



KNOW-HOW

MESSGRÖSSE FEUCHTE.

Die Feuchte ist ein wichtiger Umgebungsparameter und hat einen großen Einfluss auf das Wohlbefinden in Räumen und auf die Qualität von Produkten und Anlagen in Produktions- und Lagerbereichen. Eine permanente Kontrolle des Parameters anhand von Monitoring-Systemen sichert gleichbleibende Umgebungsbedingungen.

1 Theoretische Grundlagen zur Messgröße Feuchte

Mit Feuchte bezeichnet man den Wassergehalt in der Luft oder eines Stoffes. Bei jedem Medium bildet die sogenannte Sättigung die Grenze der möglichen Wasseraufnahme ab. Nach Erreichen dieser temperaturabhängigen Sättigungsgrenze wird der überflüssige Wasseranteil als Nebel in Form kleiner Wassertröpfchen (= Kondensat) sichtbar.

Die absolute Luftfeuchtigkeit gibt die Wasserdampfmenge in g pro m³ an, wohingegen die relative Luftfeuchtigkeit das Verhältnis der absoluten Feuchte zur maximal möglichen Aufnahmemenge beschreibt.

Die absolute Feuchte wird mit folgender Formel berechnet:

$$f_{abs} = \frac{\text{Masse Wasser [g]}}{\text{Volumen feuchte Luft [m}^3\text{]}}$$

Die Formel zur Berechnung der relativen Luftfeuchte lautet:

$$U = \frac{\text{tatsächliche absolute Feuchte} \times 100 \%}{\text{maximale mögliche Feuchte}}$$

Grundsätzlich gilt: Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen. Dieser Zusammenhang ist allerdings nicht gradlinig, sondern steigt progressiv an. Beträgt sie bei 0 °C knapp 5 g/m³, sind es bei 30 °C schon 30 g/m³.

Der Wasserdampf übt, wie jeder andere gasförmige Stoff, Druck auf die Umgebung aus und ist abhängig von der Dampfmenge und der Temperatur. Wenn der Wasserdampfdruck kleiner oder gleich den Drücken der anderen Gase in der Luft ist, bleibt das Wasser im gasförmigen Zustand. Mit steigender Dampfmenge und somit steigendem Dampfdruck bildet sich durch die überschüssige Feuchtigkeit Kondensat. Da mit steigender Temperatur sowohl der Dampfdruck als auch der Gasdruck der Luft steigt, kann warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen als kalte Luft. Die Wassermenge, welche in der Luft aufgenommen werden kann, ist demnach stark temperaturabhängig. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der relativen Feuchte, kann diese auch über den Wasserdampfdruck berechnet werden:

$$U = \frac{\text{Wasserdampfdruck } e_w(t) [\text{hPa}]}{\text{Sättigungsdampfdruck } e_s(t) [\text{hPa}]} \times 100 = \frac{e_w}{e_s} \times 100$$

KNOW-HOW

Messgrößen im Fokus: Feuchte.

2 Wo spielt Luftfeuchtigkeit eine Rolle?

Die Regelung der Luftfeuchtigkeit spielt überall eine Rolle, wo sich Menschen oder feuchteempfindliche Stoffe über einen längeren Zeitraum in einem Raum befinden. Besonders bei der Überwachung von Produktions-, Lager- und Transportbedingungen, bei der thermischen Behaglichkeit und Raumluftqualität sowie bei RLT-Anlagen ist die Luftfeuchtigkeit ein zu kontrollierender Umgebungsparameter.

In Räumen findet ein ständiger Feuchteausgleich zwischen der Umgebungsluft und den sich darin befindenden Menschen und Stoffen statt. Hygroskopische Stoffe geben Feuchtigkeit an ihre Umgebung ab oder nehmen Feuchte auf. Sie streben dabei nach einem Gleichgewicht ihres Feuchtehaushaltes mit ihrer Umgebung. Das heißt bei Luft mit einem geringen Feuchtegehalt trocknen hygroskopische Stoffe aus und bei feuchter Luft reichert sich Wasser in den Materialien an.

Bei geringer Luftfeuchte kann es folglich zu Materialversprödung und Rissen kommen. Bei hoher relativer Luftfeuchte und partiell kühlen Oberflächen beginnen Materialien zu quellen. Außerdem werden Vorgänge wie Ausdehnung und Kontraktion, Erhärten und Erweichen von Materialien, Veränderung der Viskosität einer Flüssigkeit, Wachstum von Mikroben, Anstieg der statischen Elektrizität sowie Korrosion und Rostbildung zu einem großen Teil durch Feuchte beeinflusst.

