



Feuchtesensoren

In vielen Bereichen der Elektronik werden Sensoren zur Erfassung der Luftfeuchte eingesetzt. Im Bereich der Wettermesstechnik gehören diese Sensoren zu den wichtigsten. Funktionsweise, Aufbau und Beschaltung beschreibt dieser Artikel.

Allgemeines

Die uns umgebende Luft besteht aus einem Gas-Gemisch, wobei unter anderem auch ein erheblicher Anteil an Wasserdampf enthalten ist. Sowohl im Innen- als auch im Außenbereich hat der Wasserdampfanteil in der Umgebungsluft einen erheblichen Einfluss auf das Wohlbefinden des Menschen und viele industrielle und natürliche Prozesse.

Nur wenn die Luftfeuchte in einem bestimmten Bereich liegt, wird das Raumklima als angenehm empfunden und für die Lagerung und Verarbeitung von vielen Materialien ist die richtige Luftfeuchte von qualitätsbestimmender Bedeutung.

Besonders natürliche Werkstoffe wie Holz und Papier verändern die Beschaf-

fenheit bei unterschiedlicher Luftfeuchte. Diese und auch andere Produkte sind somit nur bei konstant gehaltener Luftfeuchte mit reproduzierbarer Qualität herzustellen und zu verarbeiten.

Durch zu hohe Luftfeuchte können z. B. erhebliche Schäden an Bauwerken und Gegenständen verursacht werden. Es gibt eine

Vielzahl von Anwendungsgebieten, in denen die korrekte Luftfeuchte wichtig ist. So können Kulturschätze in Museen und Bibliotheken nur bei der richtigen Luftfeuchte ohne Rissbildung erhalten bleiben, und in der modernen Gebäudetechnik

sorgt die Regelung der Luftfeuchte für ein angenehmes Raumklima.

Generell kann gesagt werden, dass überall, wo konstante klimatische Bedingungen herrschen müssen, auch die Luftfeuchte in engen Grenzen zu regeln ist. Dazu muss natürlich immer zuerst die aktuell herrschende Luftfeuchte messtech-

Tabelle 1: Max. mögliche Wasserdampfmenge der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur

Temp.	50 % rF bei 1000 hPa Luftdruck	100 % rF bei 1000 hPa Luftdruck
- 10 °C	0,81 g/kg	1,62 g/kg
0 °C	1,91 g/kg	3,82 g/kg
10 °C	3,84 g/kg	7,73 g/kg
20 °C	7,35 g/kg	14,80 g/kg
30 °C	13,48 g/kg	27,55 g/kg
40 °C	23,81 g/kg	49,52 g/kg

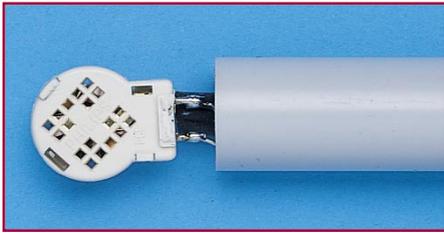


Bild 1: Feuchtefühler mit Valvo-Feuchtesensor

nisch ermittelt werden. Bei der Messung des Wasserdampfgehaltes der Luft (Luftfeuchte) unterscheidet man zwischen der absoluten Luftfeuchte und der relativen Luftfeuchte.

Absolute Feuchte

Die absolute Luftfeuchte gibt unabhängig von der Temperatur die Wasserdampfmenge pro Volumeneinheit eines Gasgemisches an, z. B. die in einem Kubikmeter Luft enthaltene Wassermenge. Als Maßeinheit für die absolute Luftfeuchte wird i. d. R. g/kg oder g/m³ verwendet.

In der klimatischen Beurteilung spielt die absolute Luftfeuchte eher eine untergeordnete Rolle, da eine wichtige Einflussgröße, die Temperatur, dabei nicht berücksichtigt wird. In der Wettermesstechnik nutzt man daher nahezu ausschließlich die dimensionslose Größe der relativen Feuchte.

Relative Feuchte

Die relative Luftfeuchte gibt den prozentualen Wert des maximal möglichen Wasserdampfgehaltes der Luft an. Die relative Luftfeuchte ist abhängig von der Temperatur und dem Luftdruck. 100 % relative Luftfeuchte entspricht dabei der maximal in der Gasmenge der Luft möglichen Feuchtemenge bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Luftdruck. Ab 100 % relativer Feuchte (rF) bildet sich dann Kondenswasser.



