

# Om temperatur, energi, varmfylde, varmekapacitet og nyttevirkning

## Temperaturskala

Gennem næsten 400 år har man fastlagt temperaturskalaen ud fra isens smeltepunkt (=vands frysepunkt) og vands kogepunkt. De tre kendte, "gamle" temperaturskalaer er Celcius-skalaen, Fahrenheit-skalaen og Reamur-skalaen. Den nyeste temperaturskala er Kelvin-skalaen.

	Celcius	Reamur	Fahrenheit	Kelvin
Det absolutte nulpunkt	-273			0
Isens smeltepunkt	0	0	32	273
Vands kogepunkt	100	80	212	373

### Eksempel 1

"Stuetemperatur" sættes ofte til 20°C. Det svarer til 20+273K=293K.

Bemærk, at man bruger gradtegnet ° til temperaturer på Celsius-skalaen, men *ikke på Kelvin-skalaen*.

### Eksempel 2

Vand opvarmes fra stuetemperatur til 60°C. Så er temperaturstigningen  $\Delta t = 60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$

Hvis man i stedet regner i Kelvin, ser regnestykket således ud:

Vandet opvarmes til 60+273K=333K, og så bliver temperaturstigningen  $\Delta T = 333\text{K} - 293\text{K} = 40\text{K}$ .

Bemærk, at *en temperaturstigning i °C og i Kelvin giver samme talværdi*.

## Energi og temperatur, varmfylde og varmekapacitet

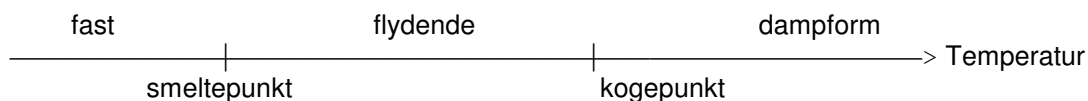
Når der tilføres energi til et stof (fx vand i en elkedel), vil stoffets temperatur stige. I løbet af nogle minutter vil vandets temperatur nærme sig 100°C, den temperatur som vi kalder vands kogepunkt.

Sammenhængen mellem energitilførsel og temperaturstigning er givet ved ligningen

$$\Delta E_{\text{tilført}} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1a)$$

$$\text{Energitilførsel} = \text{masse} \cdot \text{varmfylde} \cdot \text{temperaturstigning} \quad (1b)$$

Ligningen gælder, så længe man ikke forsøger at overskride stoffets *smeltepunkt* eller stoffets *kogepunkt*. På en temperaturskala kan vi opdele i tre områder, hvor ligningen gælder indenfor hvert af de tre områder, men ikke ved overgangen fra ét område til et andet



Måleenheden for energi er J, Joule, efter den engelske fysiker Joule. Ud fra 1a og 1b kan vi dels finde et udtryk for varmfylde  $c$ , dels finde måleenheden for varmfylde:

$$\Delta E_{\text{tilført}} = m \cdot c \cdot \Delta T \Leftrightarrow c = \frac{\Delta E_{\text{tilført}}}{m \cdot \Delta T} \Rightarrow [c] = \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad (2)$$

### Eksempel 3

1L vand opvarmes fra stuetemperatur til 100°C. Hvor stor en energimængde skal bruges?

I formelsamlingen findes  $c_{\text{vand}} = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}}$ . Så får man

$$\Delta E_{\text{tilført}} = 1\text{kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}} \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 1 \cdot 4180 \cdot 80\text{J} = 334400\text{J} = 334,4\text{kJ}$$

Bemærk, at enheden "grad" i nævneren og enheden °C i tælleren forkortes bort, så slutresultatet angives i J.

