

**Physikalische und mathematische Grundlagen zu den Vorlesungen über  
„Feuchte - Sensoren“  
im Modul „Sensorik Vertiefung“**

von

Prof. Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Edmund R. Schießle

## 18 Feuchte- Sensoren

In der Produktionstechnik muss die Feuchte oft gemessen und überwacht werden, hinsichtlich der Prozesskontrolle, der Energieeinsparung, der Funktionalität und Qualität der Produkte.

**Feuchte:** Anwesenheit von Wasser in festen, flüssigen und gasförmigen Substanzen.

**Trocknung:** Entzug von Wasser von Oberflächen oder aus dem Inneren von Substanzen.

**Sensorprinzipien:** Die Feuchte oder Feuchtigkeit von Substanzen ist mit verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften verknüpft. Physikalische Beispiele sind die Quellfestigkeit, die elektrische Leitfähigkeit, die Wärmeleitfähigkeit, der Reibkoeffizient und die Trocknungseigenschaften. Diese Materialeigenschaften beeinflussen die Funktionalität und Haltbarkeit von technischen Produkten sehr stark. Chemische Beispiele sind die elektrochemische Zerlegung von Wasser oder die Reaktion mit stark hygroskopischen chemischen Substanzen.

**Feuchte- Sensoren:** Technische Bauteile, welche die physikalische Zustandsgröße Feuchtigkeit verschiedener Substanzen, mit Hilfe von physikalischen und chemischen Sensor-Effekten, eine elektrische Zustandsgröße erzeugen, die elektronisch angezeigt und weiterverarbeitet werden kann.

### 18.1 Allgemeine physikalische und messtechnische Grundlagen und Grundbegriffe

#### Taupunkt und Taupunkttemperatur

Taupunkt: Der Taupunkt von Wasser ist der Kondensationspunkt von reinem Wasser, abhängig von Druck und Temperatur.

Taupunkttemperatur: Sie ist die Temperatur der feuchten Luft, bei der diese gesättigt mit Wasserdampf ist und mit zunehmender Absenkung der Temperatur kondensiert. Allg. ist der Temperaturwert des Taupunkts, also die Taupunkttemperatur, mit dem Taupunkt gleich.

#### Feuchte und Taupunkt

Der physikalische Gesamtbereich der Feuchte kann aus messtechnischer und sensorischer Sicht allg. in drei Bereiche eingeteilt werden:

Spurenfeuchte: Taupunkt von  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Klimafeuchte: Taupunkt von  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Hochfeuchte: Taupunkt von  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$

#### Systematik Messprinzipen für Feuchte- Sensoren

##### a) Chemische Messprinzipien

Coulometrisches (elektrochemisches) Messprinzip

Vollständige Absorption von elektrolytisch zerlegtem Wasserdampf durch chemische Bindung an Diphosphorpentoxid und Messung des elektrischen Absorptionsstroms.

Gravimetrisches Messprinzip

Messung der absoluten Feuchte durch wiegen eines Trockenmittels vor und nach der vollständigen Physikalischen oder chemischen Absorption

##### b) Physikalische Messprinzipien

Resistives Messprinzip

Messung der elektrischen Leitfähigkeit eines Materials bei Wasseradsorption

Kapazitives Messprinzip

Messung der Dielektrizitätskonstante eines Materials bei Wasseradsorption

- Piezoelektrisches Messprinzip  
Messung der Resonanzfrequenzänderung eines Oszillators mit einem piezoelektrischen hygroskopisch beschichteten Material als Schwingelement bei Wasseradsorption
- LiCl- Temperatur Messprinzip  
Messung der Temperatur bei einem Dampfdruck- Gleichgewicht über einer wässrigen LiCl- Lösung
- Hygroskopisches Messprinzip  
Messung der Längen- oder Volumenänderung eines Materials bei Feuchte- Aufnahme
- Spektroskopisches Messprinzip  
Messung der Absorption von Materialien nach dem Lambert-Beer Gesetz durch Anregung mit UV-, IR- oder Mikrowellenstrahlung
- Taupunkt- Messprinzip  
Messung der Temperatur bei einer gekühlten Material- Oberfläche im Dampfdruck- Gleichgewicht mit der Umgebung

