

## Definitionen und Begriffe

Sowohl das physiologische Wohlbefinden des Menschen als auch viele technische Prozesse sind vom Feuchtegehalt in der Luft abhängig. Die Luftfeuchte wird bei Messungen entweder als **absolute Feuchte** oder als **relative Feuchte** angegeben.

### Wasserdampf-Sättigungsdruck $p_s$ .

Feuchte Luft ist, wie jedes feuchte Gas, ein Gemisch aus trockenem Gas und Wasserdampf und verhält sich nach dem Daltonschen Gesetz. Ein bestimmtes Volumen eines trockenen Gases kann bei einer bestimmten Temperatur nur eine maximale Wasserdampfmasse aufnehmen. Diesem Wert entspricht der von der Temperatur abhängige Wasserdampf-Sättigungsdruck  $p_s$ .

Der Zusammenhang zwischen dem Wasserdampf-Sättigungsdruck  $p_s$  und Temperatur  $t$  ist eine Naturkennlinie, die in der Praxis durch folgende Näherungsgleichung für Temperaturen über 0 °C (über Wasser) beschrieben werden kann:

$$\ln p_s [\text{mbar}] = \ln 6,11213 + \frac{17,5043 \cdot t [^\circ\text{C}]}{241,2 + t [^\circ\text{C}]}$$

Für Temperaturen unter 0°C (über Eis) lautet die Gleichung:

$$\ln p_s [\text{mbar}] = \ln 6,11213 + \frac{22,4433 \cdot t [^\circ\text{C}]}{272,19 + t [^\circ\text{C}]}$$

In diesem Zustand wird das Gas als gesättigt bezeichnet.

### Wasserdampf-Partialdruck $p_D$

Ist die im Gas enthaltene Masse an Wasserdampf geringer, handelt es sich um ein ungesättigt feuchtes Gas mit einem Wasserdampf-Partialdruck  $p_D$ . Der Gesamtdruck des Gases beträgt dann:

$$p = p_D + p_G$$

### Absolute Feuchte $d_v$

Die tatsächlich in der Volumeneinheit des feuchten Gases enthaltene Masse an Wasser wird als absolute Feuchte  $d_v$  bezeichnet. Sie entspricht also dem spezifischen Volumen und kann durch die Zustandsgleichung für Gase berechnet werden.

$$d_v [\text{g/m}^3] = \frac{m_D}{V} = \frac{p_D [\text{mbar}]}{461,9 \cdot (273,15 + t [^\circ\text{C}])}$$

## Produktinfo Nr. A0 Feuchtemesstechnik Definition, Begriffe, Messverfahren

### Feuchtegehalt oder Mischungsverhältnis $x$

In vielen Bereichen der Industrie bezieht man sich anstatt auf den feuchten lieber auf den trockenen Zustand eines Gases. Deshalb wurde die Zustandsgröße Feuchtegehalt oder Mischungsverhältnis  $x$  eingeführt. Sie ist definiert als die in der Masseinheit des trockenen Gases enthaltene Wassermasse und ist, im Gegensatz zur absoluten Feuchte, abhängig vom Gasdruck und von der Gasart. Für Luft gilt:

$$x [\text{kg / kg}] = \frac{m_D}{m_G} = \frac{0,622 \cdot p_D}{(p - p_D)}$$

### Taupunkttemperatur $t_s$

Eine weitere Kennzeichnung des Zustandes eines feuchten Gases ist die Taupunkttemperatur  $t_s$ . Sie ist die Temperatur, bei der sich das feuchte Gas im gesättigten Zustand befindet, d. h. die Temperatur, auf die das Gas abgekühlt werden müsste, damit es kein Wasser mehr aufnehmen kann und die Kondensation des enthaltenen Wassers beginnt. Der Zusammenhang zwischen dem Sättigungsdampfdruck und der Temperatur ist durch die Dampfdruckkurve des Wassers gegeben. Hieraus folgt auch, dass jeder Taupunkttemperatur ein bestimmter Wasserdampfdruck und damit eine bestimmte absolute Feuchte zugeordnet ist.

### Relative Feuchte $\varphi$ .

Eine in der Praxis sehr häufig verwendete Größe ist die relative Feuchte. Sie ist das Verhältnis der bei einer bestimmten Temperatur tatsächlich in dem Gas enthaltenen absoluten Feuchte zu der maximal möglichen Sättigungsfeuchte:

$$\varphi = \frac{d_v}{d_{vs}} = \frac{p_D}{p_s}$$

Die relative Feuchte wird in Prozent oder als eine Zahl kleiner 1 angegeben.

## Messverfahren

Ebenso wie die Feuchte durch verschiedene Messgrößen dargestellt werden kann, gibt es zur Bestimmung der Feuchte mehrere Messverfahren mit unterschiedlichen Genauigkeiten.

### Hygrometrische Messverfahren

Hygrometrische Messverfahren beruhen auf der Längenänderung von hygroskopischen Fasern, insbesondere Haaren oder Kunststofffasern. Diese Hygrometer sind zwar preiswert, aber nur in einem eingeschränkten Messbereich zu verwenden. Die mit ihnen erreichbare Genauigkeit liegt bei etwa  $\pm 5\%$  r. F.

