

# Temperatur/Feuchte

## Inhalt

<b>Messprinzipien und Sensoren zur Temperaturmessung .....</b>	<b>2</b>
Mechanische Thermometer .....	2
Bimetallthermometer .....	2
Gasdruckthermometer.....	2
Flüssigkeitsglasthermometer .....	2
Elektrische Thermometer .....	3
Widerstandsthermometer .....	3
Thermoelemente .....	4
Strahlungsthermometer (Pyrometer) .....	7
Sonstige Temperaturmessverfahren .....	7
<b>Messprinzipien und Sensoren zur Feuchtemessung .....</b>	<b>8</b>
Begriffe.....	8
Relative Feuchte.....	8
Absolute Feuchte.....	8
Wasserdampfpartialdruck, Sättigungsdampfdruck .....	9
Taupunkt .....	9
Frostpunkt .....	10
spezifische Enthalpie (Wärmeinhalt) .....	10
Mischungsverhältnis .....	10
Feuchtkugeltemperatur.....	10
Sensoren und Messprinzipien.....	10
Mechanische Feuchtemessung.....	10
Psychrometrische Feuchtemessung.....	11
Elektronische Feuchtemessung .....	11
Gegenüberstellung der verschiedenen Verfahren .....	12
Sonstige Feuchtemessverfahren .....	13

# Messprinzipien und Sensoren zur Temperaturmessung

## Mechanische Thermometer

Auf der räumlichen Ausdehnung von gasförmigen, flüssigen oder festen Stoffen unter Temperatureinfluss beruhen die mechanischen Temperaturmessverfahren. Ist die funktionale Abhängigkeit der thermischen Ausdehnung eines Stoffes aus physikalischen Berechnungen oder empirischen Verfahren bekannt und reproduzierbar, so kann diese Stoffeigenschaft zur Messung von Temperatur herangezogen werden.

### Bimetallthermometer

Das temperaturempfindliche Sensorelement ist ein als Spiral - oder Schraubenfeder ausgeführter Bimetallstreifen. Ein Bimetallstreifen ist ein aus zwei Materialien mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten bestehendes Messelement. Die Werkstoffkoeffizienten werden so gewählt, dass sich eine möglichst grosse Differenz der Wärmeausdehnungskoeffizienten ergibt. In Abhängigkeit von der Temperatur ändert sich also der Drehwinkel einer Bimetallspirale.

Die Beziehung zwischen Drehwinkel und Temperatur kann mit folgender Formel beschrieben werden:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{\pi} \frac{a \cdot l}{s} (t_2 - t_1) \text{ , wobei}$$

a: spezifische thermische Ausdehnung

l: Länge des Bimetallstreifens

s: Dicke des Bimetallstreifens

### Gasdruckthermometer

Bei Gasdruck-Federthermometern ist das gesamte abgeschlossene System mit einem inerten Gas oder Gasgemisch gefüllt. Die temperaturabhängige Gasdruckänderung wird über die Kapillarleitung und die elastische Messfeder zur Anzeige geführt.

Mithilfe der Van-der-Waalschen Zustandsgleichung wird die Beziehung zwischen Fülldruck und Temperatur berechnet.

### Flüssigkeitsglasthermometer

Flüssigkeitsglasthermometer sind eine weit verbreitete Form der Ausdehnungsthermometer. Die Wirkungsweise beruht auf der thermischen Ausdehnung von Flüssigkeiten. Durch Variation des Volumens des Thermometergefäßes kann die Empfindlichkeit des Thermometers beeinflusst werden. Die gebräuchlichsten Thermometerflüssigkeiten sind Quecksilber, Gallium und Alkohol.

## Elektrische Thermometer

### Widerstandsthermometer

Metall-Widerstandsthermometer ändern ihren elektrischen Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Änderung des elektrischen Widerstandes unter Temperatureinfluss hat seine Ursache im Leitungsmechanismus der Metalle. Grundlage für die Leitfähigkeit von Metallen sind die im Atomgitter frei beweglichen Elektronen. Ihre Anzahl und Bewegungsenergie sind temperaturabhängig. Wird nun über eine Temperaturerhöhung den Metallatomen Energie zugeführt, schwingen sie mit einer entsprechend grösseren Amplitude und Frequenz. Der Elektronenbewegung wird zunehmend ein Widerstand entgegengesetzt, der der Erhöhung des elektrischen Widerstandes entspricht. Da sich der elektrische Widerstand proportional zur Temperatur erhöht spricht man von einem **positiven Temperaturkoeffizienten**.

