

Auswertungsgenauigkeit psychrometrischer Messungen

Von Dr.-Ing. Wolf-Michael Hofmann, Winterthur



Praktische Messungen der Luftfeuchtigkeit erfolgen weitgehend mit Taupunktspiegelgeräten oder Psychrometern. Bei letzteren werden zwei Temperaturen gemessen, die sogenannte trockene und die Feuchtkugeltemperatur. Von der Art des Meßgerätes und dem Auswertungsverfahren hängt die Genauigkeit für die Bestimmung der absoluten Luftfeuchtigkeit ab.

Vom Verfasser werden die bekanntesten Auswertungsverfahren der Psychrometrie verglichen und auf ihre Genauigkeit geprüft. Es zeigt sich, daß die einfache graphische Auswertung im h, x -Diagramm, bei der die Feuchtkugelenthalpie gleich der Prüfluftenthalpie gesetzt wird ($h_f = h$), nur mit einer maximalen Ungenauigkeit von +3% im Temperaturbereich zwischen 0 und 50 °C behaftet ist.

Exakte Berechnung der absoluten Feuchte aus psychrometrischen Messungen

Die absolute Feuchtigkeit der Luft x läßt sich durch die folgenden Beziehungen aus den gemessenen Werten der Temperatur am trockenen und feuchten Thermometer t_r und t_f bestimmen. Unter der Voraussetzung, daß die Luft am feuchten Thermometer vollständig gesättigt ist, die Feuchtkugeltemperatur t_f annimmt und die Umgebungseinflüsse vernachlässigbar sind, läßt sich schreiben:

$$\dot{m}_0 = \dot{m}(x_f - x) \quad (1)$$

für die Stoffbilanz und für die Wärmebilanz

$$\dot{m}(h_f - h) = \dot{m}_0 \cdot h_{w,f} = \dot{m}_0 \cdot c_{p,w} \cdot t_f \quad (2)$$

Gl. (1) in (2) eingesetzt, führt zu

$$(x_f - x) \cdot c_{p,w} \cdot t_f = h_f - h \quad (3)$$

Unter Einsetzen der Werte für h, h_f und $c_{p,w}$ in Gl. (3) und Auflösen nach der gesuchten Größe x ergibt sich:

$$x = \frac{1,005 (t_r - t_f) + x_f (2,27 \cdot t_f - 2500)}{4,19 t_f - 1,86 \cdot t_r - 2500} \quad (4)$$

wobei

$$x_f = 0,622 \frac{p_{Df}}{p_b - p_{Df}} \quad (5)$$

und

$$p_{Df} = f(t_f) \quad (6)$$

ist.

Der Wasserdampfdruck der gesättigten Luft p_{Df} kann den Wasserdampfdrucktafeln bei den entsprechenden Temperaturen t_f entnommen werden. Gl. (4) stellt die genaueste aller psychrometrischen Auswertungsmethoden dar.

Korrektur der Sprungschens Formel

Eine Auswertung über den Wasserdampfdruck p_D der betrachteten Luft mit Hilfe der allgemein üblichen Sprungschens Formel [1]

$$p_D = p_{Df} - \left[\frac{p_b}{755} \cdot K \cdot (t_r - t_f) \right] \text{ in Torr} \quad (7)$$

bzw.

$$p_D = p_{Df} - \left[\frac{p_b \cdot 10^5}{1006,5} \cdot K \cdot (t_r - t_f) \right] \quad (8)$$

mit

$$x = \frac{0,622 \cdot p_D}{p_b - p_D} \quad (9)$$

Formelzeichen

$c_{p,w}$	spezifische Wärmekapazität des Wassers bei konstantem Druck	in J/kg K
h	spezifische Enthalpie der Prüfluft	
h_f	spezifische Enthalpie der Luft im Feuchtkugelzustand	in J/kg
$h_{w,f}$	spezifische Enthalpie des Wassers bei Feuchtkugeltemperatur	
\dot{m}	Massenstrom, trockene Luft	in kg/s
\dot{m}_0	Massenstrom, verdunstetes Wasser	
\dot{m}_w	Massenstrom, Wasser	
p_b	barometrischer Luftdruck	in Pa
p_D	Wasserdampfdruck der Prüfluft	
p_{Df}	Wasserdampfdruck der gesättigten Luft im Feuchtkugelzustand	
t_r	trockene Celsius-temperatur der Prüfluft	in °C
t_f	Feuchtkugeltemperatur der Prüfluft	
x	absolute Feuchte der Prüfluft	in kg/kg
x_f	absolute Feuchte der gesättigten Luft bei Feuchtkugeltemperatur	

führt bei einfachem Aufbau zu fast ebenso genauen Ergebnissen wie Gl. (4), wenn die Konstante K richtig gewählt wird. In der Literatur [2; 3; 4; 5] wird die Konstante für Wasser/Luft bis 50 °C mit dem Wert $K = 0,5$ gewählt, während für Eis/Luft (gefrorener Strumpf am t_f -Thermometer) die Größe mit $K = 0,43$ eine Stelle genauer angegeben und der Luftdruck ohnehin sehr genau berücksichtigt wird.