Sammenhængen mellem energitilførsel og temperaturstigning kan også skrives som

$$\Delta E_{\text{tilført}} = C \cdot \Delta T \quad (3a)$$

$$\text{Energitilførsel} = \text{varmekapacitet} \cdot \text{temperaturstigning} \quad (3b)$$

hvor

$$C = m \cdot c \quad (4a)$$

$$\text{varmekapacitet} = \text{masse} \cdot \text{varmefylde} \quad (4b)$$

Måleenheden for varmekapacitet C findes ud fra måleenheden for varmefylde:

$$C = m \cdot c \Rightarrow [C] = \text{kg} \cdot [c] = \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad (5)$$

Eksempel 4

En kedel af aluminium vejer 0,7kg. Hvad er varmekapaciteten af kedlen?

I formelsamlingen findes  $c_{\text{aluminium}} = 901 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}}$ . Så får man

$$C = m \cdot c = 0,7\text{kg} \cdot 901 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}} = 630,7 \frac{\text{J}}{\text{grad}} \approx 631 \frac{\text{J}}{\text{grad}}$$

Bemærk, at vi i eksemplet herover har set bort fra kedlens bakelit-håndtag. Det vejer 20g, og har en varmefylde på ca  $1500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}}$ . Dermed har vi set bort fra  $0,02\text{kg} \cdot 1500 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}} \approx 30 \frac{\text{J}}{\text{grad}}$ . Den samlede varmekapacitet skulle altså være  $631 \frac{\text{J}}{\text{grad}} + 30 \frac{\text{J}}{\text{grad}} \approx 660 \frac{\text{J}}{\text{grad}}$ . Vi regner dermed  $\frac{30 \frac{\text{J}}{\text{grad}}}{660 \frac{\text{J}}{\text{grad}}} \cdot 100\% \approx 4,5\%$  forkert.

## Smeltning og størkning

Ved smeltning og størkning gælder

$$\Delta E = m \cdot L \quad (6a)$$

$$\text{Energiforbrug} = \text{masse} \cdot \text{smeltevarme} \quad (6b)$$

eller

$$\text{Energiforbrug} = \text{masse} \cdot \text{fordampningsvarme} \quad (6c)$$

Dette forudsætter, at alt stof i forvejen er opvarmet til smeltepunktet eller kogepunkt.

Eksempel 5

Vands smeltevarme er 334kJ/kg. Hvor meget energi skal der bruges til smeltning af 1,5kg vand?

$$\text{Svar: } \Delta E = m \cdot L = 1,5\text{kg} \cdot 334 \text{ kJ/kg} = 501 \text{ kJ}$$

## Brændværdi

Ved forbrænding af en stofmængde med massen m udvikles energimængden  $\Delta E$ , hvor

$$\Delta E = m \cdot L \quad (7a)$$

$$\text{Energi} = \text{masse} \cdot \text{brændværdi} \quad (7b)$$

Eksempel 6

Hvor meget energi leverer spritbrænderen i et Trangia-stormkøkken, når det fyldes med 15g sprit, der har brændværdi 25,3kJ/g?

$$\text{Svar: } \Delta E = m \cdot L = 15\text{g} \cdot 25,3 \text{ kJ/g} = 379,5 \text{ kJ}$$

## Energi og effekt

Sammenhængen mellem energien  $\Delta E$  og effekt  $P$  er

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta E = P \cdot \Delta t \quad (8a)$$

$$\text{Effekt} = \text{Energi} / \text{tid} \Leftrightarrow \text{Energi} = \text{Effekt} \cdot \text{tid} \quad (8b)$$

Enheden for effekt er W, Watt, opkaldt efter James Watt. Sammenhængen med energienheden J er

$$\text{Effekt} = \text{Energi} / \text{tid} \Leftrightarrow W = J / s \quad (9a)$$

eller

$$\text{Energi} = \text{Effekt} \cdot \text{tid} \Leftrightarrow J = Ws \quad (9b)$$

