

Ein neuer Feuchtigkeitsmesser : das Diffusionshygrometer

Autor(en): **Greinacher, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **17 (1944)**

Heft VI

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-111516>

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.

Ein neuer Feuchtigkeitsmesser: das Diffusionshygrometer

von H. Greinacher.

(15. IX. 1944.)

Grundlage.

Die neue Methode basiert auf dem Unterschied der Diffusion von Luft und Wasserdampf. Sie sei an Hand der einfachen, in Fig. 2A erkenntlichen Anordnung erläutert. Auf dem seitlichen Ansatz des Glasgefässes *G*, in dem sich etwas Wasser befindet, ist ein Tonplättchen *P* aufgekittet. Das Gefäss ist mittelst eines doppelt durchbohrten Gummizapfens *Z* verschlossen. Die eine Durchbohrung dient zur Verbindung mit einem Flüssigkeitsmanometer *M*, die andere zum Verschliessen nach der Zusammensetzung. Setzt man zu diesem Zwecke den Stopfen *S* auf, so bildet sich allmählich ein Überdruck von 10—20 mm Flüssigkeitssäule aus. Dieser ist um so beträchtlicher, je grösser der Unterschied der Feuchtigkeit in der umgebenden Luft und im Innern, wo Dampfsättigung herrscht, ist. Es liegt daher nahe, den Druckeffekt zur Messung der Luftfeuchtigkeit heranzuziehen. Bei der Einfachheit des Prinzips und der Anordnung schien es verwunderlich, dass in der Literatur nichts über ein solches *Diffusionshygrometer* bekannt geworden ist. Indessen stellte es sich heraus, dass die „hygrometrische Diffusion“ in der Tat schon vor 70 Jahren von M. L. DUFOUR¹⁾ entdeckt und in zwei Arbeiten eingehend untersucht worden ist. Eine Erklärung der Erscheinung findet sich dort allerdings noch nicht. Eine solche verdanken wir erst A. KUNDT²⁾. Wir wollen diese in etwas modifizierter Darstellung hier wiedergeben.

Nehmen wir der Einfachheit halber zunächst an, die umgebende Luft sei vollkommen trocken. Im Moment des Abschliessens mit dem Stopfen *S* herrscht innen und aussen derselbe Druck. Innen setzt er sich aber zusammen aus dem Druck des Luftinhaltes

¹⁾ M. L. DUFOUR: Arch. Genève, **49**, 316, 1874 und **53**, 177, 1875.

²⁾ A. KUNDT: Wied. Ann. **2**, 17, 1877.

und dem des Wasserdampfes. Da der Druck der Luft aussen also grösser ist, diffundiert Luft ins Gefäss hinein. Falls die Tonplatte in dem Sinne semipermeabel wäre, dass Wasserdampf nicht diffundieren könnte, so würde der Luftdruck innen schliesslich gleich dem im Aussenraum werden. Es entstünde also am Manometer ein Überdruck gleich dem Dampfdruck des Wassers. Ähnlich würde im allgemeinen Fall, wo der Partialdruck des Wasserdampfes im Aussenraum irgend einen Wert p besitzt, das Manometer den Druckunterschied $p_s - p$ anzeigen, wo p_s den Sättigungsdruck bei der betreffenden Temperatur bedeutet. Dieser Idealfall einer porösen, für Wasserdampf undurchlässigen Schicht wird sich kaum verwirklichen lassen. Auch bei der verwendeten Tonplatte diffundiert dauernd Wasserdampf von innen nach aussen. Demzufolge bildet sich ein entsprechend kleinerer Überdruck aus. Grössenordnungsmässig wurde er zu etwa $\frac{1}{10}$ des Wertes im Idealfall gefunden. Auch hier ist anzunehmen, dass der Überdruck ein Mass für das Sättigungsdefizit der Aussenluft abgibt und dass, sofern das Gefäss nicht mit Wasser, sondern mit einem vollkommenen Trockenmittel beschickt wird, das Manometer die absolute Feuchtigkeit anzeigt. Voraussetzung für eine einfache Handhabung ist indessen, dass der gemessene Druckunterschied Δp proportional der Differenz des Wasserdampfpartialdruckes zwischen Innen- und Aussenraum ist.

So grosses Interesse seinerzeit die Versuche von DUFOR auch hervorgerufen haben¹⁾, so wenig ist von einer Anwendung der hygrometrischen Diffusion bekannt geworden. Dies ist um so auffälliger, als sich hier die Möglichkeit bietet, ein einfaches Instrument herzustellen, das gegenüber andern Hygrometern wesentliche Vorteile bietet. Während bisher die Luftfeuchtigkeit durch Versuche (Psychrometer, Taupunkthygrometer) oder indirekt (Haarhygrometer) ermittelt werden musste, zeigt das Diffusionshygrometer unmittelbar den Wasserdampfdruck in der Luft an. Wenn diese Anwendung nicht gemacht wurde, so ist dies möglicherweise in dem Umstand begründet, dass die Versuchsergebnisse als zu wenig gut reproduzierbar befunden wurden, oder dass die Messung der relativ kleinen Drucke hinderlich war, oder aber, dass der Zusammenhang zwischen Δp und p zu wenig geklärt schien. Im folgenden soll nun gezeigt werden, dass sich sehr wohl Hygrometer nach dem Diffusionsprinzip herstellen lassen und dass sich das Verfahren auch theoretisch begründen lässt.

¹⁾ Siehe z. B. F. SCHIDLowsKY: Beiblätter Wied. Ann. 11, 618, 1887.

