

Die Messung der Luftfeuchtigkeit

Autor(en): **Hess, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **30 (1952)**

Heft 4

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876103>

Nutzungsbedingungen

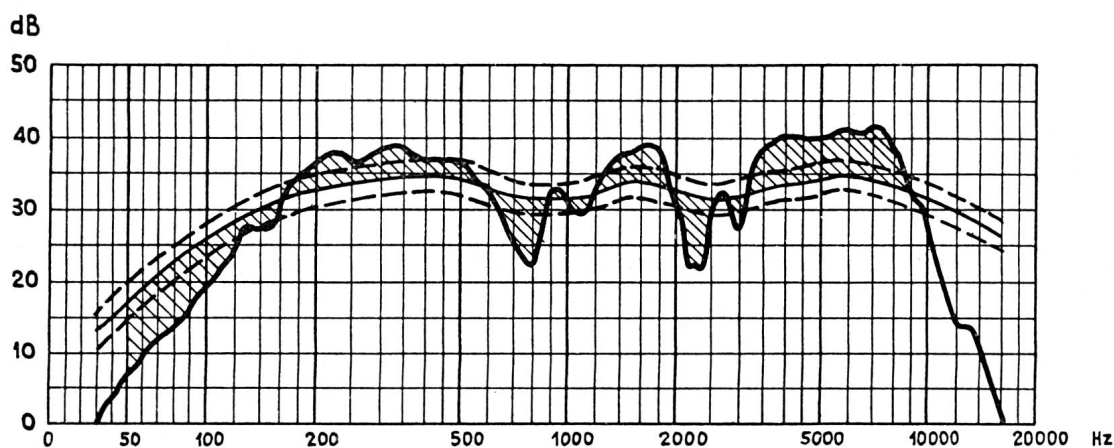
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



c) Lautsprecher Nr. 3.
Faktor für Einschwing-
verzerrungen: 4,2

weisses Rauschen eine sehr ähnliche Klangfarbe ergab, so dass dieser Umstand bei der subjektiven Beurteilung keine Rolle spielen konnte. Der Vergleich wurde mit verschiedenartiger Musik vorgenommen. Lautsprecher 1 ist dabei von etwa 20 Beobachtern einstimmig am besten beurteilt worden, 2 als etwas weniger gut und Lautsprecher 3 wurde als schlecht befunden.

Diese Versuche zeigen, dass Lautsprecher, deren Frequenzgänge im allgemeinen Verlauf gleich sind, sich aber in den Einzelheiten unterscheiden, auch subjektiv sehr verschieden bewertet werden. Die subjektiv und objektiv ermittelte Rangfolge stimmt dabei gut überein.

Bei der subjektiven Beurteilung werden allerdings sämtliche Fehler des Lautsprechers, wie zum Beispiel lineare und nichtlineare Verzerrungen, Einschwingverzerrungen usw., gesamthaft beurteilt. Die Versuche haben gezeigt, dass es schwierig ist, diese Eigenschaften zu trennen. So kann der Einfluss der Ein-

schwingverzerrungen auf die Übertragungsqualität subjektiv nicht ohne weiteres angegeben werden.

Die geschilderte neue Messmethode, obwohl sie streng genommen nur die Einschwingverzerrungen von reinen Tönen erfasst, gibt doch ein der subjektiven Beurteilung entsprechendes Bild und erweist damit ihre praktische Brauchbarkeit.

Bibliographie

- (1) J. C. Hentsch. La fidélité des haut-parleurs dans la reproduction des phénomènes transitoires. Technische Mitteilungen PTT, 1951, Nr. 6, 5.201.
- (2) H. J. von Braunmühl und W. Weber. Über die Störfähigkeit nichtlinearer Verzerrungen. Akust. Z. 2 (1937), 135.
- (3) Bürk, Kotowski und Lichte. Höruntersuchungen von Einschwingvorgängen bei elektroakustischen Übertragungssystemen. Elektr. Nachr. Techn. 13 (1936), 1.
- (4) K. Kämpf. Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung. Zürich 1949.
- (5) G. Buchmann und K. Kämpf. Fortschritte in der Entwicklung elektrodynamischer Lautsprecher. Fernmeldetechn. Z. 4 (1951), 253.

Die Messung der Luftfeuchtigkeit

Von W. Hess, Bern

533.275

Zusammenfassung. Die relative Luftfeuchtigkeit spielt in automatischen Telephonzentralen eine bedeutende Rolle. Es ist notwendig, dass sie zwischen 40 und 70% liegt, wenn unliebsame Störungen im automatischen Telephonbetrieb vermieden werden sollen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass sich bei der Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit leicht Fehler einschleichen, so dass die gefundenen Messwerte nicht immer den wirklichen Verhältnissen entsprechen. Um solche Fehler tunlichst zu vermeiden, sollen im folgenden die physikalischen und chemischen Grundlagen der Luftfeuchtigkeitsmessung dargelegt werden. Anschliessend werden die wichtigsten Messmethoden und Messgeräte beschrieben. Schliesslich werden noch einige wichtige Regeln für die Behandlung und Verwendung von Feuchtigkeitsmessern im Bereiche der PTT-Verwaltung angeführt.

1. Einleitung

Unter Luftfeuchtigkeit wird der Gehalt an Wasserdampf in der atmosphärischen Luft verstanden. Feuchte Luft ist somit ein Gemisch von Wasserdampf und trockener Luft. Beide Stoffe sind gasförmig und daher temperatur- und druckabhängig.

Résumé. L'humidité relative de l'air joue un rôle important dans les centraux téléphoniques. Il est indispensable qu'elle soit toujours de 40 à 70% si l'on veut éviter des perturbations désagréables du service. On a constaté toutefois qu'il peut facilement se produire des erreurs dans la détermination de l'humidité relative et que les valeurs trouvées ne correspondent pas toujours à la réalité. L'auteur expose les principes physiques et chimiques de la mesure de l'humidité de l'air qui permettent d'éviter ces fautes dans la mesure du possible et décrit les principales méthodes appliquées et les appareils de mesure utilisés. Il signale enfin quelques règles importantes à observer pour la manipulation et l'emploi des hygromètres dans l'administration des PTT.

Im allgemeinen sind Gase beliebig miteinander mischbar. Dies trifft jedoch auf die zu betrachtenden Komponenten, Wasserdampf und Luft, nicht zu. Die Luft vermag bei einer bestimmten Temperatur nur eine begrenzte Menge Wasserdampf aufzunehmen.

Bei der Messung der Luftfeuchtigkeit wird daher

darauf ausgegangen, den Anteil des gasförmigen Wassers in einem bestimmten Volumen Luft zu ermitteln. Dabei müssen die Temperatur und die Druckverhältnisse weitgehend berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde sei den Betrachtungen über die Messung der Luftfeuchtigkeit eine Zusammenstellung der Gasgesetze vorausgeschickt. Diese Gesetze gelten zwar streng nur für «ideale Gase», doch liegen in den Telefonzentralen die Temperatur- und Luftdruckverhältnisse so, dass man, ohne einen merkbaren Fehler zu begehen, den Feuchtigkeitsmessungen die nachstehend erwähnten Gasgesetze zugrunde legen kann.

2. Physikalische Grundlagen der Luftfeuchtigkeitsmessungen

a) Gesetz von Boyle-Mariotte

Dieses Gesetz (1) sagt aus, dass für ein Gas in einem abgeschlossenen System das Produkt aus Druck (p) und Volumen (v) konstant ist. Es gilt folgende Beziehung:

$$\begin{aligned} p \cdot v &= K \quad \text{bzw.} \\ p_1 \cdot v_1 &= p_2 \cdot v_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Dieses Gesetz gilt nur bei konstanter Temperatur.

b) Gesetz von Gay-Lussac

Wird eine Gasmenge um 1°C erwärmt, so dehnt sie sich um $\frac{1}{273}$ (Ausdehnungskoeffizient der Gase) des Volumens von 0°C (v_0) aus, wenn der Druck konstant bleibt. Daraus ergibt sich:

$$v_t = v_0 \cdot \left(1 + \frac{t}{273}\right) \quad (2)$$

Wird das Volumen konstant gehalten, so erhöht sich der Druck bei 1°C Erwärmung ebenfalls um $\frac{1}{273}$ des Druckes von 0°C :

$$p_t = p_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \quad (3)$$

Verändern sich während der Erwärmung Volumen und Druck, so muss eine Kombination der Gesetze (1), (2) und (3) angewendet werden. Es entsteht dabei das Gesetz von Boyle-Mariotte-Gay-Lussac.

c) Boyle-Mariotte-Gay-Lussacsches Gesetz

$$p_t \cdot v_t = p_0 \cdot v_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \quad (4)$$

Wenn ein Gas von einer bestimmten Temperatur (t_1) auf eine neue (t_2) umgerechnet werden muss, erweist sich die Formel (4) jedoch als umständlich. Hier muss das Volumen auf 0°C reduziert und dann wieder auf die neue Temperatur umgerechnet werden. Durch die allgemeine Zustandsgleichung der Gase wird diese Rechnung wesentlich vereinfacht. Die Gleichung geht aus der Formel (4) hervor. Wird die neue Temperatur mit t_2 und die gegebene mit t_1 bezeichnet, so gilt:

$$p_2 \cdot v_2 = p_0 \cdot v_0 \cdot \left(1 + \frac{t_2}{273}\right) \quad (5)$$

und für die Reduktion auf 0°C aus Formel (2):

$$v_0 = \frac{v_1}{\left(1 + \frac{t_1}{273}\right)} \quad (6)$$

Wird in die Formel (5) für v_0 der Ausdruck (6) eingesetzt, so entsteht:

$$p_2 \cdot v_2 = \frac{p_0 \cdot v_1}{\left(1 + \frac{t_1}{273}\right)} \cdot \left(1 + \frac{t_2}{273}\right) \quad (7)$$

Unter Berücksichtigung, dass p_0 bei der Reduktion (6) nicht verändert wurde und somit als p_1 bezeichnet werden darf, ergibt sich nach dem Umgruppieren der Gleichung (7) die allgemeine Zustandsgleichung für ideale Gase (8).

d) Allgemeine Zustandsgleichung

$$\frac{p_1 \cdot v_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot v_2}{T_2} \quad (8)$$

t ist die Temperatur in $^\circ\text{C}$, und T bedeutet die absolute Temperatur in $^\circ\text{Kelvin}$, das heisst

$$T = t + 273^\circ\text{K} \quad (9)$$

Somit entsprechen 0°C einer absoluten Temperatur von 273°K .

e) Gesetz von Avogadro

Dieses Gesetz sagt aus, dass ein Gramm-Mol (das heisst das Molekulargewicht eines Gases, ausgedrückt in Gramm) eines idealen Gases unter Normalbedingungen ein Volumen von 22,415 l einnimmt. Unter Normalbedingungen wird die Temperatur von 0°C und der Druck von 760 mm Quecksilbersäule verstanden. Die Grösse 22,4 l wird auch als Molvolumen bezeichnet. Da nun die Werte für das Molvolumen, die absolute Temperatur von 273°K und der Normaldruck (760 mm Hg bzw. 1 Atm.) immer gleich sind, kann hieraus eine Konstante gebildet werden.