Ved jævnstrøm kan man beregne effekten som

$$P = U \cdot I \quad (10a)$$

$$\text{Effekt} = \text{Spænding} \cdot \text{strøm} \quad (10b)$$

og dermed fås også sammenhængen mellem enhederne for effekt, spænding og strømstyrke

$$W = V \cdot A \quad (11)$$

## Nye og gamle måleenheder

En "gammeldags" måleenhed for energi er kWh, kilowatttimer. Sammenhængen med den moderne enhed J findes af

$$1\text{kWh} = 1000\text{Wh} = 1000\text{W} \cdot 1\text{h} = 1000\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3600000\text{Ws} = 3600000\text{J} = 3,6\text{MJ} \quad (12)$$

## Isoleret system

Definition

Et isoleret system er et system, der ikke udveksler energi med omgivelserne

Det er vanskeligt at lave et isoleret system i praksis. Men vi kender det da et eksempel på et system, som i det store og hele er et isoleret system: En termokande med kaffe. Når den varme kaffe er hældt på termokanden, håber vi på, at der ikke sker energiudveksling med omgivelserne. Vi håber nemlig på, at kaffen i termokanden kan holde temperaturen i lang tid. Men vi ved også godt, at systemet i virkeligheden ikke er isoleret: Hvis man venter længe nok, vil kaffen i termokanden blive kold, fordi der hele tiden transporteres varmeenergi ud gennem termokanden til omgivelserne uden for termokanden.

Ud fra definitionen kan man formulere følgende sætninger om et isoleret system:

Sætning

I et isoleret system er den samlede energi konstant.  $E_{\text{samlet}} = \text{konstant}$  (13a)

## Sætning

$$\text{I et isoleret system er } \Delta E_{\text{afgivet}} = \Delta E_{\text{modtaget}} \quad (13b)$$

Det er denne sætning, der bruges i praksis. Den betyder jo, at hvis én del af et isoleret system afgiver energi, så vil en anden del af det isolerede system modtage en tilsvarende energimængde.

### Eksempel 7

Beregn sluttemperaturen, når man blander 2dL kaffe (med temperaturen 95°C) med 0,2dL mælk med temperaturen 5°C

Svar:  $\Delta E_{\text{afgivet}}(\text{kaffe}) = \Delta E_{\text{modtaget}}(\text{mælk})$

Heraf fås  $m_{\text{kaffe}} \cdot c_{\text{vand}} \cdot (95^\circ\text{C} - t_{\text{fælles}}) = m_{\text{mælk}} \cdot c_{\text{vand}} \cdot (t_{\text{fælles}} - 5^\circ\text{C})$

idet vi antager, at vi kan bruge værdien for vands varmekapacitet både for kaffen og mælken. Da vands varmekapacitet indgår på begge sider af lighedstegnet, kan den forkortes bort. Når værdierne indsættes fås

$$\begin{aligned} 0,2\text{kg} \cdot (95^\circ\text{C} - t_{\text{fælles}}) &= 0,02\text{kg} \cdot (t_{\text{fælles}} - 5^\circ\text{C}) \\ \Leftrightarrow 0,2\text{kg} \cdot 95^\circ\text{C} - 0,2\text{kg} \cdot t_{\text{fælles}} &= 0,02\text{kg} \cdot t_{\text{fælles}} - 0,02\text{kg} \cdot 5^\circ\text{C} \\ \Leftrightarrow 0,2\text{kg} \cdot 95^\circ\text{C} + 0,02\text{kg} \cdot 5^\circ\text{C} &= 0,02\text{kg} \cdot t_{\text{fælles}} + 0,2\text{kg} \cdot t_{\text{fælles}} \\ \Leftrightarrow 19\text{kg} \cdot ^\circ\text{C} + 0,1\text{kg} \cdot ^\circ\text{C} &= 0,22\text{kg} \cdot t_{\text{fælles}} \\ \Leftrightarrow 19,1\text{kg} \cdot ^\circ\text{C} &= 0,22\text{kg} \cdot t_{\text{fælles}} \\ \Leftrightarrow t_{\text{fælles}} &= 19,1^\circ\text{C} / 0,22 = 86,82^\circ\text{C} \approx 86,8^\circ\text{C} \end{aligned}$$

## Nyttevirkning

Ved nyttevirkning forstår vi forholdet mellem udnyttet energi og forbrugt energi

$$\eta = \frac{\Delta E_{\text{udnyttet}}}{\Delta E_{\text{forbrugt}}} \quad (14)$$

Da der sædvanligvis går energi tabt i fysiske processer, vil den udnyttede energi sædvanligvis være mindre end den forbrugte energi, og dermed vil nyttevirkningen sædvanligvis være mindre end 1.