Bei Menschen gibt es einen Behaglichkeitsbereich. Dieser liegt bei $T = +23\text{ °C}$ und bei einer relativen Feuchte von ca. 30-65 %rF.

3 Möglichkeiten der Messung der Luftfeuchtigkeit

Eine einmalige Kontrollmessung der Luftfeuchtigkeit ist besonders bei starkem, plötzlichem Luftaustausch z. B. bei Klimaanlagen oder starken Feuchtequellen im Raum sinnvoll. Bei der Messung ist darauf zu achten, dass der Fühler die gleiche Temperatur erreicht wie die zu messende Luft. Außerdem sollte bei der Messung darauf geachtet werden, dass direkte Sonneneinstrahlung sowie die unmittelbare Nähe von Türen und Fenstern vermieden werden.



Auch in Reinräumen erfolgt die Messung der Luftfeuchtigkeit

Um Feuchteeffekte an Oberflächen zu beobachten, eignet sich der Einsatz von Datenspeichergeräten über einen längeren Zeitraum hinweg, da mehrere Faktoren die Luftfeuchte beeinflussen können.

Die kontinuierliche Klimaüberwachung in Reinräumen sowie in Lagerbereichen, in denen feuchteempfindliche Produkte gelagert werden, sorgt zudem für eine hohe Produktqualität.



testo Saveris® für die permanente Feuchteüberwachung in Räumen

4 Messen der relativen Feuchte

4.1 Die Taupunktmethode

Das Phänomen des Taupunkts ist aus dem täglichen Leben bekannt. Beispielsweise wenn Brillenträger aus kalten in warme Räume kommen oder wenn eine kalte Flasche aus dem Kühlschrank genommen wird. Wasser aus der Umgebungstemperatur kondensiert an den Brillengläsern oder der Flasche.

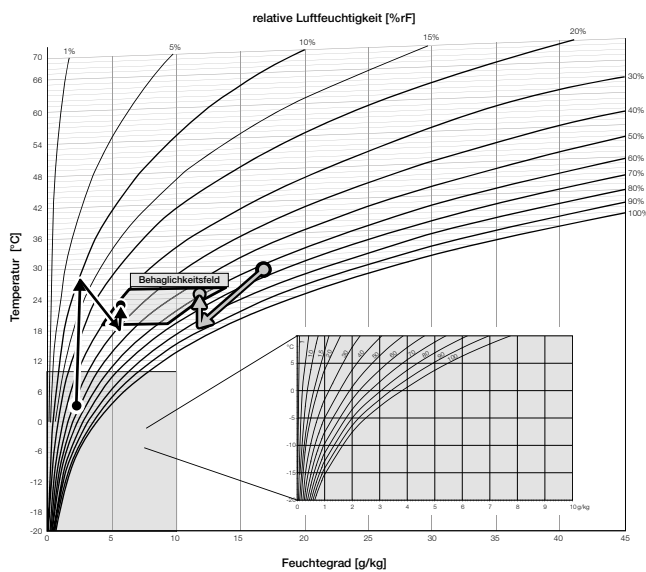
Am Taupunkt beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 100 %, denn die Luft ist mit Wasserdampf gesättigt.

KNOW-HOW

Messgrößen im Fokus: Feuchte.

Falls die Umgebungstemperatur sinkt oder die Feuchtigkeit steigt, entsteht Kondenswasser in Form von Tau, Nebel oder Wassertröpfchen.