Nach Formel (4) ist:

$$p_t \cdot v_t = p_0 \cdot v_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right);$$

ersetzt man t durch den Ausdruck $T - 273$, so folgt

$$p_t \cdot v_t = p_0 \cdot v_0 \left(1 + \frac{T}{273} - 1\right)$$

oder

$$p_t \cdot v_t = \underbrace{p_0 \cdot v_0 \cdot \frac{1}{273}}_R \cdot T$$

Das R bildet sich somit aus dem Produkt von Normaldruck, Normalvolumen und dem Ausdehnungskoeffizienten $\left(\frac{1}{273}\right)$.

$$p \cdot v = R \cdot T \quad (10)$$

R wird als absolute Gaskonstante bezeichnet und ergibt ausgerechnet einen Wert von

$$R = p_0 \cdot v_0 \cdot \frac{1}{273} = 1 \cdot 22,415 \cdot \frac{1}{273} = 0,08206 \text{ Liter} \cdot \text{Atm/Grad} \cdot \text{Mol.}$$

Wird aber eine beliebige Gasmenge, die n Mole im Volumen v enthält, betrachtet, so entsteht aus der Gleichung (10) die Gleichung (11):

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T \quad (11)$$

Wird der Druck, statt in Atmosphären, nun in mm Quecksilbersäule gemessen, so nimmt R folgenden Wert an:

$$R = \frac{p_0 \cdot v_0}{273} = \frac{760 \cdot 22,415}{273} = 62,4 \text{ Liter} \cdot \text{mm Hg/Grad} \cdot \text{Mol.}$$

62,4 Liter · mm Hg/Grad · Mol.

f) Gesetz von Dalton

Nach dem Gesetz von Dalton (13) ist der Gesamtdruck (P) eines Gases gleich der Summe der Partialdrucke

$$P = p_1 + p_2 + p_3 \dots \dots + p_n \quad (13)$$

Bei Feuchtigkeitsmessungen sind als Partialdrucke der Druck der trockenen Luft und der Druck des vorhandenen Wasserdampfes ($p_{\text{H}_2\text{O}}$) in Rechnung zu stellen.

3. Die Angaben der Luftfeuchtigkeit

Je nach der gewählten Messmethode, kann der Wassergehalt der Luft auf verschiedene Arten angegeben werden. Im folgenden sollen diese Möglichkeiten kurz beschrieben werden.

a) Absolute Feuchtigkeit

Unter der «absoluten Feuchtigkeit» (F_{abs}) wird der Wassergehalt der Luft in g Wasser pro m³ Luft verstanden.

b) Wasserdampfdruck

Die über der Erde stehende Luftschicht übt auf die Unterlage bekanntlich einen Druck aus. Dieser Druck wird mit dem Barometer gemessen und in mm Quecksilbersäule angegeben. Diese Säule weist das gleiche Gewicht auf wie die atmosphärische Luftsäule von gleichem Querschnitt. Nach dem Gesetz von Dalton (13) ist der Gesamtdruck der atmosphärischen Luft gleich der Summe der Partialdrucke der einzelnen Bestandteile. Der Wasserdampfgehalt der Luft kann nun auch als Druck angegeben werden. Dieser Wasserdampfdruck ($p_{\text{H}_2\text{O}}$) wird in mm Hg-Säule gemessen.

c) Die spezifische Feuchtigkeit

Die «spezifische Feuchtigkeit» gibt das Gewicht der Wassermenge in einer Gewichtseinheit (kg) Luft an, das heisst g Wasserdampf je kg Luft.

d) Die relative Feuchtigkeit (Sättigungsgrad)

Die «relative Feuchtigkeit» ist eine Verhältniszahl. Sie ist das Verhältnis der Dampfspannung zum Sättigungsdruck oder auch des wirklich vorhandenen Wasserdampfes zur maximal möglichen Wasserdampfmenge (Wasserdampfsättigung) bei einer bestimmten Temperatur. An Stelle des Ausdruckes «relative Feuchtigkeit» wird öfters die Bezeichnung «Sättigungsgrad» angewendet.

gungsdruck oder auch des wirklich vorhandenen Wasserdampfes zur maximal möglichen Wasserdampfmenge (Wasserdampfsättigung) bei einer bestimmten Temperatur. An Stelle des Ausdruckes «relative Feuchtigkeit» wird öfters die Bezeichnung «Sättigungsgrad» angewendet.

4. Die mathematischen Beziehungen zwischen den verschiedenen Luftfeuchtigkeitsangaben

Messtechnisch ist es nicht möglich, die in der Luft enthaltene Wassermenge als Gasvolumen zu erfassen. Aus diesem Grunde wurde diese Angabe im vorangegangenen Kapitel nicht erwähnt. Für die Berechnung wird diese Ausdrucksform jedoch öfters gebraucht, so dass wir sie hier gleich am Anfang dieses Kapitels anführen möchten.

Das Volumen Wasserdampf ($v_{\text{H}_2\text{O}}$) steht proportional zum Partialdruck des Wassers ($p_{\text{H}_2\text{O}}$). Somit gilt:

$$p : v = p_{\text{H}_2\text{O}} : v_{\text{H}_2\text{O}} \quad (14)$$

Das Volumen Wasserdampf ($v_{\text{H}_2\text{O}}$) kann aus der absoluten Feuchtigkeit berechnet werden. Man verwendet dazu das Gesetz von Avogadro. Dabei wird die absolute Feuchtigkeit, die in Gramm H₂O pro m³ Luft angegeben wird, durch das Molekulargewicht des Wassers dividiert. Wasser hat die chemische Formel H₂O (mit anderen Worten, es besteht aus zwei Atomen Wasserstoff [H] und einem Atom Sauerstoff [O]). Das Atomgewicht von H beträgt 1,008, dasjenige von O = 16,000. Das Molekulargewicht eines Stoffes wird nun durch die Summe der einzelnen Atomgewichte gebildet. Für Wasser beträgt das Molekulargewicht somit:

$$(2 \cdot 1,008) + 16,000 = 18,016.$$

Durch die Division der absoluten Feuchtigkeit durch das Molekulargewicht des Wassers wird die Anzahl Gramm-Mole Wasser erhalten, die in einem m³ Luft vorhanden sind. Für die Berechnung des Wasserdampfolumens müssen nun die erhaltenen Gramm-Mole Wasser mit dem Mol-Volumen (22,415 l) multipliziert werden. Die ganze Berechnung kann durch folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$v_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{F_{\text{abs}} \cdot 22,415}{18,016} \quad (15)$$

Diese Formel gilt nur unter Normalbedingungen.

Muss aus der absoluten Feuchtigkeit der Wasserdampfdruck ($p_{\text{H}_2\text{O}}$) berechnet werden, so lässt sich die Formel (11) anwenden. An Stelle von p wird $p_{\text{H}_2\text{O}}$ gesetzt. Nach $p_{\text{H}_2\text{O}}$ aufgelöst ergibt sich:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n \cdot R \cdot T}{v} \quad (16)$$

Zur Berechnung von n muss die absolute Feuchtigkeit durch das Molekulargewicht des Wassers (18,016) dividiert werden. Setzt man den erhaltenen Quotienten in (16) ein, so ergibt sich die Formel (17), mit deren Hilfe der Wasserdampfdruck aus der absoluten Feuchtigkeit berechnet werden kann:

$$p_{H_2O} = \frac{F_{abs} \cdot R \cdot T}{18,016 \cdot 1000} \quad (17)$$

Für R muss der in der Formel (12) berechnete Wert (62,4 Liter · mm Hg/Grad Mol) verwendet werden. Da R , das Molekulargewicht des Wassers und das Volumen (1000 l) immer gleich in der Rechnung erscheinen, kann zur Vereinfachung aus diesen Werten eine Konstante berechnet werden. Diese bildet sich wie folgt:

$$\frac{62,4}{18,016 \cdot 1000} = 0,00346 \quad (18)$$

Die vereinfachte Formel (17) lautet somit:

$$p_{H_2O} = 0,00346 \cdot F_{abs} \cdot T \quad (19)$$

Durch Auflösen nach F_{abs} kann nach der Formel (19) die absolute Feuchtigkeit auch aus dem Wasserdampfdruck berechnet werden. Wir erhalten dann:

$$F_{abs} = \frac{1}{0,00346} \cdot \frac{p_{H_2O}}{T} = 289 \cdot \frac{p_{H_2O}}{T} \quad (20)$$

Die Luft vermag nicht jede beliebige Menge Wasser aufzunehmen. Bei einer bestimmten Temperatur tritt eine Wasserdampfsättigung ein. In der *Tabelle I* ist diese als absolute Feuchtigkeit und der dazugehörige Sättigungsdruck (p_s) in Abhängigkeit von der Temperatur zusammengestellt.

Tabelle I
Sättigungsdruck und Sättigungsfeuchtigkeit

Lufttemperatur °C	Sättigungsdruck mm Hg	Sättigungsfeuchtigkeit g H ₂ O/m ³
-10	1,95	2,14
- 9	2,13	2,33
- 8	2,32	2,54
- 7	2,53	2,76
- 6	2,76	2,99
- 5	3,01	3,24
- 4	3,28	3,51
- 3	3,57	3,81
- 2	3,88	4,13
- 1	4,22	4,47
0	4,58	4,84
+ 1	4,9	5,2
2	5,3	5,6
3	5,7	6,0
4	6,1	6,4
5	6,5	6,8
6	7,0	7,3
7	7,5	7,8
8	8,0	8,3
9	8,6	8,8
10	9,2	9,4
11	9,8	10,0
12	10,5	10,7
13	11,2	11,4
14	12,0	12,1
15	12,8	12,8
16	13,6	13,6

Lufttemperatur °C	Sättigungsdruck mm Hg	Sättigungsfeuchtigkeit g H ₂ O/m ³
17	14,5	14,5
18	15,5	15,4
19	16,5	16,3
20	17,5	17,3
21	18,7	18,3
22	19,8	19,4
23	21,1	20,6
24	22,4	21,8
25	23,8	23,0
26	25,2	24,4
27	26,7	25,8
28	28,3	27,2
29	30,0	28,7
30	31,8	30,3

Die atmosphärische Luft ist jedoch nicht immer mit Wasserdampf gesättigt. Bruchteile der Wasserdampfsättigung werden in Prozenten angegeben und als relative Feuchtigkeit bezeichnet. Demnach gilt für die relative Feuchtigkeit:

$$F_{rel} = 100 \cdot \frac{F_{abs}}{F_s} \% \quad (21)$$

F_s bedeutet Sättigungsfeuchtigkeit.