Bild 2: Valvo-Feuchtesensor im geöffneten und geschlossenen Zustand

Messtechnisch setzt man bei der relativen Feuchte den tatsächlichen Wasserdampfdruck p zum höchstmöglichen Wasserdruck (Sättigungsdruck p_s) ins Verhältnis.

$$100 \% rF = 100 \cdot p/p_s$$

Der Wasserdampf-Sättigungsdruck (p_s) ist stark temperaturabhängig und so auch die relative Feuchte. Je wärmer das Gasgemisch, desto mehr Wasserdampf kann gespeichert werden. Tabelle 1 zeigt, wie stark die Wasseraufnahmefähigkeit der Luft mit der Temperatur ansteigt.

Der Einfluss des barometrischen Luftdrucks auf den Sättigungsfeuchtegehalt kann hingegen in den meisten Anwendungen vernachlässigt werden, da Schwankungen nur in einem relativ geringen Bereich auftreten. Da die Luft mit steigendem Druck weniger Feuchte aufnehmen kann, muss dies jedoch in Luftdruckanlagen berücksichtigt werden, da hier dann Feuchte in Form von Kondensat anfällt.

Feuchtemessung

Zur Bestimmung der relativen Feuchte gibt es mehrere verschiedene Messmethoden mit unterschiedlicher Genauigkeit. Ein sehr einfaches Feuchte-Messgerät ist das Haar-Hygrometer, dessen Funktionsweise darauf beruht, dass sich die Länge eines Haares bzw. einer Kunststofffaser proportional zur Luftfeuchtigkeit ändert. Dieses Messverfahren ist jedoch relativ ungenau und nicht für die Anwendung in sehr trockener Atmosphäre (< 30 % rF) geeignet.

Ein sehr genaues, jedoch aufwändiges Messgerät zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte ist hingegen der Taupunkt-

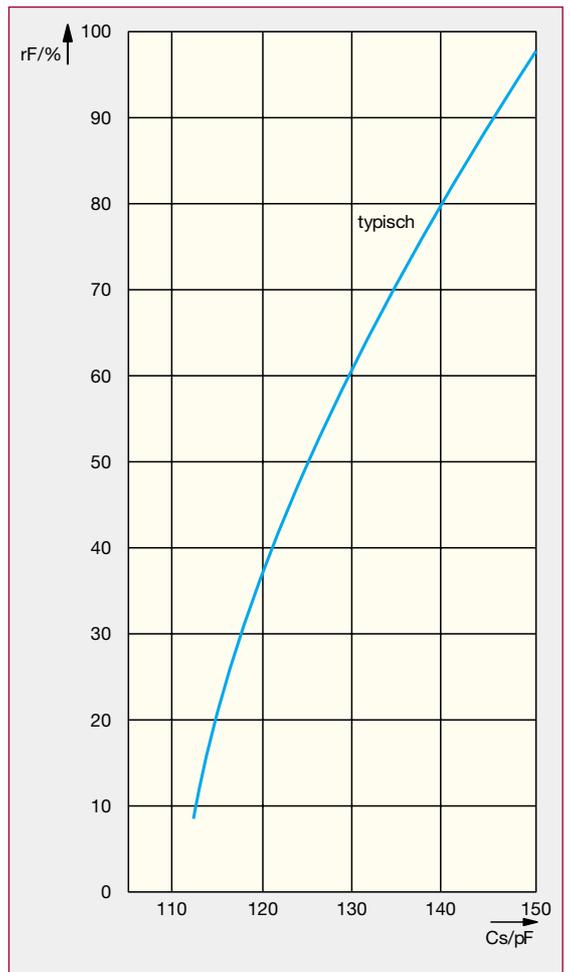


Bild 3: Typischer Kapazitätsverlauf des Valvo-Feuchtesensors in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte der Umgebungsluft bei 25 °C Umgebungstemperatur

spiegel. Bei diesem Verfahren wird ein Spiegel so weit abgekühlt, bis dieser gerade anfängt zu beschlagen. Diese Temperatur entspricht der Taupunkttemperatur, mit deren Hilfe sich dann die relative Luftfeuchte errechnen lässt. Genauigkeiten von $\pm 1 \% rF$ bis $\pm 3 \% rF$ sind mit diesem Verfahren zu erreichen.