I. Versuche.

1. Modelle und Prüfverfahren.

Es wurden im Verlaufe der Entwicklung 4 Modelle hergestellt. Als poröse Schichten dienten Tonplättchen von 5 mm Dicke, die aus grösseren, von der Firma Haldenwanger, Berlin, stammenden Platten herausgeschnitten wurden. Das Aufkitten geschah mit Chatterton-Compound. Bei Modell I (Fig. 1) wurden die Glas-

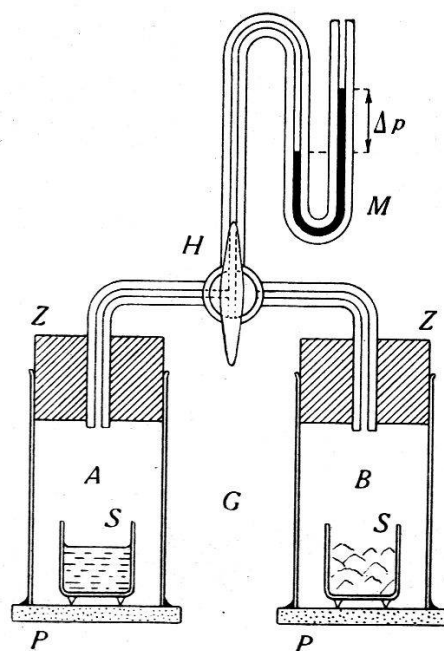


Fig. 1.

zylinder G von $\varnothing = 4$ cm auf Tonplättchen P von 5×5 cm² aufgekittet, und sie wurden mit leicht eingefetteten Gummizapfen Z verschlossen. Für beide Hygrometerteile A und B wurde dasselbe Manometer M mit Paraffinöl-Füllung verwendet, das mittelst eines Dreiweghahns H wechselweise mit letzteren verbunden werden konnte. A enthielt ein Schälchen mit H_2O , in das zur besseren Verdampfung ein Stückchen Filtrierpapier eintauchte, B als Trockenmittel ein Schälchen mit KOH fus¹⁾. Bei einem zweiten gleich gebauten Modell II wurden die Glaszylinder auf einer gemeinsamen Tonplatte von 10×5 cm² aufgekittet, und war sowohl A als B

¹⁾ Diese Substanz erwies sich sowohl in Bezug auf Grad als Dauer der Trockenwirkung als besonders vorteilhaft. Nach Crit. Tabl. 3. S. 385 beträgt der Wassergehalt über

	mg H ₂ O/Liter
P ₂ O ₅	0,000
KOH fus.	0,002
H ₂ SO ₄ conc.	0,003
NaOH fus.	0,16
CaCl ₂ gran.	0,14—0,25

mit einem Manometer versehen, so dass die Ablesungen gleichzeitig erfolgen konnten. Bei Modell III (Fig.2) ist das Tonplättchen von $2,5 \times$

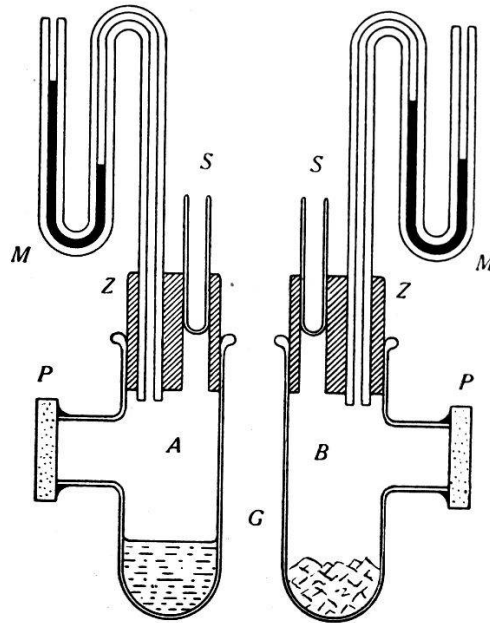


Fig. 2.

$2,5 \text{ cm}^2$ an einem seitlichen Rohransatz ($\varnothing = 1,5 \text{ cm}$) angebracht, und der Gummizapfen ist doppelt durchbohrt, damit das Gefäß nach dem

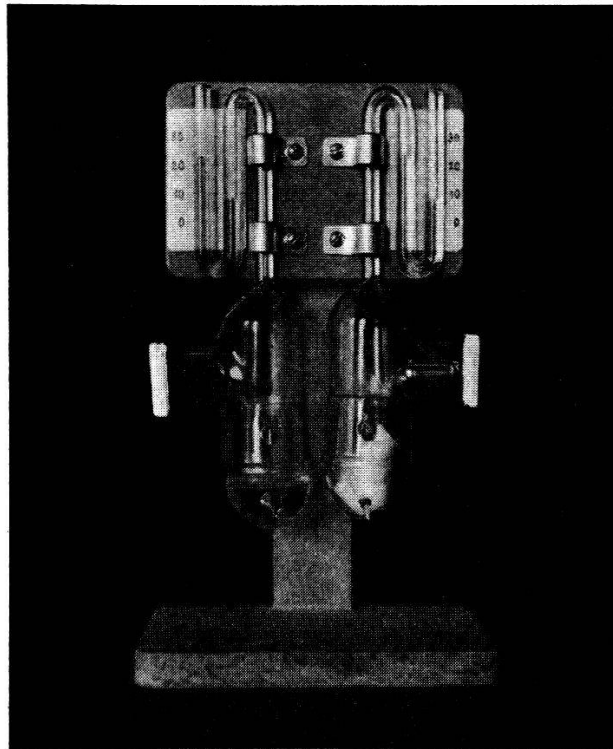


Fig. 3.

Zusammensetzen durch den Glasstopfen *S* verschlossen werden kann. Besondere Schälchen sind hier nicht notwendig. Modell IV, in Fig.3 abgebildet, ist gleich wie Model III gebaut, jedoch ganz

aus Glas hergestellt. Der Verschluss und das Einfüllen der hygrometrischen Substanzen geschieht hier von unten durch Glasschliffe.

Um das Diffusionshygrometer auf seine Brauchbarkeit zu prüfen, wurden Versuche über die Reproduzierbarkeit, die Beständigkeit und die Einstellgeschwindigkeit des Diffusionsdruckes ausgeführt. Ferner wurden die sich ergebenden Messresultate auf ihre Richtigkeit geprüft. Dieses geschah durch Vergleich 1. der Modelle unter sich, 2. mit den Angaben anderer Hygrometer, 3. der an den Teilen *A* und *B* gewonnenen Ergebnisse.