Aus der Formel (21) kann (durch Umstellen) auch die absolute Feuchtigkeit aus der relativen Feuchtigkeit berechnet werden:

$$F_{abs} = \frac{F_s \cdot F_{rel}}{100} \quad (22)$$

Da nun die absolute Feuchtigkeit und die Sättigungsfeuchtigkeit (F_s) in einem proportionalen Verhältnis zum Wasserdampfdruck und dem Sättigungsdruck (p_s) stehen, gilt folgende Beziehung:

$$F_{abs} : F_s = p_{H_2O} : p_s \quad (23)$$

Daraus ergibt sich für die relative Feuchtigkeit nach den Formeln (21) und (23):

$$F_{rel} = 100 \frac{p_{H_2O}}{p_s} \% \quad (24)$$

Analog zur Formel (22) kann die relative Feuchtigkeit auch aus p_{H_2O} berechnet werden, wobei wir Formel (25) erhalten:

$$p_{H_2O} = \frac{p_s \cdot F_{rel}}{100} \quad (25)$$

5. Beschreibung der wichtigsten Messgeräte und ihrer Anwendung

Bis heute ist für die Messung der Luftfeuchtigkeit eine grosse Zahl von Geräten und Methoden entwickelt worden. Von diesen haben einzelne jedoch nur noch theoretischen Wert. Andere lassen sich lediglich für Laboratoriumsmessungen verwenden und nur wenige werden in der Praxis angewendet. Es soll daher im folgenden versucht werden, kurz die grundsätzlichen Unterschiede und die praktischen Anwendungsmöglichkeiten der wichtigsten Mess-

methoden zu erläutern. Der Praktiker kann dann, entsprechend den Anforderungen, die an die Messresultate gestellt werden, die geeignete Methode selbst wählen.

a) Die Absorptionsmethode

Die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit nach der Absorptionsmethode ist die genaueste. Bei dieser Methode wird der in der Luft vorhandene Wasserdampf mit Hilfe von hygroskopischen Agentien gebunden. Die Bindung kann durch chemische Absorption oder auf rein physikalische Art, zum Beispiel unter Ausnutzung kapillaraktiver Eigenschaften gewisser Stoffe, erfolgen.

Diese Feuchtigkeitsbestimmung ist verhältnismässig einfach, erfordert aber grössere Apparaturen und viel Zeit. Dabei muss erstens eine genaue Luftmenge abgemessen und zweitens das Absorptionsmittel vor und nach dem Durchleiten der Luft auf einer Analysenwaage gewogen werden. Aus der Gewichtszunahme des Absorptionsmittels kann dann der Wassergehalt der durchgeleiteten Luftmenge berechnet werden. Eines der ältesten und heute noch gebräuchlichen Absorptionsverfahren wurde von

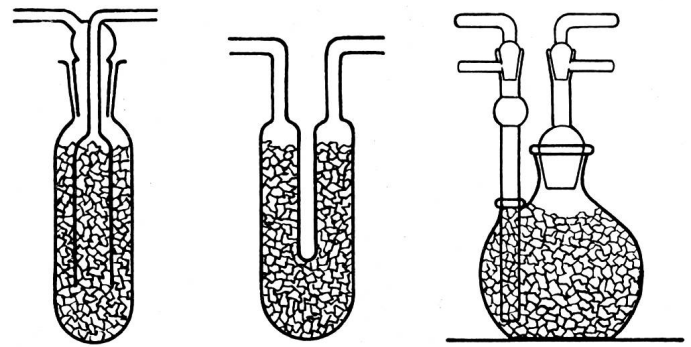


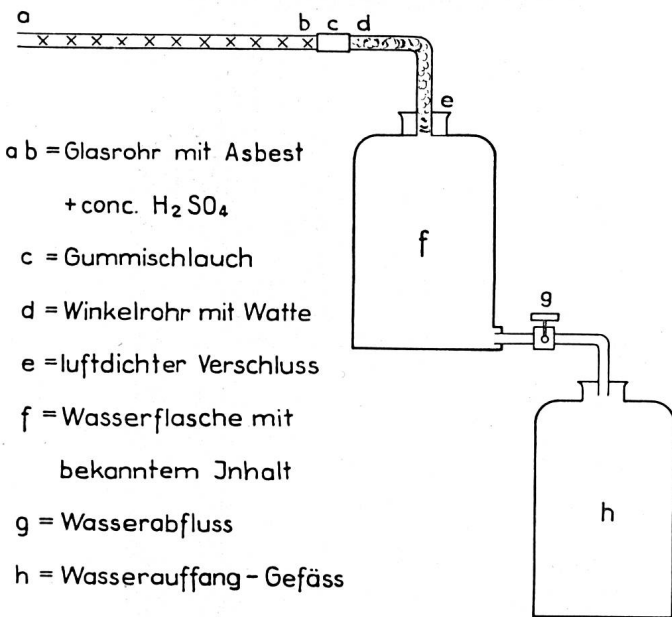
Fig. 2. Drei Absorptionsgefässe

Röhre (a b) die Luft angesogen. An Stelle der Glasröhre können auch noch andere Absorptionsgefässe gewählt werden. In Figur 2 sind drei dieser Gefässe abgebildet. Ausser Schwefelsäure, eignen sich auch Phosphorpentoxyd, Chlorkalzium, Pyridin oder wasserfreier Gips als Absorptionsmittel. Neuere Apparate arbeiten ohne die von Brunner vorgeschlagenen Wasserflaschen. Das Luftvolumen wird hier mit evakuierten Glasgefässen abgemessen.

Alle Absorptionsmethoden eignen sich nur für Laboratoriumsmessungen. Sie werden hauptsächlich zur Eichung von anderen Messgeräten herangezogen.

b) Die Taupunktmethode

Eine wichtige Laboratoriumsmethode ist die Luftfeuchtigkeitsmessung mit dem Taupunkthygrometer.



- a b = Glasrohr mit Asbest
+ conc. H₂SO₄
- c = Gummischlauch
- d = Winkelrohr mit Watte
- e = luftdichter Verschluss
- f = Wasserflasche mit
bekanntem Inhalt
- g = Wasserabfluss
- h = Wasserauffang - Gefäss

Fig. 1. Absorptionseinrichtung für Luftfeuchtigkeitsmessungen nach Brunner

C. Brunner¹⁾ ausgearbeitet. In der Figur 1 ist die Apparatur von Brunner wiedergegeben. Eine Röhre a b ist mit feinem Asbest gefüllt, der mit konzentrierter Schwefelsäure benetzt wurde. Durch diese Röhre wird eine bestimmte Menge der zu untersuchenden Luft gesogen. Die Feuchtigkeit wird von der Schwefelsäure aufgenommen und kann durch Wägen bestimmt werden. Für die Abmessung der Luftmenge wählte Brunner eine genau geeichte Flasche (f), die mit Wasser gefüllt wurde. Durch den Hahn (g) wird das Wasser in die Flasche (h) gelassen. Durch das entstehende Vakuum wird durch die

¹⁾ Poggendorffs Ann. 20 (1830), 274.

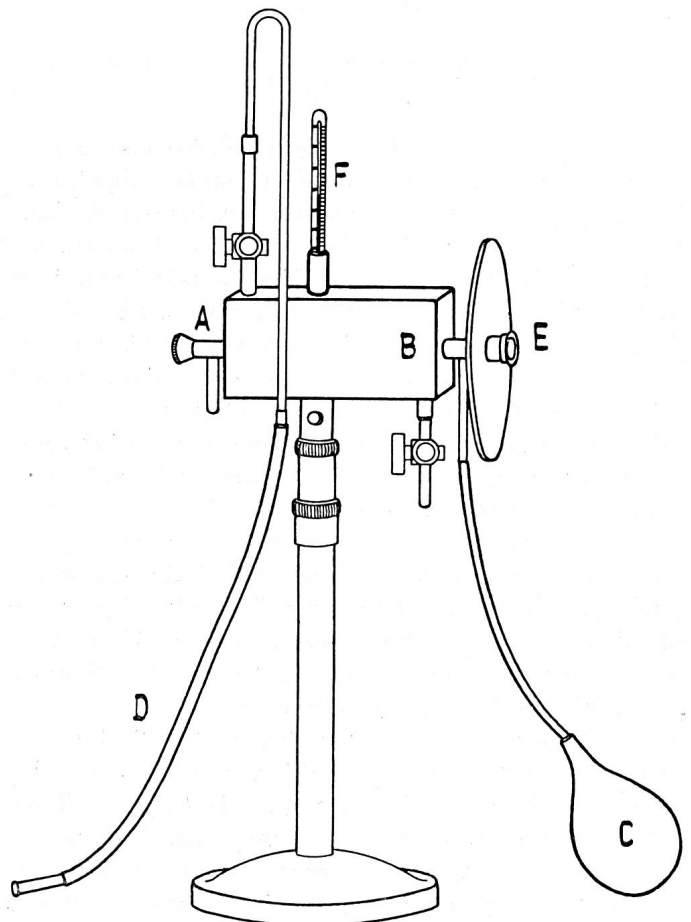


Fig. 3. Taupunkthygrometer nach Crova

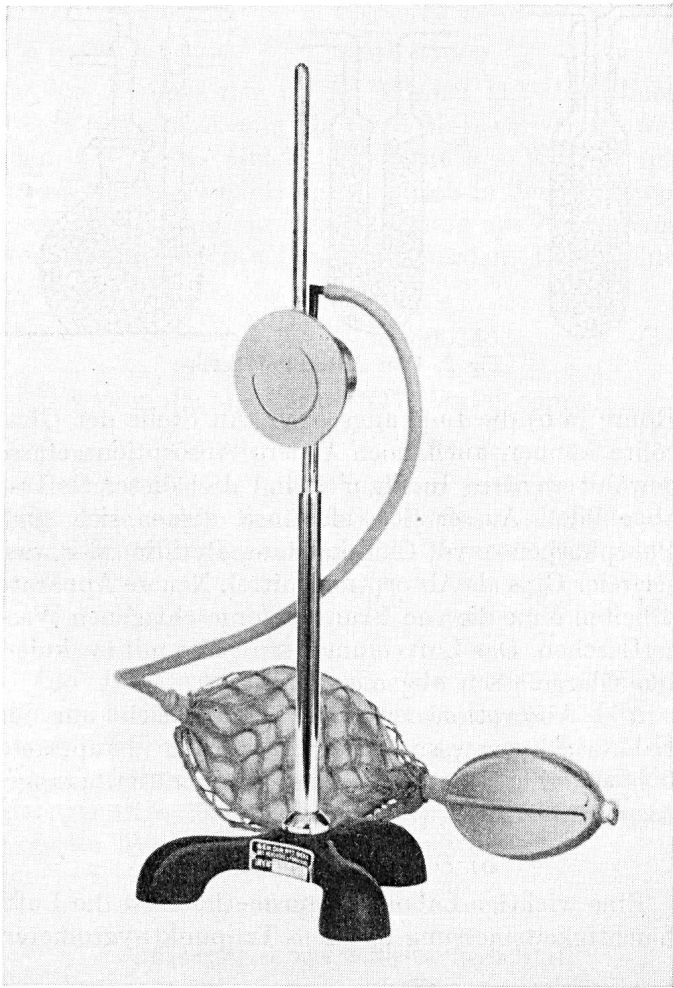


Fig. 4. Taupunkthygrometer nach *Lambrecht* (Firma *Lambrecht*, Göttingen)

Die Bestimmung beruht auf Temperaturmessungen. Wird die zu untersuchende Luft stetig abgekühlt, so gelangt man zu einer Temperatur, bei der Wasserdampfsättigung eintritt. Bei weiterer Temperatursenkung fällt das Wasser aus der übersättigten Luft aus. Mit dem Taupunkthygrometer wird mittels eines Thermometers die Temperatur bestimmt, bei der sich ein Taubeschlag (ausfallendes Wasser) auf einem geeigneten Prüfkörper ausscheidet.

