

HVERDAGSFYSIK

Hvorfor dugger spejlet?

Indeholder bl.a.:

- Celsius- og kelvinskalaen
- Luftfugtighed, relativ luftfugtighed og dugpunkt
- Mættet vanddamps tryk som funktion af temperaturen

Forfatter: Jens Christian Hansen

Redaktør: Søren Storm

Korrekturlæst og faktatjekket af:

Vibeke Axelsen (Egaa gymnasium)

Kim Vedel Pedersen (Nørre Gymnasium)

Støttet af: **novo nordisk fonden**

Indholdsfortegnelse

Celsius- og kelvinskalaen.....	2
Mættet vanddamps tryk som funktion af temperaturen.....	2
Relativ luftfugtighed og dugpunkt.....	3
Absolut luftfugtighed.....	5

Celsius- og Kelvinskalaen

Celsius-skalaen: Lineær skala hvor 0°C og 100°C er fastlagt ud fra vands fryse- og kogepunkt ved 1 atmosfæres tryk.

Kelvin-skalaen: Kelvinskalaens nulpunkt er fastlagt, ved den tilstand i et stof, hvor den kinetiske energi af stoffets molekyler/atomer er 0 J . Kelvinskalaen er en lineær skala hvor:

- $273,15\text{ K}$ svarer til vands frysepunkt ved 1 atmosfæres tryk
- $373,15\text{ K}$ svarer til vands kogepunkt ved 1 atmosfæres tryk

Sammenhængen mellem de to temperaturskalaer:

$$\begin{aligned} \text{Fra kelvin (T) til, celsius (t):} \quad & t = T \cdot \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{K}} - 273,15^{\circ}\text{C} \\ \text{Fra celsius (t) til kelvin (T):} \quad & T = t \cdot \frac{\text{K}}{^{\circ}\text{C}} + 273,15\text{ K} \end{aligned}$$

Mættet vanddamps tryk som funktion af temperaturen

Atmosfærisk luft indeholder vanddamp. Mængden af vanddamp, som luften kan indeholde, afhænger af temperaturen, og der er en øvre grænse for, hvor meget vanddamp luft kan indeholde. Ved denne øvre grænse for mængden af vanddamp, siger man at luften er mættet med vanddamp.

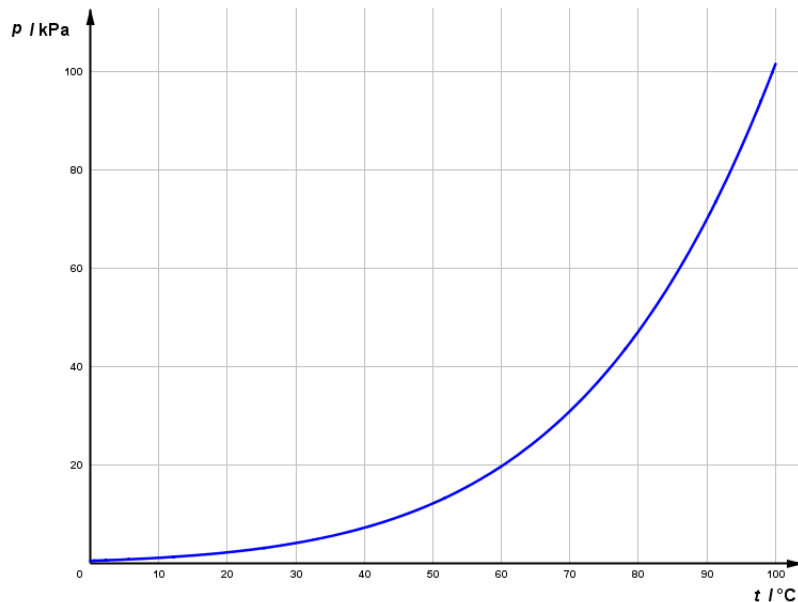
Der findes ikke et eksakt udtryk, for mættet vanddamps tryk som funktion af temperaturen. Men man kan, under antagelse af at idealgasloven gælder for vanddamp, vise at mættet vanddamps tryk ved temperaturen T med god tilnærmelse er givet ved:

$$p_{\text{mættet damptryk}}(T) = p_0 \cdot e^{\frac{L_f}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)}$$

hvor p_0 er det tryk, der svarer til kogepunktet T_0 , L_f er vands fordampningsvarme, og R er gaskonstanten. Omskrives formelen så temperaturen måles i enheden $^{\circ}\text{C}$ og indsættes værdierne $p_0 = 101,33\text{ kPa}$, $T_0 = 373,15\text{ K}$, $L_f = 40650 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$ og $R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ fås:

$$p_{\text{mættet damptryk}}(t) = 101,33 \text{ kPa} \cdot e^{\frac{40650 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left(\frac{1}{373,15} - \frac{1}{273,15+t} \right) \frac{1}{\text{K}}}$$

hvor temperaturen indsættes uden enhed, så 70 °C indsættes som 70. På figur 1 herunder ses grafen for $p_{\text{mættet damptryk}}(t)$, afbildet som funktion af temperaturen t .



Figur 1: Mættet vanddamps tryk, målt i kPa, angiver det partielle tryk der udgøres af vanddamp, ved en bestemt temperatur, når luften er mættet med vanddamp, og den relative luftfugtighed (RF) derfor er 100%.

Relativ luftfugtighed og dugpunkt

Vanddamp i den atmosfæriske luft yder et tryk. Når man måler lufttrykket, er det tryk man måler, det samlede tryk af vanddampen og den tørre luft (Daltons lov).

$$p_{\text{luft}} = p_{\text{tør luft}} + p_{\text{damptryk}}$$

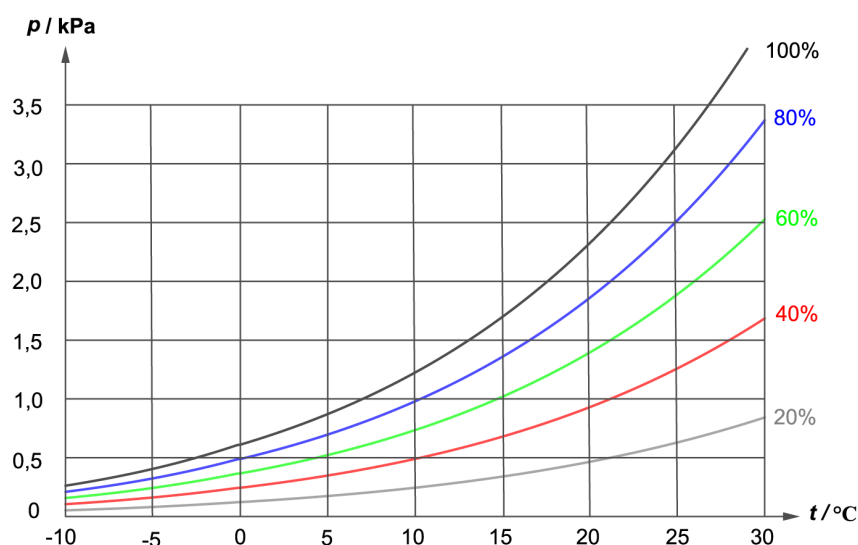
Luftfugtighed angives typisk i *den relative luftfugtighed (RF)*, som er forholdet mellem det tryk vanddampen yder, og det tryk mættet vanddamp yder ved samme temperatur.

$$RF = \frac{p_{\text{damptryk}}}{p_{\text{mættet damptryk}}} \quad \text{eller} \quad p_{\text{damptryk}} = RF \cdot p_{\text{mættet damptryk}}$$

RF angives som hovedregel i %. I formlen til beregning af p_{damptryk} ovenfor indsættes RF dog som decimaltal. På visse hjemmeterminometre kan man udover temperaturen, også aflæse luftfugtigheden. Det kan fx være at der står 36%, i så fald er der tale om den relative luftfugtighed.

