HYGROMETRIE

Im folgenden werden vier unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit vorgestellt.

1. Grundbegriffe

Die Luftfeuchtigkeit läßt sich wahlweise durch eine der beiden Angaben kennzeichnen:

- 1) Die Dichte f des Wasserdampfes in der Luft, ausgedrückt in Gramm Wasser pro Kubikmeter Luft – diese Dichte wird auch als absolute Luftfeuchtigkeit bezeichnet.
- 2) Der Partialdruck p des Wasserdampfes, ausgedrückt in mm Hg-Säule (1 mm Hg-Säule = 1 Torr). Der Partialdruck ist der Teil des Luftdruckes, der bestehen bliebe, wenn der Wasserdampf allein vorhanden wäre und alle anderen Bestandteile der Luft entfernt würden.

Die Werte von f und p lassen sich ineinander umrechnen und zwar mit hinreichender Genauigkeit mittels der Zustandsgleichung der idealen Gase $pV = nRT$. In der Praxis benutzt man an dieser Stelle eine Zahlengleichung: $p = fT/289$. Hierbei ist p in Torr einzusetzen, f in g/m^3 und T in Kelvin. Die Ableitung der letzteren Formel aus der ersteren ist eine gute Übungsaufgabe (1 Torr = 133.32 Pascal = 1.3332 mbar).

Im Folgenden ist eine Tabelle mit den Sättigungs- oder Maximalwerten aufgeführt, die f und p in Abhängigkeit von der Temperatur annehmen können. Diese Zusammenstellung wird als „Dampfdrucktabelle“ bezeichnet. Tragen Sie die Werte in Origin ein und erstellen Sie einen Graph von $f_{\max}$ und $p_{\max}$ als Funktion der Temperatur. Machen Sie einen exponentiellen Fit.

t [°C]	$p_{\max}$ [Torr]	$f_{\max}$ [g/m^3]	t [°C]	$p_{\max}$ [Torr]	$f_{\max}$ [g/m^3]
-10	1,9	2,1	+12	10,5	10,7
-8	2,3	2,5	14	12,0	12,1
-6	2,8	3,0	16	13,6	13,6
-4	3,3	3,5	18	15,5	15,4
-2	3,9	4,1	20	17,6	17,3
0	4,6	4,8	22	19,8	19,4
+2	5,3	5,6	24	22,4	21,8
4	6,1	6,4	26	25,2	24,4
6	7,0	7,3	28	28,3	27,2
8	8,0	8,3	30	31,8	30,3
10	9,2	9,4	32	35,7	33,8

Tabelle 1: Sättigungs- oder Maximalwerte des Partialdruckes p und der Dichte f des Wasserdampfes

Wenn die für Zimmerluft gefundenen Werte f und p zu den obigen Sättigungswerten in Relation gebracht werden, ergeben sich zwei weitere Größen zur Kennzeichnung der Luftfeuchtigkeit:

3) Die relative Luftfeuchtigkeit r – sie ist definiert durch die Beziehung:

$$r = \frac{f(T_Z)}{f_{\max}(T_Z)} = \frac{p(T_Z)}{p_{\max}(T_Z)}.$$

4) Der Taupunkt τ : Wird die Luft bis auf diese Temperatur abgekühlt, so tritt Nebelbildung und Tau auf. Bei dem Taupunkt erreichen daher f und p ihre Maximalwerte und können der obigen Tabelle entnommen werden.

Alle vier in dieser Weise eingeführten Größen f , p , r und τ können also ineinander umgerechnet werden.

2. Die Messungen

Im Praktikum sind vier verschiedene Instrumente aufgestellt:

a) Das Aspirations-Psychrometer

In der Praxis wurde bisher meist dieser Instrumententyp für ernsthafte Messungen verwendet. Das Gerät gibt den Partialdruck p an.

Das Instrument ist mit zwei gleichartigen Thermometern ausgestattet. Durch einen Ventilator mit Uhrwerkantrieb wird an den beiden Thermometerkugeln ein Luftstrom vorbeigesaugt. Die eine Kugel ist mit Gaze dünn umwickelt, die vor dem Versuch mit destilliertem Wasser angefeuchtet wird („feuchtes Thermometer“). Bei dem anderen Thermometer ist die Kugel trocken („trockenes Thermometer“). Das trockene Thermometer zeigt die Lufttemperatur an. Das feuchte Thermometer nimmt infolge der Verdunstungskälte eine tiefere Temperatur an und zwar um so tiefer, je trockener die Luft ist. Die Temperatur des feuchten Thermometers ist unser Rohwert für den Taupunkt und soll als unkorrigierten Taupunkt τ^x bezeichnet werden. Mit Hilfe der Tabelle 1 bzw. aus dem Oringraph können Sie jetzt einen Rohwert für den Partialdruck $p_{\max}(\tau^x)$ ablesen. Der tatsächliche, korrigierte Partialdruck p^{korr} des Wasserdampfes ergibt sich aus folgender halb empirischer Formel in Torr:

$$p^{korr}(T_Z) = p_{\max}(\tau^x) - C(T_Z - \tau^x); \quad C = 0,5 \text{ Torr/K} = 0,67 \text{ mbar/K}.$$

Hierbei ist T_Z die Zimmertemperatur bzw. die Temperatur des trockenen Thermometers und $p_{\max}(\tau^x)$ der Sättigungsdruck bei der Temperatur τ^x , entnommen aus Tabelle 1 bzw. aus dem Oringraph. Mit Hilfe des korrigierten Wert p^{korr} können Sie jetzt den tatsächlichen Taupunkt τ (Tabelle 1 rückwärts benutzen) sowie die relative Luftfeuchtigkeit r bestimmen.

Die beiden Thermometerkugeln sind durch doppelwandige Schutzrohre gegen thermische Störungen geschützt. Zum Anfeuchten des einen Thermometers ist ein kleines Glasrohr beigegeben, das, bis zu einer Marke mit Wasser gefüllt, von unten her eingeschoben werden kann. Eine solche Befeuchtung überdauert eine oder mehrere Ablaufperioden des Uhrwerks.

b) Der Taupunktanzeiger

Das Gerät besteht aus einem kleinen, an der Vorderseite vernickelten Metallgefäß, in das etwas Aceton eingefüllt wird. Wenn mit einem Gummigebläse Luft durch das Aceton gepumpt wird, so kühlt es sich und das Gefäß ab. Bei hinreichend langem Pumpen bildet sich ein Taubeschlag auf der vernickelten Fläche.

Die Temperatur, bei der dies geschieht, soll im Folgenden als unkorrigierten Taupunkt τ^x bezeichnet werden. Sie liegt oberhalb des wahren Taupunktes τ der Luft. Der Grund für die Differenz wird weiter unten noch erläutert.

Um für τ^x einen brauchbaren Wert zu bekommen, beobachtet man, bei welcher Temperaturangabe der Tau gerade auftritt und bei welcher Anzeige er gerade wieder verschwindet. Dabei wird sich herausstellen, dass das Verschwinden des Taus besser wahrnehmbar ist als das Erscheinen, weil man im ersten Fall weiß, wo man hinschauen soll. Nach einigen Tauzyklen nimmt man also den Mittelwert der Verschwindetemperaturen als τ^x .

Anschließend kann man aus Tabelle 1, bzw. aus dem erstellten Orgin-Graph ablesen, welcher Maximal- oder Sättigungswert von f zur Temperatur τ^x gehört. Er soll mit $f_{\max}(\tau^x)$ bezeichnet werden, den unkorrigierten Sättigungswert.

Aufgrund folgender Überlegung muß $f_{\max}(\tau^x)$ jetzt korrigiert werden:

Es sei ein bestimmtes Volumen Zimmerluft in einem luftdichten Kasten eingeschlossen. Wird dieser von außen hinreichend abgekühlt, so schlägt sich auf seinen Innenwänden Tau nieder. Das legt den Wert des wahren Taupunktes τ fest, da bei dieser Art der Abkühlung die Dichte des Wasserdampfes unverändert bleibt. Bei unserem Versuch wird sich die Luft nach dem idealen Gasgesetz im Verhältnis τ^x/T_z zusammenziehen, wenn sie von der Zimmertemperatur T_z auf den Taupunkt τ^x abgekühlt wird. Es wird also Umgebungsluft mitsamt Luftfeuchtigkeit zuströmen. Damit wird die Dichte des Wasserdampfes im abgekühlten Zustand etwas größer und der Taupunkt steigt an auf den Wert τ^x .