Ein seit mehr als 100 Jahren bekanntes sehr genaues Messverfahren ist das auf der

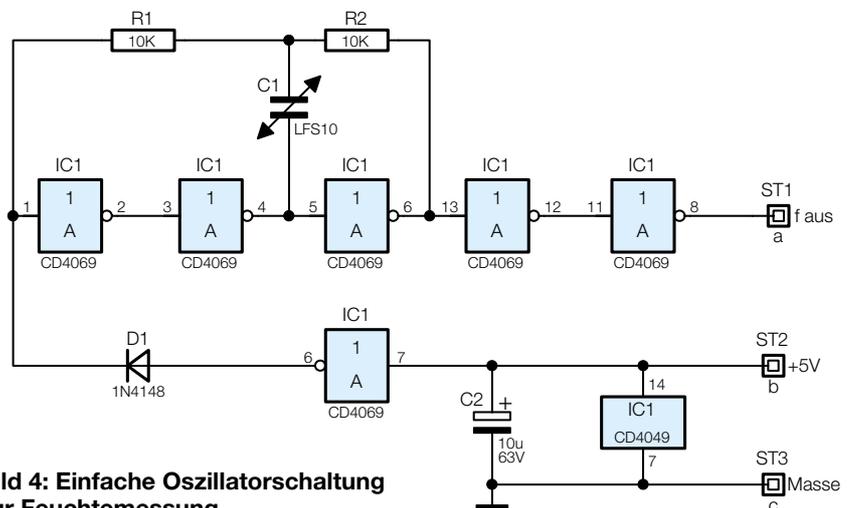


Bild 4: Einfache Oszillatorschaltung zur Feuchtemessung

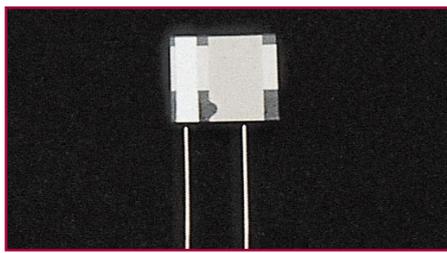


Bild 5: Kapazitiver Dünnschichtsensor von Humicor

Verdunstungskälte basierende Psychrometer mit zwei Temperatursensoren, die einem Luftstrom ausgesetzt werden. Während der eine Sensor direkt die Umgebungstemperatur misst, ist der andere Sensor mit einem Baumwolldocht überzogen, der mit destilliertem Wasser getränkt wird. Durch Verdunstung kühlt dieser Sensor dann ab, wobei über die Temperaturdifferenz die Luftfeuchte bestimmt werden kann. Dieses Messverfahren ist bis zu 90 % rF mit hoher Genauigkeit anzuwenden.

Bei modernen Luftfeuchte-Sensoren haben sich zwei verschiedene Messprinzipien durchgesetzt: Zum einen sind das kapazitive Sensoren, bei denen sich die dielektrischen Eigenschaften eines polymeren Kunststoffes in Abhängigkeit von der relativen Feuchte der Umgebungsluft verändern und zum anderen Sensoren auf Basis von Salzen, deren elektrischer Widerstand sich in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte ändert.

Die höchste Genauigkeit ist dabei mit Sensoren auf kapazitiver Basis zu erreichen. Diese Sensoren verfügen teilweise über hervorragende Leistungsdaten und sind somit auch für hochwertige Messgeräte geeignet. Doch die hohe Messgenauigkeit hat auch ihren Preis. Viele kapazitive Feuchtesensoren sind weitaus teurer als komplette Feuchte-Messgeräte mit Sensoren auf resistiver Basis.

Bereits im Jahre 1986 wurde ein kapazitiver Feuchtesensor von Valvo (Philips) in der ELV-Wetterstation WS 7000 eingesetzt (Abbildung 1). Dieser Sensor verfügt über ein sehr gutes Preis-/Leistungsverhältnis und ist bis heute unverändert im Lieferprogramm. Abbildung 2 zeigt den in einem perforierten Kunststoffgehäuse untergebrachten Sensor im geschlossenen und geöffneten Zustand.