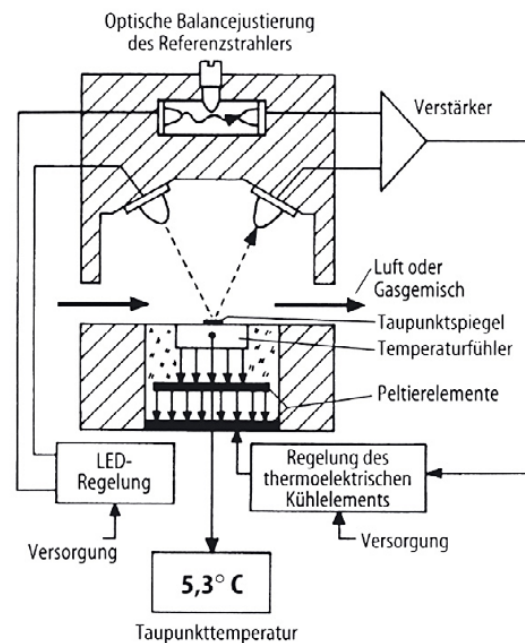
Da der Taupunkt durch verschiedene Variablen beeinflusst wird, ist dieser nicht einfach zu berechnen. Mit Hilfe des sogenannten Mollier-Diagramms werden Zustandsänderungen feuchter Luft durch Erwärmung, Befeuchtung, Entfeuchtung, Kühlung und Mischung verschiedener Luftmengen ermittelt. Aus Umgebungstemperatur und relativer Luftfeuchte lässt sich die Taupunkttemperatur bestimmen bzw. aus Umgebung- und Taupunkttemperatur die relative Luftfeuchte.



Im Mollier-Diagramm kann die Luftfeuchtigkeit bei gemessener Temperatur und Taupunkt abgelesen werden

Bei der Taupunktmethode wird ein Spiegel so lange abgekühlt, bis sich darauf Feuchtigkeit niederschlägt. Mit einer Lichtquelle und einem Photosensor wird der Moment der Kondensation bestimmt. Anhand der Dampfsättigungskurve kann daraufhin für diese Temperatur die absolute Luftfeuchtigkeit im gemessenen Raum ermittelt werden. An einem zweiten Messpunkt wird die tatsächliche Raumtemperatur gemessen und lässt auf die maximale Luftfeuchtigkeit schließen. Die relative Luftfeuchtigkeit lässt sich anschließend anhand der Formel (siehe Seite 1, Theoretische Grundlagen zur Messgrö-

ße Feuchte) berechnen.



Funktionsweise eines Taupunktspiegelhygrometers

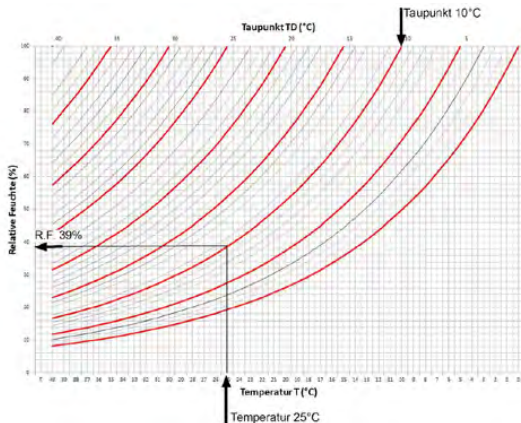
Ein Beispiel:

Wenn die Lufttemperatur bei 25 °C und der Taupunkt bei 10 °C liegen, beträgt die relative Luftfeuchtigkeit laut Mollier-Diagramm 39 %.

Wenn man in der gegebenen Situation die Raumtemperatur auf 10 °C senken würde, ohne dass der absolute Wasserdampfgehalt der Luft (z. B. durch Lüften) verändert wird, dann erreicht die relative Luftfeuchtigkeit den Maximalwert von 100 %. Je kühler die Luft ist, desto weniger Wasserdampf kann sie absolut speichern. Die Luft wäre bei einer Temperatur von 10 °C mit dem vorliegenden Wasserdampf komplett gesättigt. Sinkt die Temperatur bei gleich bleibendem Wasserdampfgehalt weiter, fällt Wasser als Kondensat aus. Dasselbe passiert, wenn die Temperatur gleich bleibt, der Wasserdampf im Raum jedoch weiter zunimmt.

KNOW-HOW

Messgrößen im Fokus: Feuchte.