### Messgrößen in der Feuchte- Messtechnik

#### a) Messgrößen für die gasförmigen Stoffe

- Die absolute gravimetrische Feuchte

Für gravimetrische Messmethoden wurde die absolute Feuchte  $a$  als Mischungsverhältnis aus der Wasserdampfmasse  $m_D$  und der Masse  $m_L$  der trockenen Luft definiert. Damit gilt:

$$a = \frac{m_D}{m_L}$$

Gl. 18.1

- Die absolute Feuchte (Wasserdampfdichte oder kurz Dampfdichte)

Sie ist die Masse  $m_W$  des Wasserdampfs in einem definierten Gas-Volumen  $V_G$ , d.h. seine Dichte oder Konzentration  $\rho_D$  Es gilt:

$$\rho_D = \frac{m_W}{V_G}$$

Gl. 18.2

Maßeinheit: Gramm Wasser pro Kubikmeter Gas  $V_G$ .

Bei einer Kompression eines Gas-Volumens werden die Wassermoleküle auf ein kleineres Volumen zusammengepresst, d.h. die Zahl  $n$  pro Kubikmeter  $m^3$  nimmt zu und die absolute Feuchte steigt. Bei einer Expansion des Luftvolumens nimmt die absolute Feuchte ab. Eine Änderung des Gas-Volumens kann daher physikalisch durch die Änderung der Temperatur oder des Druckes erreicht werden. Bei einem Vergleich der Luftfeuchtigkeit von zwei Gas-Volumen sind also immer die Temperatur- und Druckverhältnisse zu beachten.

- Die maximale absolute Feuchte (Sättigungsfeuchte)

Sie ist die bei einer definierten Temperatur in einem Volumen  $V$  mit 1 Kubikmeter Gas maximal mögliche Wasserdampfmenge  $m_{W,max}$ .

$$\rho_{D,max} = \frac{m_{W,max}}{V}$$

Gl. 18.3

Ein in der Atmosphäre aufgrund der Thermik aufsteigendes Luftpaket verringert beim Aufsteigen seine absolute Feuchte, auch wenn es dabei keinerlei Wasserdampf verliert, da es wegen der Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe sein Volumen vergrößert. Die absolute Feuchte des Luftpakets ändert sich daher allein durch Auf- und Abwärtsbewegungen. Da die absolute Luftfeuchte zudem schwer zu messen ist, wird sie nur selten verwendet.

- Die relative Feuchte

Sie ist das prozentuale Verhältnis zwischen abs. Feuchte u. der bei der gleichen Temperatur maximal möglichen absoluten Feuchte (= Sättigungsfeuchte) Sie liegt zwischen 0 und 100%.

$$r = \frac{\rho_D}{\rho_{D,max}}$$

Gl. 18.4

Wobei  $\rho_D$  die absolute und  $\rho_{D,max}$  die Sättigungsfeuchte ist.

**b) Messgrößen für flüssige und feste Stoffe**

□ Relativen Wassermasse  $x_{fe}$  in einer feuchten Probemasse einer Mess-Substanz:

$$x_{fe} = \frac{m_w}{m_{tr} + m_w} \cdot 100\%$$

Gl. 18.5

Wobei  $m_w$  die Wassermasse und  $m_{tr}$  die Trockensubstanz-Masse ist.

□ Relativen Wassermasse  $x_{tr}$  in einer trockenen Probemasse einer Mess-Substanz:

$$x_{tr} = \frac{m_w}{m_{tr}} \cdot 100\%$$

Gl. 18.6

Wobei  $m_w$  die Wassermasse und  $m_{tr}$  die Trockensubstanz-Masse ist.

□ Absolute Trockenheit ( $x_{atro}$ ) einer Probemasse einer Mess-Substanz:

$$x_{atro} = \frac{m_{tr}}{m_{tr} + m_w} \cdot 100\%$$

Gl. 18.7

Wobei  $m_w$  die Wassermasse und  $m_{tr}$  die Trockensubstanz-Masse ist.