Im Wesentlichen besteht der Sensor aus

Tabelle 2: Technische Daten des Feuchtesensors LFS 10

Messbereich:	10 % bis 90 % rF
Kapazität bei 25 °C und 43% rF:	122 pF ± 15 %
Empfindlichkeit: ...	0,4 ± 0,05 pF/% rF
Max. Betriebsspannung:	15 V
Abmessungen (B x H x T):	15,5 x 19 x 16,5 mm

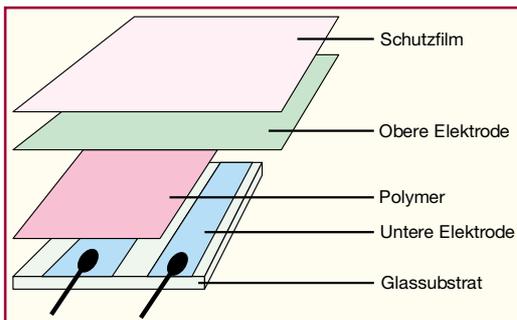


Bild 6: Prinzipieller Aufbau des kapazitiven Feuchtesensors von Humicor

einer Spezialfolie, die beidseitig mit einem Goldfilm bedampft ist. Der Goldfilm bildet dabei die Platten eines Kondensators und die Spezialfolie das Dielektrikum. Abhängig von der Luftfeuchte verändert sich die Dielektrizitätskonstante der Folie und damit auch die Kapazität des Kondensators. Die Kapazitätsänderung ist jedoch nicht linear zur relativen Luftfeuchte, so dass für die Anzeige des Feuchtwertes eine entsprechende Linearisierung erfolgen muss. Der typische Kapazitätsverlauf dieses Sensors in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte bei 25 °C Umgebungstemperatur ist in Abbildung 3 dargestellt.

Schaltungstechnisch wird der Sensor üblicherweise als frequenzbestimmendes Bauelement in einem RC-Oszillator eingesetzt, wobei die ebenfalls frequenzbestimmenden externen Widerstände nicht zu hochohmig gewählt werden dürfen, da Ablagerungen auf der Elektrodenoberfläche des Sensors, z. B. durch Luftverschmutzung, Kriechströme hervorrufen. Bei zu hochohmiger Beschaltung führt dies zu Frequenzveränderungen des RC-Oszillators und somit zur Verfälschung des Messergebnisses.

Eine typische Oszillatorschaltung, die sich schon in der Wetterstation WS 7000

Tabelle 3: Technische Daten eines linearen Feuchte-Sensors von Humicor

Chemisch resistenter, kapazitiver Dünnschichtsensor zur Messung der relativen Luftfeuchte, spezielle Oberflächenvergiftung	
Messbereich:	0 % bis 100 % rF
Betauung:	zulässig
Temperaturbereich:	- 30 °C bis 140 °C
Max. Mischungsverhältnis:	150 g H ₂ O/kg Luft
Ansprechzeit (T ₉₀):	10 s
Hysterese:	0,5 %
Linearität:	± 2,5 %
Nennkapazität:	500 pF
Empfindlichkeit:	0,86 pF/% rF
Betriebsfrequenz:	10 - 300 kHz
Max. Betriebsspannung:	5 Vss
Abmessungen:	13 x 9 mm

bewährt hat, ist in Abbildung 4 zu sehen. Ausgangsseitig liefert die Schaltung eine direkt von der relativen Luftfeuchte abhängige Frequenz. Neben einer Linearisierung des Ausgangssignals ist unbedingt eine Temperaturkompensation erforderlich, da die Kapazität des Sensors sehr stark temperaturabhängig ist. Die wichtigsten technischen Daten des Valvo-Sensors sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Ein besonders hochwertiger Feuchtesensor ist der kapazitive Dünnschichtsensor in Abbildung 5 von Humicor, dessen prinzipieller Aufbau in Abbildung 6 grafisch dargestellt ist. Auch bei diesem Sensor basiert das Messprinzip auf der Änderung der dielektrischen Eigenschaften eines polymeren Kunststoffes in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte.

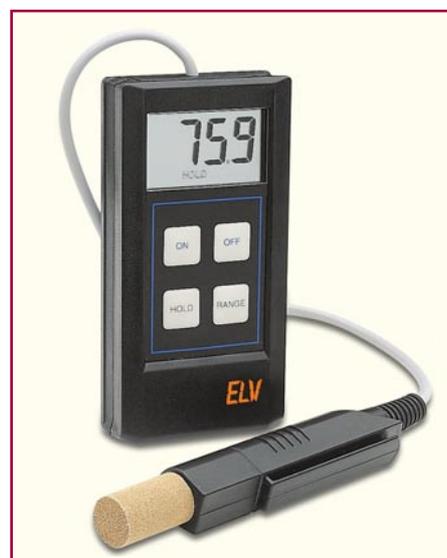


Bild 7: Das Präzisions-Digital-Hygro-Thermometer HT 100 von ELV

Dieser Sensor zeichnet sich durch einen Messbereich von 0 % bis 100 % rF, eine ausgezeichnete Linearität von 0,2 % und eine sehr kurze Ansprechzeit aus.