Das Metall mit den besten Eigenschaften ist Platin und daraus resultierend das Pt-Widerstandsthermometer das wichtigste in der Temperaturmesstechnik. Weitere Metalle die zur Temperaturmessung verwendet werden sind Kupfer (Cu), Nickel (Ni) oder Molybdän (Mo).

Das Platin-Widerstandsthermometer wird in der EN 60751 ausführlich beschrieben. Am häufigsten wird das sogenannte Pt100-Widerstandsthermometer eingesetzt. Das Thermometer hat bei  $t = 0 \text{ °C}$  einen Nennwiderstand von  $R = 100 \text{ W}$  und es gehorcht folgender Gleichung

im Bereich  $-200$  bis  $0 \text{ °C}$ :

$$R(t) = R_0 (1 + At + Bt^2 + C(t - 100 \text{ °C})t^3)$$

im Bereich  $0$  bis  $850 \text{ °C}$ :

$$R(t) = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

wobei gilt:

$$R_0 = 100,00 \text{ W}$$

$$A = 3,9083 \times 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$$

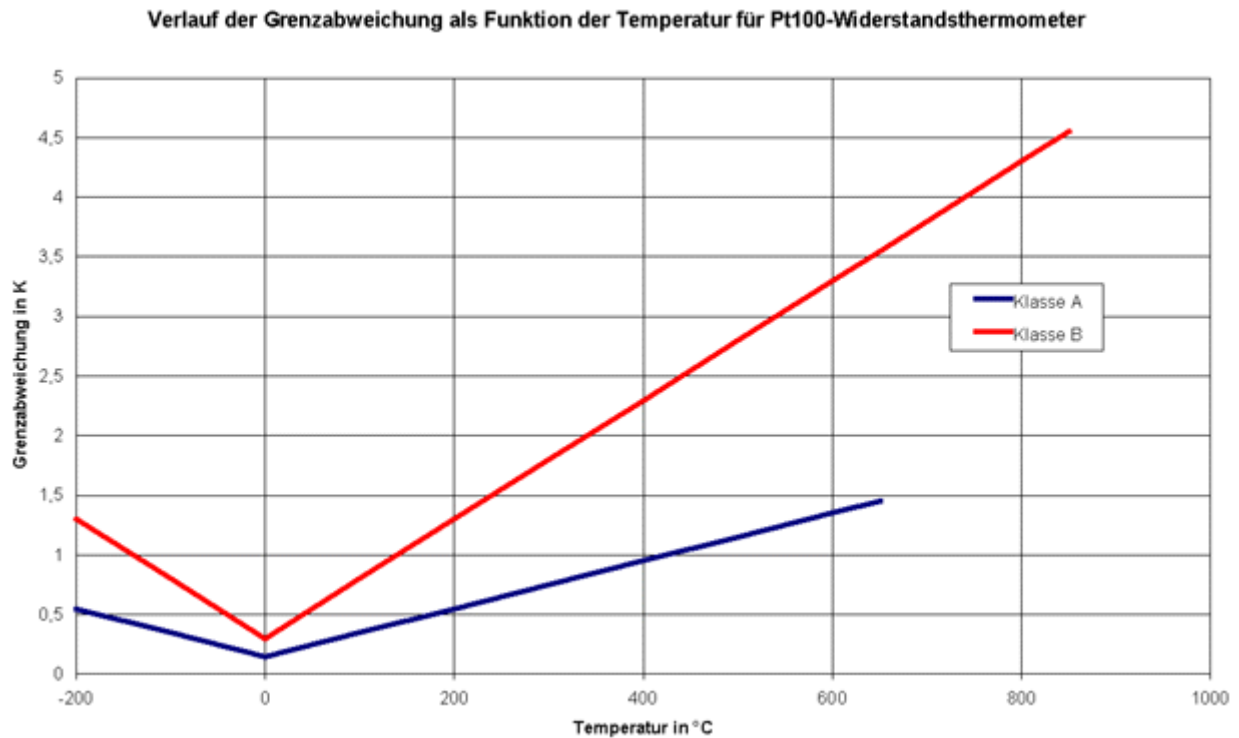
$$B = -5,775 \times 10^{-7} \text{ °C}^{-2}$$

$$C = -4,183 \times 10^{-12} \text{ °C}^{-4}$$

Das Pt100-Widerstandsthermometer ist in zwei Genauigkeitsklassen eingeteilt:

Klasse A:  $(0,15 + 0,002 | t |) \text{ °C}$

Klasse B:  $(0,30 + 0,005 | t |) \text{ °C}$



## Thermoelemente

Das Messprinzip des Thermoelementes beruht auf dem von *Seebeck* entdeckten Effekt, dass an den Enden zweier Drähte aus verschiedenen Werkstoffen eine Spannung entsteht, wenn die Temperatur an der Verbindungsstelle der beiden Werkstoffe eine andere ist als die an den Klemmen des Temperaturmessgerätes.