På nedenstående figur 2 ses en afbildning af vanddamps tryk ($p_{vanddamp}$), som funktion af temperaturen t . Der er tegnet kurver for forskellige relative luftfugtigheder. Disse kurver er fremkommet ved brug af sammenhængen fra figur 1, og formelen for relativ luftfugtighed

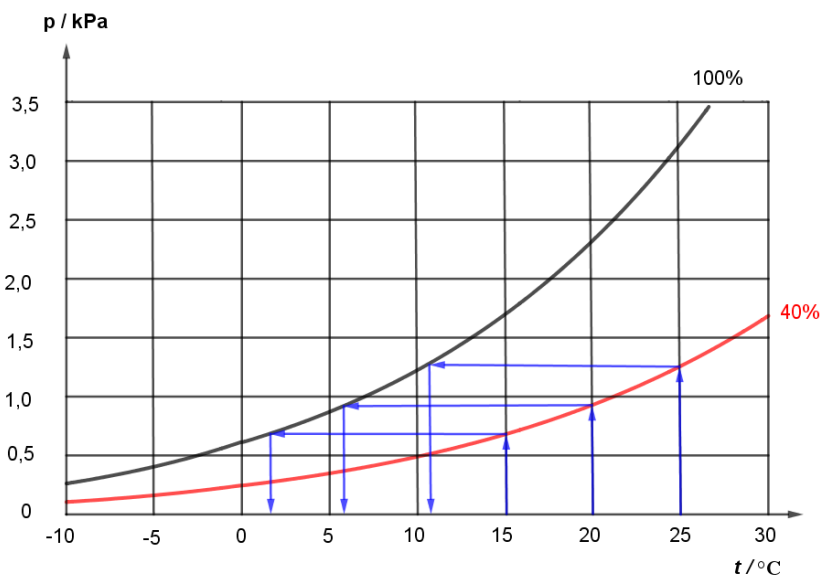
$$p_{damptryk} = RF \cdot p_{m\ddot{a}ttet\ damptryk}(t)$$



Figur 2: Mættet vanddamps tryk ($p_{vanddamp}$) målt i kPa, angiver det partielle tryk der udgøres af vanddamp, ved en bestemt temperatur. Hver kurve repræsenterer her en relativ luftfugtighed (RF), på enten 20%, 40%, 60%, 80% eller 100%.

Hvis den relative fugtighed er under 100% ved en given temperatur, og luften derefter afkøles, vil den relative fugtighed stige. Derfor vil den ved en bestemt temperatur nå 100%. Man siger, at luften har nået *dugpunktet* og der dannes vanddråber.

Nedenfor er vist et uddrag af figur 2, hvor der kun er vist kurver for 100% og 40 % relativ luftfugtighed.



Figur 3: Mættet vanddamps tryk ($p_{vanddamp}$) målt i kPa. Pilene angiver hvordan man finder dugpunktstemperaturen, hvis den relative luftfugtighed er 40%, og lufttemperaturen t er 25 °C, 20 °C, eller 15 °C

På figur 3 ses grafisk hvordan man bestemmer dugpunktet, hvis den relative luftfugtighed er 40%, og temperaturen er 25 °C. Man går lodret op fra 25 °C på førsteaksen, indtil man 'rammer' kurven for $RF = 40\%$. Derefter går man vandret mod venstre (svarer til en temperatursænkning), indtil man 'rammer' kurven for mættet vanddamp, og til sidst går man lodret ned til førsteaksen og aflæser dugpunktstemperaturen til at være ca. 11 °C. På tilsvarende måde bestemmes dugpunktet ved samme relative luftfugtighed ved 15 °C og 20 °C.

Absolut luftfugtighed.