Diese Überlegung führt zu folgendem Korrekturformel für $f_{\max}$:

$$f^{korr}(T_z) = f_{\max}(\tau^x) \cdot \tau^x / T_z .$$

Hierbei ist T_z die Zimmertemperatur und τ^x der (unkorrigierte) Taupunkt, beides in Kelvin ausgedrückt. Bestimmen Sie mit Hilfe von f^{korr} den tatsächlichen Taupunkt τ sowie die relative Luftfeuchtigkeit r .

c) Das Haar-Hygrometer

Es ist das primitivste und im allgemeinen ungenaueste, aber handlichste der Instrumente. Es zeigt direkt die relative Luftfeuchte an. Es beruht auf der Längenänderung, die Haare und auch andere organische Fasern bei Variation der Luftfeuchtigkeit aufweisen. Seine Skala ist empirisch geeicht. Der Zeiger des Gerätes besitzt drei Spitzen. Je nach Lufttemperatur soll eine andere Spitze zur Ablesung verwendet werden. Auf einem der Geräte steht ausserdem beschrieben, wie man mit dem Haarhygrometer den Taupunkt bestimmt.

Das Haar-Hygrometer sollte über die Meßzeit öfters abgelesen werden. Dadurch wird es nicht genauer, aber es läßt sich eine Änderung der Luftfeuchtigkeit über die Zeit gut verfolgen.

d) Elektronisches Hygrometer

Dem Versuch ist ein viertes Instrument zur Messung der relativen Luftfeuchte beigelegt. Es ist mit einem Kondensator als Feuchtesensor ausgestattet und verfügt über eine digitale Anzeige zur Ablesung des Meßwertes. Der Kondensator besteht aus einer gespannten Folie, die beiderseits mit einem Goldfilm bedampft ist. Die Folie bildet das Dielektrikum, die Goldfilme die Elektroden. Unter dem Einfluß der Luftfeuchte ändert sich die Dielektrizitätskonstante der Folie und damit die Kapazität des Kondensators. Zur Messung dieser Kapazität dient eine Wechselstrombrückenschaltung. Da zwischen der Kapazität und der relativen Luftfeuchte kein linearer Zusammenhang besteht, erfolgt im Gerät durch schaltungstechnische Maßnahmen eine Linearisierung der Anzeige.

Da man nicht davon ausgehen kann, daß die Geräte hinreichend genau geeicht sind und da auch temperaturbedingte Abweichungen der Meßwerte denkbar sind, muß eine Eichung des Gerätes durchgeführt werden. Dazu stehen zwei Behälter mit einer gesättigten Salzlösung zur Verfügung, mit deren Hilfe eine Eichgerade festgelegt werden kann. Man nutzt dabei die Tatsache aus, daß die relative Luftfeuchtigkeit, die sich in einem geschlossenen Behälter über der darin enthaltenen gesättigten Salzlösung einstellt, einen bestimmten, nur von der Temperatur abhängigen Wert hat. Diese Abhängigkeit zeigt Tabelle 2.

	Temperatur [°C]									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	relative Luftfeuchtigkeit [%]									
NaCl	76,0	75,9	75,8	75,6	75,5	75,3	75,2	75,0	74,9	74,8
LiCl	13,8	13,4	13,1	12,7	12,4	12,0	11,7	11,3	11,0	10,6

Tabelle 2: Temperaturabhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit über einer gesättigten Salzlösung

Zur Bestimmung der Eichgeraden geht man folgendermaßen vor: Man setzt den Meßkopf in die dafür vorgesehene Öffnung des NaCl- bzw. LiCl-Behälters und wartet, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat (ca. 15 min).

Der abgelesene Meßwert wird auf der Abszisse eines auf Millimeterpapier gezeichneten Koordinatensystems aufgetragen, den dazugehörigen für die jeweilige Zimmertemperatur der Tabelle entnommenen Eichwert markiert man auf der Ordinate.

Dieser Vorgang wird mit der anderen Salzlösung wiederholt. Die Gerade durch beide Punkte ist die gesuchte Eichgerade.

Anschließend setzt man den Sensor der Zimmerluft aus. Den zu der Ablesung gehörigen Wert der relativen Luftfeuchtigkeit entnimmt man dann dem Eichdiagramm.

3. Auswertung

Tragen Sie in eine Tabelle die verschiedenen Werte für die absoluten und relativen Luftfeuchtigkeiten, für die unkorrigierten und korrigierten Taupunkte ein. Vergleichen Sie unkorrigierte und korrigierte Werte, berechnen Sie Mittelwerte und Fehler.

Ist eine einheitliche Tendenz der Luftfeuchtigkeitswerte über die Zeit, in der der Versuch durchgeführt wurde, festzustellen? Ließe sich diese Änderung der Luftfeuchtigkeit mit einer Änderung der Raumtemperatur begründen?

Bitte nach Beendigung der Messungen den Arbeitsplatz wieder aufräumen!!
--