Es sind inzwischen verschiedene Taupunkthygrometer entwickelt worden. In letzter Zeit sind sogar selbsttätige Taupunktmesser mit Photozellen und Registriergeräten in den Handel gekommen.

Im nachstehenden werden zwei Laboratoriumsgeräte beschrieben. Beim einen handelt es sich um ein altes, aber heute noch gebräuchliches Kondensations-Hygrometer nach *Crova*²⁾. Dieses ist in Fig. 3 dargestellt und ist folgendermassen gebaut:

Eine dünne, innen gut polierte Metallröhre (A) befindet sich in einem prismenförmigen Gehäuse (B). Durch die Röhre A wird mit dem Blasbalg (C) die zu untersuchende Luft durchgepumpt. Im Gehäuse B befindet sich eine leicht verdunstbare Flüssigkeit (Äther oder Schwefelkohlenstoff), in die mittels des

Rohres (D) Luft eingeleitet wird. Infolge der Verdunstung der Flüssigkeit kühlt sich das Gehäuse B und auch die Röhre A ab. Durch das Vergrößerungsglas (E) wird die Taubildung beobachtet und beim Thermometer (F) die Temperatur abgemessen.

Das zweite, heute gebräuchlichste Taupunkthygrometer ist dasjenige nach *Lambrecht*³⁾, das in Fig. 4 wiedergegeben ist. Im wesentlichen besteht das Instrument aus einer runden Metalldose, die vorn mit einem hochglanzpolierten Spiegel abgeschlossen ist. Spiegel und Dose werden ebenfalls durch Verdunstung von Äther gekühlt.

Die Messung der Luftfeuchtigkeit geschieht in der Weise, dass mit dem Gummigebläse Luft durch den Äther gepumpt wird. Dadurch kühlen sich Dose und Spiegel langsam ab. Ist der Taupunkt erreicht, so läuft der Spiegel infolge der Wasserabscheidung an. In diesem Augenblick wird die Temperatur am

³⁾ Bongarts. Feuchtigkeitsmessungen. München, R. Oldenburg, 1926.

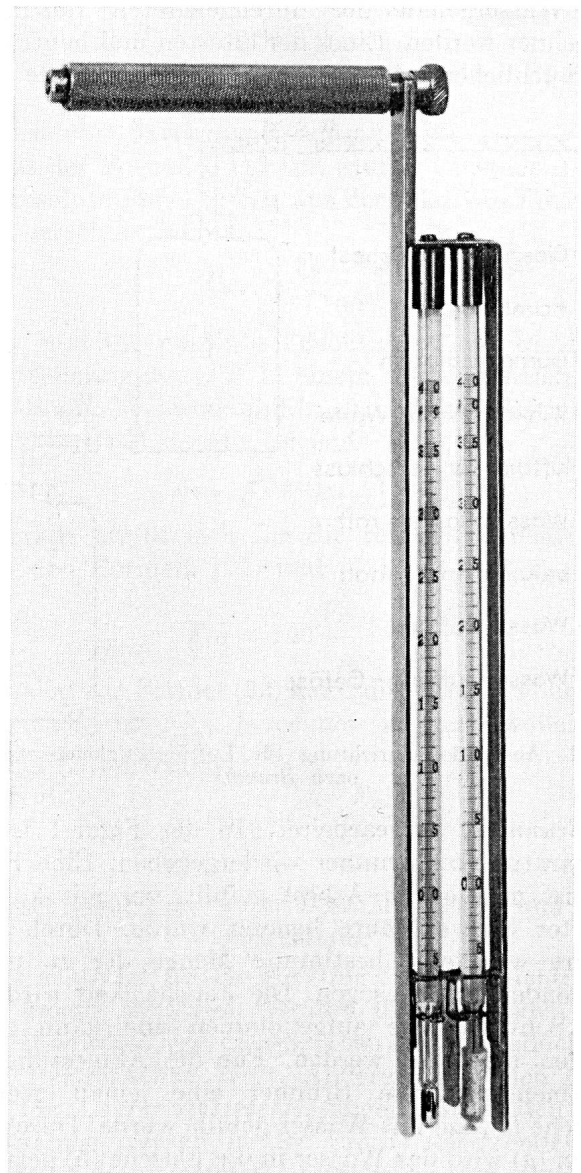


Fig. 5. Schleuderpsychrometer nach *Schubert* (Firma *Lambrecht*, Göttingen)

²⁾ Österr. Z. f. Meteorologie 19 (1884), 45.

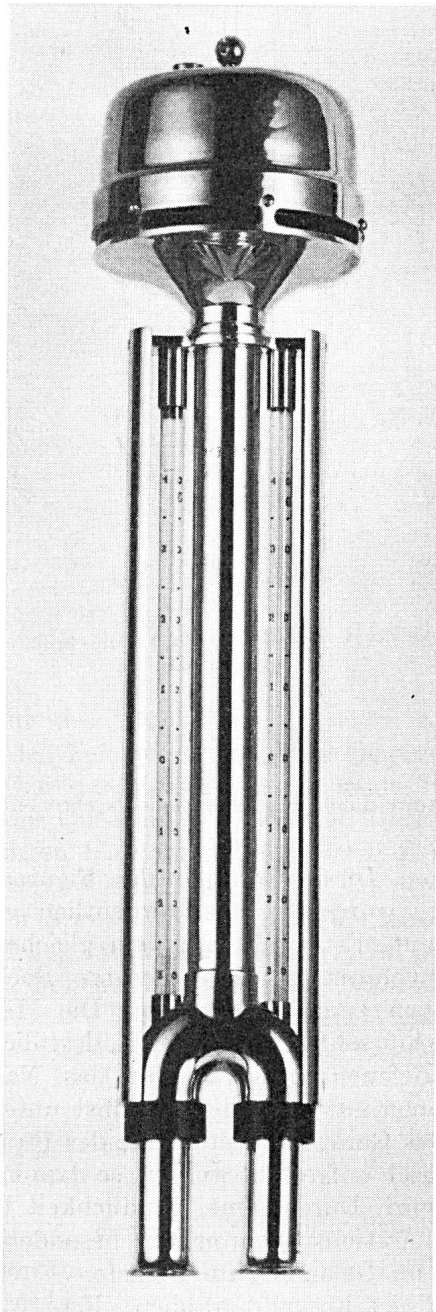


Fig. 6. Aspirations-Psychrometer nach Assmann (Firma R. Fuess, Berlin)

Thermometer abgelesen. Aus der *Tabelle I* kann für die gemessene Temperatur die entsprechende absolute Feuchtigkeit abgelesen werden. Nach der Formel (21) kann die relative Feuchtigkeit aus Taupunkt-messungen wie folgt berechnet werden:

$$F_{\text{rel}} = 100 \frac{F_{s_2}}{F_{s_1}} \% \quad (26)$$

Dabei ist F_{s_1} die Sättigungsfeuchtigkeit der zu untersuchenden Luft bei der gegebenen Temperatur. F_{s_2} entspricht der Sättigungsfeuchtigkeit im Taupunkt.

Als Beispiel sei eine Luft von 24 °C zu untersuchen, die einen Taupunkt von 13 °C aufweist. Aus der *Tabelle I* können die Sättigungsfeuchtigkeiten bei

24 ° und 13 ° C abgelesen und in die Formel (26) eingesetzt werden. Wir erhalten dabei:

$$F_{\text{rel}} = 100 \frac{11,4}{21,8} = 52,3 \%$$

c) Psychrometrische Messung

Bei den psychrometrischen Feuchtigkeitsbestimmungen wird die bei der Verdunstung von Wasser auftretende Abkühlung als Messgrundlage verwendet. Wird Wasser in sehr feuchter Luft verdunstet, so tritt nur eine geringe Abkühlung ein, weil wenig Wasser von der flüssigen in die dampfförmige Phase übergehen kann. In sehr trockener Luft kann viel Wasser verdunsten, wobei demzufolge eine grössere Temperatursenkung entsteht.

Auch für die psychrometrischen Messungen ist eine grosse Zahl von Instrumenten entwickelt worden. Die gebräuchlichsten sind das Schleuderpsychrometer (Fig. 5), das Aspirationspsychrometer nach Assmann (Fig. 6 und 7) und der Bimetallpsychrograph (Fig. 10),

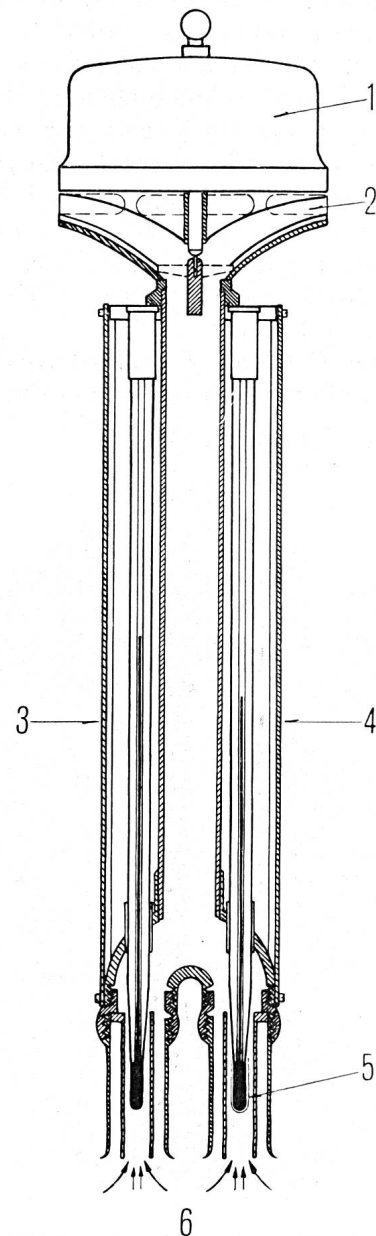


Fig. 7. Schnitt durch das Aspirations-Psychrometer nach Assmann

der sich für Messungen und Registrierung von stehender und bewegter Luft eignet.