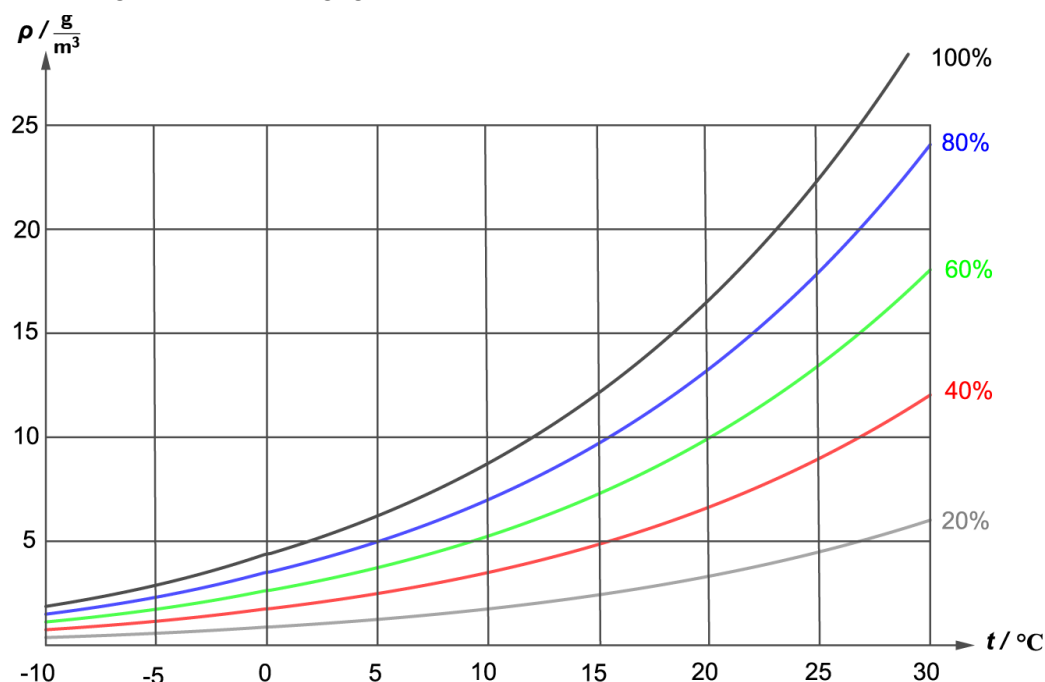
Man kan også tale om *den absolutte luftfugtighed*, hvilket er massefylden ρ af den vanddamp, der er til stede i et rumfang V .

$$\rho = \frac{m_{damp}}{V}$$

Desuden bruges, specielt indenfor meteorologien, *den specifikke luftfugtighed* som er forholdet mellem vanddampens masse og massen af den luftmængde, der indeholder vanddampen.

$$\rho_{specifik} = \frac{m_{damp}}{m_{luft}}$$

Figur 4 viser den absolutte luftfugtighed ρ afbildet som funktion af temperaturen t . Der er tegnet kurver for forskellige relative luftfugtigheder



Figur 4. Den absolutte luftfugtighed (ρ) målt i g/m^3 , angiver hvor mange gram vanddamp der er i luften per kubikmeter. Hver kurve repræsenterer her en relativ luftfugtighed (RF), på enten 20%, 40%, 60%, 80% eller 100%. Ud fra figuren kan man bestemme den absolutte luftfugtighed. Hvis den relative luftfugtighed fx. er 60 % og lufttemperaturen t er 20 °C, går man lodret op fra 20 °C på førsteaksen, indtil man 'rammer' kurven for $RF = 60\%$. Derefter går man vandret mod venstre og aflæser, at luften indeholder ca. 10 g vand pr kubikmeter.

Dugpunktstemperaturen

I temperaturintervallet fra 0 °C til 50 °C afhænger dugpunktstemperaturen t_d , med god tilnærmelse, lineært af lufttemperaturen. Fejlen ved at bruge nedenstående lineære grafer, er derfor meget lille, da fejlen ligger i intervallet $-0,05$ °C til $0,02$ °C. Fordelen ved de lineære grafer er, at de er lettere at bestemme dugpunktet på, ved en given lufttemperatur, fremfor at bruge metoden ovenfor. I grafen er vist et eksempel på bestemmelse af dugpunktstemperaturen.