Nach neusten Erkenntnissen beruht dieser Effekt auf einer materialspezifischen Eigenschaft von elektrisch leitfähigen Materialien. Im Inneren eines Leiters stellt sich eine Verschiebung der Elektronendichte ein (Volumendiffusionseffekt), wenn über dem Leiter ein Temperaturgradient besteht. Die Ansammlung der Elektronen wird dichter im Bereich der niedrigen Temperaturen.

Benutzt man ein Thermopaar aus zwei geeigneten Werkstoffen, wie zum Beispiel NiCr und Ni so lässt sich die Thermospannung dieser Materialpaarung messen. In nachfolgender Tabelle ist die Thermoelektrische Spannungsreihe gegen Platin bei 100°C Messstellentemperatur und 0°C Vergleichsstellentemperatur dargestellt.

Werkstoff	Spannungswert in mV
Tellur	50
Silizium	45
Silit	27
Antimon	4,8
Nickel-Chrom (85Ni-10Cr)	2,55
Eisen	1,9
Platin-Rhenium	1,5
Molybdän, Uran	1,2
Messing	1,1
Iridium-Rhodium (40IR, 60Rh)	1,0

Wolfram, Edelstahl (V2A)	0,8
Kupfer	0,75
Silber, Gold, Zink	0,7
Manganin (86Cu, 12Mn, 2Ni)	0,68
Rhodium	0,65
Iridium-Rhodium (40Ir, 66Rh)	0,64
Platin-Rhodium (10%)	0,64
Iridium	0,63
Phosphorbronze	0,52
Tantal, Cäsium	0,5
Blei, Iridium-Rhodium	0,45
Aluminium, Magnesium, Zink	0,4
Graphit	0,2
<b>Platin, Quecksilber</b>	<b>0,0</b>
Thorium	-0,1
Natrium	-0,21
Palladium	-0,3
Kalium	-0,94
Neusilber (Cu, Ni, Zn)	-1,0
Nickel	-1,55
Kobalt	-1,6
Konstantan (55Cu, 45Ni)	-3,5
Wismut, senkrecht zur Achse	-5,2
Wismut, parallel zur Achse	-7,7

Thermoelemente und Ausgleichsleitungen sind durch Farbcodes definiert. Leider sind diese Codierungen oft landesabhängig. In untenstehenden Internetadressen findet man die Farbcodierung der gebräuchlichsten Thermoelementtypen

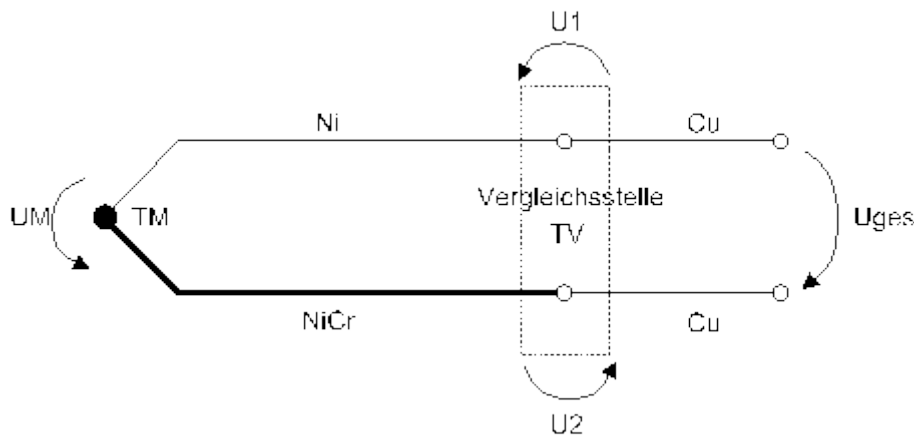
<http://world.omega.com/germany/techref/thcpref1.html>

<http://world.omega.com/germany/techref/thcpref2.html>

<http://world.omega.com/germany/techref/thcpref3.html>

Vergleichsstellenkompensation bei Thermoelementen:

Bei Thermoelementen werden zwei Drähte aus unterschiedlichen Werkstoffen an der Messstelle verbunden. Werden diese sogenannten Thermoleitungen mit Kupferleitungen verbunden nennt man diese Übergangsstelle Vergleichsstelle. Die an der Vergleichsstelle gemessene Thermospannung ist direkt proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Messstelle und Vergleichsstelle. In untenstehendem Beispiel ist ein Thermoelement vom Typ K dargestellt.