Zu 3. ist folgendes zu bemerken. Unter der stets gemachten Voraussetzung, dass die Diffusionsdrucke proportional dem Unterschied des Dampfdruckes im Innen- und Aussenraum sind, hat man einerseits

$$\Delta p_A = k(p_s - p) \quad (1)$$

und andererseits

$$\Delta p_B = kp$$

Dabei können die Δp in mm Öl und die p in mm Hg angegeben sein. Ist die Apparatkonstante k bekannt, so kann somit sowohl Teil *A* als Teil *B* allein als Hygrometer verwendet werden. Aus Δp_B folgt die absolute Feuchtigkeit p direkt, aus Δp_A indirekt unter Benützung einer Dampfdrucktabelle für p_s . Will man die relative Feuchtigkeit $100 \cdot \frac{p}{p_s}$ angeben, so ist in beiden Fällen eine solche Tabelle erforderlich. Die Verwendung von *Doppelinstrumenten* bietet nun den Vorteil, dass zur Bestimmung der relativen Feuchtigkeit weder die Kenntnis der Apparatkonstanten noch eine Dampfdrucktabelle notwendig ist, denn durch Addition von Δp_A und Δp_B ergibt sich

$$\Delta p_A + \Delta p_B = kp_s \quad (2)$$

und für die relative Feuchtigkeit folgt

$$100 \frac{p}{p_s} = \frac{100 \Delta p_B}{\Delta p_A + \Delta p_B} \quad (3)$$

Ferner kann zur Angabe der absoluten Feuchtigkeit p und des Sättigungsdefizites $p_s - p$ die Konstante k aus (2) in (1) eingesetzt werden, und man erhält

$$p = p_s \frac{\Delta p_B}{\Delta p_A + \Delta p_B} \quad \text{bzw.} \quad p_s - p = p_s \frac{\Delta p_A}{\Delta p_A + \Delta p_B} \quad (4)$$

Beziehung (2) erlaubt, wie unten noch gezeigt wird, ausserdem die unter 3. erwähnte Prüfung des Hygrometers durch Vergleich von Δp_A und Δp_B .

2. Wirksamkeit der porösen Schichten.

Die sich einstellende Druckdifferenz hängt nicht nur vom Material, sondern auch von der Dicke und Grösse der porösen Schicht ab. So erhielt man beispielsweise mit einem Jenaer Glasfilter oder gebranntem rotem Ton praktisch keinen Druckunterschied, und auch Tonzylinder aus galvanischen Elementen ergaben geringere Drucke als die verwendeten Tonplättchen. Die Druckdifferenz kann durch Verkleinerung der Flächen etwas erhöht werden. Doch sind dem durch Vergrösserung der Einstelldauer gewisse Grenzen gesetzt. Das verwendete Material erwies sich als recht gleichmässig in seiner Wirkung. Nur unter dieser Voraussetzung konnte auch der Proportionalitätsfaktor für die Hygrometerteile *A* und *B* als gleich gross angenommen werden. Inwieweit dies zutraf, wurde noch besonders geprüft. Zu diesem Zwecke brachte man sowohl in *A* als *B* etwas Wasser und beobachtete die sich einstellenden Drucke. Solche Messungen, die bei jedem Modell zumeist an verschiedenen Tagen ausgeführt wurden, seien in folgender Tabelle zusammengestellt.

Tabelle I.

Modell	Temp.	<i>A</i> mm	<i>B</i> mm	Mittel <i>A/B</i>
I	19,1	15,2	15,2	1,00 ₀
	17,3	12,7	12,7	
II	15,9	11,2	10,5	1,06 ₆
	16,1	11,9	11,2	
	15,65	10,9	10,2	
III	19,5	17,9	17,3	1,03 ₈
	20,2	19,2	18,5	
	15,2	12,3	11,8	
IV	19,1	12,5	12,3	1,01 ₃
	19,2	12,8	12,6	
	19,2	12,3	12,2	

Man erkennt, dass die Einstellungen an *A* und *B* teils vollständig, teils bis auf wenige Prozente genau übereinstimmen. Dabei sei erwähnt, dass die Tonplättchen für beide Teile jeweils aus demselben Stück geschnitten waren. Die Ablesegenauigkeit kann mit $\pm 0,1$ mm bewertet werden, da die Ablesungen mittelst Millimeterpapier und Lupe erfolgten. Die Unterschiede erwiesen sich als zeitlich konstant. Sie können daher bei den Feuchtigkeitsmes-

sungen in der Weise berücksichtigt werden, dass man zu den Ablesungen an B entsprechend Prozente hinzuzählt. Im folgenden wurde indessen von einer solchen Reduktion Umgang genommen. Denn die kleinen Abweichungen in den Angaben beeinflussen die Messresultate nur in vernachlässigbar geringem Masse. Beträgt nämlich die Korrektur an $B + q\%$, so ergibt sich für den Unterschied in der Angabe der relativen Feuchtigkeit ohne und mit Korrektur

$$\Delta = \frac{100 B}{A + B} - \frac{100 (B + q/100 B)}{A + B + q/100 B} \approx -q \frac{AB}{(A + B)^2} \%.$$

Dieser Fehler ist, wie leicht einzusehen, bei $A = B$, d. h. 50% Feuchtigkeit am grössten und beträgt dann $\frac{q}{4}\%$, also im schlimmsten Falle, wenn $q = 6\%$, $\Delta = 1,5\%$ Feuchtigkeit.

Für Modell I wurde die Prüfung auf gleiche Wirkung der beiden Tonplättchen auch in folgender Weise vorgenommen. Man gab einmal in A Wasser und in B KOH und führte dann auch eine Messung mit vertauschten Substanzen aus. Es ergab sich

	A	B
	mm	mm
In $A \rightarrow \text{H}_2\text{O}$. . .	12,8	6,8
In $A \rightarrow \text{KOH}$. . .	7,2	14,0

Man erhält für die relative Feuchtigkeit im einen Falle

$$\frac{100 \cdot 6,8}{19,6} = 34,7\%$$

und im andern

$$\frac{100 \cdot 7,2}{21,2} = 34,0\%,$$

also eine gute Übereinstimmung. Die Absolutwerte für A und B wurden im zweiten Falle etwas höher gefunden, da vor der Ablesung wieder der stationäre Zustand abgewartet werden musste und sich dabei die Raumtemperatur etwas erhöht hatte.