Vor- und Nachteile der Messmethode:

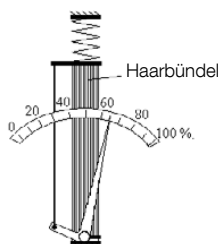
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> Keine Stromzufuhr Direkte Anzeige Low-Cost-Anwendungen 	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Wartungsaufwand Häufige Regenerierung Hysteresis Einsetzbar nur von 15 % bis 85 %rF bis max. 50 °C Sehr hohe Ungenauigkeiten Langsame, träge Messung Verschmutzungsempfindlich Empfindlich beim Transport

Vor- und Nachteile der Messmethode:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> Sehr hohe Genauigkeit (bis zu $\pm 0,1$ °Ctd) Großer Messbereich Langzeitstabil Kurze Ansprechzeiten Hohe Zuverlässigkeit Als präzise Laborreferenz einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> Sehr genaue Temperaturmessung erforderlich Größere Tischgeräte Wartungsaufwand Kostenintensiv

4.2 Hygrometer

Ein sogenanntes Hygrometer macht sich die Hygroskopie zur Messung der Luftfeuchtigkeit zunutze. Hygroskopie bezeichnet die Fähigkeit bestimmte biologische und synthetische Materialien gegen Wasser aus der Umgebungsluft auszutauschen. Das Haarhygrometer beispielsweise enthält ein menschliches Haar, welches sich bei steigender Feuchtigkeit verlängert. Moderne Hygrometer basieren auf der Veränderung der elektrischen Eigenschaften eines Sensors.



Funktionsprinzip Haarhygrometer

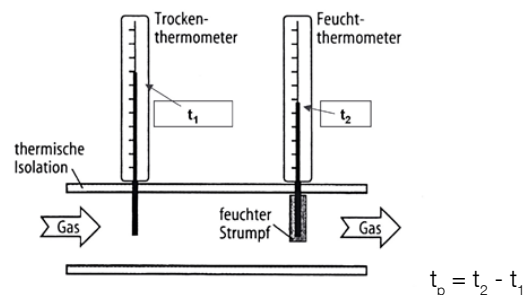


testo 608-H1, Thermohygrometer

4.3 Psychrometer

Wenn Wasser verdunstet, werden Wassermoleküle an die Umgebung abgegeben. Die dafür benötigte Energie wird der Wasseroberfläche entzogen, sodass diese abkühlt. Wassermoleküle aus der Luft treffen auf die Wasseroberfläche, um zu kondensieren. Die zuvor zur Verdunstung benötigte Energie wird der Wasseroberfläche wieder hinzugefügt, sodass sich diese erwärmt. Es hängt also von der Anzahl der Wassermoleküle ab, ob die abgegebene Temperatur der Wasseroberfläche kompensiert werden kann.

Das Psychrometer nutzt den beschriebenen Sachverhalt bei der Messung der Luftfeuchtigkeit. Mit Hilfe von zwei Thermometern wird die aktuelle Temperatur gemessen, wobei eines der Thermometer von einem feuchten Tuch/Strumpf umhüllt wird. Dadurch, dass die Feuchtigkeit des Tuchs durch Anblasen mit Luft verdunstet, wird dem Thermometer Wärme entzogen. Die Temperaturdifferenz zum trockenen Thermometer gibt Aufschluss zur relativen Luftfeuchtigkeit, welche beispielsweise im Mollier-Diagramm abgelesen werden kann.



Funktionsweise eines Psychrometers

KNOW-HOW

Messgrößen im Fokus: Feuchte.

Vor- und Nachteile der Messmethode:

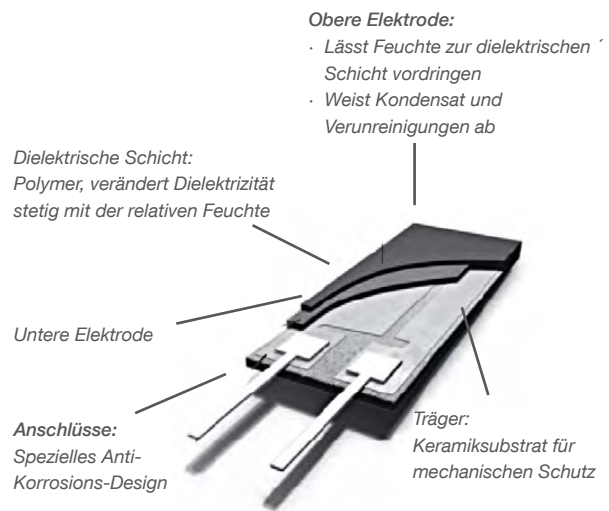
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Anerkanntes Verfahren • Genauigkeiten von bis zu $\pm 2\%$ rF möglich • Unempfindlich gegen aggressive Gase • Psychrometer können im Gegensatz zu Taupunktspiegeln in Salzsprühnebelkammern eingesetzt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Wartungsaufwand • Konstante Luftströmung erforderlich • Schlecht für Dauermessung geeignet, max. 12 min • Sehr hohe Ungenauigkeiten • Keine punktuelle Messung möglich; erste Ablesung nach ca. 2 min möglich • Vor jeder Messung muss ein Temperaturgleich an die Umgebung stattfinden