Die Gesamtspannung  $U_{ges}$  berechnet sich wie folgt:

$$U_{ges} = U_1 + U_M + U_2$$

$$U_{ges} = U_{Cu-NiCr}|_{T_v} + U_{NiCr-Ni}|_{T_w} + U_{Ni-Cu}|_{T_v}$$

$$U_{ges} = U_{Cu}|_{T_v} - U_{NiCr}|_{T_v} + U_{NiCr-Ni}|_{T_w} + U_{Ni}|_{T_v} - U_{Cu}|_{T_v}$$

$$U_{ges} = U_{NiCr-Ni}|_{T_w} - U_{NiCr-Ni}|_{T_v}$$

Man erhält also die der Temperatur proportionalen Thermospannung durch Abzug der an der Vergleichsstelle anfallenden Thermospannung. Der Einfachheit halber macht man üblicherweise die Vergleichsstellentemperatur zu Null, da alle Thermoelemente dann eine Thermospannung von 0mV aufweisen und somit die Messstellenspannung gleich der Gesamtspannung ist.

Halbleiter-Sensoren

Widerstandsthermometer auf Halbleiterbasis nutzen die temperaturabhängige Änderung des elektrischen Widerstandes von halbleitenden, meist keramischen Werkstoffen zur Temperaturmessung.

Dazu gehören:

Kaltleiter (PTC)

Heissleiter (NTC)

Silizium-Messwiderstände

Ein *Kaltleiter* (*PTC-Widerstand*) ist ein temperaturabhängiger Halbleiterwiderstand, dessen Widerstandswert beim Erreichen einer bestimmten Bezugstemperatur sprunghaft ansteigt. In den Herstellerangaben sind für eine bestimmte Bezugstemperatur der zugehörige Widerstandswert, die Sprungtemperatur und die maximale Betriebsspannung. Kaltleiter sind aus dotierter polykristalliner Keramik auf der Basis von Bariumnitrat hergestellt.

*Heissleiter* werden häufig auch als *Thermistoren* oder *NTC-Widerstände* bezeichnet. Der Widerstand von Heissleitern ist nahezu exponentiell von der Temperatur abhängig. Heissleiter bestehen aus polykristalliner Mischoxydkeramik. Er wird von den Herstellern durch Kennlinien angegeben. Für den Kennlinienverlauf gilt näherungsweise die Beziehung:

$$R_T = R_{T_0} \cdot e^{B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \text{ wobei gilt}$$

$T$  : Temperatur in K

$T_0$  : Bezugstemperatur in K

$R_T$  : Widerstand bei der Temperatur  $T$

$R_{T_0}$  : Widerstand bei der Temperatur  $T_0$

$B$  : von der Form und dem Werkstoff abhängige Konstante in K

*Silizium-Messwiderstände* (spreading resistance sensor) haben einen positiven Temperaturkoeffizienten. Die Kennlinie zeichnet sich durch eine geringe Nicht-Linearität aus, die durch einfache Schaltungstechnik kompensiert werden kann.

### Strahlungsthermometer (Pyrometer)

Neben dem Wärmeaustausch durch Wärmeleitung und Konvektion tauschen Körper mit ihrer Umgebung auch Wärme durch Strahlung aus. Die Wärmestrahlung eines Messobjektes wird optisch gefiltert und auf einen Strahlungsempfänger gebündelt. Dessen elektrische Reaktion besteht in einer je nach verwendetem Prinzip direkt oder über eine Temperaturerhöhung indirekt induzierten Änderung des Widerstandes, der Spannung oder des Stromes des Strahlungsempfängers. Die elektrische Änderung wird verstärkt, gemessen und weiterverarbeitet (siehe auch VDI 3511, Blatt 4).