3. Vergleich der Modelle unter sich.

Im folgenden seien nun vergleichende Versuche über die Angaben der verschiedenen Modelle mitgeteilt. Einmal sollten die Manometerdrucke selbst, dann aber namentlich die Resultate für die relative Feuchtigkeit verglichen werden. Aus der Tabelle I können solche Vergleiche nicht gezogen werden, da die Messungen zu verschiedenen Zeiten bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden ausgeführt wurden. Es sollen daher besondere Vergleichsmessungen,

die sich jeweils auf den gleichen Zeitpunkt beziehen, in Tabelle II zusammengestellt werden. Der Vollständigkeit halber sind hier wie auch im folgenden für die relative Feuchtigkeit noch die Zehntel angegeben, obschon hierfür die Messgenauigkeit nicht ausreichend war.

Tabelle IIa.

Modell	Temp.	A mm	B mm	Feuchtigkeit %	
				ber.	Hygrogr. Hänni
I	19,0°	15,2	4,8	24,0	25
II		14,9	4,1	21,6	
III		18,5	4,8	20,6	
I	18,0°	13,0	6,2	32,3	32
II		12,4	5,9	32,2	
III		15,5	6,8	30,5	
I	19,9°	11,2	10,4	48,2	48
II		11,8	9,0	43,3	
III		14,6	11,1	43,2	

Etwa 1½ Monate später, nachdem die Modelle mit neuer Füllung versehen und auch die Tonplatten von Modell I und II im Verlauf der Versuche ausgewechselt worden waren, ergaben sich folgende Werte:

Tabelle IIb.

Modell	Temp.	A mm	B mm	Feuchtigkeit %	
				ber.	Hygrogr. Hänni
I	17,7°	12,7	5,1	28,6	36 ½
II		12,3	6,0	32,8	
III		14,8	6,9	31,8	
I	18,4°	12,8	6,7	34,4	38
II		13,4	6,3	32,0	
III		15,0	7,9	34,5	
I	14,6°	10,1	3,8	27,4	36 ½
II		10,2	4,1	28,7	
III		12,0	4,7	28,1	

Die Übereinstimmung der bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden und Temperaturen gefundenen Werte ist eine befriedigende und bleibt über einen längeren Zeitraum erhalten. Die Unterschiede zwischen den beiden (verschieden dimensionierten) Modellen II und

III betragen maximal nur 2,5% Feuchtigkeit. Etwas grösser sind die Abweichungen bei Modell I (bis zu 5% Feuchtigkeit). Doch war in diesem besonderen Falle die Vermutung begründet, dass die Manometereinstellung infolge einer geringen Verunreinigung der Kapillaren beim Einfüllen der Flüssigkeit leicht gestört war, was zu etwas unsicheren Werten führte. Auch Vergleichsmessungen an Modell III und IV, die an verschiedenen Tagen ausgeführt wurden, seien hier angeführt.

Modell III . . .	38,7	39,7	35,8	35,6	37,6%
Modell IV . . .	41,2	41,2	38,2	38,4	40,3%
Temperatur . . .	18,2°	18,0°	18,3°	18,0°	19,0°

Die Übereinstimmung ist auch hier eine befriedigende. Jedoch zeigt Modell IV dauernd um etwa 2½% mehr Feuchtigkeit an. Eine Erklärung kann in dem Umstand gesucht werden, dass Modell IV frisch mit KOH beschickt war, während bei III die Füllung schon 3 Wochen zurücklag. Die KOH-Stangen wiesen hier einen feinen braunen Überzug auf, der sich offenbar infolge Verdampfung des Gummistopfens (Ersatz) gebildet hatte.

4. Vergleiche mit anderen Hygrometern.

Ein erster Vergleich der Angaben des Diffusionshygrometers mit andern Hygrometern ergibt sich bereits aus Tabelle II, wo die gleichzeitigen Ablesungen an einem Hygrographen Hänni vermerkt sind. Vermutlich zeigte letzterer allerdings um einige Prozente zu hoch, da Ablesungen an einem Hygrographen Lambrecht im betreffenden Messbereich 3—4% weniger ergaben. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes kann die Übereinstimmung als eine gute bezeichnet werden. Ähnliche Ergebnisse lieferten Vergleichsmessungen mit einem Assmannschen Aspirationshygrometer vereinfachter Ausführung.

Tabelle III.

Modell	Feuchtigkeit in %			Temperatur
	Diffus.-Hygrom.	Psychrometer		
I	29,3	31,9	(26,8)	19,0°
	38,5	39,4	(34,5)	14,2°
	40,4	43,1	(38,8)	18,2°
II	32,5	38,5	(33,8)	17,2°
	25,3	31,6*	(26,7)	20,4°

* Hygrometer Hänni zeigte 29%.

Die Psychrometerwerte sind mit der Konstanten 0,00066 berechnet, die eingeklammerten Zahlen wurden einer von der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich stammenden Psychrometertabelle entnommen. Leider muss auch heute noch immer mit einer gewissen Unsicherheit der Psychrometerkonstanten gerechnet werden¹⁾, so dass selbst bei diesen für besonders genau geltenden Instrumenten die Werte nicht völlig verbürgt sind. Aus den Vergleichsmessungen lässt sich daher nur entnehmen, dass die Angaben des Diffusionshygrometers durchwegs um einige % niedriger sind als den Psychrometerwerten der 1. Kolonne entspricht, dass aber die Übereinstimmung angesichts der eingeklammerten Werte als befriedigend angesehen werden darf. Andererseits zeigen die Versuche, dass ein Vergleich der Angaben verschiedener Hygrometer nur bedingten Wert besitzt. Demgemäss wurde auch von der Mitteilung weiterer Ergebnisse Umgang genommen.