Wie beim Valvo-Sensor beruht auch hier das Funktionsprinzip auf den Eigenschaften eines hygroskopischen Polymeres, das als Dielektrikum eines Kondensators verwendet wird. Dieser Präzisionsensor wird ebenfalls in den meisten Anwendungen als frequenzbestimmendes Bauelement in einer Oszillatorschaltung genutzt.



Bild 8: Sinter-Bronze-Filter zum Schutz von Feuchtesensoren

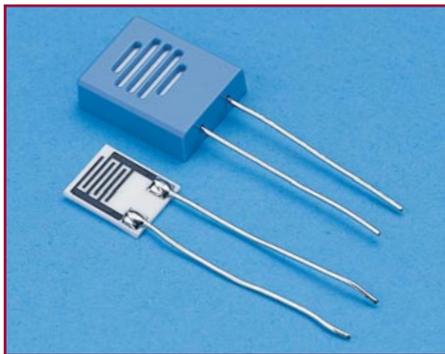


Bild 9: Feuchte-Sensor auf Polymer-Basis

Die Nennkapazität des Sensors beträgt 500 pF und die Empfindlichkeit ist im Datenblatt mit 0,86 pF/% rF angegeben. Besonders zu erwähnen ist die geringe Hysterese des Sensors von 0,5 %. Die Nutzfrequenz des verwendeten Oszillators muss zwischen 10 kHz und 300 kHz lie-

gen. Die Betriebstemperatur des nur 1 g schweren Sensors ist mit -30 °C bis +80 °C spezifiziert, und das Mischverhältnis darf bis zu 150 g Wasser pro 1 kg Luft betragen. In Tabelle 3 sind die wichtigsten technischen Daten dieses Sensortyps zusammengestellt. Jedes einzelne Exemplar dieses Sensortyps ist vom Werk aus ausgemessen und wird mit einer Kapazitätsangabe bei 75 % rF ausgeliefert.

Anwendung findet dieser hochwertige Feuchtesensor u. a. im ELV Präzisions-Digital-Hygro-Thermometer HT 100 (Abbildung 7). Zum Schutz des empfindlichen Sensors gegen mechanische Einwirkungen und zur besseren Verteilung der zu messenden Luftfeuchtigkeit ist das Sinter-Bronze-Filter in Abbildung 8 sehr gut geeignet.

Einen weiteren modernen Feuchte-Sensor auf Polymerbasis sehen wir in Abbildung 9. Dieser Sensor hat ein sehr gutes

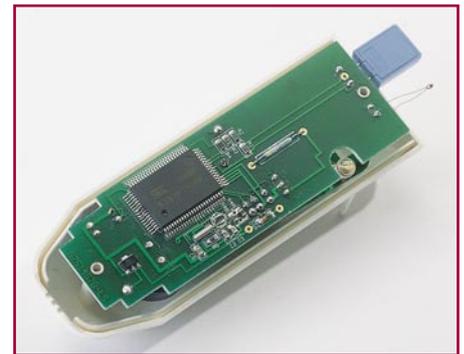


Bild 11: Das Innenleben des Funk-Außensensors S 2000 A mit Feuchte- und Temperatursensor

Preis-/Leistungsverhältnis und ist daher auch im Konsumerbereich einzusetzen. Der Messbereich erstreckt sich von 20 % bis 100 % rF, wobei die Genauigkeit laut Datenblatt mit $\pm 5 \%$ spezifiziert ist. Die Nennimpedanz des Sensors beträgt 60 k Ω bei 25 °C und 50 % rF.

Im Gegensatz zu den kapazitiven Sensoren wird hier die Impedanz bei einer Messfrequenz zwischen 50 Hz und 1 kHz ausgewertet. Das Diagramm in Abbildung 10 zeigt den Impedanzverlauf dieses Sensors in Abhängigkeit von der Luftfeuchte und der Umgebungstemperatur.

Anders als beim Humicor-Sensor in Abbildung 5 ist hier eine recht aufwändige Software zur Linearisierung und Temperaturkompensation erforderlich. Dafür besteht allerdings bei diesem Sensor, der auch in vielen ELV-Geräten, wie z. B. der Funk-Wetterstation zu finden ist, eine hohe Langzeitstabilität. Abbildung 11 zeigt einen Blick in das Innere des Funk-Außensensors der ELV-Funk-Wetterstation. Neben dem Sensor ist auch der Mikrocontroller zu sehen, der die Linearisierung der Feuchte-Kennlinien und die Temperatur-Kompensation vornimmt. Damit der Temperatursensor exakt die Temperatur am Ort der Feuchtemessung ermittelt, sind beide Sensoren direkt nebeneinander angeordnet.