Tabelle: Berechnung der absoluten Feuchte x in g/kg
Vergleich verschiedener Auswertungsmethoden bei $p_b = 1$ bar

t_f °C	t_f °C	nach Sprung mit $K =$		nach Gl. (4)	mittels Nebel- isotherme	mittels $h = h_i$
		0,50	0,485			
0	-5	0,43	0,50	0,50	0,40	0,40
	-2	2,40	2,43	2,42	2,40	2,40
10	+2	1,09	1,19	1,18	1,15	1,15
	5	3,39	3,44	3,44	3,40	3,40
	8	5,90	5,94	5,93	5,90	5,90
20	10	3,54	3,66	3,64	3,60	3,60
	15	8,67	8,73	8,71	8,75	8,75
30	15	4,46	4,65	4,62	4,65	4,70
	20	10,60	10,73	10,71	10,70	10,80
40	25	18,17	18,23	18,21	18,15	18,20
	20	6,38	6,62	6,60	6,70	6,85
	25	13,84	14,02	14,00	14,00	14,20
	30	23,09	23,23	23,25	23,35	23,50
	35	34,76	34,83	34,84	34,90	35,00

Der Unterschied zwischen Ergebnissen mit Gl. (4) und der Sprungschen Formel mit $K = 0,5$ geht aus der Gegenüberstellung in der *Tabelle* hervor. Man erkennt, daß die

Sprungschen Werte etwa 3% niedriger als die genaueren Werte liegen. Unter Verwendung einer Konstanten

$$K = 0,485$$

(10)

findet man praktisch völlige Übereinstimmung. Darum sollte in Zukunft nur diese Konstante im Bereich bis 50 °C für feuchte Luft verwendet werden.

Vergleichsweise sind in der *Tabelle* noch die Werte der graphischen Auswertung in einem h, x -Diagramm für $p_b = 1$ bar angegeben. Unter Verwendung der Nebelisothermen erhält man mit einer Abweichung gegenüber Gl. (4) von +1% bis 2% sehr genaue Ergebnisse. Selbst die graphische Auswertung mit der Vereinfachung $h_f = h$ ist mit einem Fehler von maximal +3% gegenüber Gl. (4) beachtlich genau.

Schrifttum

- [1] Das Wetter, 5 (1888) S. 105.
- [2] Robitzsch, M.: Welchen Einfluß hat die Temperaturabhängigkeit der Verdampfungswärme des Wassers und die Temperatur- und Feuchtigkeitsabhängigkeit der spezifischen Wärme feuchter Luft auf den Zahlenwert der Psychrometrikonstanten. Meteor. Z. 55 (1938) S. 418.
- [3] Flohn, H.: Über den Geltungsbereich der Sprungschen Psychrometrikonstanten und die Realität geringer relativer Feuchtigkeiten. Meteor. Z. 58 (1941) S. 300/01.
- [4] Mörikofer, W., und W. Schüepp: Aktinometrische Untersuchungen während des internationalen Polarjahres 1932/33 auf dem Jungfraujoch (3471 m). Arch. f. Meteor., Geoph. u. Biokl., B. 2 (1951) S. 397/426.
- [5] Aspirations-Psychrometer-Tafeln, S. VII. Deutscher Wetterdienst. Braunschweig 1963: F. Vieweg und Sohn. [H 657]

Rechtsprechung

Anwendung der Verdingungsordnung für Bauleistungen ohne ausdrückliche Vereinbarung

Der Eigentümer eines Bungalows hatte einem Handwerker den Auftrag erteilt, sein Schwimmbad zu isolieren. Dieser Auftrag unterlag nach ausdrücklicher Vereinbarung der Verdingungsordnung für Bauleistungen, Teil B. Die Isolierung wurde angebracht und abgenommen. Einige Tage darnach beschädigten eigene Arbeiter des Eigentümers die neu angebrachte Isolierung. Aus diesem Grunde beauftragte der Eigentümer erneut den Handwerker mit der Anbringung einer Ersatzfolie. Für diesen Auftrag wurde die Verdingungsordnung für Bauleistungen nicht mehr besonders vereinbart. Nach etwa drei Jahren rügte der Auftraggeber Mängel an der Isolierung; der Handwerker wandte Verjährung ein, da die zweijährige Verjährungsfrist nach der Verdingungsordnung abgelaufen sei; der Auftraggeber berief sich aber auf die fünfjährige Verjährungsfrist für Gewährleistungsansprüche nach

§ 638 des Bürgerlichen Gesetzbuches, die seiner Auffassung nach deswegen in Frage komme, weil für den zweiten Auftrag die Geltung der Verdingungsordnung nicht vereinbart worden sei.

Über diesen Fall aus dem Anwendungsbereich der Verdingungsordnung entschied das Oberlandesgericht Düsseldorf in seinem Urteil vom 22. Oktober 1976 (22 U 150/76). Auch der zweite Auftrag sei unter der stillschweigenden Unterwerfung unter die Verdingungsordnung abgeschlossen und die Ansprüche des Auftraggebers auf Gewährleistung bzw. Nachbesserung seien daher verjährt. Es sei richtig, daß die Bestimmungen der Verdingungsordnung nur anzuwenden seien, wenn sie ausdrücklich zwischen den Parteien vereinbart worden seien; eine entsprechende stillschweigende Übereinkunft könne sich aber aus den besonderen Um-

ständen eines Falles ergeben. Es handle sich bei dem zweiten Auftrag praktisch um eine Erneuerung der kurz zuvor erbrachten Leistung des Handwerkers, für die ausdrücklich die Verdingungsordnung vereinbart worden sei. In diesem Zusammenhang müsse der Vertragsinhalt des zweiten Auftrages ausgelegt werden. Daraus ergebe sich, daß auch für den zweiten Auftrag stillschweigend die Verdingungsordnung mit ihrer zweijährigen Verjährungsfrist gegolten habe, auch wenn hierbei die Verdingungsordnung nicht ausdrücklich erwähnt worden sei.

Allerdings muß jedem Handwerker dringend empfohlen werden, in derartigen Fällen erneut die Geltung der Verdingungsordnung ausdrücklich zu vereinbaren, da in zweifelhaften Fällen die Gerichte anders entscheiden könnten und der Handwerker dann das Nachsehen hat.

zt./ [H 649]