5. Konstanz des Druckverhältnisses $\frac{\Delta p}{p}$.

Geeigneter zur Prüfung der Angaben des Diffusionshygrometers erwies sich ein Vergleich der an den Teilen *A* und *B* ausgeführten Messungen. Die oben angegebene Beziehung $\Delta p_A + A p_B = k p_s$ kann auf zweierlei Weise verifiziert werden: 1. durch die Feststellung, dass die Summe $\Delta p_A + \Delta p_B$ bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden der umgebenden Luft unverändert bleibt, sofern die Temperatur konstant ist; 2. dass die Summe (Σ), als Funktion der Temperatur (bei einer im übrigen variablen Feuchtigkeit der Umgebung) aufgetragen, parallel mit der tabellarischen Sättigungskurve verläuft, d. h. dass der Verhältnissfaktor Diffusionsdruck/Sättigungsdruck ein konstanter ist.

Zu 1. seien folgende Messungen mitgeteilt:

Tabelle IVa.

	Modell II				Modell III				Temp.
	A mm	B mm	Σ	relat. Feucht. %	A mm	B mm	Σ	relat. Feucht. %	
Zu Beginn	13,5	6,0	19,5	30,8	16,9	7,4	24,3	30,5	19,5 ⁰
Nach Verdampfen von H ₂ O im geschlossenen Raum	11,8	9,0	20,8	43,3	14,6	11,1	25,7	43,2	19,9 ⁰
Anderen Tags bei wieder normaler Feuchtigkeit	14,0	5,2	19,2	27,2	17,5	6,8	24,3	28,0	19,1 ⁰

¹⁾ Siehe z. B. M. ROBITZSCH: Meteorol. ZS. 59, 344, 1942; B. J. BIRKELAND: Meteorol. ZS. 59, 274, 1942.

Abgesehen von einer leichten Zunahme infolge des Temperaturanstieges auf 19,9° sind die Werte für Σ innerhalb der Feuchtigkeitsgrenzen von 27—43% konstant. Um grössere Feuchtigkeitsunterschiede zu erhalten, wurde ein zweiter Versuch so ausgeführt, dass man Modell III unter eine Glasglocke mit einer Wasserschale setzte. Es wurden folgende Werte gefunden:

Tabelle IVb.

	A mm	B mm	Σ	relat. Feucht.%	Temp.
Modell III unter Glasglocke	6,0	14,8	20,8	71,2	17,4°
Modell III in freier Luft	15,8	5,7	21,5	26,5	17,7°

Auch dieser Befund darf als eine Bestätigung der gemachten Voraussetzungen gelten.

Σ als Funktion der Temperatur wurde an Modell III, das in verschiedenen temperierte Räume gebracht wurde, aufgenommen. Es erwies sich als günstig, um eine Streuung der Versuchswerte zu vermeiden, die Messungen alle am selben Tage auszuführen. Eine solche Versuchsreihe sei in Fig. 4 graphisch wiedergegeben. Da-

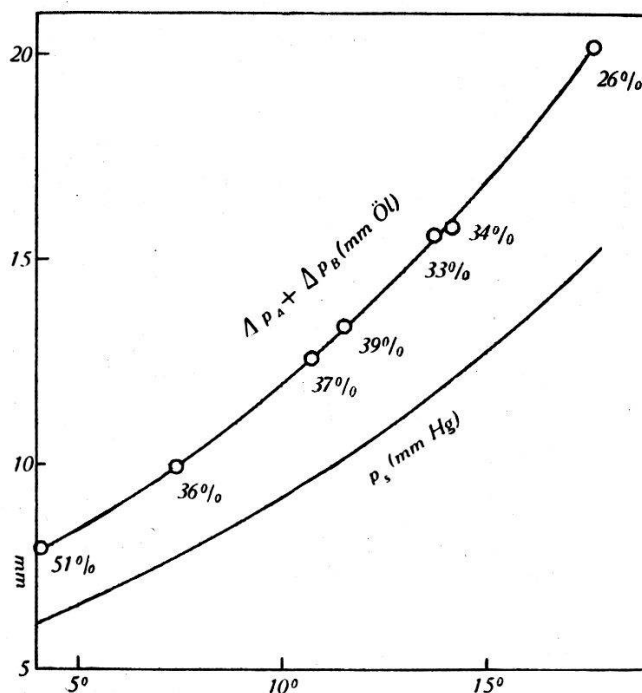


Fig. 4.

neben ist die aus KOHLRAUSCH, Praktische Physik, entnommene Sättigungskurve eingezeichnet. Man erkennt, dass die Kurven durchaus parallel verlaufen. Auch das Verhältnis der Werte Mano-

meterdruck in mm Öl: Sättigungsdruck in mm Hg erweist sich als ungefähr gleichbleibend zu 1,29—1,34. Der Vollständigkeit halber sind noch die relativen Feuchtigkeiten für die einzelnen Messpunkte angegeben.

6. Einstellgeschwindigkeit.

In die Frage nach der Brauchbarkeit des neuen Instrumentes musste auch die nach der Einstellgeschwindigkeit einbezogen werden. Diese hängt ausser vom Material der porösen Schicht weitgehend von deren Dicke und Fläche, aber ausserdem auch vom Volumen des Instrumentes ab. Für eine kurze Einstelldauer ist ein kleines Gefäss günstig. Auch eine grosse Tonplatte wäre vorzuziehen, wenn dies nicht mit einem kleineren Diffusionsdruck und namentlich einer zu starken Wasserdampfdiffusion verbunden wäre, was eine häufige Auswechslung der Hygrometerfüllung bedingen würde. Der zeitliche Verlauf der Einstellung bei Modell II und III

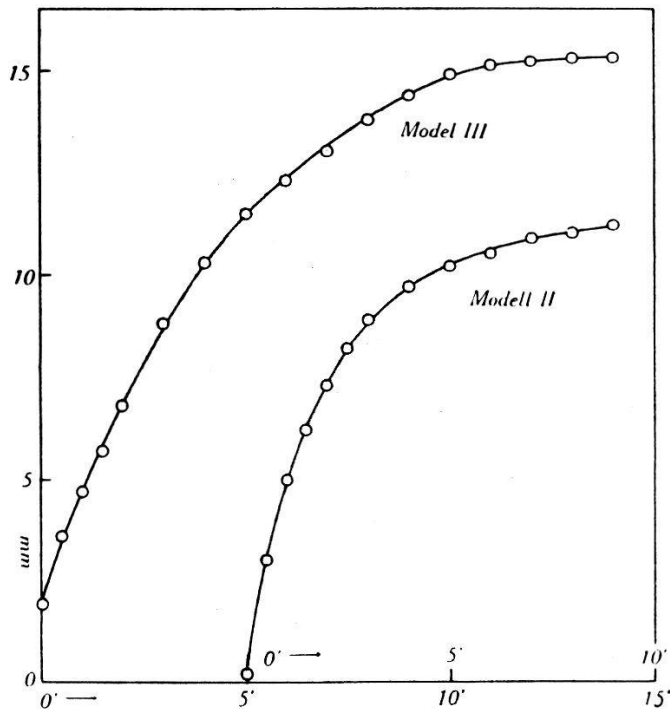


Fig. 5.

