

Feuchtemessung in Reinräumen

Die Wahl der richtigen Messgeräte ist für das Erreichen optimaler Messergebnisse von größter Bedeutung. Dies gilt auch für Kalibrierungen, die in regelmäßigen Abständen durchgeführt und auf rückführbaren Standards basieren sollten.

Eine Vielzahl von Produkten, einschließlich pharmazeutischer Produkte und Halbleiter, werden in Reinräumen hergestellt. In der Regel werden Feuchte, Temperatur, Partikelgehalt und Druck überwacht, da diese Parameter erheblichen Einfluss auf die Qualität und die Produktivität haben können.

Relative Feuchte

Die rel. Feuchte (rF) bezeichnet den Anteil des Wasserdampfs am Gasgemisch einer Umgebung. Sie gibt das Verhältnis des momentanen Wasserdampfgehalts in einem Raum zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt bei derselben Temperatur an. Vorgänge wie Ausdehnung und Kontraktion, Erhitzen und Erweichen von Materialien, Veränderung der Viskosität einer Flüssigkeit, Wachstum von Mikroben, Anstieg der

statischen Elektrizität sowie Korrosion und Rostbildung werden zu einem großen Teil durch die Feuchte beeinflusst.

Taupunkt

Der Taupunkt (Td) ist die Temperatur, auf die ein Gasgemisch abgekühlt werden muss, um Kondensation zu erzeugen. Der Taupunkt ist ein Größe, mit der sehr geringe Wassermengen in einem Gasgemisch, wie z.B. Luft angegeben werden können. Bei der Mikrobearbeitung von Halbleitern herrschen sehr trockene Bedingungen, da Wassermoleküle als Verunreinigungen angesehen werden. Unter derartigen Bedingungen liegt die rel. Feuchte praktisch konstant bei nahezu 0 %rF, auf der Taupunktskala sind jedoch auch kleinste Veränderungen des Wassergehaltes in dem gemessenen Gas leicht nachweisbar.

Unterschiedliche Anwendungen, unterschiedliche Anforderungen

Hersteller von pharmazeutischen Produkten verfügen in der Regel über eine große Anzahl an Reinräumen. Die Steuerung und Aufzeichnung von Temperatur und Feuchte unterliegt den strengen Regeln der GMP (Good Manufacturing Practice). Die wichtigste Eigenschaft, die von Feuchtsensoren gefordert wird, ist eine hohe Genauigkeit. Es ist daher äußerst wichtig, präzise Kalibrierungen durchführen zu können, um sicher zu stellen, dass die Sensoren langfristig keine Messwertdrift aufweisen.

In der Lebensmittel verarbeitenden Industrie muss die Feuchte in den Produktionsräumen bei einem bestimm-

ten Wert liegen oder unterhalb eines Wertes gehalten werden. So sind Werte von bspw. 40 % oder niedriger allgemein üblich. Dadurch wird das Wachstum von Keimen und Bakterien, die zu Lebensmittelvergiftungen führen können, beschränkt.

Bei der Halbleiter- und Elektronikherstellung wird der Abstand zwischen den Produktgenerationen immer kürzer. Daraus resultiert, dass die Überwachung der Feuchte bzw. des Taupunkts im Herstellungsprozess immer wichtiger werden. In den Mini-Environments der Produktionsstätten werden immer öfter hochgenaue Messsysteme mit Abweichungen von +/-1 %rF gefordert.

Äußerst wichtig ist die Feuchteüberwachung auch bei Anlagen zur Herstellung von Flüssigkristallbildschirmen und Farben. In diesen Fällen spielt die Haltbarkeit und Genauigkeit der Feuchteensoren eine große Rolle. Gerade in solchen Produktionsanlagen treten oft unerwünschte Luftschadstoffe auf, durch die die Sensorelemente beeinflusst werden.

Sensortechnologien für Feuchte und Taupunkt

In der Praxis werden zwei Arten von Feuchtesensoren verwendet, die den Wassergehalt der Luft messen: ein Sensortyp misst die rel. Feuchte, der andere den Taupunkt. In einer Atmosphäre mit einem Feuchtegehalt von mindestens 10 %rF wird überwiegend eine direkte Feuchtemessung angewendet, während bei niedrigem Feuchtegehalt eine Taupunktmessung bevorzugt wird. In besonderen Fällen wird diese aber auch bei hohen Feuchten eingesetzt.