### Sonstige Temperaturmessverfahren

Hier eine Auflistung weiterer Temperaturmessverfahren (eingehendere Betrachtungen werden hier nicht durchgeführt):

- optische Messverfahren (Bestimmung der Intensität oder Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung eines Körpers)
- Temperaturmessfarben (physikalische Effekte von Stoffen, die Ihre Farbe in Abhängigkeit von der Temperatur ändern)
- Flüssigkeitskristalle (zur Anzeige von Oberflächentemperaturen und zur optischen Darstellung von Temperaturfeldern)
- Schwingquarz-Temperatursensoren (die Resonanzfrequenz ändert sich in Abhängigkeit von der Temperatur)
- akustische Messverfahren (temperaturabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles)
- Rauschthermometer (Temperaturabhängigkeit der mittleren Elektronengeschwindigkeit -> Brownsche Bewegung)
- Kapazitive Temperatursensoren (Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten)
- Induktive Temperatursensoren (Temperaturabhängigkeit des magnetischen Moments)

# Messprinzipien und Sensoren zur Feuchtemessung

## Begriffe

### Relative Feuchte

Einheit: %

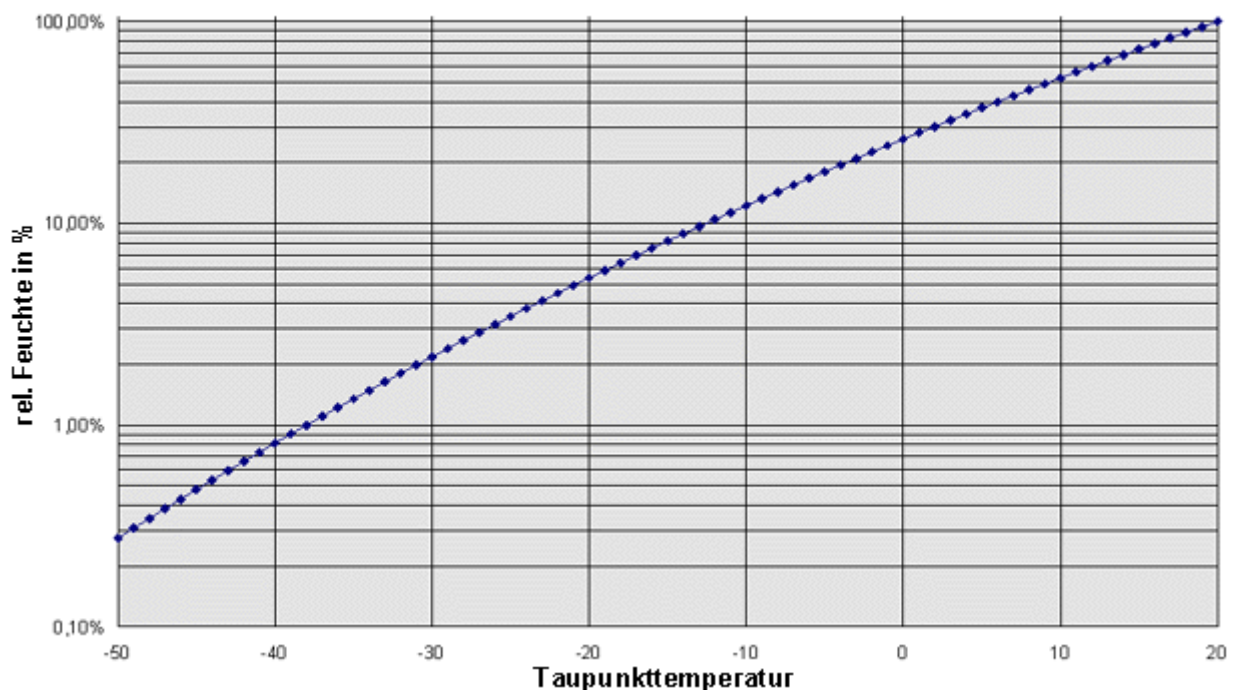
Unter der relativen Feuchte  $\varphi$  versteht man das Verhältnis der tatsächlich enthaltenen, zur maximal möglichen Masse des Wasserdampfes in der Luft. Die relative Feuchte wird üblicherweise in Prozent angegeben.

Es gilt:

$$\varphi = \frac{f_{abs}}{f_{max}} \times 100\%$$

Anmerkung: Da die maximale Feuchte temperaturabhängig ist, ändert sich mit der Temperatur die relative Feuchte, auch wenn die absolute Feuchte konstant bleibt.