ist in Fig. 5 wiedergegeben. Die Modelle wurden einige Zeit unter eine Glasglocke mit Wasser gesetzt und dann in die freie Atmosphäre herausgenommen. Es wurde der Druckanstieg am Teil A (Wasserfüllung) gemessen. Während bei Modell II die Einstellung bis auf 10% in ca. 5 Minuten erreicht ist, braucht dies bei Modell III 8—9 Minuten. Bei II beträgt die Tonfläche 12,5 cm², bei III aber nur 1,75 cm². Es wurde festgestellt, dass eine Verdoppelung der Dicke die Einstelldauer entsprechend noch weiter hinaufsetzt.

Dass mit der kleineren Tonfläche bei Modell III eine geringere Wasserdampfdiffusion verbunden ist, wurde noch besonders festgestellt. Die mit Wasser beschickten Gefässe der Modelle II und III wurden gewogen. Dabei ergab sich für II (*A*) ein Gewichtsverlust von 218 mg pro Tag, für III (*A*) aber nur 35 mg. Die Verdunstung erfolgte hier also etwa 6mal langsamer. Dies entspricht ziemlich genau dem Flächenverhältnis der Tonplatten, das etwa 7 betrug. Die geringe Verdunstung bei Modell III bzw. IV bewirkte, dass diese Modelle über lange Zeit hin ohne Erneuerung des Inhaltes funktionierten. Ferner war hier die Voraussetzung, dass trotz des Diffusionsstromes durch die Tonplatte vollkommene Sättigung bzw. Trocknung im Innern vorhanden war, wohl besser erfüllt. Die Funktion der Modelle wurde auch $\frac{1}{4}$ Jahr nach der Füllung als noch völlig in Ordnung befunden.

7. Einfluss der Temperatur und der Luftverhältnisse.

Der Einfluss der Temperatur auf die Instrumente machte sich in verschiedener Weise bemerkbar. Ein Temperaturanstieg bewirkt eine Druckzunahme, die, soll die Ablesung stimmen, erst durch Diffusion ausgeglichen sein muss. Dabei aber muss sich auch immer wieder der neue stationäre Verdampfungszustand einstellen. Dies bewirkt, dass in Wirklichkeit die Einstelldauer von diesen beiden Faktoren abhängt. Eine starke und rasche Temperatursenkung kann Kondensationserscheinungen hervorrufen, die ebenfalls auf die Einstelldauer einwirken. Allgemein ist zu beachten, dass während einer Temperaturzunahme der Druck an *A* leicht zu gross, an *B* zu klein ausfällt, die relative Feuchtigkeit also zu gering und umgekehrt während einer Temperaturabnahme zu gross befunden wird.

Auch bei starken Luftbewegungen wurden Änderungen in der Manometereinstellung beobachtet. Es wurde indessen nicht näher untersucht, ob dies mit einer Beeinflussung des Diffusionsvorganges oder einfach mit Ungleichmässigkeiten der Luftfeuchtigkeit im Messraum zusammenhing. Auch bei Ausschaltung dieser Faktoren konnten im Laufe von Tagen noch kleinere Schwankungen des Σ -Wertes für eine gegebene Temperatur festgestellt werden. Vielleicht geben hier Versuche über einen möglichen Einfluss des Luftdruckes auf den sich einstellenden Diffusionsdruck Aufschluss. In einem solchen Falle wäre die Apparatkonstante *k* nicht ganz unabhängig vom Barometerdruck, was hingegen keinen Einfluss auf das die relative Feuchtigkeit bestimmende Verhältnis $\frac{\Delta p_B}{\Delta p_A + \Delta p_B}$ hätte.

Zu beachten ist der Umstand, dass bei niedrigen Temperaturen die Manometerdrucke recht klein werden, was sich ungünstig auf die Messgenauigkeit auswirkt. Die Drucke sind an und für sich nicht gross und betragen nur einen kleinen Bruchteil des zu messenden Wasserdampfdruckes, der sich etwa in den Grenzen von 0—20 mm Hg bewegt. So findet man z. B. für Modell III unter Berücksichtigung des sich aus Fig. 4 ergebenden Zahlenverhältnisses (im Mittel 1,32) und der Dichte der Manometerflüssigkeit (0,88) folgenden Wert für diesen Bruchteil:

$$= \frac{0,88 \cdot 1,32}{13,6} = 0,0854 \approx \frac{1}{12} .$$

Das Diffusionshygrometer benötigt daher empfindliche Manometer. Die benützten Flüssigkeitsmanometer erwiesen sich hier zwar als durchaus brauchbar, zumal sie Volumen und Masse des Apparates nicht wesentlich vermehrten. Auch können sie durch Schrägstellung des *U*-Rohres noch empfindlicher gemacht werden. Indessen dürfte doch ein aus festem Material bestehendes Manometer für die technische Ausführung des Instrumentes vorzuziehen sein.