Zu den Feuchte- und Taupunktsensoren zählen:

1. Psychrometer
2. Mechanisches Hygrometer
3. Lithiumchlorid-Hygrometer
4. Widerstandshygrometer
5. Kapazitives Hygrometer
6. Taupunktspiegel-Hygrometer

Die Sensoren 1 - 6 sind in der Lage, normale Umgebungsfeuchten zu messen. Die Sensoren 5 und 6 werden außerdem bei der Messung niedriger Taupunkttemperaturen eingesetzt. Das Prinzip der einzelnen Technologien wird nachstehend kurz beschrieben.

1. Das Psychrometer ist eine einfache Form eines Hygrometers, das aus zwei Thermometern besteht. Das Trocken-thermometer misst dabei die aktuelle Lufttemperatur, während das Feucht-thermometer mit einem Nassstrumpf überzogen ist. Es wird durch die Verdunstung von Wasser gekühlt. Sowohl die Verdunstungsmenge als auch die dabei entstehende Verdunstungskälte sind von der Luftfeuchte abhängig. Aus der Differenz der beiden Temperaturen wird mithilfe von Tabellen bzw. Berechnungen der Wasserdampfdruck in der Umgebungsluft ermittelt und daraus die rel. Feuchte berechnet. Das Verfahren wird häufig in Laboren und in Klimaprüfkammern eingesetzt.

2. Bei einem mechanischen Hygrometer wird die Feuchte mithilfe eines Materials gemessen und aufgezeichnet, das sich bei verändernder Feuchte zusammenzieht bzw. ausdehnt, wie z.B. menschliches Haar. Dieses Messprinzip wird seit vielen Jahren eingesetzt. Die Genauigkeit des Verfahrens ist nicht besonders hoch.

3. Das Lithiumchlorid-Hygrometer arbeitet nach einem Messprinzip, das auf der hygroskopischen Eigenschaft (Fähigkeit einer Substanz Wassermoleküle anzuziehen) von Lithiumchlorid beruht. Der Sensor besteht aus einer mit einem saugfähigen Gewebe umhüllten Spule mit einer bifilaren Wicklung (zwei isolierte Drähte mit gegenläufig fließenden Strömen). Die Spule ist mit Lithiumchlorid beschichtet. Durch die Wicklung und die Lithiumchloridlösung wird ein Wechselstrom geleitet,

der für eine Erwärmung sorgt. Bei der Erwärmung der Spule verdampft, abhängig vom Wasserdampfdruck der Umgebungsluft, Wasser aus der Lithiumchloridlösung. Je trockener die Spule wird, desto höher steigt der Widerstand in der Lösung an, und der Stromfluss durch die Wicklung sinkt. Dadurch kommt es wieder zu einer Abkühlung der Spule. Dieses Erwärmen und Abkühlen erreicht schließlich einen Gleichgewichtszustand, an dem Wasser weder abgegeben noch aufgenommen wird. Die Temperatur an diesem Punkt ist direkt proportional zum Taupunkt der Umgebungsluft.

4. Bei einem Widerstands-Hygrometer wird der Umstand genutzt, dass sich der elektrische Widerstand eines Feuchtigkeit aufnehmenden Materials verändert. Spezielle Sensoren werden zur Messung des elektrischen Widerstandes zwischen den Elektroden verwendet. Diese Art resistiver Sensor ist für Messungen in der Serienproduktion geeignet und wird vor allem im Bereich Haushaltsgeräte und Konsumgüter eingesetzt. Allerdings sind die Messungen dieser Geräte bei sehr niedrigen oder sehr hohen Feuchteumgebungen nicht besonders genau.

5. Ein kapazitives Hygrometer misst die Feuchte, indem die Kapazitätsveränderung eines Dünnschicht-Polymers genutzt wird. Dieser Sensortyp erreicht in den meisten Fällen eine ausreichende Genauigkeit und wird häufig in der Industrie eingesetzt. Die patentierten Vaisala HUMICAP® Feuchte Sensoren verwenden diese Technologie.