I stedet for at angive nyttevirkningen som et tal mellem 0 og 1 kan man angive nyttevirkningen i procent. Nyttevirkningen vil da sædvanligvis være mindre end 100%

### Eksempel 8

En af skolens elkedler (med effekten 2000W) skal være tændt i 5 minutter for at bringe 1L vand i kog. Hvor stor er nyttevirkningen af denne elkedel?

Svar: Vi beregner  $\Delta E_{\text{tilført}} = P \cdot \Delta t$ , hvor  $\Delta t$  er tiden i sekunder, og  $\Delta E_{\text{modtaget}} = m \cdot c \cdot \Delta T$ , hvor  $\Delta T$  er temperaturstigningen:

$$\Delta E_{\text{tilført}} = P \cdot \Delta t = 2000\text{W} \cdot 5 \cdot 60\text{s} = 600000\text{J} = 600\text{kJ}$$

$$\Delta E_{\text{modtaget}} = m \cdot c \cdot \Delta T = 1\text{kg} \cdot 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{grad}} \cdot (100^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 4180 \cdot 90\text{J} = 376200\text{J} = 376,2\text{kJ}$$

Heraf fås nyttevirkningen

$$\eta = \frac{\Delta E_{\text{udnyttet}}}{\Delta E_{\text{forbrugt}}} = \frac{376,2\text{kJ}}{600\text{kJ}} = 0,627 = 62,7\%$$

## Hvilke eksperimenter kan man lave?

### Vandblanding

Termobægre, termometer, vægt. Koldt vand i bæger, bestem masse og temperatur. Varmt vand i et andet bæger, bestem masse og temperatur. Hæld det kolde vand over i det varme, mål temperatur. Passer det? (Beregn forventet fælles-temperatur).

### Varmekapacitet af gryde

Bestem grydens masse. Opvarm vand i elkedel. Når vandet koger, hældes noget af vandet over i gryden. Mål temperaturen, aflæs den stabile sluttemperatur. Beregn grydens varmekapacitet ud fra masser og temperaturændring.

Kan også gennemføres med kedel, messingkalorimeter, kaffekop....

### Varmefylde for lod

Bestem loddets masse. Hæld koldt vand i termobæger, bestem temperaturen. Opvarm vand i elkedel, og anbring loddet i det kogende vand i nogle minutter. Overfør loddet til termobægeret med koldt vand, og mål fællestemperaturen. Beregn loddets varmfylde.

Kan gennemføres med forskellige typer af lodder, messing, bly, aluminium, og med andre objekter, fx sten.

### Sammenlign varmfylde for forskellige lodder

Tag 3 lodder af forskellige materialer, men med samme masse. Opvarm vand i elkedel, og anbring lodderne i det kogende vand i nogle minutter. Hæld koldt vand i 3 termobægre, bestem temperaturen. Overfør loddet til termobægeret med koldt vand, og mål fællestemperaturen. Hvor stiger temperaturen mest? Hvilket lod har størst varmekapacitet? Hvilket stof har størst varmfylde? Beregn loddernes varmfylde.

### Opvarmning af vand i kedel på kogeplade

Energimåler, kogeplade, kedel, termometer. Bestem massen af kedlen. Hæld vand i, og bestem massen af vandet. Bestem vandets (og kedlens) temperatur. Tilslut kogepladen til lysnettet "gennem" energimåleren. Sæt kedlen på kogepladen, og tænd for kogepladen. Sluk kogepladen når vandet i kedlen koger, og aflæs energimåleren. Beregn hvor meget energi der er tilført til vandet. Det er den "nyttiggjorte" energi. Beregn den energimængde der er tilført til kogepladen, det er den tilførte energimængde. Bestem nyttevirkningen af kogeplade og kedel.