5 Feuchtesensoren

5.1 Polymersensoren

Resistive Polymersensoren nutzen den Effekt, dass ein hygroskopisches, ionisch aufgebautes Material seine Leitfähigkeit durch Wasseranlagerung ändert. Der feuchteabhängige Widerstandswert ist Maßstab für die relative Feuchte. Da resistive Sensoren stark exponentielle Kennlinien aufweisen, eignen sie sich besonders bei großen Feuchtwerten. Kapazitive Polymersensoren enthalten eine dielektrische Schicht, die aus einer hygroskopischen Polymerschicht besteht. Diese nimmt entweder Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft auf oder gibt diese an sie ab bis ein Gleichgewichtszustand entsteht. Diese Kapazitätsänderung wird in ein elektrisches Signal umgewandelt. Die hohe Dielektrizitätskonstante von Wasser ($\epsilon_r=80$) im Vergleich zu Luft ($\epsilon_r=1$) bewirkt schon bei kleinen Feuchtwerten deutliche Kapazitätsänderungen. Aufgrund der nahezu linearen Kennlinie des Verfahrens können gute Genauigkeiten von kleinen bis hin zu großen Feuchtwerten erzielt werden ($\pm 1\%$ rF). Durch eine gute Polymerauswahl kann der Temperaturkoeffizient auf bis zu $0,092\%$ rF/k reduziert werden, wodurch sie für große Spannen (-60 °C bis $+180\text{ °C}$) ohne aufwendige Kompensationsverfahren eingesetzt werden können. Durch die kleine Bauform und die dünnen Schichten werden sehr kurze Ansprechzeiten von unter 2 Minuten angegeben.

Aufbau eines kapazitiven Polymersensors



Vor- und Nachteile der Messmethode:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Kleine Bauform • Preisgünstig 	<ul style="list-style-type: none"> • Eingeschränkter Messbereich • Stark temperaturabhängig • Geringe Genauigkeit

6 Möglichkeiten der Feuchtekalibrierung

Die Sensoren zur Messung der Feuchte müssen regelmäßig kalibriert werden, um zu gewährleisten, dass sie entsprechend ihrer technischen Daten funktionieren. Die Kalibrierung wird normalerweise mithilfe eines Gerätes durchgeführt, das als Feuchtegenerator bezeichnet wird.

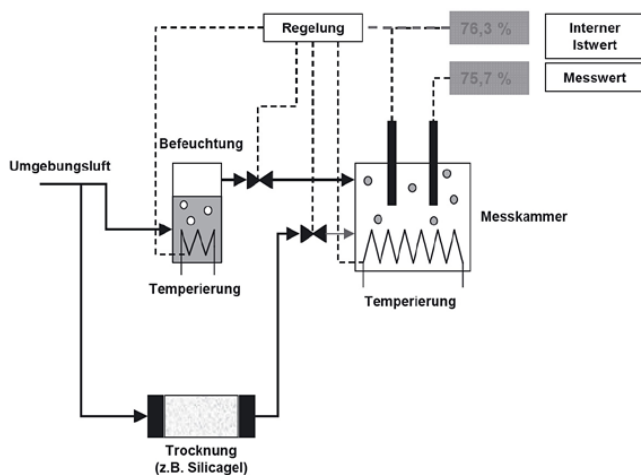
6.1 Zwei-Mengen-Generatoren

Bei Feuchtegeneratoren nach der Zwei-Mengen-Methode wird der gewünschte Feuchtwert durch die Mischung eines trockenen und eines mit Wasserdampf gesättigten Luftstromes eingestellt. Die Umgebungsluft wird angesaugt und in

KNOW-HOW

Messgrößen im Fokus: Feuchte.

zwei Teilströme geteilt. Der gewünschte Feuchtegrad wird durch das Mischungsverhältnis der beiden Anteile (trockene/feuchte Luft) erreicht. Die Feuchte in der Messkammer hängt dabei von der Feuchte des mit Wasserdampf gesättigten Luftstroms und des Mischungsverhältnisses ab. Die gleichförmige Verteilung von Temperatur und Feuchte in der Messkammer wird durch ein Gebläse sichergestellt.