### Psychrometer

Wesentlich genauer als die hygrometrischen Messverfahren arbeiten Psychrometer, bei denen die Feuchte über den physikalischen Effekt der Verdunstungskühlung durch Messung von zwei Temperaturen bestimmt wird. Ein Thermometer misst die Temperatur der Umgebung und ein zweites die sogenannte Feuchtkugeltemperatur. Dazu wird das Thermometer über einen Baumwollstrumpf befeuchtet und mit einem Luftstrom von 2 bis 3 m/s beaufschlagt. Durch die auftretende Verdunstung wird das Thermometer abgekühlt und im Gleichgewichtszustand kann aus der Trockentemperatur und der Feuchtkugeltemperatur die Feuchte ermittelt werden. Bei Verwendung von genauen Thermometern und entsprechend sorgfältiger Handhabung können Genauigkeiten bis zu  $\pm 1\%$  r. F. erreicht werden.

### Taupunktspiegel

Ein ebenfalls sehr präzises Messverfahren ist der Taupunktspiegel. Eine verspiegelte Oberfläche wird soweit abgekühlt bis die Temperatur erreicht wird, bei der Betauung einsetzt. Die in diesem Zustand gemessene Temperatur entspricht der Taupunkttemperatur, aus der mit der Umgebungstemperatur die Feuchte bestimmt werden kann. Auch hier können Genauigkeiten bis zu  $\pm 1\%$  r. F. erreicht werden. Die beiden letzteren Messverfahren sind zwar ziemlich genau, aber auch aufwendig und teuer.

### Kapazitive Feuchtesensoren

In letzter Zeit werden immer mehr kapazitive Feuchtesensoren eingesetzt, die preiswert und wartungsfrei sind und auch eine gute Messgenauigkeit ermöglichen.

Grundlage für diese Sensoren bilden kapazitive Feuchteensorelemente. Auf einem kleinen, dünnen Glas- oder Keramiksubstrat befindet sich ein Elektrodensystem, eine feuchteempfindliche Polymerschicht und eine wasserdampfdurchlässige Goldschicht.

Weil die hygroskopische Polymerschicht Wassermoleküle einlagern kann, die ihre Dielektrizitätskonstante verändern, stellt dieses Schichtsystem einen feuchteabhängigen Kondensator dar, dessen Kapazität ein Maß für die umgebende relative Feuchte ist.

Die Kapazitätsänderung wird von einer Elektronik, die sich in der Regel direkt am Feuchtesensorelement befindet, in ein elektrisches Ausgangssignal umgewandelt. Beide Teile zusammen bilden einen kapazitiven Feuchtesensor, der mit Hilfe von Feuchtereferenzen abgeglichen wird. Die erreichbare Genauigkeit, die im Wesentlichen durch Linearitätsfehler, Hysterese, Temperaturabhängigkeit und Vergleichsmessung bestimmt wird, liegt bei etwa  $\pm 2\%$  r. F.

Die bei **MELA Sensortechnik** hergestellten kapazitiven Feuchtesensorelemente sind im gesamten Feuchtebereich von 0 bis 100 % r. F. einsetzbar, sind betauungsfest und ermöglichen eine Verwendung im Temperaturbereich von  $-40$  bis  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Die auf dieser Basis gefertigten Feuchtesensoren überstreichen ebenfalls den gesamten Messbereich von 0 bis 100 % r. F. und arbeiten im Temperaturbereich von  $-20$  bis  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bei Sonderausführungen sind Einsatztemperaturen bis  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  möglich.

Die Kennlinie ist nahezu linear, Linearitätsabweichungen sind kleiner als  $2\%$  r. F.. Bei lang anhaltendem Einsatz in extrem niedriger oder hoher Feuchte tritt eine Drift bis zu  $2\%$  r. F. auf, die nach mehrmaligem Durchfahren des gesamten Feuchtebereiches wieder verschwindet. Eine Drift kann auch in unterschiedlicher Weise bei verschiedenen Schadgaseinflüssen auftreten.

Aufgrund der sehr guten Ansprechempfindlichkeit sind die kapazitiven Feuchtesensoren auch zur Messung der Gleichgewichtsfeuchte bei hygroskopischen Materialien geeignet. Bei Kenntnis der Sorptionsisothermen der hygroskopischen Stoffe kann damit auch der Feuchtegehalt im Feststoff bestimmt werden.

### Kalibrierung

Um die gute Messgenauigkeit der kapazitiven Feuchtesensoren über einen längeren Zeitraum zu erhalten, kann die Kennlinie regelmäßig überprüft werden.

**MELA Sensortechnik** bietet zur Überprüfung und zur Nachkalibrierung der Sensoren am Einsatzort **Feuchtenormale** (Produktinfo. Nr.: F 5.2) an.

Wer eine präzisere Kalibrierung benötigt, kann den werkeigenen **Kalibrierdienst** in Anspruch nehmen. Auf Wunsch wird auch ein **Werkstatttest** (Messprotokoll mit Istabweichung vom Werksnormal gemessen bei 11%, 33%, 57%, 75% und 90% r.F.) erstellt.