Relative Feuchte in Abhängigkeit von der Taupunkttemperatur bei Lufttemperatur von  $t = 20^\circ\text{C}$



### Absolute Feuchte

Einheit:  $\text{g/m}^3$

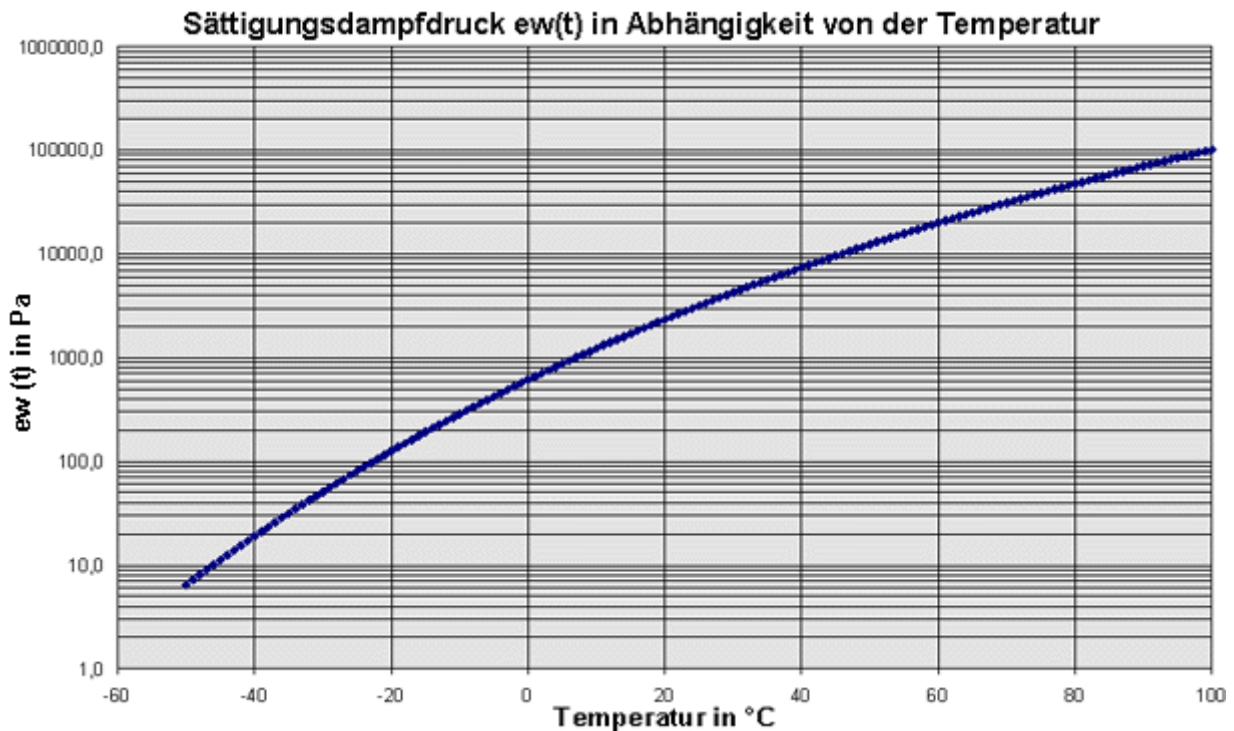
Unter absoluter Feuchte  $f_{abs}$  versteht man die in einer bestimmten Menge Luft tatsächlich enthaltene Wasserdampfmenge. Die absolute Feuchte ist das Verhältnis des Gewichtes des in der Luft enthaltenen Wassers und dem Rauminhalt dieser feuchten Luft.



## Wasserdampfpartialdruck, Sättigungsdampfdruck

Einheit: hPa

Unter dem Sättigungsdampfdruck  $e_s(t)$  versteht man den maximal möglichen Druck des Wasserdampfes bei einer bestimmten Temperatur. In untenstehendem Diagramm ist der Sättigungsdampfdruck des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Der Wasserdampfpartialdruck  $e(t)$  variiert zwischen 0 (trockene Luft) und 30hPa. Die Obergrenze ist durch den Sättigungsdampfdruck bestimmt.



## Sättigungsfeuchte, maximale Feuchte, Sättigungsmenge

Einheit:  $\text{g/m}^3$

Unter der maximalen Feuchte  $f_{max}$  versteht man die bei einer bestimmten Temperatur in einem Kubikmeter Luft maximal mögliche Wasserdampfmenge. Das Feuchteaufnahmevermögen der Luft steigt mit ansteigender Temperatur. Wird die maximale Feuchte überschritten, so schlägt sich der überschüssige Wasserdampf in Form von Kondensat (Tröpfchenbildung) nieder.

**Taupunkt**

Einheit: °C, °F, K

Unter der Taupunkttemperatur  $t_{ip}$  versteht man die Temperatur, bei der die Abkühlung feuchter Luft zur Kondensatbildung führt. Das heisst, bei einer Abkühlung feuchter Luft bis zum Taupunkt steigt die relative Feuchte auf 100%.