Tilsvarende undersøgelser kan gennemføres for gryde på kogeplade og for elkedel.

### Smeltevarme

Isterning, termobæger, lunkent vand, termometer. Læg isterningen på bordet. Tør vanddråberne af den, lige før den skal bruges.

Hæld lunkent vand i termobægeret, og bestem vandets masse og temperatur. Aftør isterningen, og kom den så ned i vandet i termobægeret. Hold insterningen under vandoverfladen hele tiden. Når isterningen er smeltet, bestemmes sluttemperaturen. Herefter bestemmes isens smeltevarme.

### Brændværdi af gas

Campinggas-brænder, kedel, termometer. Bestem massen af kedlen. Hæld vand i, og bestem massen af vandet. Bestem vandets (og kedlens) temperatur. Bestem massen af gasflasken. Sæt kedlen på gasbrænderen, og tænd for gassen. Sluk for gassen, når vandet koger. Bestem massen af gasflasken, og regn ud, hvor meget gas der er brugt. Beregn hvor meget energi der er tilført til vandet. Det er den "nyttiggjorte" energi. Find gassens brændværdi i databogen, og beregn hvor meget energi der er brugt til opvarmningen af kedel og vand. Det er den tilførte energimængde. Bestem nyttevirkningen af gasbrænder og kedel.

### Eftervarme i kogeplade

Kogeplade, to kedler, termometer. Hæld 1L vand i hver kedel. Sæt den første kedel på kogepladen, tænd, og bring vandet i kog. Gør samtdig den anden kedel klar. Mål temperaturen i vandet, lige før vandet i den første kedel koger. Sluk kogepladen, når vandet koger, og tag kedlen af. Sæt den anden kedel på den slukkede kogeplade, og mål temperaturen, indtil den ikke stiger mere. Beregn, hvor meget energi der er overført fra kogeplade til kedel og vand, og find på den måde eftervarmen i kogepladen.

### Energi i lys

Plastbæger med låg, hvor der er monteret en elpære. Spændingsforsyning 0-24V=, ledninger, voltmeter, amperemeter, termometer, stanniol. Hæld vand i plastbægeret, indtil pærens glas er dækket. Forbind pæren til spændingsforsyningen, så du kan måle strømstyrke og spænding. *Få læreren til at kontrollere kredsløbet inden du tænder!* Mål temperaturen. Tænd, og aflæs spænding og strømstyrke. Vent til temperaturen i vandet ikke stiger mere, og aflæs temperaturen. Beregn den tilførte energi til pæren, og beregn den udnyttede energi i vandet. Nyt forsøg, denne gang med stanniol om pæren. Beregn igen den tilførte energi til pæren, og beregn den udnyttede energi i vandet. Sammenlign de to forsøg, og prøv at give en forklaring.

### Din hånds effekt

Lille skål, vand, termometer. Hæld så meget vand i skålen, at din hånd netop er dækket. Bestem vandets masse og temperatur. Mål temperaturen i vandet hvert minut i 15-20 minutter. Beregn, hvor meget energi din hånd har tilført vandet. Beregn også effekten.

### Afkølingskurver

Fixersalt, reagensglas, termometer. Stoffet opvarmes i reagensglasset. Efter opvarmningen følges temperaturen. Anbring reagensglas og termometer i et stativ, og aflæs temperaturen hvert minut. Pas på ikke at røre ved opstillingen. Når temperaturen er faldet til ca. 40°C omrøres let med termometeret, og temperaturen følges igen, med aflæsning hvert minut. Graf på mm-papir.

Kan også gennemføres for naftalin, kaffe i kop, varmedunk i sovepose, ...