Bild 12: Feuchte-Sensor auf resistiver Basis

Mit einem weiteren Sensor auf resistiver Basis (Abbildung 12) wollen wir diesen Artikel abschließen. Dieser Sensor kann bis zu 90 % rF messen, erreicht jedoch nicht die Qualität des Sensors in Abbildung 9. Da der Sensor recht preiswert ist, erfolgt der Einsatz in vielen preiswerten Applikationen. 

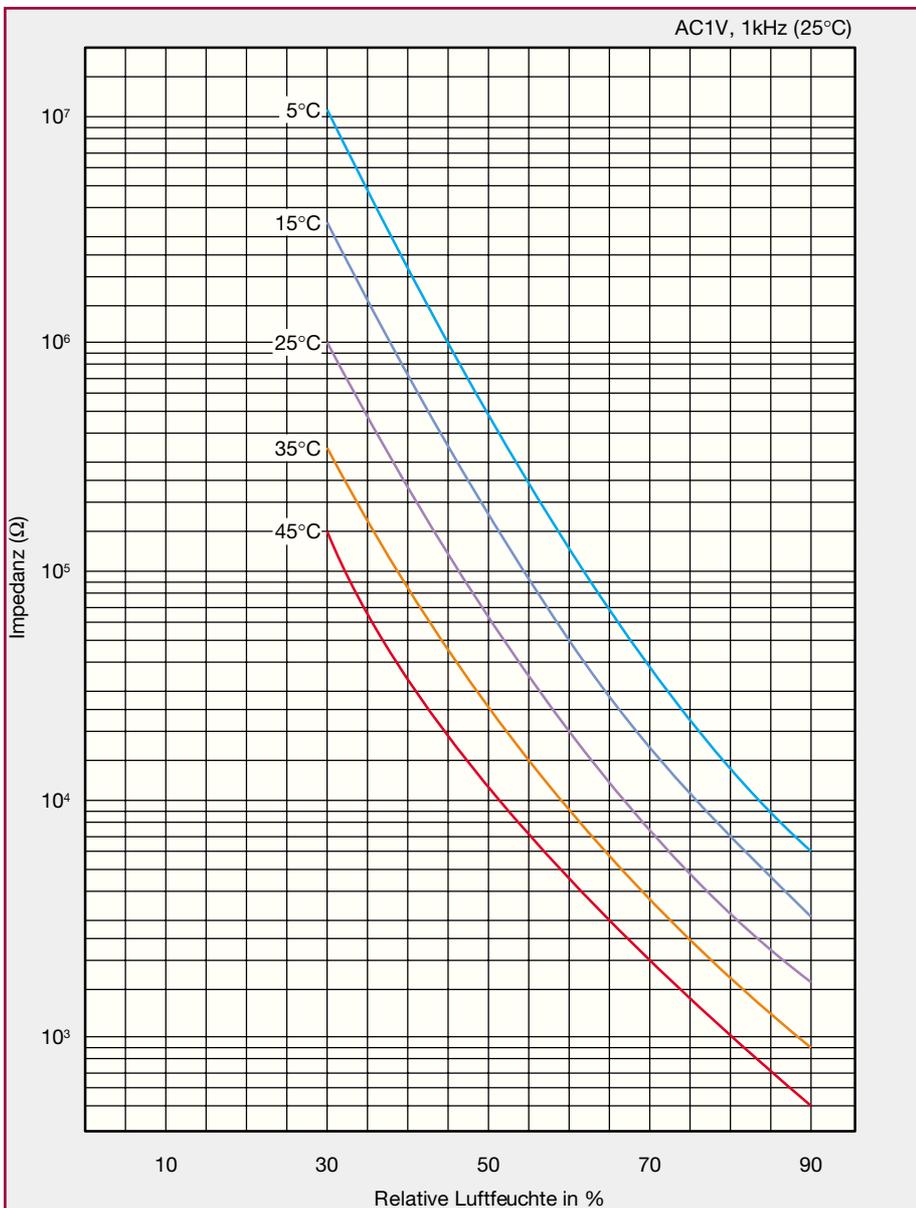


Bild 10: Impedanz-Verlauf des in Abbildung 9 dargestellten Feuchte-Sensors in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte und der Umgebungstemperatur