Jedes dieser Psychrometer besteht aus zwei gleichen Thermometern, das heisst einem Trocken- und einem Nassthermometer. Die Quecksilberkugel bzw. der Bimetallstreifen des Nassthermometers ist mit einem Gazeüberzug versehen, der mit Wasser benetzt werden muss.

Bei dem Schleuderpsychrometer nach *Schubert*⁴⁾ (Fig. 5) sind die beiden Thermometer in einem Metallrahmen befestigt. Am oberen Ende des Metallrahmens ist ein drehbarer Handgriff angebracht, um dessen Achse die Thermometer gedreht werden können. Durch fortwährendes, rasches Drehen wird die für psychrometrische Messungen notwendige Luftbewegung erzeugt. Die Messung der Luftfeuchtigkeit geschieht in der Weise, dass man nach der Benetzung des Feuchtthermometers das Schleuderpsychrometer etwa 5 Minuten gleichmässig dreht (3 Umdrehungen in der Sekunde) und dann sofort die Temperatur an den beiden Thermometern abliest, wobei die Nass-temperatur *zuerst* bestimmt werden muss. Um zu genauen Resultaten zu kommen, muss der Mittelwert aus verschiedenen Ablesungen gebildet werden. Ferner darf man die Hg-Kugeln der Thermometer nicht in die Nähe der Hände oder des Körpers bringen.

Beim Aspirationspsychrometer wird die Luftbewegung durch einen Ventilator, der von einem Uhrwerk angetrieben ist, erzeugt. Die angesogene Luft wird durch Kanäle an den beiden Thermometern vorbeigeführt (s. Fig. 7).

Ausser dem Original *Assmann*-Psychrometer ist noch das Aspirationspsychrometer der Firma *Haenni*⁵⁾

⁴⁾ Meteorolog. Z. 14 (1897), 63.

⁵⁾ Haenni-Nachrichten 1947, Nr. 8.

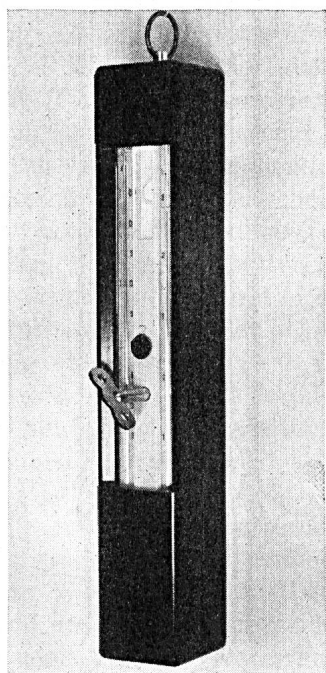


Fig. 8. Aspirations Psychrometer *Haenni* (Firma Haenni & Co. A.G., Jegenstorf)

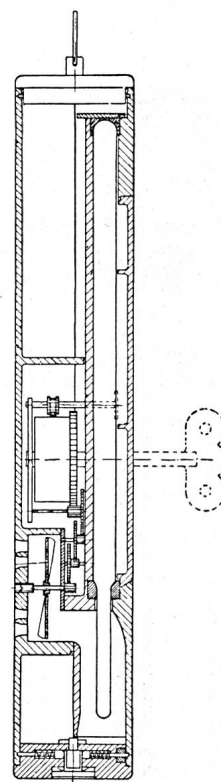


Fig. 9. Schnitt durch das Aspirations-Psychrometer *Haenni*

zu erwähnen. Dieses Gerät, in den Figuren 8 und 9 dargestellt, wurde in ausserordentlich gedrängter Form gebaut. Es beruht auf dem gleichen Prinzip wie das Psychrometer nach *Assmann*, doch sind die Abmessungen bedeutend kleiner. Die Hilfseinrichtungen: Schlüssel für das Uhrwerk, destilliertes Wasser und Befeuchtungsgefäss für das Nassthermometer können gut im Gehäuse selbst untergebracht werden. Das Gerät kann mit Hilfe des Hauptdeckels auf dem Tisch aufgestellt werden, so dass kein Stativ benötigt wird. Durch seine Handlichkeit leistet das *Haenni*-Aspirationspsychrometer besonders im Betrieb und im Gelände gute Dienste.

Beim Bimetallpsychrographen (Fig. 10) sind die Quecksilberthermometer durch Bimetallthermometer ersetzt. Die Luftbewegung wird durch einen elektrischen Ventilator, der neben dem Gerät aufgestellt ist, erzeugt. Die den Temperaturen entsprechende Ausbiegung des Bimetalls wird auf Zeiger übertragen. An den Zeigern ist vorn eine Registrierfeder angebracht. Dadurch ist es möglich, die Temperaturen des Trocken- und des Feuchtthermometers auf eine rotierende Trommel aufzuzeichnen.

Die Berechnung der Luftfeuchtigkeit bei psychrometrischen Messungen wird mit der Psychrometerformel nach *Sprung*⁶⁾ vorgenommen. Diese lautet:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = p_{s_{t_2}} - A (t_1 - t_2) \frac{b}{755} \quad (27)$$

Dabei bedeutet A die Psychrometerkonstante, die *Sprung* für das *Assmannsche* Aspirationspsychrometer zu 0,5 ermittelt hat. Für t_1 wird die abgelesene

⁶⁾ Das Wetter, 5 (1888), 105.

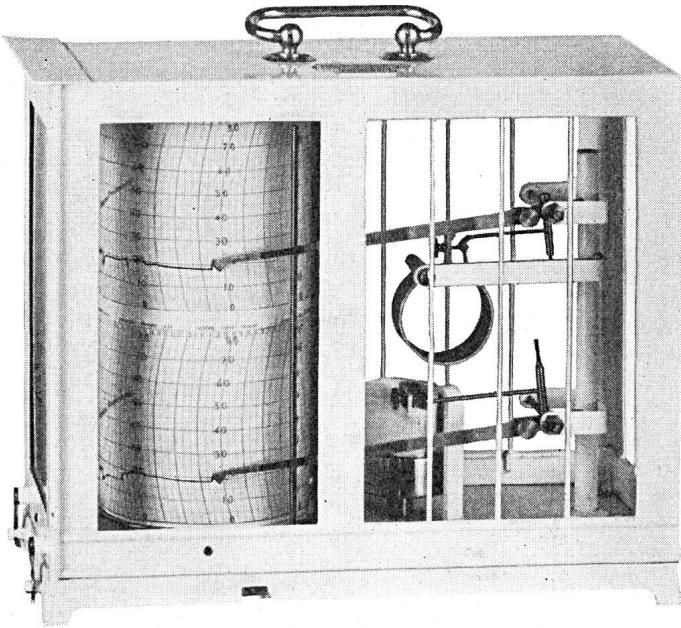


Fig. 10. Bimetallpsychrograph, Registriergerät (Firma Lambrecht, Göttingen)

Temperatur des Trockenthermometers und für t_2 diejenige des Feuchtthermometers eingesetzt. Als b wird der bei der Messung herrschende Barometerstand in mm Quecksilber bezeichnet. Dieser kann bei Abweichungen bis zu maximum 10 mm vom Wert 755 mm vernachlässigt werden.

Nach der *Sprung*schen Formel (27) wird der Wasserdampfdruck ermittelt. Da jedoch im allgemeinen die relative Feuchtigkeit gesucht ist, kann diese durch Kombination der Formeln (24) und (27) direkt berechnet werden. Es entsteht dabei die Formel

$$F_{\text{rel}} = 100 \cdot \frac{p_{\text{st}_2} - A(t_1 - t_2) \frac{b}{755}}{p_{\text{st}_1}} \quad (28)$$

p_{st_1} und p_{st_2} sind die Sättigungsdrucke in mm Quecksilbersäule bei den entsprechenden Temperaturen des Trocken- bzw. Feuchtthermometers, die aus der *Tabelle I* entnommen werden können. Als Beispiel sei nach der Formel (28) die relative Feuchtigkeit einer Luft von 20 °C zu ermitteln. Die Temperatur des Feuchtthermometers (t_2) beträgt 14 °C. Aus der *Tabelle I* lassen sich die Sättigungsdrucke bei $t_1 = 20$ °C mit 17,5 mm Hg und bei $t_2 = 14$ °C mit 12,0 mm Hg ablesen. Diese Werte in die Formel (28) eingesetzt ergeben:

$$F_{\text{rel}} = 100 \cdot \frac{12,0 - 0,5(20 - 14)^*}{17,5} = 51,4 \%$$

Um bei psychrometrischen Messungen die Ausrechnung zu umgehen, wurden sogenannte Psychrometertafeln und -kurven aufgestellt. Neuerdings ist sogar ein ausserordentlich praktischer Psychrometer-

* Der Ausdruck $\frac{b}{755}$ wurde gleich 1 gesetzt und vernachlässigt, da die Messung bei 750 mm Quecksilbersäule durchgeführt worden ist. Die relative Feuchtigkeit der untersuchten Luft betrug, wie die Rechnung zeigt, 51,4%.

Rechenschieber auf dem Markt erschienen (Fig. 11). Dieser erlaubt, nach der Einstellung der beiden Temperaturen, die relative Feuchtigkeit direkt in Prozenten abzulesen.

d) Das Diffusionshygrometer

Nach der kinetischen Gastheorie sind die Moleküle einer Flüssigkeit wie auch eines Gases konstant in Bewegung (*Brownsche Bewegung*). In abgeschlossenen Systemen prallen daher diese Moleküle laufend an den Gefässwandungen auf, wodurch der uns bekannte hydrostatische bzw. aerostatische Druck (Gasdruck) entsteht. Nach der Formel (10) muss somit in einem geschlossenen Gefäss von 22,415 Litern (Molvolumen) ein Gramm-Mol eines Gases bei 273 °K (= 0 °C) einen Druck von einer Atmosphäre je cm² Gefässoberfläche erzeugen. Sind zwei Gase, also zwei verschiedene Arten von Molekülen in einem solchen Gefäss, so bildet sich ein Gesamtdruck, der sich nach der Formel (13) aus den Partialdrucken ergibt.