6. Ein Taupunktspiegel-Hygrometer nutzt die Kondensatbildung bei Taupunkttemperatur aus, wenn Luft abgekühlt wird, die Wasserdampf enthält. Dabei wird ein Spiegel abgekühlt, bis der Taupunkt des betreffenden Gases erreicht wird. Mit Erreichen des Kondensationszustands verändert sich das von der verspiegelten Fläche reflektierte Licht. Erreicht die Spiegeloberfläche einen stabilen Zustand, bei dem Verdunstung und Kondensation gleichzeitig auftreten, ist die Spiegeltemperatur gleich der Taupunkttemperatur des umgebenden Gases. Dieser Sensortyp wird häufig in Forschungsinstituten verwendet.



Vaisala verfügt über einen eigenen Reinraum, in dem Sensoren für Radiosonden sowie für verschiedene Feuchte-, Luftdruck- und Kohlendioxidmessgeräte hergestellt werden.

Die in Reinräumen am häufigsten eingesetzten Sensoren sind das Widerstands-Hygrometer, das kapazitive Hygrometer (Taupunktanzeige) und das Taupunktspiegel-Hygrometer. Bei der Auswahl eines geeigneten Messgerätes ist es wichtig, sich nicht nur an Preisen und Produktspezifikationen zu orientieren, sondern es sollten auch Messgenauigkeit, Fachkenntnisse des Herstellers zu verschiedenen Anwendungsgebieten sowie der verfügbare Service mit berücksichtigt werden. Besonders diese Faktoren tragen dann auch zum erfolgreichen Einsatz der Geräte bei.

Regelmäßige und rückverfolgbare Kalibrierungen sind wichtig

Es sollte immer sichergestellt werden, dass die von den Messgeräten angezeigten Werte zuverlässig und genau sind. Dafür ist eine regelmäßige Kalibrierung von wesentlicher Bedeutung. Typische Kalibrierintervalle sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 2 zeigt das Beispiel einer Rückverfolgbarkeitskette für stationäre

Feuchte- und Temperaturmessgeräte. Weltweit basieren alle Messungen auf dem Internationalen Einheitensystem (International System of Units - SI). Mit diesem System wird sichergestellt, dass möglichst überall die gleichen Größen verwendet werden und Messungen mit unterschiedlichen Messgeräten an unterschiedlichen Orten vergleichbar sind.

Nationale Laboratorien sind für die Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung der Rückverfolgbarkeit auf nationale Normale sowie die größtmögliche Genauigkeit bei der Kalibrierung zuständig. Diese Laboratorien sind möglicherweise auf die Kalibrierung von höchstgenauen Primärnormalen beschränkt.

Kommerzielle Anbieter offerieren Kalibrierdienstleistungen für niedrigere Normale und Messgeräte. Das können Hersteller sein, die Kalibrierungen für ihre eigenen Produkte anbieten, oder Labore, die generell Messgeräte kalibrieren. Nicht akkreditierte Einrichtungen stellen dabei die Mehrheit der Anbieter von Kalibrierungen. Dazu gehören vor allem die Hersteller von Messgeräten und ein großer Teil der kommerziellen Kalibrierdienstleister. Ohne Akkreditierung ist die Kompetenz dieser Dienstleistungen nicht nachgewiesen. Vor der Nutzung einer solchen Einrichtung sollte ihre Kompetenz geprüft werden.

Jeder Anbieter von Kalibrierdienstleistungen sollte eine gültige Rückverfolgbarkeitskette nachweisen können. Es muss mindestens eine Laborreferenz in einem externen Labor kalibriert worden sein, das dann zur internen Kalibrierung verwendet wird. Einige kommerzielle Anbieter weisen in ihren Kalibrierzertifikaten Messunsicherheit leider nur dann aus, wenn diese extra bestellt werden. Andere Kalibrierdienstleister sind sogar überhaupt nicht in der Lage, Messunsicherheiten zu berechnen. Über die Kompetenz dieser Anbieter sollte man sich vorab immer Gedanken machen.