## Frostpunkt

**Einheit: °C, °F, K**

In manchen Abhandlungen spricht man bei Taupunkttemperaturen unter 0°C von der Frostpunkttemperatur. Andere Bezeichnungen sind auch Taupunkttemperatur über Eis bzw. Gefrierpunkt.

## spezifische Enthalpie (Wärmeinhalt)

**Einheit: kJ/kg**

Unter spezifischer Enthalpie  $E_{spez}$  versteht man die Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur eines Gases (oder Gasgemisches) bei konstantem Druck von einer Temperatur auf eine andere zu erhöhen.

oder:

Unter spezifischer Enthalpie versteht man die Wärmemenge, die in der Luftmasse relativ zu einem bestimmten Luftzustand vorhanden ist. Die Enthalpie der ungesättigten Luft ist die Summe der Enthalpie, um den enthaltenen Wasseranteil zu verdampfen, zuzüglich der Enthalpie, um das Wasserdampfgemisch auf die entsprechende Temperatur zu erwärmen.

## Mischungsverhältnis

**Einheit: g/kg**

Als Mischungsverhältnis  $m$  bezeichnet man das Verhältnis der Wasserdampfmasse zur Masse der trockenen Luft.

## Feuchtkugeltemperatur

**Einheit: °C, °F, K**

Als Feuchtkugeltemperatur  $t_F$  bezeichnet man bei der psychrometrischen Messung die von dem, mit einem Strumpf befeuchteten Thermometer ausgegebene bzw. angezeigte Temperatur. Aufgrund der Verdunstungskälte liegt diese Temperatur in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte unterhalb der Lufttemperatur.

# Sensoren und Messprinzipien

## Mechanische Feuchtemessung

Das mechanische Verfahren beruht auf der Ausdehnung bzw. dem Zusammenziehen von verschiedenen (meist organischen) Messelementen. Solche Messelemente sind beispielsweise: Haare, Durometer, Darmsaiten, etc.

Die am meisten eingesetzten Messelemente sind Haarelemente oder der sogenannte Durotherm, ein künstliches, feuchteempfindliches Messelement. Über ein Werk wird dann die Längenänderung des Messelementes auf den Zeiger übertragen.

Haarhygrometer bedürfen einer regelmässigen Wartung und Pflege. Zur Vermeidung des Austrocknens und damit einhergehender Drift müssen Haarhygrometer regelmässig regeneriert werden. Hierzu wird die Haarharfe mit einem, mit destilliertem Wasser befeuchteten Tuch umhüllt oder mit destilliertem Wasser besprüht, so dass eine Sättigung eintritt. Nach etwa einer Stunde stellt sich ein Messwert von ca. 98%rH ein. An den meisten Geräten kann über eine Stellschraube eine Einpunkt-Justage durchgeführt werden.

### Psychrometrische Feuchtemessung

Psychrometer arbeiten mit zwei identischen, sehr genauen Thermometern, an denen die zu messende Luft in definierter Geschwindigkeit entlanggeführt wird oder die Luft ruht.

Das erste Thermometer misst die Temperatur der Umgebung, das zweite die sogenannte Feuchtkugeltemperatur. Dazu ist die Messspitze des Thermometers mit einem Baumwolldocht überzogen und mit destilliertem Wasser befeuchtet. Beide Thermometer befinden sich in einem Luftstrom bzw. in ruhender Luft und sind vor Strahlungswärme abgeschirmt. Durch die Verdunstungskälte sinkt am feuchten Thermometer die Temperatur, und zwar umso stärker, je trockener die Luft ist. Nach kurzer Zeit (1 - 2 min) bleibt die Temperatur am feuchten Thermometer konstant und es können die Messwerte am feuchten und trockenen Thermometer abgelesen werden. Mit diesen beiden Temperaturen kann die relative Luftfeuchte nach folgender Formel bestimmt werden:

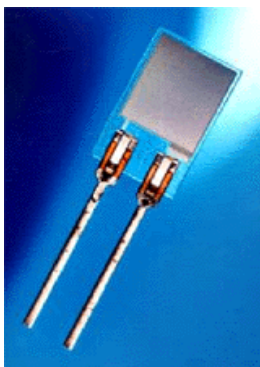
$$e(t) = e_s(t_F) - A \times p_{\text{umd}}(t_I - t_F)$$

wobei  $A$  die sogenannte Psychrometerkonstante ist. Diese hängt ab von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft und ist in untenstehender Tabelle dargestellt.