Wird nun in das geschlossene Gefäss eine semipermeable Wand eingebaut, so können die Gasmoleküle diffundieren. Die Diffusionsgeschwindigkeit ist von der Grösse der Moleküle oder auch von der Porosität der Wand abhängig. Füllt man in ein derartiges Gefäss Wasser ein, entsteht darin eine wasserdampfgesättigte Luft. Durch die semipermeable Wand findet eine gegenseitige Diffusion statt. Diese ist jedoch von innen nach aussen stärker, da der Gesamtdruck der Gefässinnenluft infolge der Wasserdampf-sättigung grösser ist. Die Diffusionsgeschwindigkeiten nehmen aber in kurzer Zeit ein konstantes Verhältnis an. An einem angeschlossenen Flüssigkeitsmanometer

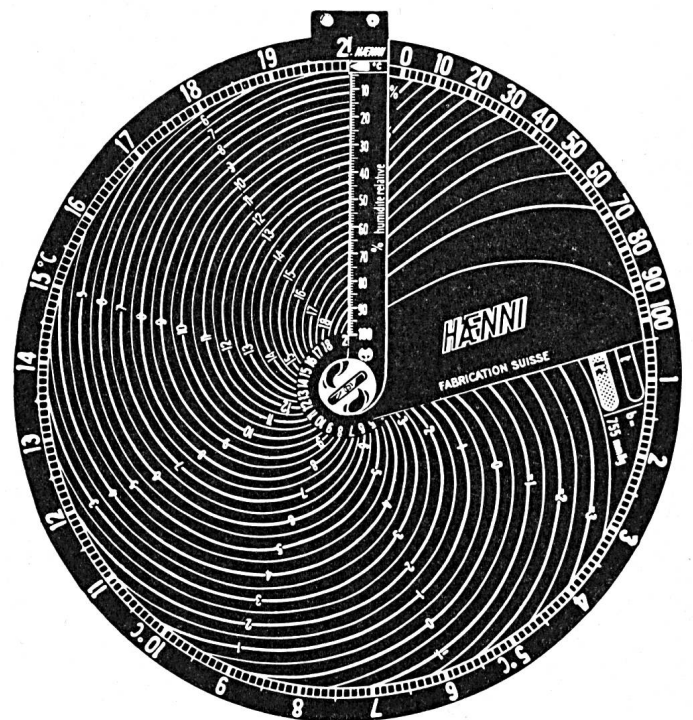


Fig. 11. Psychrometerrechenschieber Haenni nach Stucki und Uttinger

stellt sich dann ein bestimmter Druck ein. Theoretisch sollte dieser der Differenz zwischen dem Sättigungsdruck (p_s) und dem Partialdruck des Wasserdampfes der Aussenluft entsprechen. In Wirklichkeit kann der theoretische Wert nie erreicht werden, da eine spezifische Durchlässigkeit der porösen Schicht für Luft bzw. eine absolute Undurchlässigkeit für Wasserdampf nicht möglich ist.

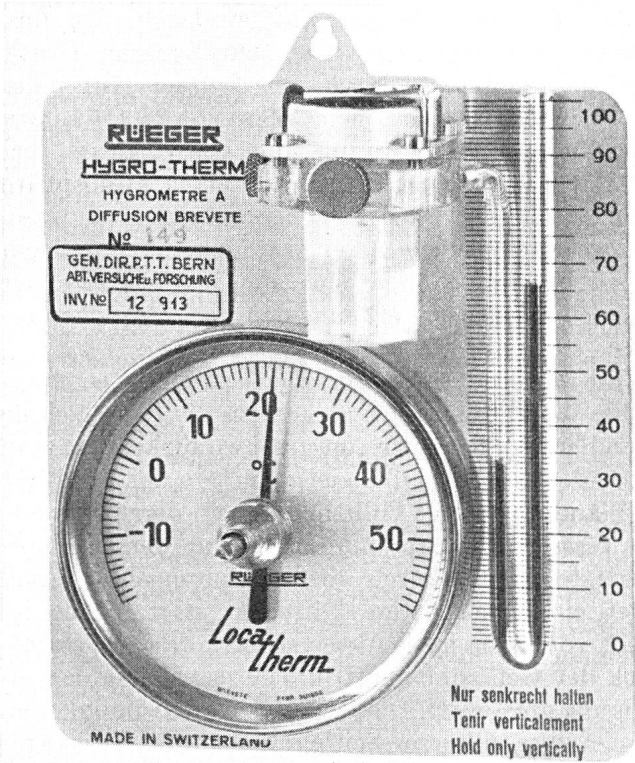


Fig. 12. Diffusionshygrometer nach Greinacher (Firma Rüegger, Lausanne)

Greinacher⁷⁾ entwickelte ein nach dem voranstehend beschriebenen Prinzip aufgebautes Diffusionshygrometer (Fig. 12). Der hier am Manometer abzulesende Druck entspricht etwa $\frac{1}{3}$ – $\frac{1}{10}$ des theoretischen Wertes. Für jedes Diffusionshygrometer ist daher eine Apparatekonstante (K) zu ermitteln. Diese ist massgebend abhängig von der Porosität der semipermeablen Wand (Diaphragma).

Zur Bestimmung der Apparatekonstanten bringt man das Hygrometer in ein Gefäss, das mit einem Wasserabsorptionsmittel (konzentrierte Schwefelsäure oder Chlorkalzium) beschickt ist. In diesem absolut wasserfreien Luftraum zeigt das Diffusionshygrometer den höchsten Manometerstand an. Dieser wird in mm Ölsäule abgelesen. Da nun der Sättigungsdruck (s. Tabelle I) in mm Quecksilbersäule angegeben wird, muss zur Berechnung der Apparatekonstanten der Dichteunterschied zwischen Öl und Quecksilber berücksichtigt werden. Bei 0% Feuchtigkeit in der Aussenluft gilt dann folgende Beziehung:

⁷⁾ Helv. phys. Acta, 17 (1944), 437.

$$p_{s_{mm\ Oel}} = p_s \frac{d_{Hg}}{d_{Oel}} \cdot K \tag{29}$$

Diese Formel nach K aufgelöst ergibt:

$$K = \frac{p_{s_{mm\ Oel}} \cdot d_{Oel}}{p_s \cdot d_{Hg}} \tag{30}$$

$p_{s_{mm\ Oel}}$ ist die bei Sättigungsdruck gemessene Ölsäule in mm. Mit d_{Oel} und d_{Hg} sind die Dichten der Manometerflüssigkeiten bezeichnet. Die Apparatekonstante K gibt an, welchen Teilbetrag das Manometer vom theoretischen Wert anzeigt.

Für praktische Zwecke kann nur der Quotient $\frac{d_{Hg}}{d_{Oel}}$ der Formel (29) in die Konstante K einbezogen

werden, weil das Dichteverhältnis ebenfalls konstant bleibt. Die neue Konstante wird dann mit A bezeichnet und bildet sich wie folgt:

$$A = K \cdot \frac{d_{Hg}}{d_{Oel}} \tag{31}$$

Denselben Betrag erhält man aus:

$$A = \frac{p_{s_{mm\ Oel}}}{p_s} \tag{32}$$

Nachdem die Konstante A ermittelt ist, kann mit dem Diffusionshygrometer der Dampfdruck des Wassers in der Luft bestimmt werden. Dazu muss jedoch die Temperatur bekannt sein. Die Berechnung des Dampfdruckes geschieht nach folgender Formel:

$$p_{mm\ Hg} = p_s - \frac{p_{mm\ Oel}}{A} \tag{33}$$

$p_{mm\ Oel}$ entspricht der Ableseung am Instrument.

Als Beispiel sei angeführt: Bei einer Temperatur von 18°C wurde am Manometer des Diffusionshygrometers ein Druck von 35 mm Ölsäule abgelesen. Die Apparatekonstante A beträgt 5,15 und der Sättigungsdruck bei 18°C (aus Tabelle I) 15,5 mm Hg. Diese Werte in die Formel (33) eingesetzt ergeben:

$$p_{mm\ Hg} = 15,5 - \frac{35}{5,15} = 8,7\ \text{mm Hg}$$

Aus dem berechneten Dampfdruck kann mit Hilfe der Formel (24) die relative Feuchtigkeit berechnet werden. Zur Vereinfachung können aber auch die Formeln (24) und (33) kombiniert werden, woraus folgende Formel entsteht:

$$F_{rel} = 100 \frac{p_s - \frac{p_{mm\ Oel}}{A}}{p_s} \% \tag{34}$$

Die Zahlen, die im voranstehend angeführten Beispiel eingesetzt sind, können nun auch in die Formel (34) eingesetzt werden. Man erhält dann die relative Feuchtigkeit in Prozent.

$$F_{rel} = 100 \frac{15,5 - \frac{35}{5,15}}{15,5} = 56\ %.$$

Um nicht bei jeder Messung mit dem Diffusionshygrometer durch die Rechnung den Feuchtigkeits-

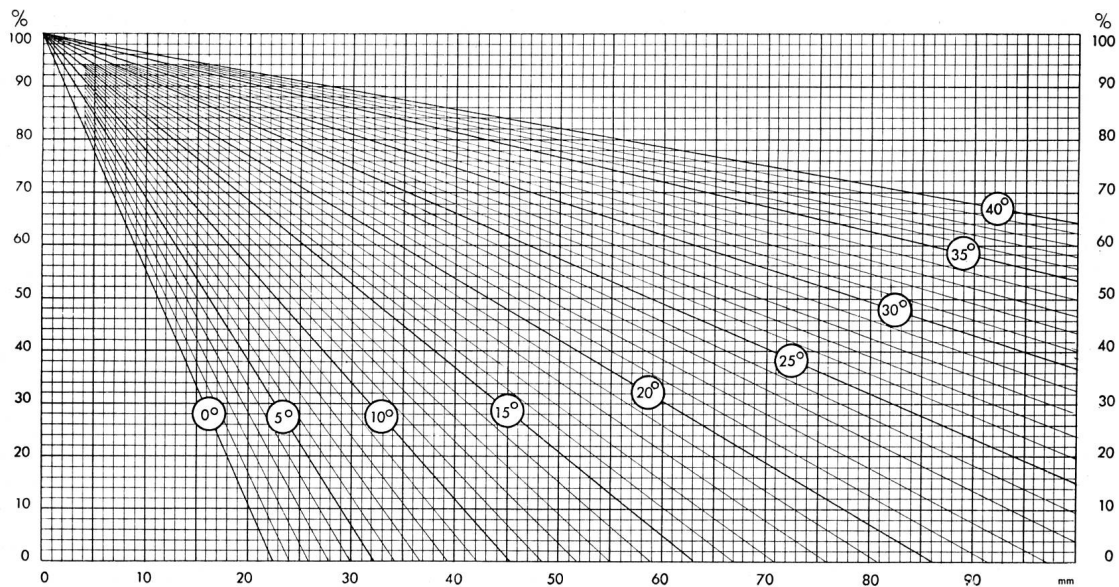


Fig. 13. Eichkurve zum Diffusionshygrometer nach Greinacher

gehalt ermitteln zu müssen, kann für jedes Instrument eine Eichkurve aufgestellt werden, die eigens berechnet werden muss. Die Kurven können graphisch dargestellt werden. Auf diese Weise werden die Messungen bzw. die Ablesungen vereinfacht. Eine Kurvenschar dieser Art für ein Diffusionshygrometer ist in Figur 13 wiedergegeben.

e) Messungen mit dem Haarhygrometer

Sehr alt und heute noch viel angewendet sind die Feuchtigkeitsmessungen mit Haarhygrometern. Als erster benützte *Saussure*⁸⁾ das menschliche Haar zur Bestimmung der Feuchtigkeit. Er baute sich entsprechende Instrumente und führte mit diesen eingehende Versuche durch, deren Messwerte später vielfach als richtig bestätigt worden sind. *Saussure* stellte fest, dass gut entfettete Haare nicht dieselbe Länge haben, wenn sie in trockener oder in feuchter Luft gelagert werden. Durch Senkung der Luftfeuchtigkeit um 100% verkürzen sich Haare um etwa 2,5%. Diese Längenänderung nützte er zu Messzwecken aus. In der Folge entwickelten dann verschiedene Konstrukteure eine grosse Zahl von Haarhygrometern. Die Meßsysteme wurden so gebaut, dass auf einer geeichten Skala die relative Feuchtigkeit direkt abgelesen werden konnte.