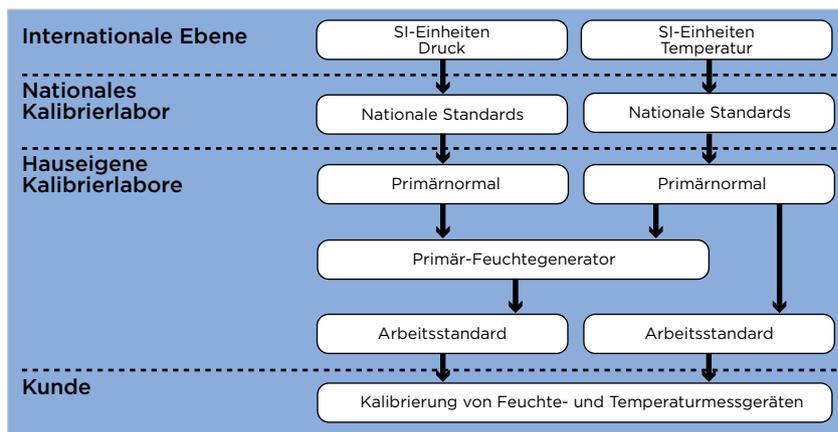
In einigen Fällen kann eine firmeneigene Kalibrierstelle sinnvoll sein, wenn es z.B. schwierig ist, die Messgeräte zu bewegen (Kalibrierung vor Ort) oder wenn eine große Anzahl von Messgeräten erforderlich ist. Wird ein firmeneigener Kalibrierdienst eingerichtet, ist es

Tabelle 1. Typische Kalibrierintervalle für Messgeräte

Messgeräte	Monate					
	6	9	12	24	36	60
Mechanische Barometer						
Präzisionsbarometer						
Barometer						
Flüssigkeitsthermometer						
Widerstands-Temperatursensoren und Thermoelemente/Thermometer						
Taupunkttemperaturmessgeräte						
Feuchtemessgeräte						
Aktive Elektrizitätszähler						
Passive Elektrizitätszähler						
Längenmessgeräte						
Längenmessgeräte mit elektr. Anzeige						

■ Geeignetes Kalibrierintervall

Tabelle 2. Beispiel für die Rückführbarkeitskette für stationäre Feuchte- und Temperaturmessgeräte



sinnvoll eine entsprechende Institution dafür zu gründen. Diese kann aus einer Person oder einer ganzen Abteilung mit entsprechender Leitung und Kalibrierpersonal bestehen.

Eine Laborkalibrierung ist einer Vor-Ort-Kalibrierung immer vorzuziehen. In einem Labor können die Auswirkungen der Umgebung und damit die Zahl der beeinflussenden Faktoren entscheidend minimiert werden. Kalibrierungen im Betrieb sind eine schnelle und einfache Möglichkeit Messgeräte zu überprüfen, ohne dass sie aus dem Prozess oder Bereich entfernt werden müssen. Für diese Art der Kalibrierung ist ein Arbeitsnormal als Referenz erforderlich. Das Arbeitsnormal kann ein portables oder sonst wie geeignetes Messgerät sein, das zur Kalibrierung des stationären Gerätes genutzt wird. Arbeitsnormale werden in übergeordneten Laboratorien kalibriert.

Vaisala verfügt über anerkannte Kalibrierdienstleistungen für seine Druck-, Temperatur-, Taupunkt- und Feuchtemessgeräte. Diese Leistungen werden über die regionalen Servicezentren angeboten. Sie sind sowohl für bereits installierte Geräte als auch zusammen mit der Lieferung neuer Geräte erhältlich.

Bestellen Sie kostenlos Ihr eigenes Kalibrierhandbuch von Vaisala unter www.vaisala.com/calibrationbook. Das Buch enthält nützliche Informationen zu allen Fragen rund um das Thema Kalibrierung.

Weitere Informationen:

www.vaisala.com/humidity
www.vaisala.com/dewpoint

Literatur:

Arun S. Mujumdar; Handbook of Industrial Drying (2006)
 Vaisala Calibration Book (2007)