Ventilationsgeschwindigkeit	0,0	1,0	1,5	2,3	3,4	4,4	$\left[ \frac{m}{s} \right]$
<b>A: 10<sup>6</sup> in Grad<sup>-1</sup></b>	<b>1140</b>	<b>675</b>	<b>674</b>	<b>678</b>	<b>682</b>	<b>704</b>	

### Elektronische Feuchtemessung

Kapazitives Verfahren



Der feuchteempfindliche Kondensator besteht aus zwei flachen Elektroden, zwischen denen sich eine elektrisch isolierende, hygroskopische Kunststoffschicht (Dielektrikum) befindet. Dieses Dielektrikum kann das in der Luft befindliche Wasser absorbieren. Mit steigender Luftfeuchte steigt auch die Kapazität des feuchteempfindlichen Kondensators.

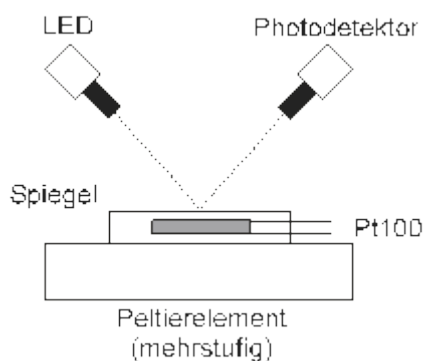
Es gilt:

$$C_F = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d},$$

wobei  $\epsilon_r$  die Dielektrizitätskonstante des feuchteempfindlichen Kondensators ist.

### Tauspiegelhygrometer

Ein sehr präzises Messverfahren zur Ermittlung der relativen Luftfeuchte sind sogenannte Taupunktspiegel, bei denen die Kondensation von Wasserdampf bei Taupunktunterschreitung ausgewertet wird. Die Temperatur einer verspiegelten Fläche (Spiegel) wird so weit abgekühlt, bis diese gerade anfängt zu beschlagen. Die in diesem Moment über ein Pt100-Widerstandsthermometer gemessene Temperatur entspricht der Taupunkttemperatur, aus der sich über den Sättigungsdruck mithilfe der gemessenen Lufttemperatur die relative Luftfeuchte berechnen lässt. Zur Kühlung wird ein Peltierelement eingesetzt, und die verspiegelte Fläche wird über optoelektronische Verfahren ausgewertet (siehe Skizze).



Im Gegensatz zu Psychrometern ändert sich der Feuchtegehalt der Atmosphäre durch die Messung fast nicht. Daher können Taupunktspiegelinstrumente auch in geschlossenen Systemen wie Klimaschränken eingesetzt werden.

Die Spiegel müssen regelmässig mit einer geeigneten Flüssigkeit, wie zum Beispiel Trichlorethan gereinigt werden

### Gegenüberstellung der verschiedenen Verfahren

Verfahren	Vorteile	Nachteile
mechanische Feuchtemessung	<ul style="list-style-type: none"> <li>einfache Handhabung</li> <li>preiswert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>lange Ansprechzeiten</li> <li>hoher Wartungsaufwand durch regelmässige Regeneration, Austausch der</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrammblätter, etc.</li> <li>• eingeschränkter Messbereich</li> <li>• Drift</li> </ul>
psychrometrische Feuchtemessung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Messgenauigkeit</li> <li>• hohe Langzeitstabilität</li> <li>• hohe Zuverlässigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellen der ständigen Strumpfbefeuchtung</li> <li>• Ablesefehler</li> </ul>
kapazitives Verfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Messgenauigkeit</li> <li>• einfache Handhabung</li> <li>• wartungsfrei</li> <li>• kurze Ansprechzeiten</li> <li>• gutes Preis-Leistungsverhältnis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturkompensation des Sensors notwendig</li> </ul>
Tauspiegelhygrometer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hohe Messgenauigkeit</li> <li>• hohe Zuverlässigkeit</li> <li>• hohe Langzeitstabilität</li> <li>• kurze Ansprechzeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• teuer</li> <li>• Wartungsaufwand durch regelmässiges Spiegelreinigen</li> </ul>

### Sonstige Feuchtemessverfahren

Hier eine Auflistung weiterer Feuchtemessverfahren (eingehendere Betrachtungen werden hier nicht durchgeführt):

- resistives Verfahren (Bestimmung der Impedanz des Wechselstromwiderstandes eines hygroskopischen Elementes)
- Lithiumchlorid-Taupunkthygrometer (Messverfahren, das auf der hygroskopischen Eigenschaft des Lithiumchlorid beruht)