Funktionsweise eines Zwei-Mengen-Generators

Huminator – Klimaschrank im Kleinformat

Der Huminator von Testo Industrial Services funktioniert nach der Zwei-Mengen-Methode. Es handelt sich hierbei um einen Klimagenerator, welcher einen hochpräzisen Feuchte- und Temperaturfühler in der Kammer verbaut hat. Die Kalibrierung der Feuchtefühler erfolgt an mehreren Temperatur- und Feuchtepunkten.

Um zu verhindern, dass der Huminator während der Kalibrierung mehrmals befeuchten und wieder trocknen muss, sollte stets mit dem niedrigsten Feuchtwert begonnen werden. Anschließend lassen sich die höheren Feuchtwerte anfahren.



Huminator der Testo Industrial Services GmbH

6.2 Zwei-Druck-Generatoren

Zwei-Druck-Generatoren enthalten zwei Kammern. In der ersten Kammer, die als Sättiger bezeichnet wird, befindet sich mit Wasser gesättigte Luft unter hohem Druck. Diese Luft wird in die zweite Kammer geleitet, welche als Messkammer bezeichnet wird. Hier herrscht ein niedrigerer Druck als im Sättiger. Da sich die Wassermoleküle auf ein größeres Volumen verteilen, sinkt die relative Feuchte ab.

Die gewünschte Luftfeuchtigkeit lässt sich somit über die Wahl des Druckverhältnisses genau einstellen.

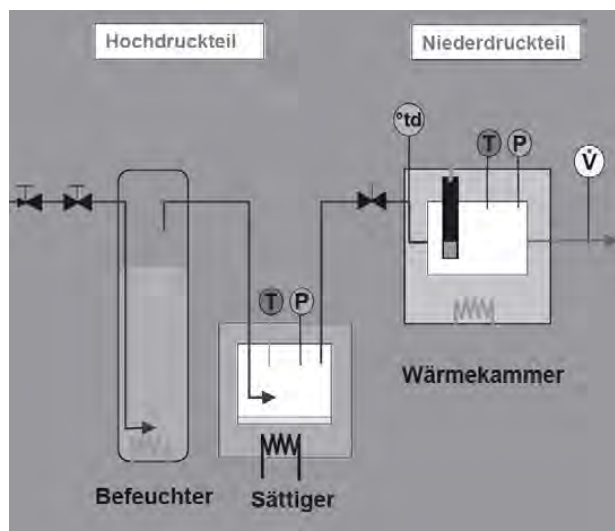


Thunder-Feuchtegenerator

KNOW-HOW

Messgrößen im Fokus: Feuchte.

Funktionsweise des Zwei-Druck-Generators



Sie wollen weitere Informationen zur Messgröße Feuchte, zu Ihrer Messung und zur Kalibrierung der Feuchtemessgeräte?

In unserer Feuchte-Fibel bekommen Sie einen Überblick über die Eigenschaften verschiedener Feuchtemessgeräte und -fühler sowie viele Tipps und Anleitungen zur Umsetzung und Realisierung der Kalibrierung und Prüfmittelüberwachung. Außerdem sind wir gerne persönlich für Sie da!

Fordern Sie die Druckversion unserer Fibel an [Feuchte-Fibel kostenfrei bestellen](#)

Feuchte-Fibel digital downloaden: [Fibel im PDF-Format](#)

Autor: Patricia Kossek

Auch interessant für Sie?



Feuchtefibelfibel als PDF



Feuchte-Fibel kostenfrei bestellen



Seminar:
Temperatur-Feuchte-Klimaschrank



Thermodynamische Messgrößen

WEITERE THEMEN IM NEWSLETTER:

- > [Erweiterung: Standort Mörfelden-Walldorf](#)
- > [Full-Service: Klimaüberwachung](#)
- > [Interview: Prüfmittelmanagement mit PRIMAS online](#)
- > [6. Symposium Kalibrierung & Prüfmittelmanagement](#)

KONTAKT FÜR WEITERE FRAGEN:

Testo Industrial Services GmbH
Gewerbestraße 3
79199 Kirchzarten

Tel. 07661/90901-8000
E-Mail: info@testotis.de