Das genaueste Haarhygrometer ist das Instrument von *Koppe*⁹⁾, das in Figur 14 wiedergegeben ist. Der Haarstrang ist hier in einem Metallrahmen frei aufgehängt. Auf diese Weise sind die Haare der sie umgebenden Luft vollständig ausgesetzt. Das Instrument besitzt daher eine sehr kurze Einstellzeit und reagiert schnell auf Feuchtigkeitsänderungen. Da die Haare frei hängen, können sie aber leicht durch unvorsichtige Handhabung zerstört oder beschädigt werden. Diesem Umstand wurde von *Lambrecht*

bei der Konstruktion des Polymeters Rechnung getragen. Ein solches Instrument ist in Figur 15b zu sehen. Die Figur 15a zeigt das *Haenni*-Polymeter, das auf dem gleichen Prinzip beruht. Bei diesen beiden Instrumenten sind die Haare durch zwei seitlich angebrachte Schutzbleche weitgehend vor mechanischen Beschädigungen geschützt. Die Einstellzeit wird dadurch etwas länger, doch sind auch mit diesen Geräten genaue Feuchtigkeitsmessungen möglich. Ganz robuste Instrumente sind die Rund- oder Kapselhaarhygrometer. Bei diesen Instrumenten sind die Messhaare vollständig in ein perforiertes Blech eingepackt. An solche Instrumente können jedoch in bezug auf Genauigkeit und Einstellungsgeschwindigkeit keine grossen Anforderungen gestellt werden. Allen Messungen mit Haarhygrometern haftet jedoch eine gewisse Unsicherheit an, denn die Haare haben die Tendenz, mit der Zeit auszutrocknen. Dadurch entstehen Längenänderungen, die zu unkontrollierbaren Fehlern führen. Haarhygrometer, die in trockenen Räumen aufbewahrt werden, zeigen zunehmend positive Messfehler an, das heisst sie zeigen eine höhere als die tatsächlich vorhandene relative Feuchtigkeit an. Diese Erscheinung lässt sich nur dadurch erklären, dass die Haare beim Austrocknen länger werden.

Es wurde nun beobachtet, dass sich die Haare regenerieren lassen und dadurch wieder in ihre ursprüngliche Länge zurückgebracht werden können. Die Regenerierung erfolgt dadurch, dass das Hygrometer einige Zeit in sehr feuchte Luft gebracht wird. Je häufiger die Haare regeneriert werden, um so genauere Messwerte sind zu erreichen. Sehr einfach kann die Regenerierung in der Weise durchgeführt werden, dass die Messinstrumente in nasse Tücher eingepackt werden. Die die Haare umgebende Luft sättigt sich dann sehr schnell mit Feuchtigkeit. Um eine Messgenauigkeit von $\pm 2\%$ zu erhalten, wird empfohlen, die Regenerierung mindestens alle zwei bis drei Wochen durchzuführen.

⁸⁾ *Saussure*. Essais sur l'hygrométrie. Neuchâtel 1783.

Saussure. Défense de l'hygromètre à cheveu. Genève 1788.

⁹⁾ Österr. Z. f. Meteorologie, 13 (1878), 49.

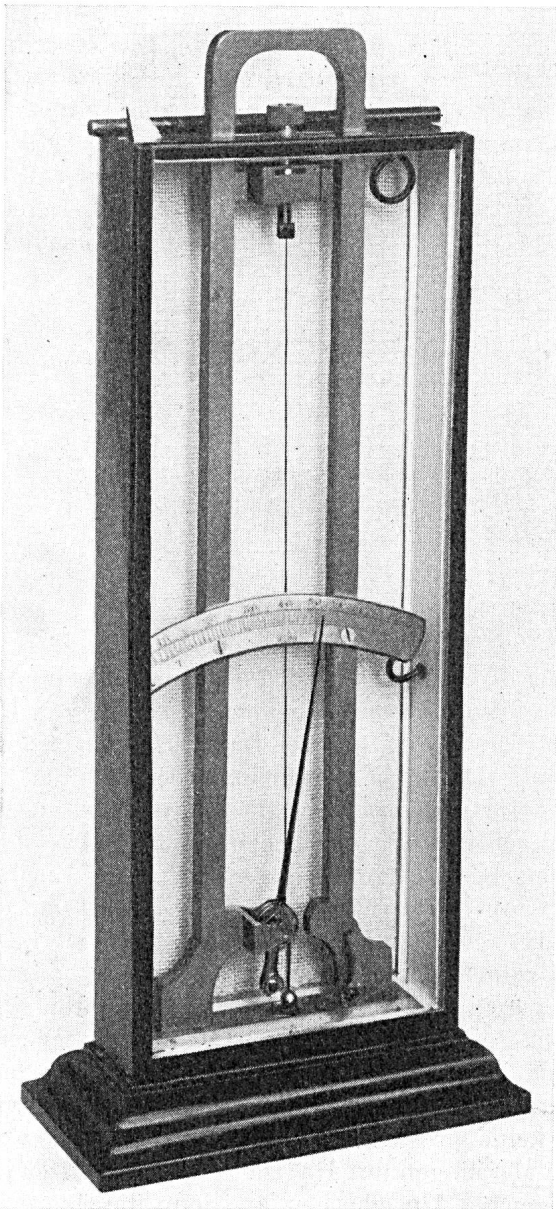


Fig. 14. Haarhygrometer nach *Koppe* (Firma Pfister & Streit, Bern)

Wird ein gut konstruiertes Haarhygrometer täglich regeneriert, so kann eine Messgenauigkeit erreicht werden, die dem *Assmann'schen* Aspirationspsychrometer nicht mehr weit nachsteht.

Da die Längenänderungen der Haare auch auf Zeiger übertragbar sind, konnte auf einfache Art ein Registriergerät gebaut werden. In Figur 16 ist ein solches Registrierhaarhygrometer zu sehen. Ausser der Feuchtigkeitsmessung gestattet dieses Instrument auch die Ermittlung und Registrierung der Temperatur.

6. Regeln für die Verwendung von Feuchtigkeitsmessgeräten im PTT-Betrieb

Die beschriebenen Messgeräte haben nun, wie alle Einrichtungen, Vor- und Nachteile. Für den Praktiker ist es jedoch wichtig, diese zu kennen. Es soll daher im folgenden kurz auf diese Punkte eingegangen werden. Im besonderen sei auf die Anwendung

der einzelnen Messgeräte im PTT-Betrieb hingewiesen.

Alle Messgeräte, die auf dem Absorptionsprinzip beruhen, sind nur im Laboratorium zu verwenden, denn hier handelt es sich um spezifische Eichgeräte. Das gleiche gilt bis zu einem gewissen Grade von den Taupunktmessern.

Das Schleuderpsychrometer eignet sich sehr gut für Betriebsmessungen. Die Handhabung dieser Instrumente setzt jedoch eine gewisse Erfahrung voraus. Für zuverlässige Feuchtigkeitsmessungen müssen unbedingt die nachfolgenden Regeln befolgt werden: Messungen mit dem Schleuderpsychrometer müssen mindestens 3...5mal wiederholt werden. Dabei dürfen höchstens Temperaturabweichungen bis zu $0,5^{\circ}\text{C}$ vorkommen. Grössere Fehler deuten darauf hin, dass die Messungen nicht exakt durchgeführt worden sind.

Für genaue Messungen sollen jedoch nur Aspirationspsychrometer verwendet werden. Es sei hier besonders auf das Instrument der Firma *Haenni & Cie. AG.*, Jegenstorf, hingewiesen. Dieses Messgerät eignet sich besonders für Abnahme- und Kontrollmessungen in Klimaanlageanlagen oder für Eichmessungen von Haarhygrometern. Die dazugehörigen Arbeitsregeln wurden von *Stucki*⁵⁾ aufgestellt. Sie lauten:

a) Das Instrument ist mindestens 15 Minuten vor der Messung aufzustellen, damit der Apparat annähernd die Temperatur der Umgebung annimmt.

⁵⁾ loc. cit.

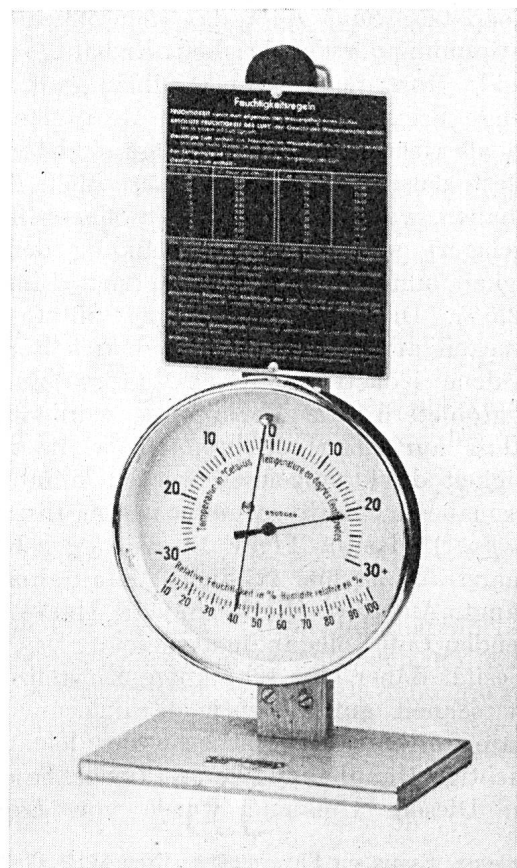


Fig. 15. a) Polymeter *Haenni* (Haarhygrometer)

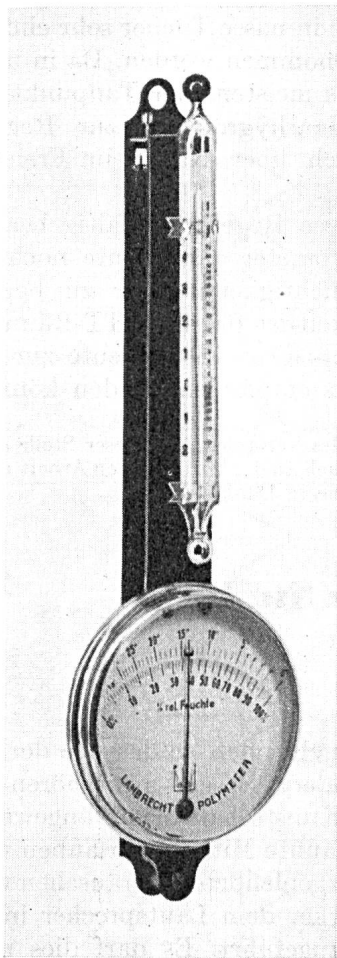


Fig. 15. b) Polymeter *Lambrecht* (Haarhygrometer)

