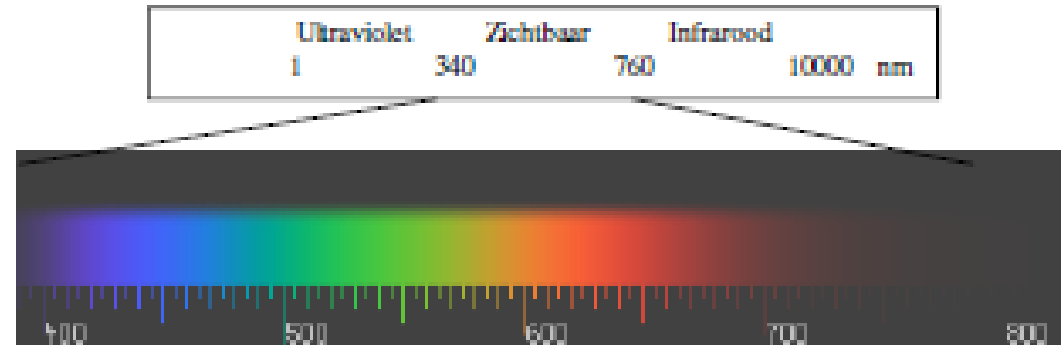
# STRALINGSENERGIE

Verband tussen golflengte en frequentie:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Verband tussen frequentie en energie:

$$E = h \cdot f$$



$\lambda$  [m] 

$f$  [Hz] 

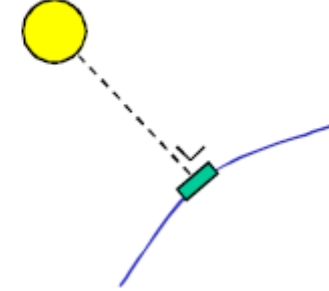
$E$  [eV] 

# STRALINGSENERGIE

## 2. Zonlicht

### Zon als energiebron

- kernfusie in de kern van de zon
- kerntemperatuur: 20 miljoen K
- oppervlaktetemperatuur ongeveer 6000 K
- straling benadert zwarte straling (voldoet aan stralingswet van Planck)



### Zonneconstante

Het uitgestraalde vermogen per eenheid van oppervlak, loodrecht op richting van de zon, bij gemiddelde zon/aarde afstand is constant buiten de atmosfeer van de aarde. Dit vermogen is de zonneconstante en wordt gedefinieerd als *air mass zero (AM0)*.

$$AM0 = 1353 \text{ W/m}^2$$



# STRALINGSENERGIE

## 2. Zonlicht

### Piekvermogen:

- standaardmetingen gebeuren bij AM 1,5 en een ingestraald vermogen van  $1 \text{ kW/m}^2$
- piekvermogen van een zonnecel = het vermogen gegenereerd onder standaard licht (AM 1,5 en  $1000 \text{ W/m}^2$ ) bij een zonneceltemperatuur van  $25^\circ\text{C}$

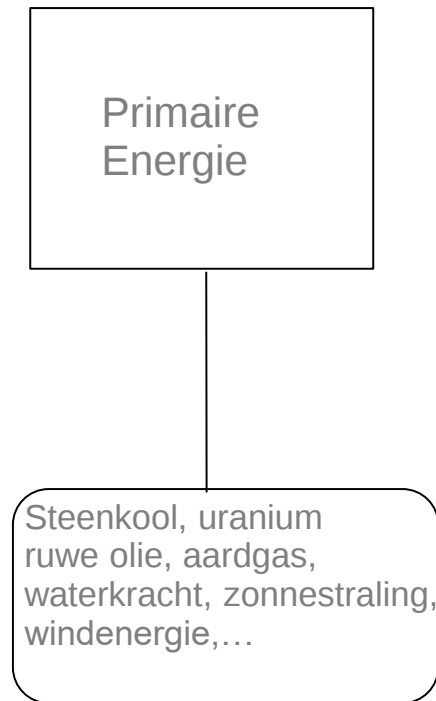
### Directe en diffuse instraling:

- de zonne-instraling bestaat uit een direct en een diffuus gedeelte

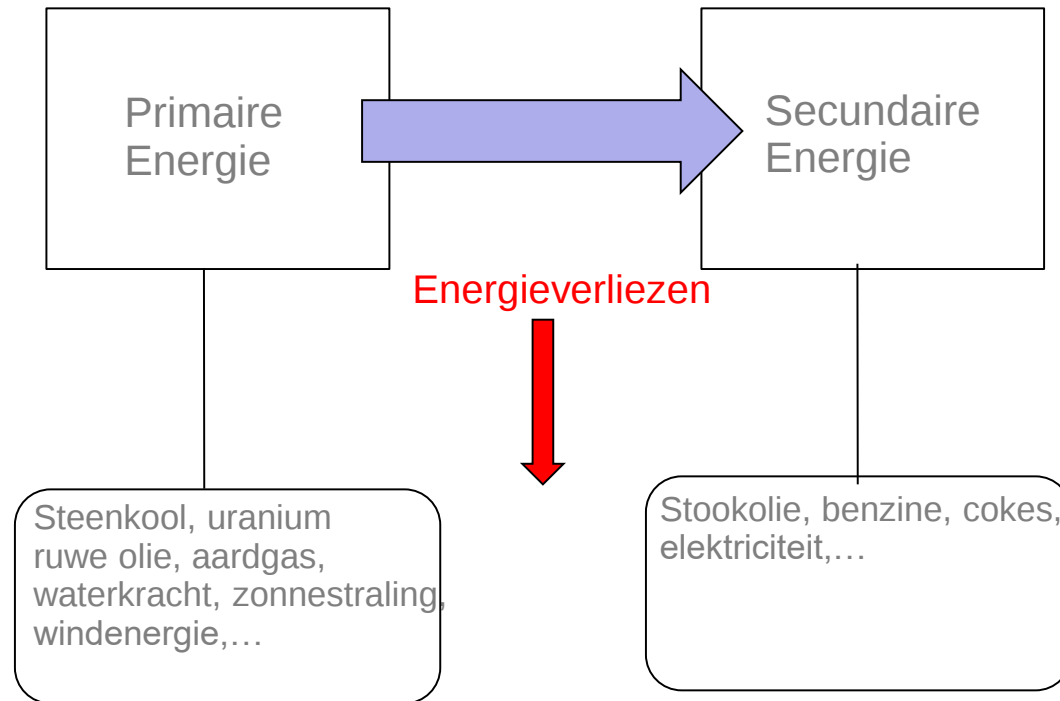
| <b>Weersomstandigheden</b>                   | <b>Globale straling (<math>\text{W/m}^2</math>)</b> | <b>Diffuus deel (%)</b> |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|
| Blauwe hemel zonder wolken                   | 600 – 1000                                          | 10 – 20                 |
| Licht bewolkt, zon zichtbaar als gele schijf | 200 – 400                                           | 20 – 80                 |
| Zwaar bewolkt                                | 50 -150                                             | 80 - 100                |



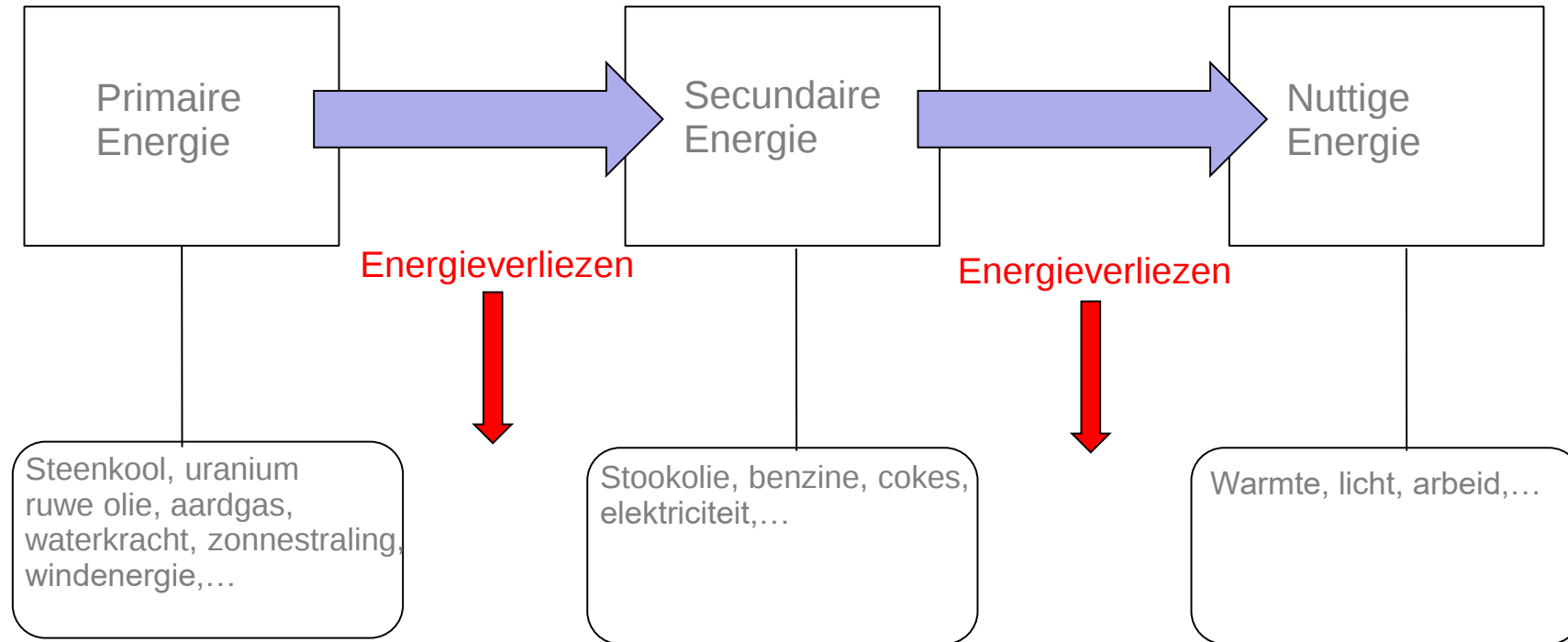
# OMZETTING VAN PRIMAIRE NAAR NUTTIGE ENERGIE