8. Weiterentwicklung des Hygrometers.

Ein brauchbares Zeigerinstrument wurde erhalten unter Verwendung zweier „Feindruck-Manometer“, Fabrikat Hänni, Jegenstorf. Das eine zeigte Unterdrucke an von 0—20 mm H₂O, das andere Überdrucke von 0—30 mm H₂O. Mittels einer Schraubvorrichtung wurde an jedes Instrument ein Hygrometergefäss nach Art und Grösse der bei Modell IV verwendeten angeschlossen, wobei das eine mit Wasser, das andere mit KOH beschickt war. Die beiden Manometer wurden in die Vorderseite eines grösseren Holzkastens eingelassen (Fig. 6), dessen Rückseite offen gelassen wurde. Zufälligerweise erwies sich das Verhältnis zwischen dem sich einstellenden zu dem zu messenden Druck etwa wie 1 : 13,6, so dass die Skala, die in mm H₂O eingeteilt war, direkt die Wasserdampfdrucke in mm Hg ergab. Das Manometer links (*A*), das mit dem Trockengefäss verbunden war, zeigt somit die absolute Feuchtigkeit in mm Hg, das rechts (*B*) das Sättigungsdefizit in gleichem Masse an. *A* + *B* ergibt den Sättigungsdruck bei der Temperatur, die sich an dem zwischen den Skalen angebrachten Thermometer ablesen lässt, während sich die relative Feuchtigkeit aus $100 \frac{A}{A+B}$ berechnet. Diese Angaben finden sich in den 4 ober- und unterhalb der Skalen angebrachten Rähmchen vermerkt. Um jede Rechnung

zu vermeiden, ist dem Apparat noch eine Tabelle beigegeben, welche die relative Feuchtigkeit aus den Werten A und B direkt

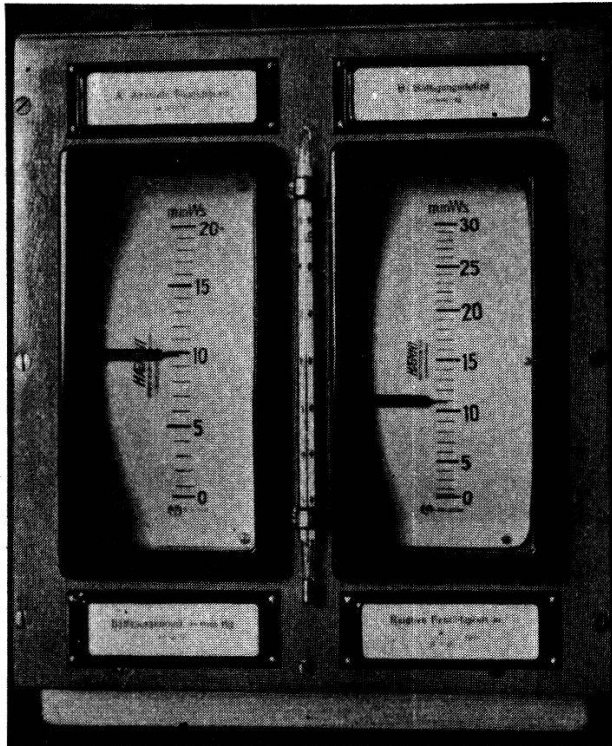


Fig. 6.

zu entnehmen erlaubt. Das Hygrometer arbeitet nun schon mehrere Monate ohne neue Füllung befriedigend. Die Ablesungen lassen

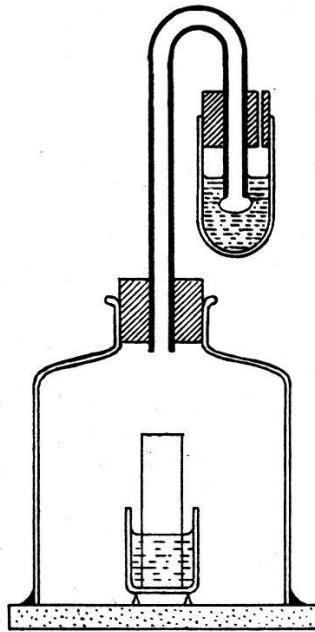


Fig. 7.

sich an der grossen Skala bequem und genau ausführen. Selbst in der kleinen Abbildung 6 kann ohne weiteres abgelesen werden $A = 9,9$ mm, $B = 11,0$ mm, was einer Feuchtigkeit von 47,3% ent-

spricht. Leider bedingt die Verwendung der erwähnten Feindruckmanometer einen ziemlich hohen Preis. Auch ist die Einstelldauer infolge der grossen Metallmassen merklich erhöht. Man wird daher darauf tendieren, die Manometer durch kleinere Anzeigeeinstrumente zu ersetzen.

Der Vollständigkeit halber sei noch darauf hingewiesen, dass das Diffusionsprinzip auch noch in anderer Form verwendet werden kann. Statt des stationär sich einstellenden Diffusionsdruckes kann auch die durch die Tonplatte hindurch diffundierende Luftmenge gemessen werden. Lässt man aus einem Gasentbindungsrohr, etwa nach Anordnung Fig. 7, Luft in ein Gefäss mit Flüssigkeit austreten, so gibt die Zahl der pro Zeiteinheit austretenden Blasen ebenfalls ein Mass für das Sättigungsdefizit. Es ist bemerkenswert, dass diese Anordnung gleichzeitig das Prinzip eines von selbst und fortdauernd funktionierenden *Diffusionsmotors* darstellt. Es ist das Modell eines scheinbaren *Perpetuum mobile II. Art*, das ohne Temperaturdifferenz Arbeit unter gleichzeitiger Abkühlung leistet. In Wirklichkeit ist dies aber ebensowenig ein *Perpetuum mobile*, wie etwa eine Stahlflasche mit flüssiger CO_2 , aus der man das Gas unter Arbeitsleistung und gleichzeitiger Abkühlung ausströmen lässt.