- b) Der Stoffüberzug am Nassthermometer ist gründlich zu benetzen. Hierfür sind mindestens 3...5 Minuten notwendig. Man achte darauf, dass Wasseraufnahme und Verdunstung sich nicht gegenseitig beeinflussen. Mit Vorteil benetzt man den Thermometerstrumpf mit destilliertem Wasser, das die Umgebungstemperatur angenommen hat.
- c) Nach der Benetzung lässt man das Federwerk des Aspirationspsychrometers ablaufen und beginnt nach dem zweiten Aufziehen mit der eigentlichen Messung.
- d) Als Stoffüberzug soll Baumwoll- oder Leinengewebe, niemals aber Wollgewebe verwendet werden. Die Überzüge dürfen nicht schmutzig sein und sollen nie mit den Fingern berührt werden.
- e) Vor jeder Ablesung soll das Instrument mindestens 4 Minuten laufen. Das Messresultat ist 3...4mal genau zu kontrollieren.
- f) Die Skalen werden zur Ablesung vorteilhaft mit einer Taschenlampe beleuchtet.
- g) Die Instrumente dürfen während der Messung und beim Ablesen nicht berührt werden. Die durch den eigenen Körper erzeugte Änderung der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur beeinflussen den Messwert.
- h) Zuschauer müssen sich mindestens 3 m vom Instrument entfernt aufhalten.

- i) Schleuderpsychrometer müssen rasch abgelesen werden. Die vorgenannten Regeln gelten auch für diese Messgeräte.
- k) Die Psychrometer sollen möglichst mit ausgestrecktem Arm geschleudert werden. Die Instrumente sind vor Sonnenbestrahlung zu schützen. Nur Messungen am Schatten oder in Räumen geben zuverlässige Messresultate.

Das Diffusionshygrometer nach *Greinacher* erlaubt genaue Feuchtigkeitsmessungen. Für die PTT-Betriebe kann dieses Gerät jedoch vorläufig nicht empfohlen werden, da es noch in der Entwicklung begriffen ist und einige konstruktive Mängel aufweist. Können diese behoben werden, so bietet dieses Diffusionshygrometer jedoch verschiedene Vorteile, so u. a. die geringe Wärfung und die einfache Messweise.

Wie unter Abschnitt 5e festgestellt, können auch mit Haarhygrometern sehr genaue Feuchtigkeitsmessungen durchgeführt werden.

Im Betrieb wird jedoch diesen Geräten ein gewisses Misstrauen entgegengebracht. Ausgedehnte eigene Versuche¹⁰⁾ bestätigten jedoch von neuem ihre Brauchbarkeit. Wie alle Einrichtungen, so bedarf auch das Haarhygrometer der Pflege. Wird diese vernachlässigt, so entstehen dadurch unkontrollierbare Fehler, wodurch die Messinstrumente ihren Wert verlieren. Es ist notwendig, dass für die Verwendung von Haarhygrometern die nachstehenden Regeln genau befolgt werden:

- a) Die Haarhygrometer sollen nicht über einem Heizkörper, sondern möglichst frei im Raum aufgehängt werden.
- b) Die Messgeräte sind vor Staub weitgehend zu schützen.
- c) Die Haare der Hygrometer müssen vor der Eichung

¹⁰⁾ Bericht der Forschungs- und Versuchsanstalt der Generaldirektion PTT (Bern), Nr. 12.689 vom 28. IV. 51.

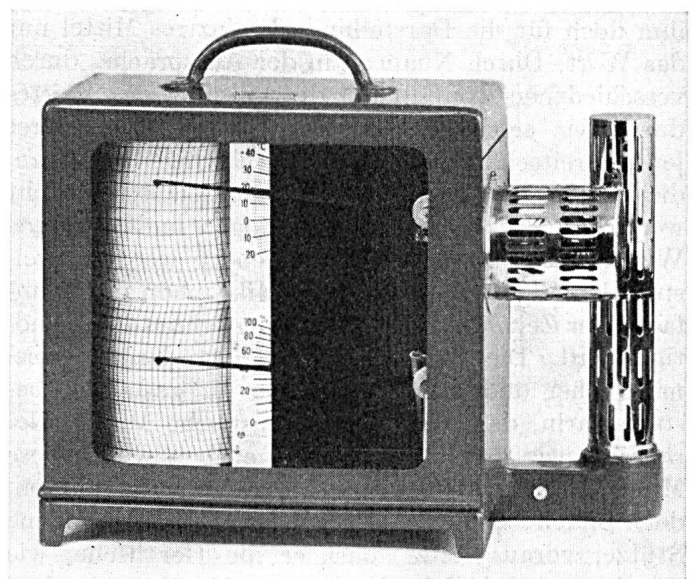


Fig. 16. Registrierendes Thermo- und Haarhygrometer (Firma Haenni & Co. AG., Jegenstorf)

- des Instrumentes zuerst einige Zeit hoher Feuchtigkeit ausgesetzt werden.
- d) Die Eichung soll nicht bei 100% relativer Feuchtigkeit, sondern bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrad (50...60%) vorgenommen werden.
- e) Als Eichinstrument soll ein Aspirationshygrometer und nie ein Haarhygrometer verwendet werden.
- f) *Jedes Haarhygrometer muss periodisch regeneriert werden.* Der Zyklus der Regeneration richtet sich nach dem Feuchtigkeitsgrad der Luft, in der das Instrument verwendet wird. Es empfiehlt sich jedoch, es mindestens alle 14 Tage zu regenerieren. Die Haare von Registrierinstrumenten sind jede Woche nach der den Instrumenten beigegebenen Anweisung zu regenerieren.

- g) Die Regeneration kann durch blosses Einwickeln der Geräte in nasse Tücher sehr einfach und wirksam vorgenommen werden. Da in unseren Gegenden nachts meistens der Taupunkt erreicht wird, können Haarhygrometer zur Regeneration der Haare auch über Nacht im Freien aufgehängt werden.

Werden diese Regeln sorgfältig beachtet, so sind die Haarhygrometer auch heute noch als die praktischsten Feuchtigkeitsmesser zu bezeichnen. Ihre Messgenauigkeit ist für alle PTT-Räume hinreichend genau, so dass diese Instrumente zur weiteren Verwendung sehr empfohlen werden können.

Anmerkung des Verfassers. An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass Herr H. Mauch an der vorliegenden Arbeit mitgearbeitet hat, wofür ihm der beste Dank gebührt.

Hilfsstromkreise in einem Studio

Mithören und Gegensprechen

Von W. Roos, Zürich

621.395.97-53

Die Begriffe «Mithören» und «Gegensprechen» wird man im Duden vergebens suchen, denn sie haben sich erst in jüngster Zeit aus der Praxis gebildet. In der französischen Sprache wird Mithören als «Ré-injection» umschrieben. Wir werden im Nachfolgenden versuchen, diesen Wörtern einen Sinn abzugewinnen.

Das Mithören

Das Mithören wird hauptsächlich bei Hörspielen praktiziert. Der Hörspieler wendet sich an das breite Publikum, das er weder sieht noch hört. Obwohl er sein Manuskript in der Hand hat und somit nicht alles auswendig lernen muss, hat er sich doch ebenso in seine Rolle zu vertiefen, wie zum Beispiel der Schauspieler im Schauspielhaus. Vielleicht braucht er sogar noch mehr Konzentration als dieser, bleibt ihm doch für die Darstellung als einziges Mittel nur das Wort. Durch Nuancen in der Aussprache, durch verschiedenen Tonfall und die Prägung des Wortes durch das eigene Empfinden muss er beim Hörer jene Bereitschaft und jenes Mitschwingen auslösen, die im Theater durch das Auge viel leichter erreicht werden. Jeder Satz muss abgewogen und auf seine Wirkung am Lautsprecher abgehört werden. Meistens benötigen die Proben am Mikrophon das Zehnfache der Zeit, die für die Sendung schliesslich benötigt wird. Die einzige Möglichkeit, das Hörspiel natürlicher und damit wirksamer zu gestalten, besteht darin, dass ihm durch akustische Mittel (Geräusche usw.) einige Substanz gegeben wird. Diese Mittel sollen zwar sehr sparsam angewendet werden, doch bilden sie für den Hörspieler eine willkommene Stütze, vorausgesetzt, dass er die Geräusche, wie Pferdegetrappel, Peitschenknallen, Vogelgezwitscher, Schüsse, Wind und ähnliches mehr, auch hört. Viele dieser Geräusche werden heute von Schallplatten in

das Spiel eingeblendet, so dass sie der Hörspieler im Studio normalerweise gar nicht hören könnte, wenn eben nicht Kunstschaltungen angewendet würden, die das sogenannte Mithören erlauben würden. Etwas von diesen eingeblendeten Geräuschen wird über einen Zusatzverstärker dem Lautsprecher im entsprechenden Studio zugeführt. Es darf dies nicht in voller Lautstärke geschehen, damit das wiedergegebene Geräusch nicht durch das geöffnete Mikrophon mit der Echowirkung des Raumes wieder auf die Sendeleitung kommt. Das Mithören soll dem Hörspieler nur als Markierung dienen, damit er seine Einsätze im richtigen Augenblick macht und er sich besser in die Atmosphäre des Spieles einfühlen kann.

Zu den prinzipiellen Schwierigkeiten des Mithörens gesellt sich aber gleich noch eine weitere. Für die Aufnahme eines Hörspiels werden meistens zwei und mehr Räume benötigt. In einem schallgedämpften Raume werden Szenen gespielt, die eigentlich im Freien aufgenommen werden sollten; in einem Raume mit normaler Zimmerakustik werden Gespräche, die in Innenräumen geführt werden, aufgenommen. Dazu kommen im Bedarfsfalle noch Echowirkungen oder weitere, grössere Räume zur Vortäuschung von grossen Sälen; wie zum Beispiel bei Konferenzen usw. Die einzelnen Räume sind aber, wie einleitend schon erwähnt, schalldicht voneinander getrennt. Die Hörspieler im ersten Raume hören nicht, was jene in einem zweiten sprechen, und so ist es ausserordentlich schwer, eine fließende Wiedergabe zu erhalten, obwohl dies theoretisch mit der richtigen Signalgebung möglich wäre. Auch hier behilft man sich mit dem Mithören. Zum weiteren Verständnis des folgenden nennen wir das erste Studio «a» und ein zweites «b», während die Geräusche aus einer Regie ab Grammophon gespielt werden.