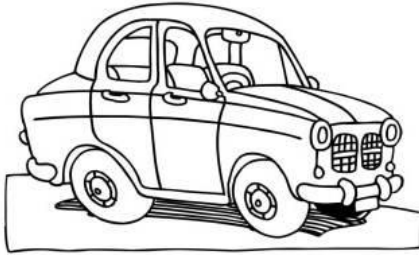
# OMZETTING VAN PRIMAIRE NAAR NUTTIGE ENERGIE



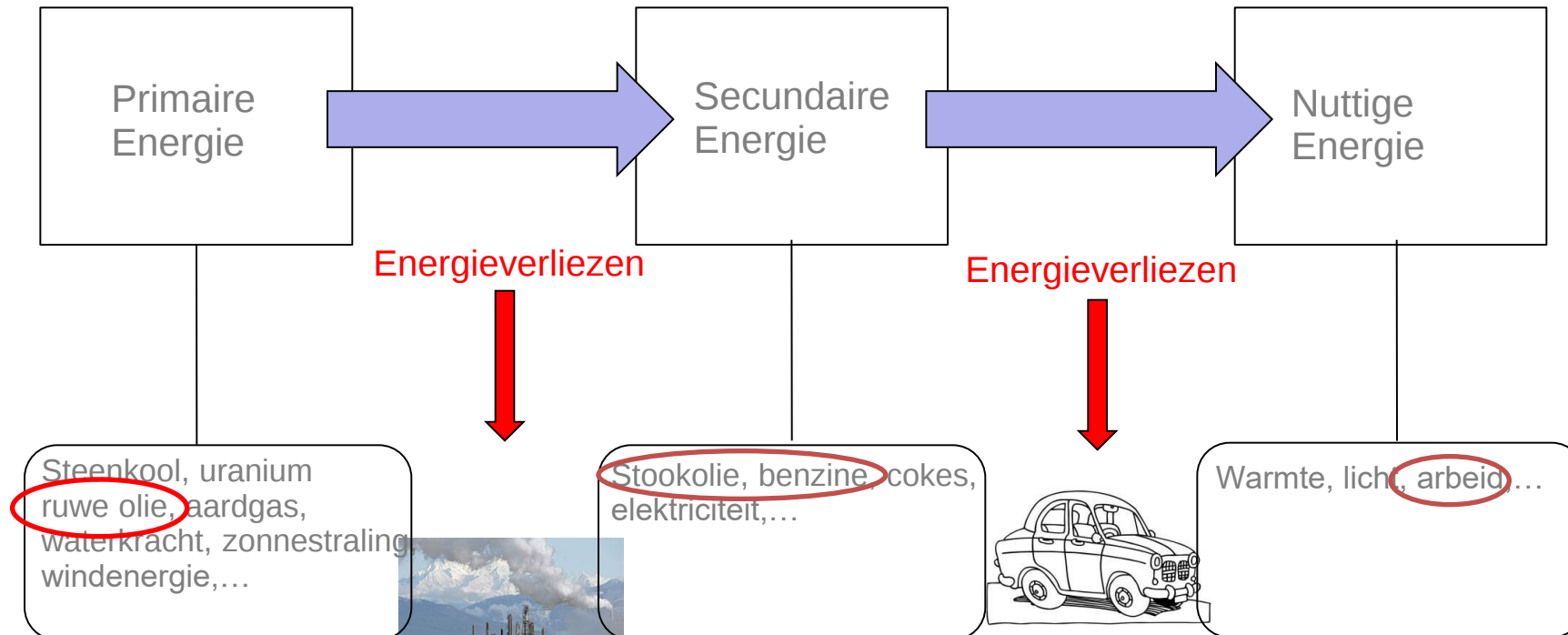
# OMZETTING VAN PRIMAIRE NAAR NUTTIGE ENERGIE



# OMZETTING VAN PRIMAIRE NAAR NUTTIGE ENERGIE



Het voorbeeld van een auto



Zo duurzaam mogelijk bereiken.

Prof. dr. ir. Jan Desmet

Gewoon-Hoogleraar

Onderzoeksgroep EnSy – Lemcko  
Vakgroep Elektromechanische Systemen en  
Metalurgische Engineering.

Universiteit Gent Campus Kortrijk  
Graaf Karel de Goedelaan 34 | 8500 Kortrijk  
Email: [janj.desmet@ugent.be](mailto:janj.desmet@ugent.be)  
Tel. +32 56 32 20 32  
<http://lemcko.ugent.be>