II. Theoretisches.

Zum Schlusse soll versucht werden, unter Annahme einfacher Voraussetzungen zu einer quantitativen Beziehung zwischen Diffusionsdruck und Wasserdampfdruck zu gelangen, bzw. die oben verwendete Beziehung theoretisch zu begründen. Wir betrachten die Diffusion durch 1 cm^2 Querschnitt einer porösen Schicht P (siehe etwa Fig. 2A). $n_1 n_1'$ sei die Zahl der Luftmoleküle pro 1 cm^3 links und rechts und $n_2 n_2'$ die entsprechende Zahl Wasserdampfmoleküle. Zu Beginn sei der Gesamtdruck auf beiden Seiten gleich gross, d. h. $n_1 + n_2 = n_1' + n_2'$. Ist nun z. B. $n_2' > n_2$, so setzt eine Diffusion der Luft von links nach rechts ein. Hierbei ist, wenn sich links die freie Atmosphäre befindet, n_1 und n_2 konstant. Ferner sei auch die Feuchtigkeit im Inneren des Hygrometers, d. h. n_2' konstant. Für die Zunahme von n_1' kann man dann folgenden Ansatz machen:

$$dn_1' = [c_1 v_1 (n_1 - n_1') - c_2 v_2 (n_2' - n_2) \cdot f(n_1)] dt. \quad (1)$$

Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Diffusion proportional der Diffusionsgeschwindigkeit der Luftmoleküle v_1 und proportional der Konzentrationsdifferenz $(n_1 - n_1')$ sei; ferner, dass diesem Diffusionsstrom entgegenwirkt ein nach links gerichteter Diffusionsstrom

von Dampfmolekülen. Dies bedingt eine Schwächung der Luftdiffusion nach rechts proportional der Diffusionsgeschwindigkeit des Wasserdampfes v_2 ; ferner dem Unterschied der Dampfkonzentration $(n_2' - n_2)$, und ist um so grösser, je mehr Luftmoleküle die von rechts nach links diffundierenden Dampfmoleküle begegnen. Diesem Umstand ist durch den Faktor $f(n_1)$, der mit n_1 zunimmt, Rechnung getragen.

Aus (1) kann der zeitliche Anstieg von n_1' berechnet werden. Uns interessiert vor allem der stationäre Endzustand, wo $dn_1' = 0$. Bezeichnen wir die sich einstellende Molekülzahl mit N_1' , so haben wir nach (1)

$$c_1 v_1 (n_1 - N_1') = c_2 v_2 (n_2' - n_2) \cdot f(n_1)$$

oder abkürzungsweise

$$n_1 - N_1' = \lambda (n_2' - n_2) \cdot f(n_1) \quad (2)$$

Da v_1 und v_2 in gleicher Weise mit der Temperatur zunehmen, ist λ von dieser unabhängig. Der am Manometer sich einstellende Druck ist proportional $N_1' + n_2' - (n_1 + n_2)$, d. h.

$$\Delta p = C (N_1' - n_1 + n_2' - n_2) \quad (3)$$

Dies ergibt unter Berücksichtigung von (2)

$$\Delta p = C (n_2' - n_2) (1 - \lambda \cdot f(n_1))$$

Da $p_2 = C n_2$ und $p_2' = C n_2'$

erhalten wir schliesslich

$$\Delta p = (p_2' - p_2) (1 - \lambda \cdot f(n_1)) \quad (4)$$

Durch eine analoge Betrachtung unter der Annahme, dass $n_2 > n_2'$, gelangt man zum Ausdruck

$$-\Delta p = (p_2 - p_2') (1 - \lambda \cdot f(N_1')) \quad (5)$$

(4) und (5) auf die beiden Manometer des Hygrometers angewendet, ergeben, wenn man für das Gefäss B $p_2' = 0$ und für das Gefäss A $p_2' = p_s$ (Sättigung) ansetzt:

$$-\Delta p_B = p_2 (1 - \lambda \cdot f(N_1')) \quad (5a)$$

$$\Delta p_A = (p_s - p_2) (1 - \lambda \cdot f(n_1)) \quad (4a)$$

Da die Δp nur etwa $1/12$ der p betragen, sind die Subtrahenden $\lambda f(N_1')$ bzw. $\lambda f(n_1)$ relativ gross. Es ist daher der Verlauf der Funktion $f(n_1)$ für die Grösse des Verhältnissfaktors $\frac{\Delta p}{p}$ massgebend.

Darüber kann folgendes gesagt werden. Die Einwirkung der Luftmoleküle auf die Diffusion des Wasserdampfes verschwindet bei $n_1 = 0$, so dass dann $f(n_1) = 0$ wird. Die gemessenen Drucke $|\Delta p_B|$ und $|\Delta p_A|$ werden in diesem Fall gemäss (4a) und (5a), wie es sein muss, direkt gleich p_2 bzw. $p_s - p_2 \cdot f(n_1)$ wird mit n_1 zunehmen, aber nicht linear, da sonst bei $n_1 = \infty$ das Vorzeichen des Verhältnissfaktors sich umkehren würde. $f(n_1)$ wird einem Maximum zustreben, wobei der Verhältnissfaktor seinen kleinsten Wert, ev. den Wert 0 erreicht. Für $n_1 = \infty$ wäre dann $f(n_1) = 1/\lambda$. Da bei den hygrometrischen Verhältnissen $n_1 \gg n_2$, so wird der Anstieg von $f(n_1)$ bei gewöhnlichem Atmosphärendruck schon klein sein. Es wird dann praktisch $f(N_1') = f(n_1)$ gesetzt werden dürfen, dies um so mehr, als im Hinblick auf die Kleinheit der Δp N_1' nahezu gleich n_1 ist. Man wird also (5a) schreiben dürfen:

$$-\Delta p_B = p_2(1 - \lambda \cdot f(n_1)) \quad (5b)$$

Aus (4a) und (5b) folgt für die relative Feuchtigkeit

$$100 \frac{p_2}{p_s} = 100 \frac{|\Delta p_B|}{|\Delta p_A| + |\Delta p_B|} \quad (6)$$

Dies ist aber die oben verwendete Formel.

Der Ausdruck ist unabhängig von n_1 , d. h. dem Barometerstand. Dies ist im Prinzip nicht der Fall für die Diffusionsdrucke Δp_A und Δp_B selbst. Es sind hingegen nur kleine Änderungen des Verhältnissfaktors $1 - \lambda \cdot f(n_1)$ zu erwarten, da der Barometerdruck und damit n_1 prozentual nur wenig variiert und in dem betreffenden Druckgebiet bereits ein recht flacher Verlauf der Funktion $f(n_1)$ anzunehmen ist. Inwieweit indessen ein Barometereinfluss beim Diffusionshygrometer zu berücksichtigen ist, muss erst noch durch besondere, unter Variation der Druckverhältnisse ausgeführte Versuche festgestellt werden.

Bern, Physikalisches Institut der Universität.